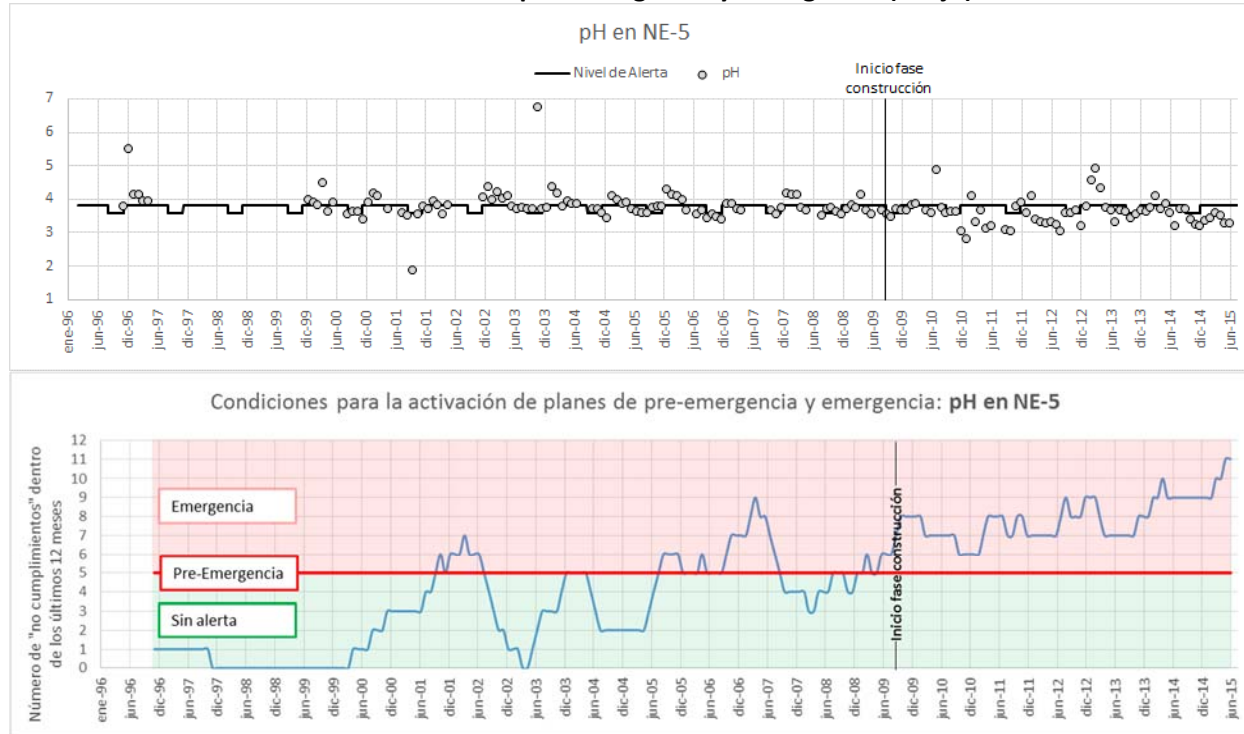


ANEXO 1: ANÁLISIS DE PARÁMETROS DAR EN ESTACIONES DAR SEGÚN CRITERIO ESTABLECIDO EN LOS CONSIDERANDOS 9.8 Y 9.9 DE LA RCA N°24/2006, Y UMBRALES FIJADOS EN LA RES. EX. N°94/2016 QUE MODIFICÓ LA RCA

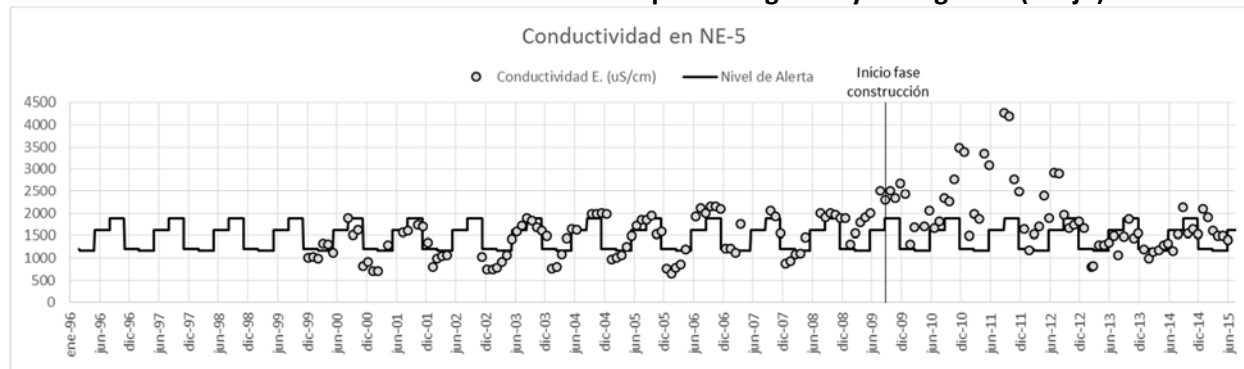
1. Evolución de parámetros DAR en estación NE-5

Figura 1. Evolución del pH en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



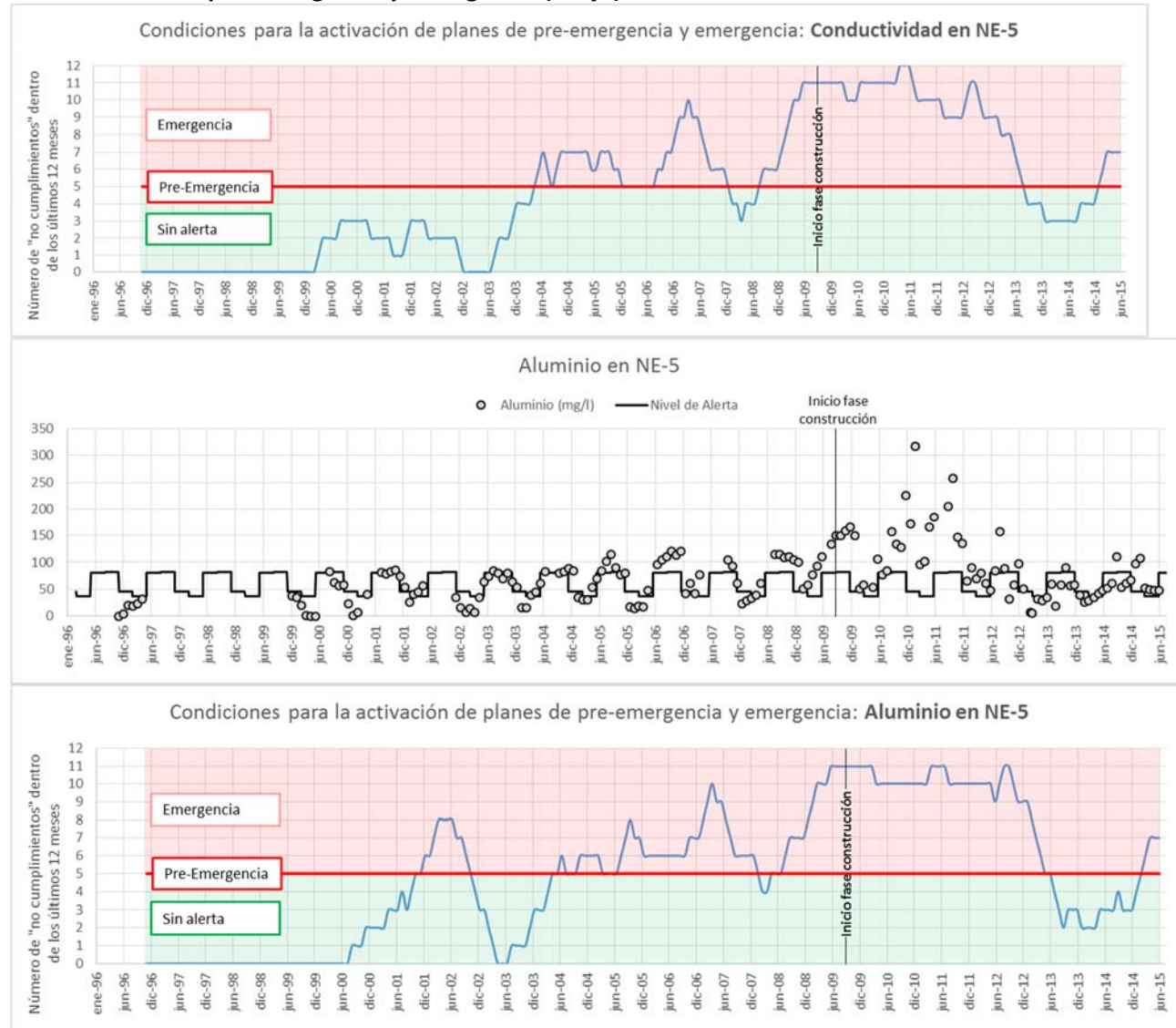
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 2. Evolución de la Conductividad Eléctrica en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



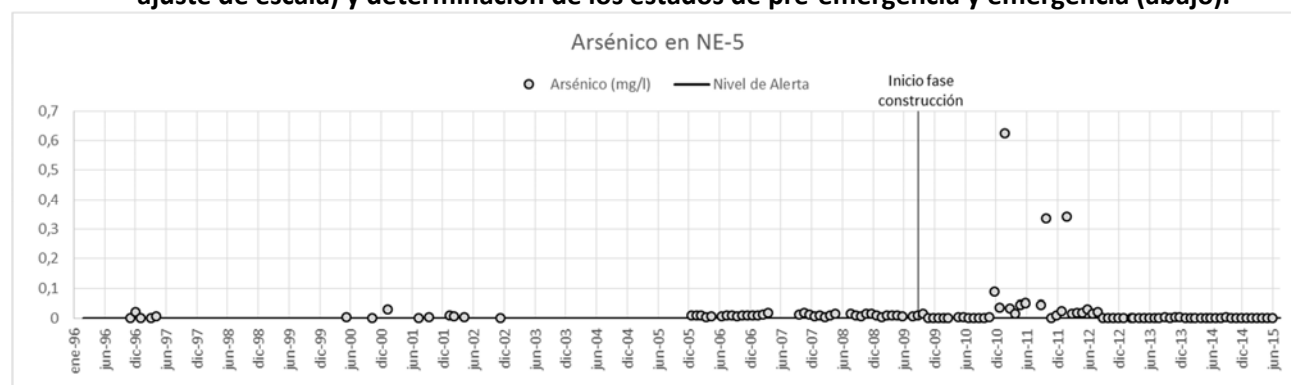
Fuente: Elaboración propia SMA.

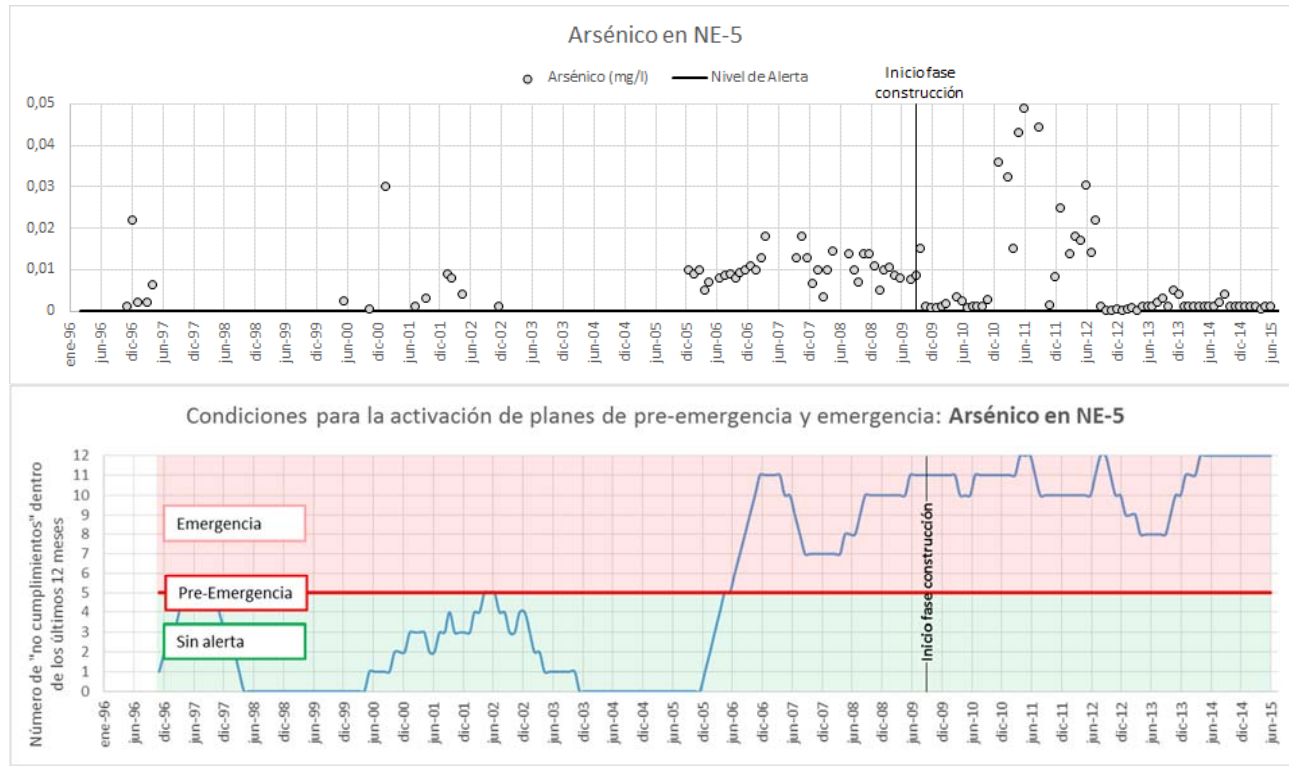
Figura 3. Evolución del Aluminio en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

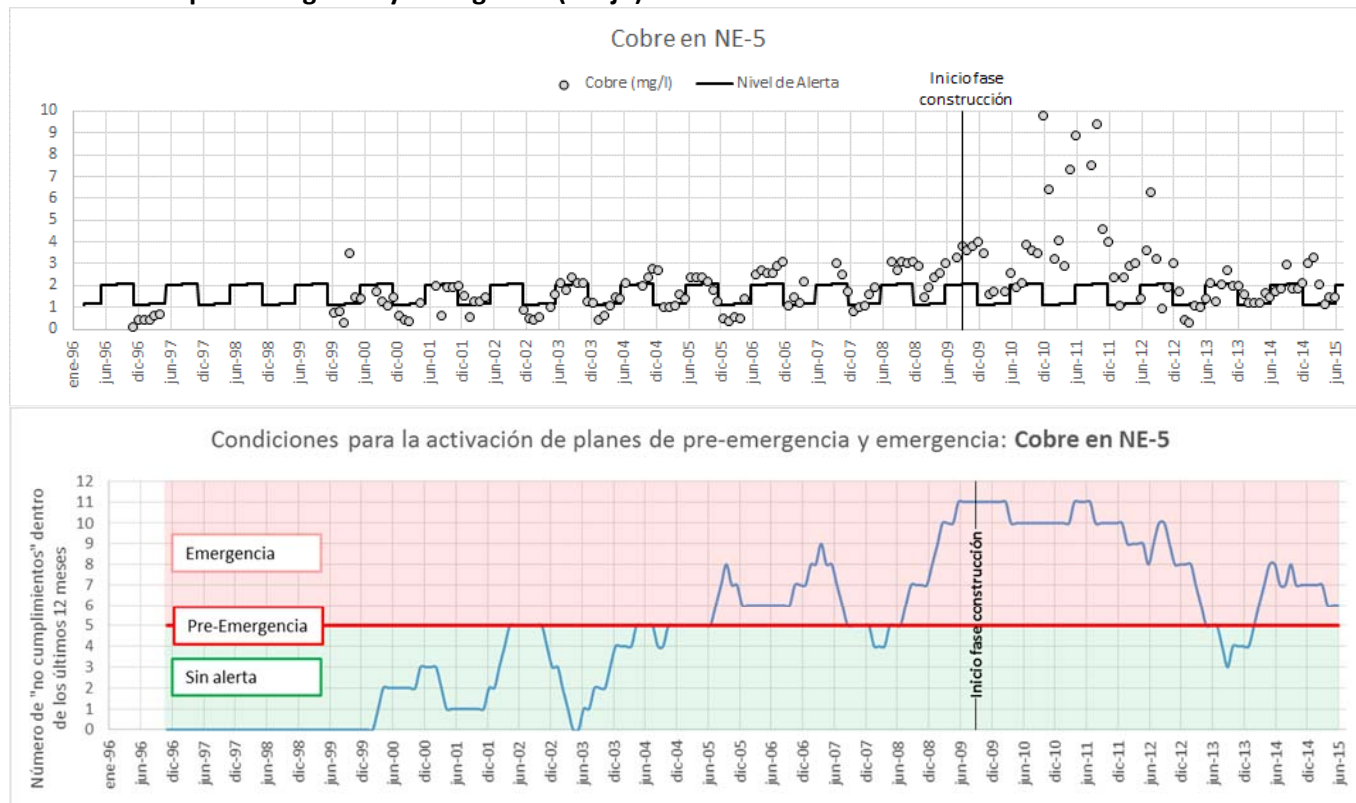
Figura 4. Evolución del Arsénico en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba, y al centro con ajuste de escala) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





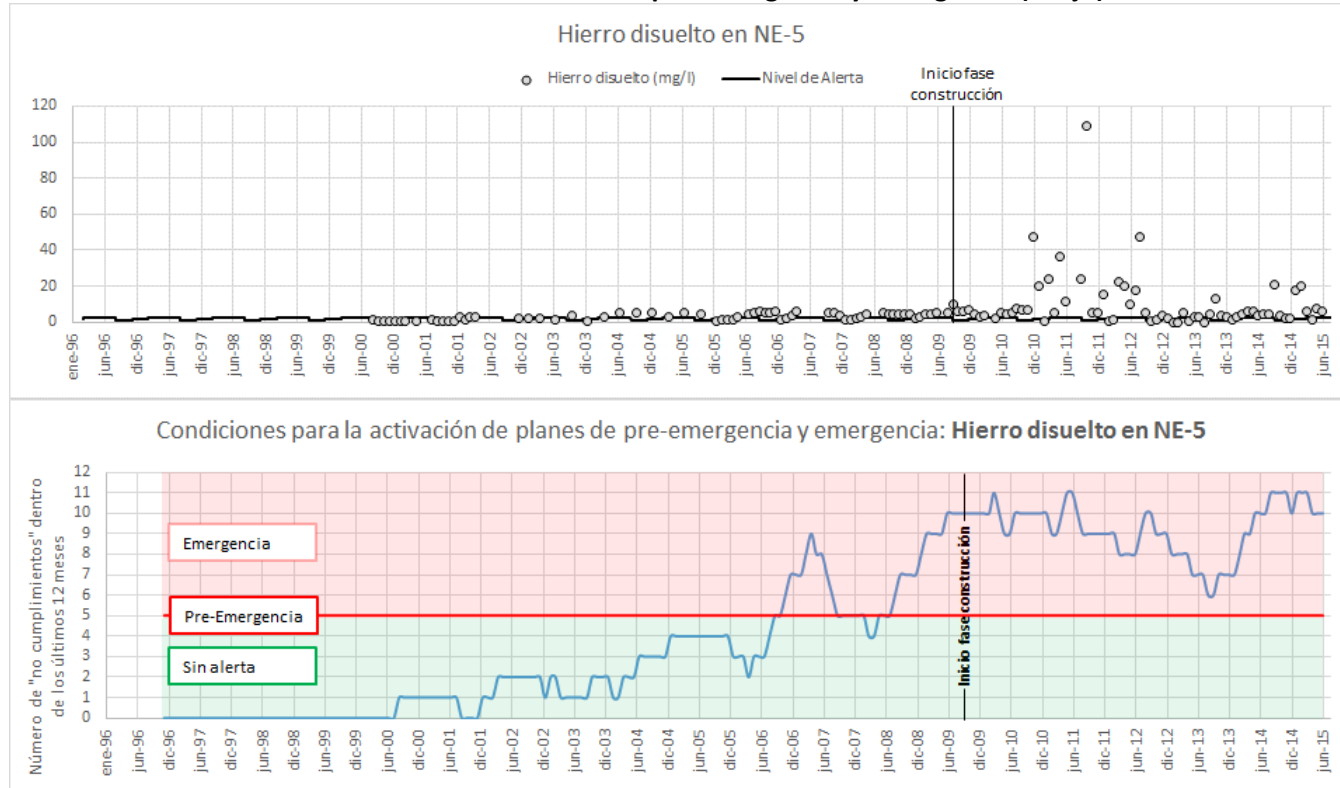
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 5. Evolución del Cobre en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



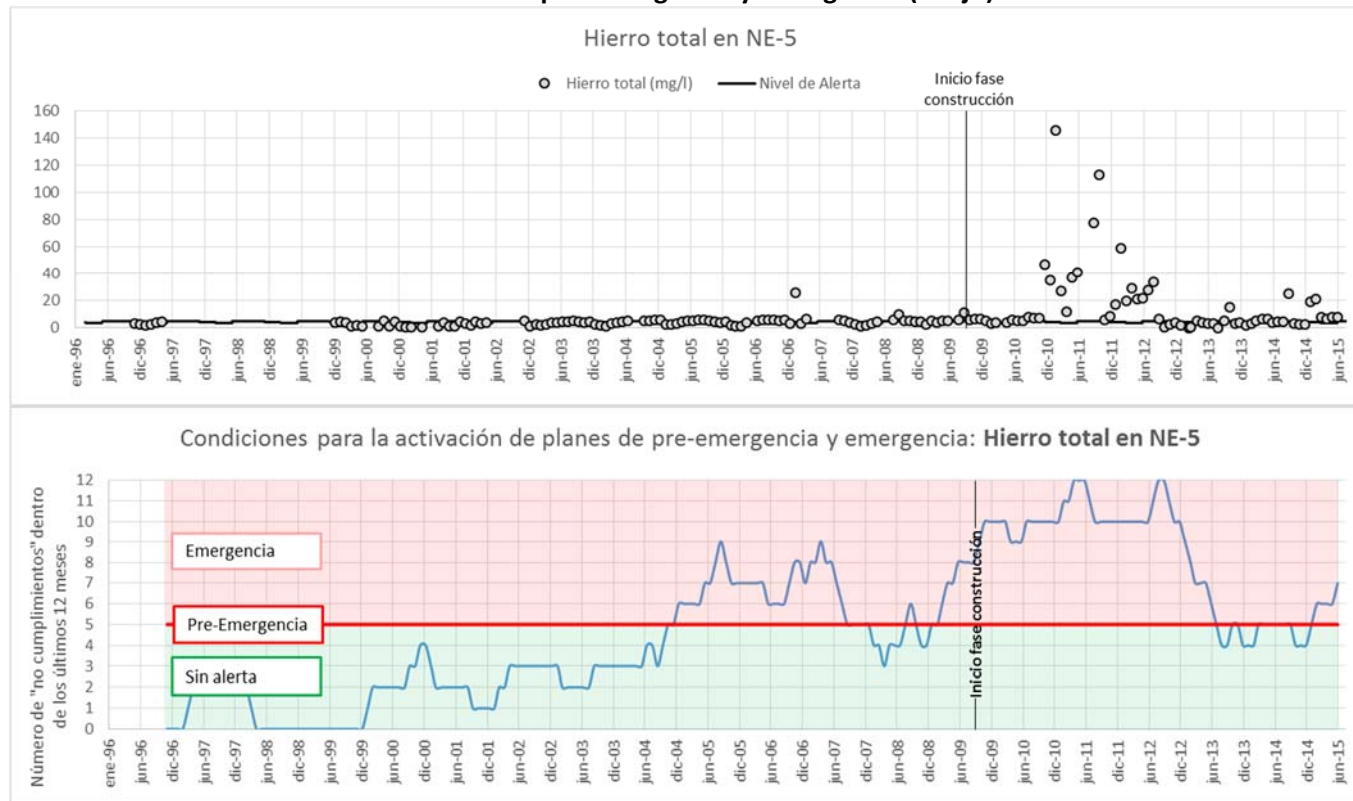
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 6. Evolución del Hierro Disuelto en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



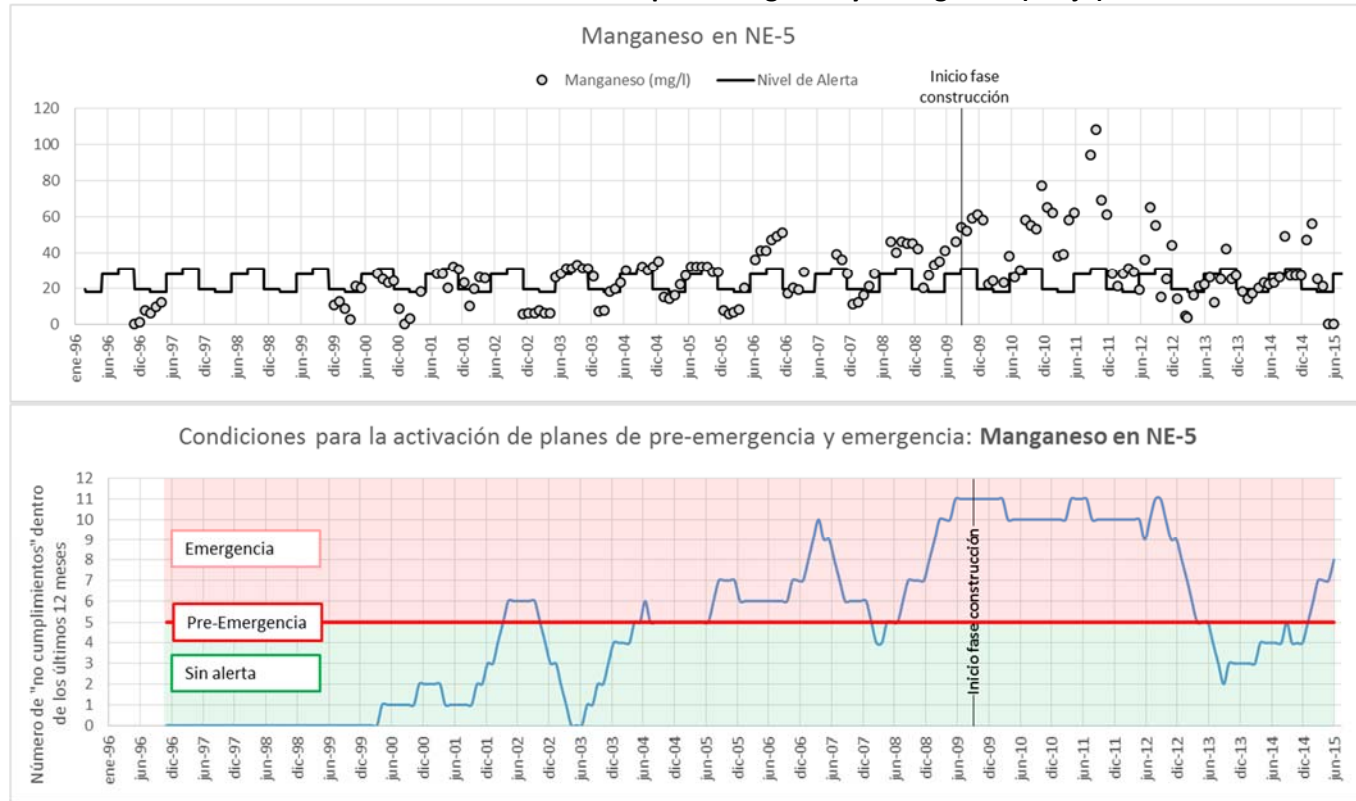
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 7. Evolución del Hierro en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



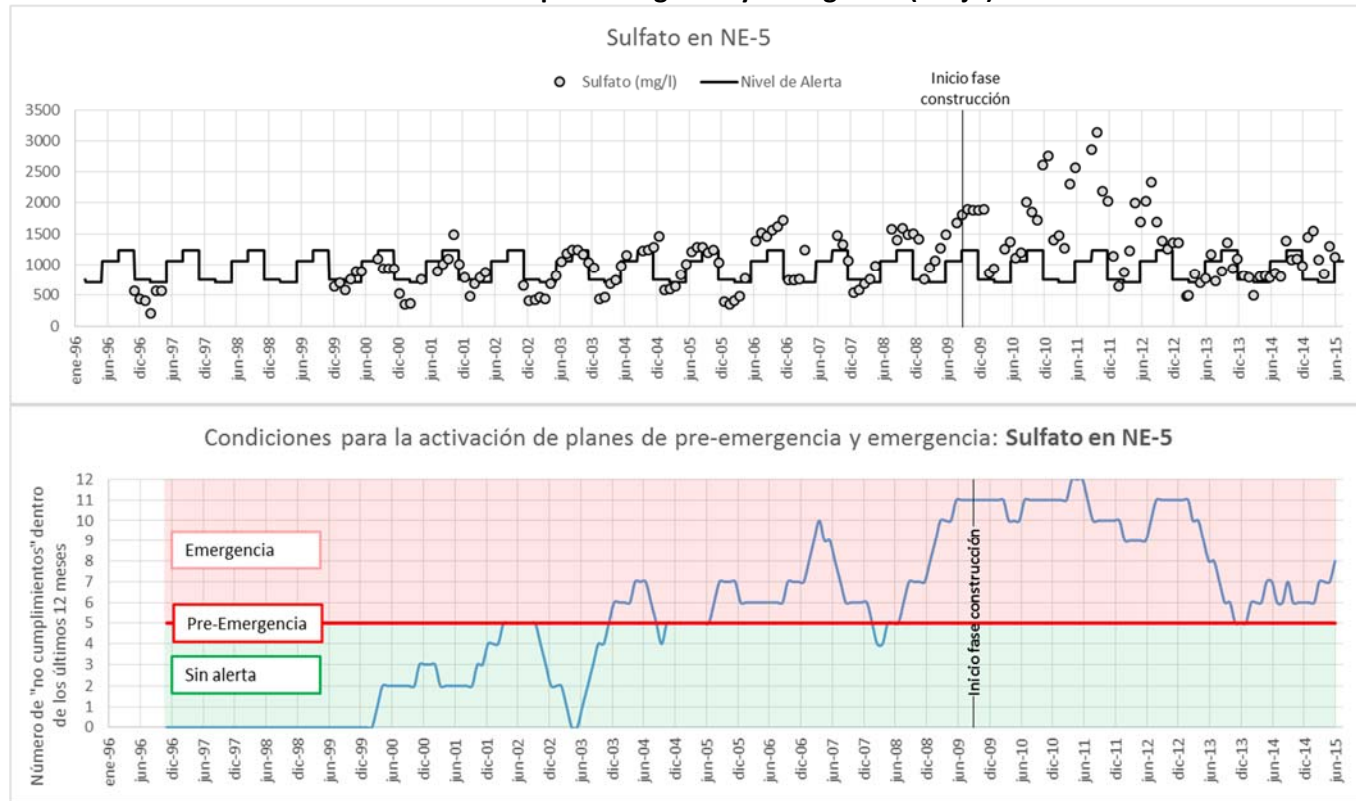
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 8. Evolución del Manganeso en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



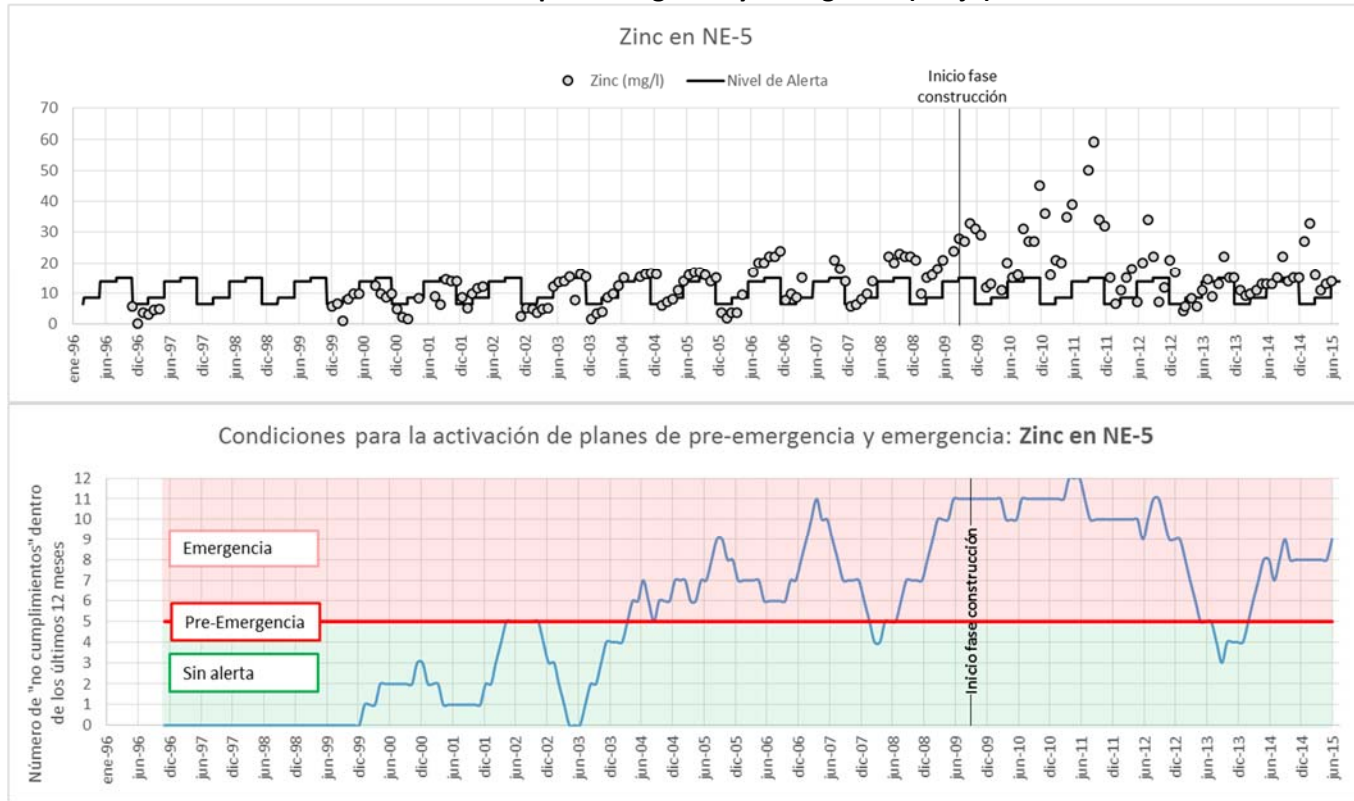
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 9. Evolución del Sulfato en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

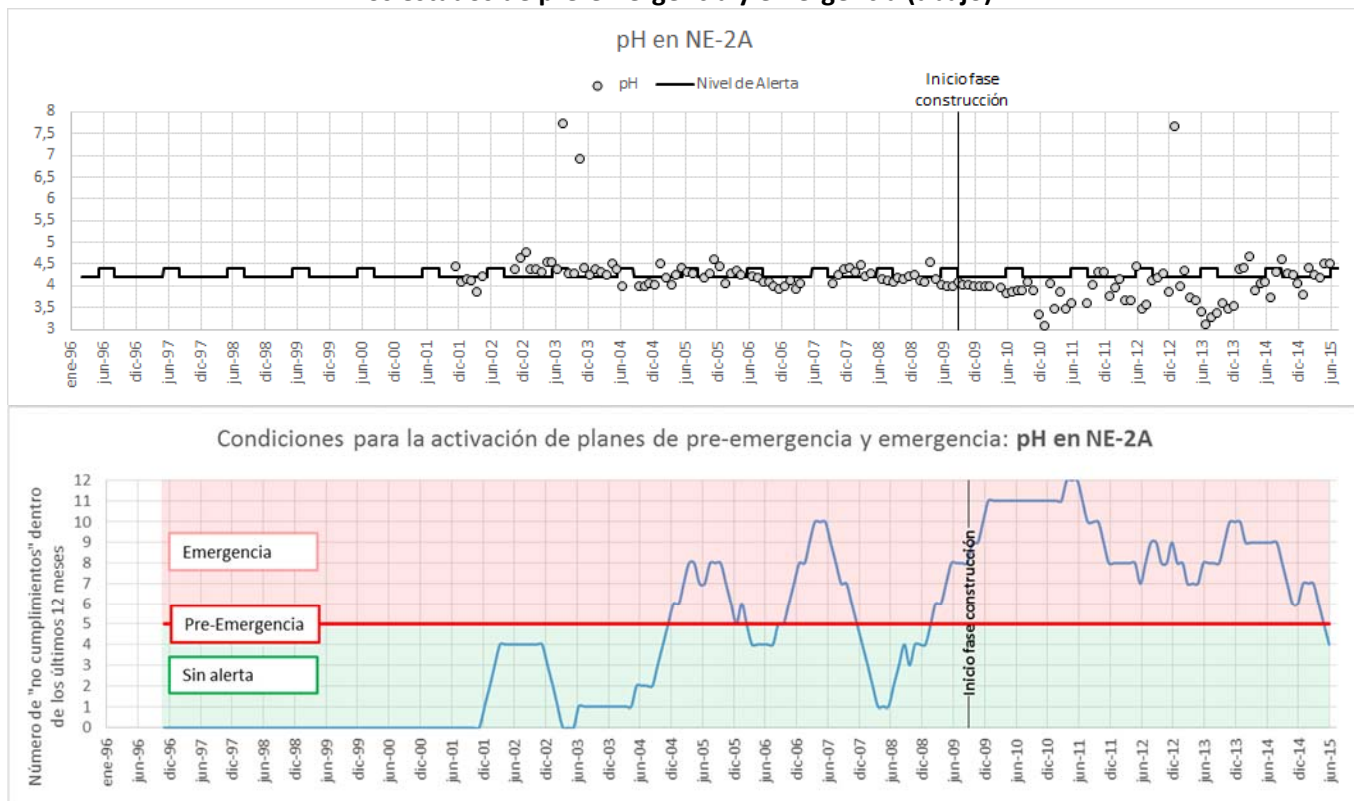
Figura 10. Evolución del Zinc en NE-5 junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

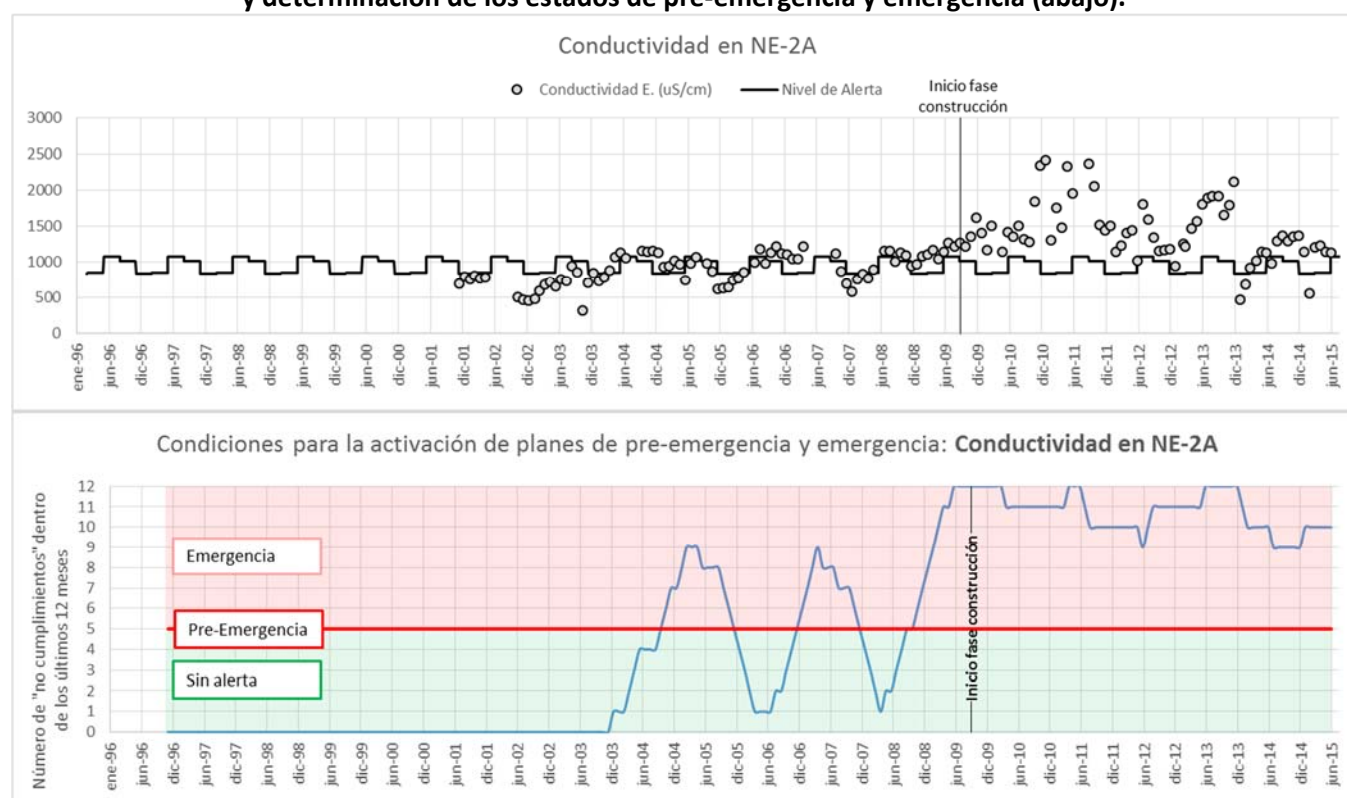
2. Evolución de parámetros DAR en estación NE-2^a

Figura 11. Evolución del pH en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



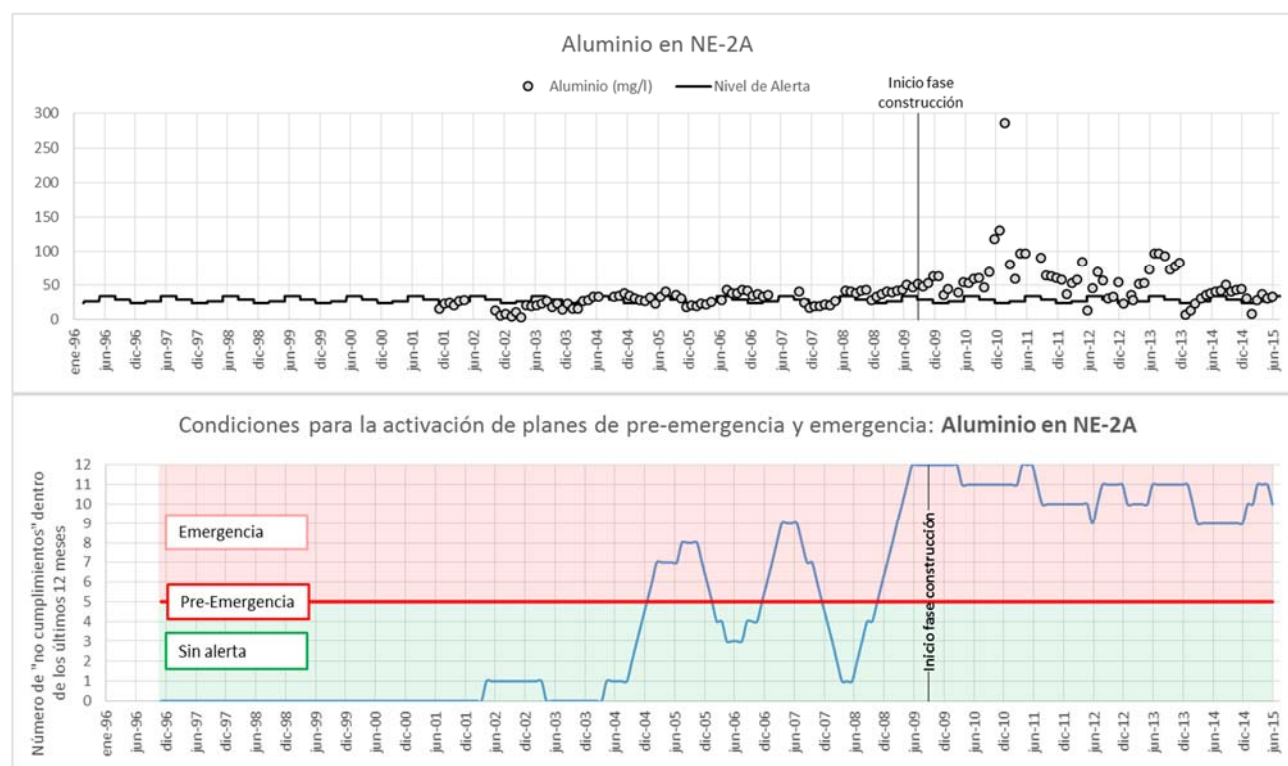
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 12. Evolución de la Conductividad Eléctrica en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



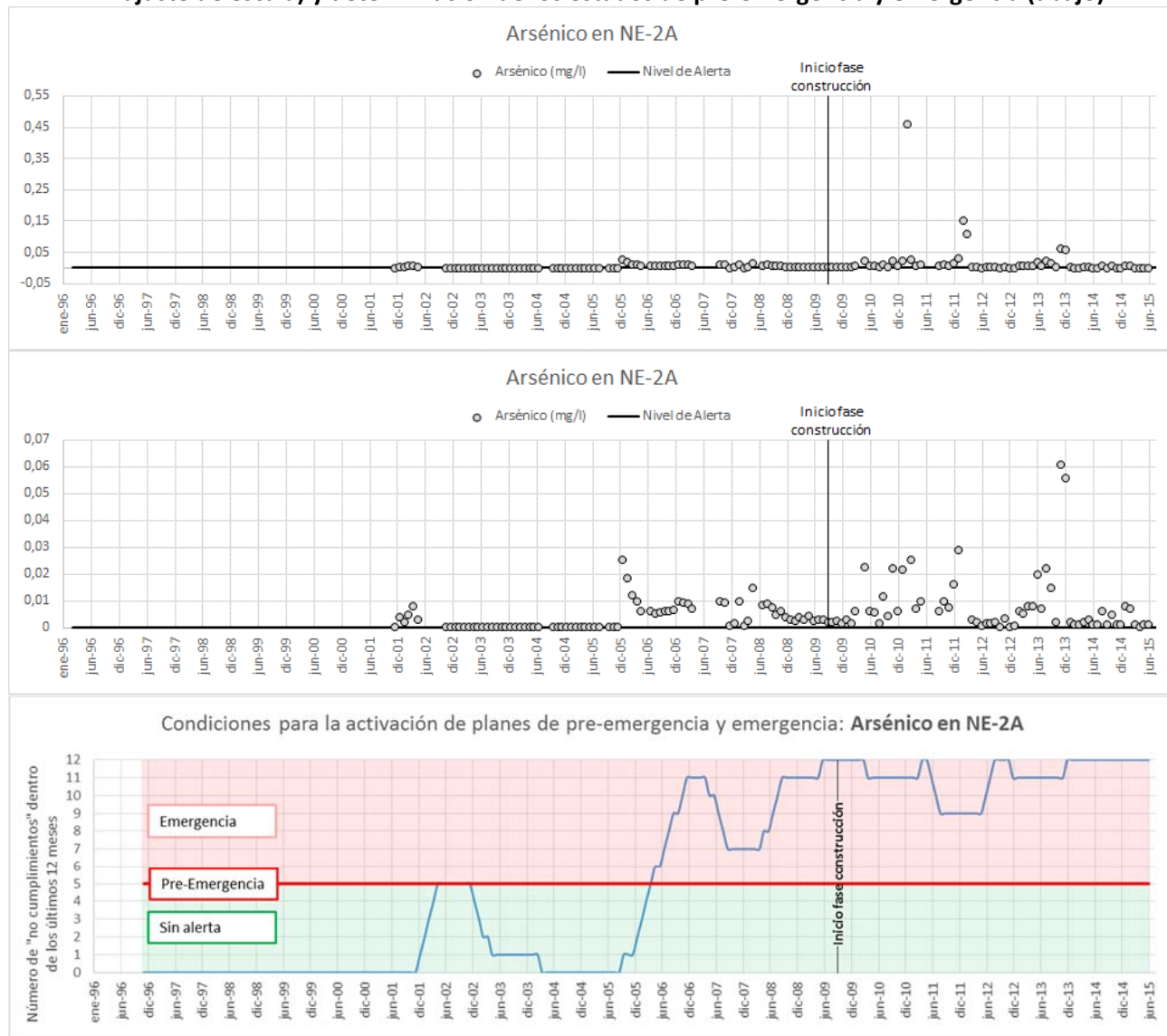
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 13. Evolución del Aluminio en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



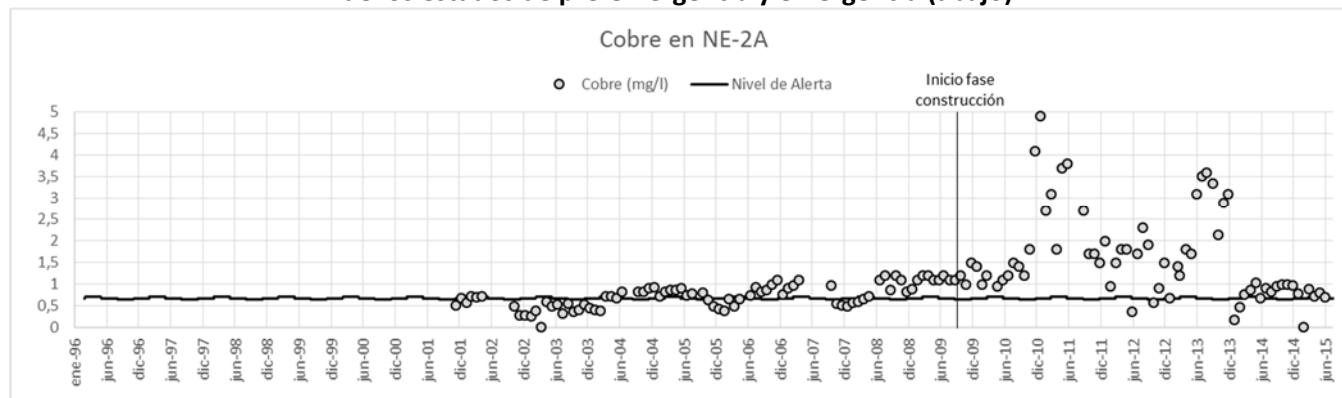
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 14. Evolución del Arsénico en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba, y al centro con ajuste de escala) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

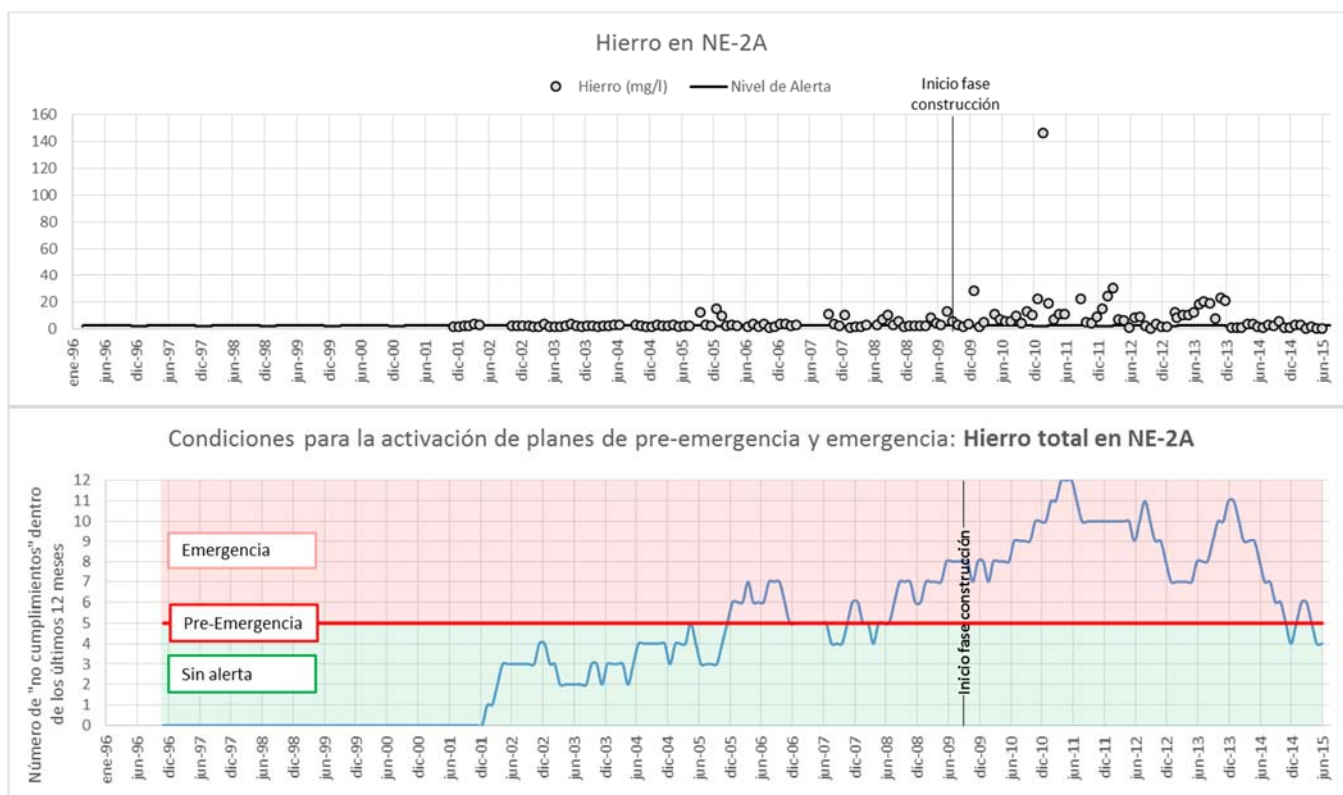
Figura 15. Evolución del Cobre en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





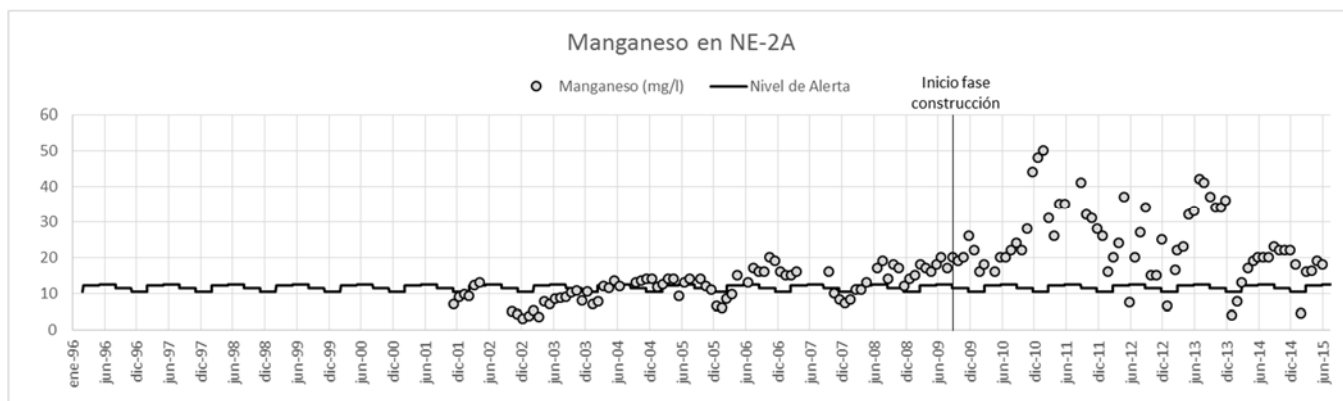
Fuente: Elaboración propia SMA.

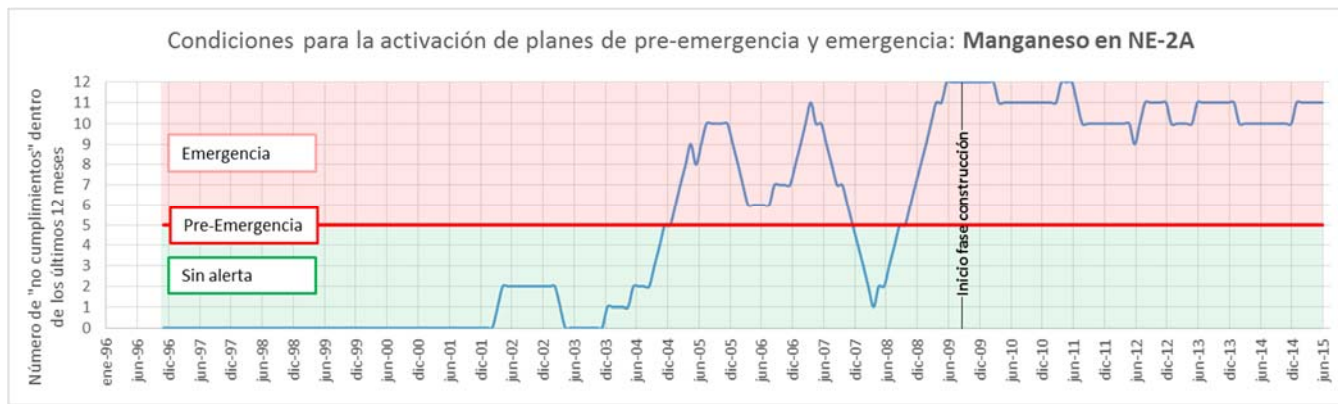
Figura 16. Evolución del Hierro en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

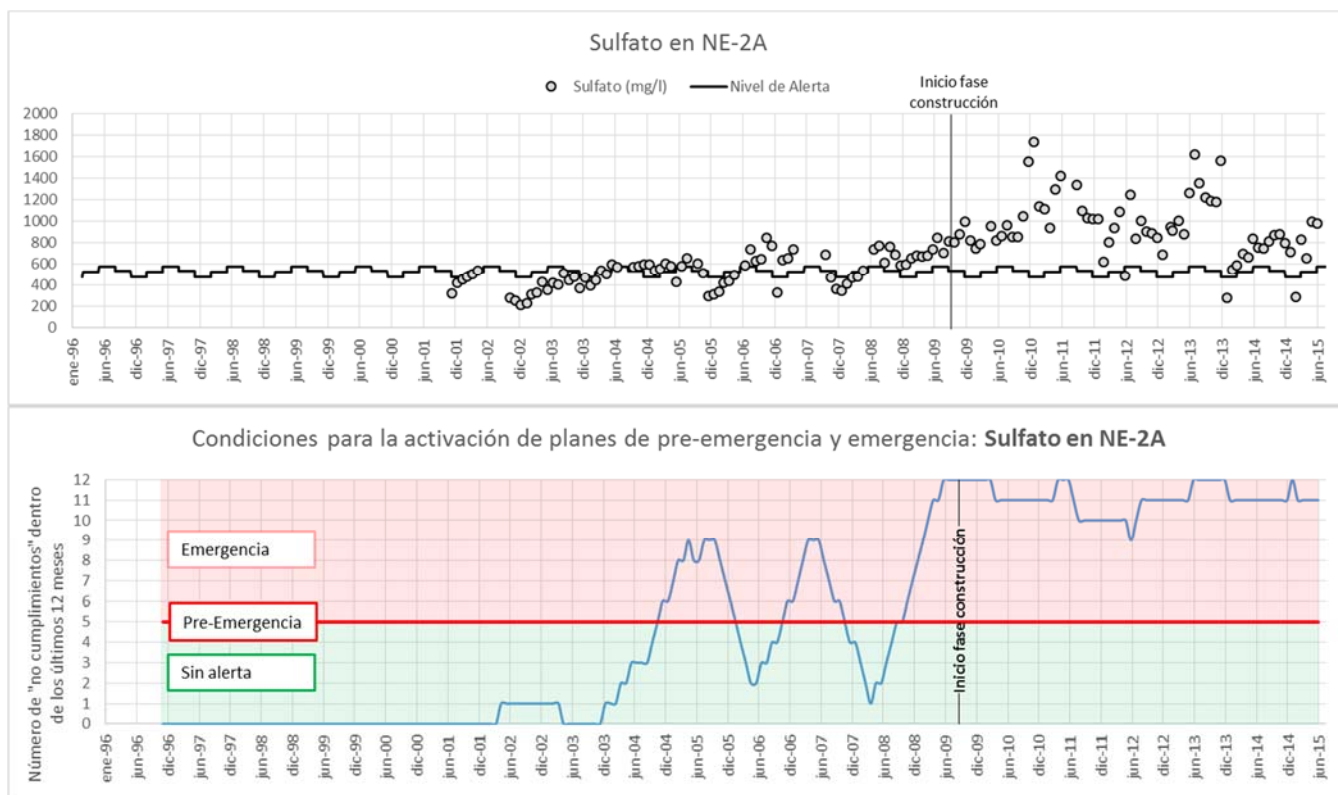
Figura 17. Evolución del Manganeso en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





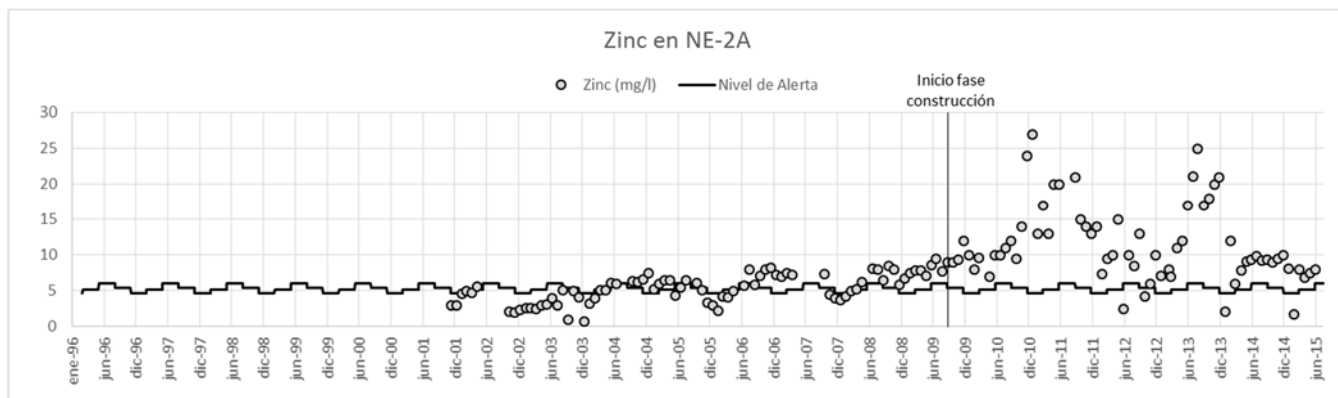
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 18. Evolución del Sulfato en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 19. Evolución del Zinc en NE-2A junto con los respectivos Niveles de Alerta (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).

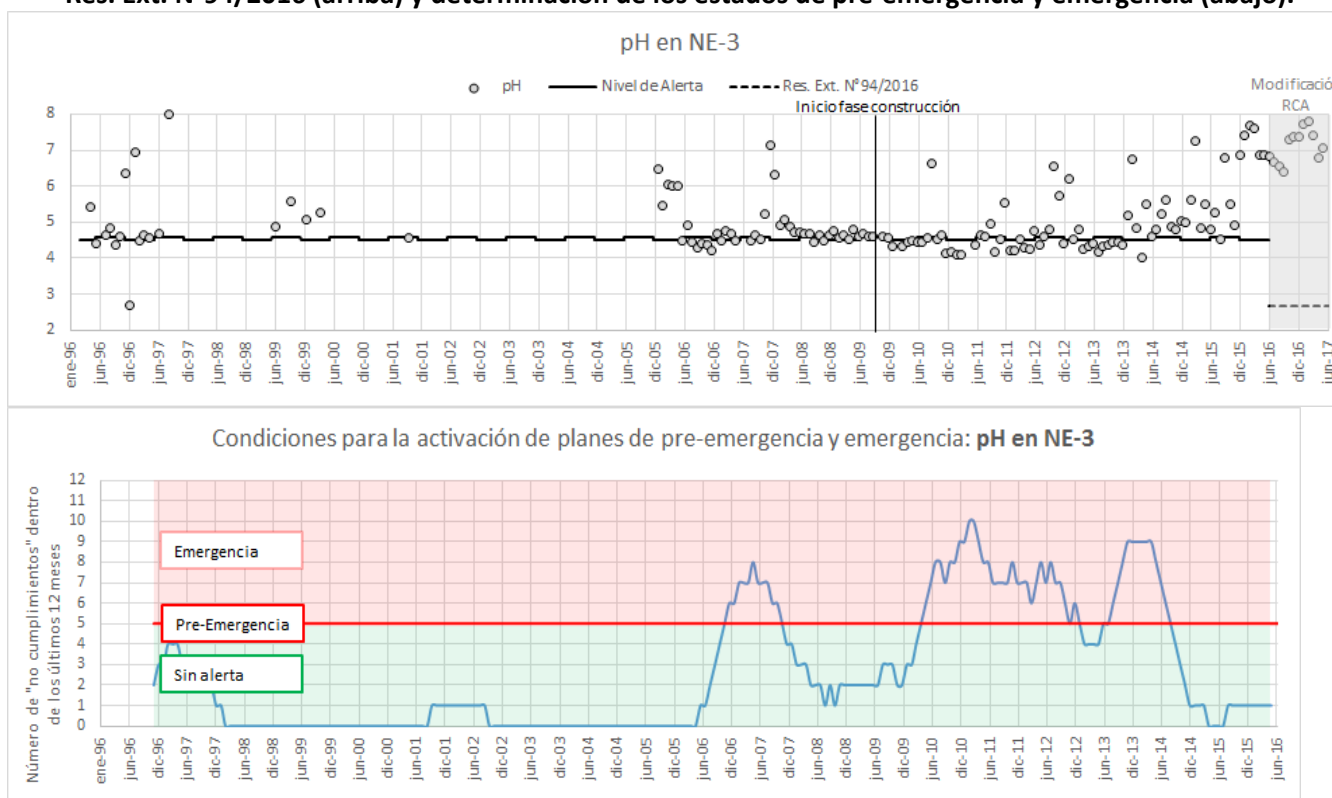




Fuente: Elaboración propia SMA.

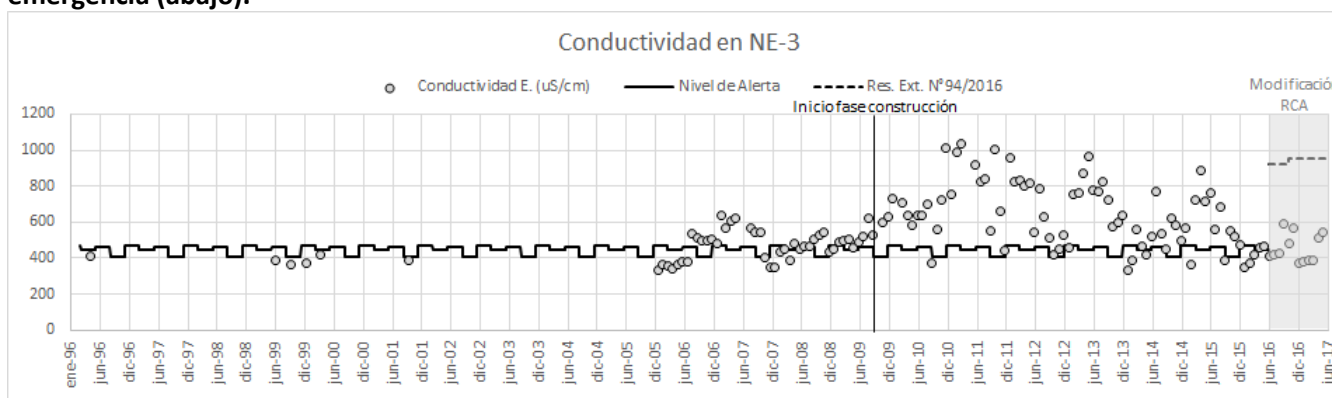
3. Evolución de parámetros DAR en estación NE-3

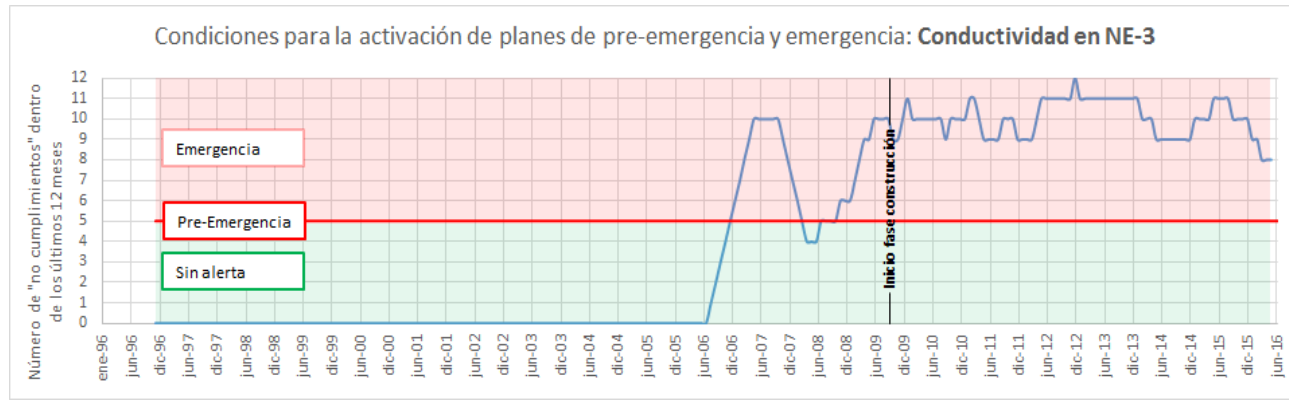
Figura 20. Evolución del pH en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

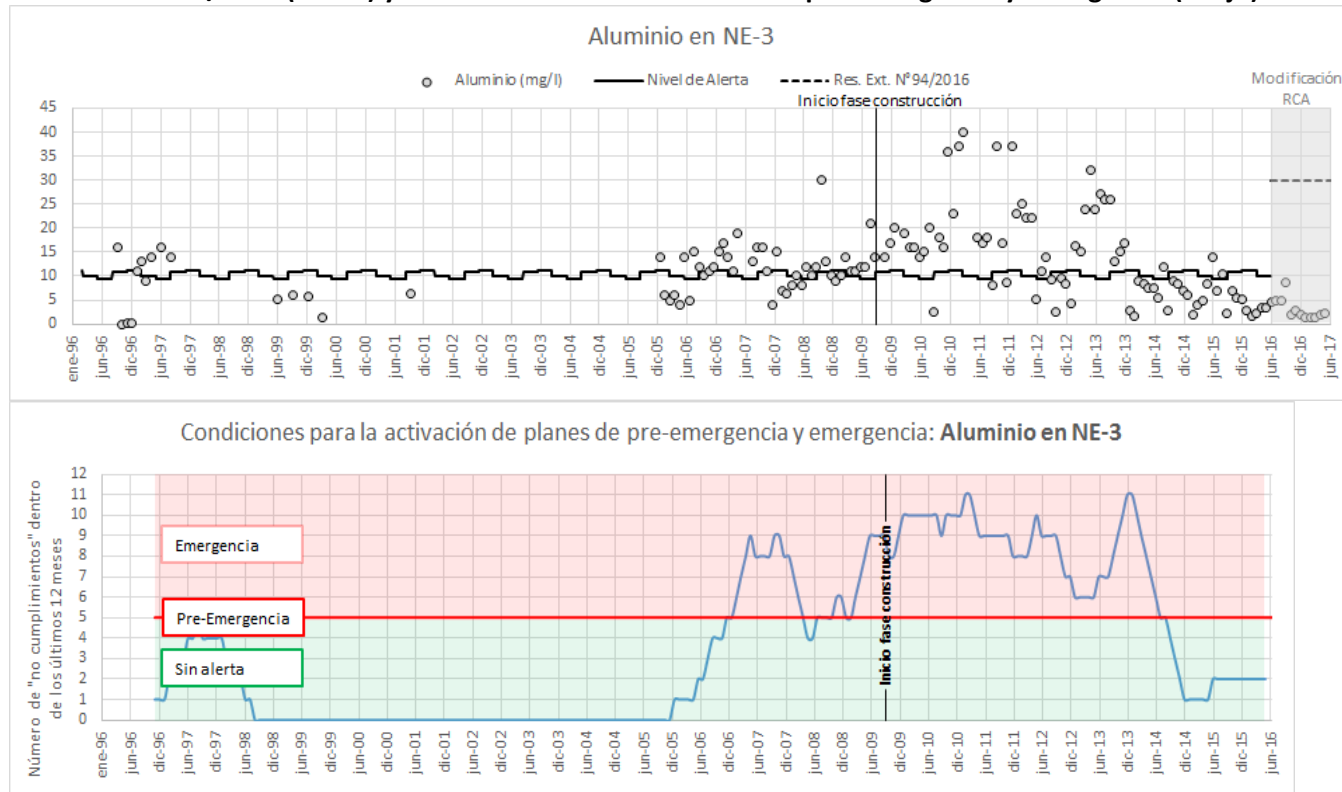
Figura 21. Evolución de la Conductividad Eléctrica en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





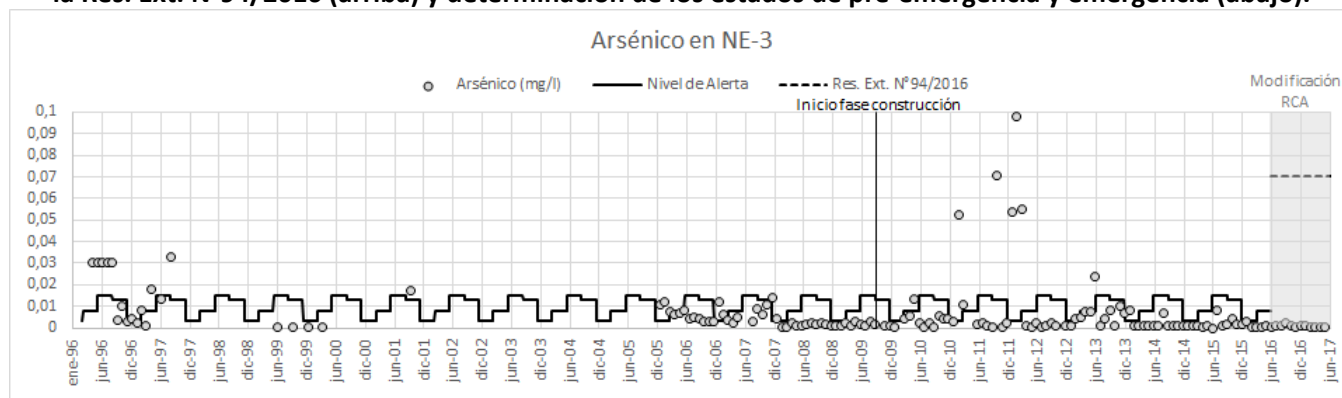
Fuente: Elaboración propia SMA.

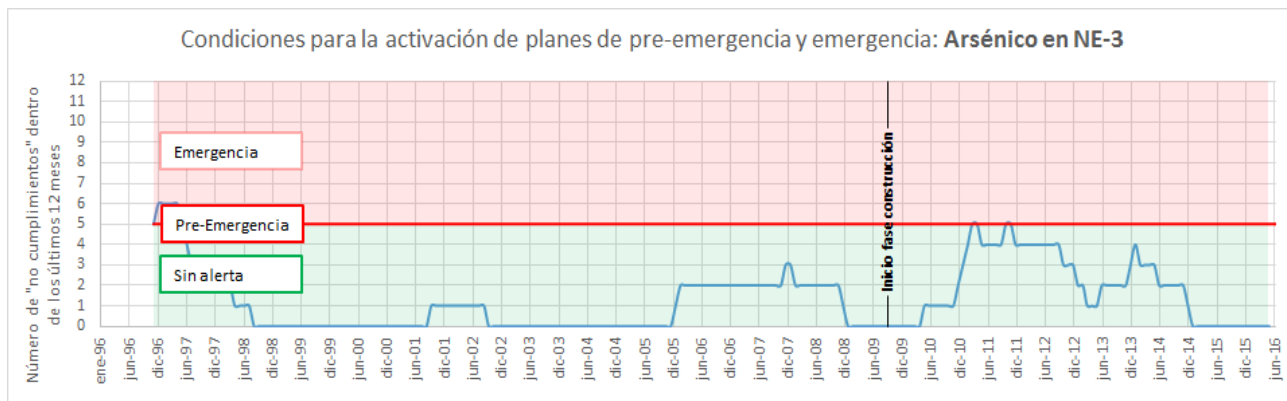
Figura 22. Evolución del Aluminio en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

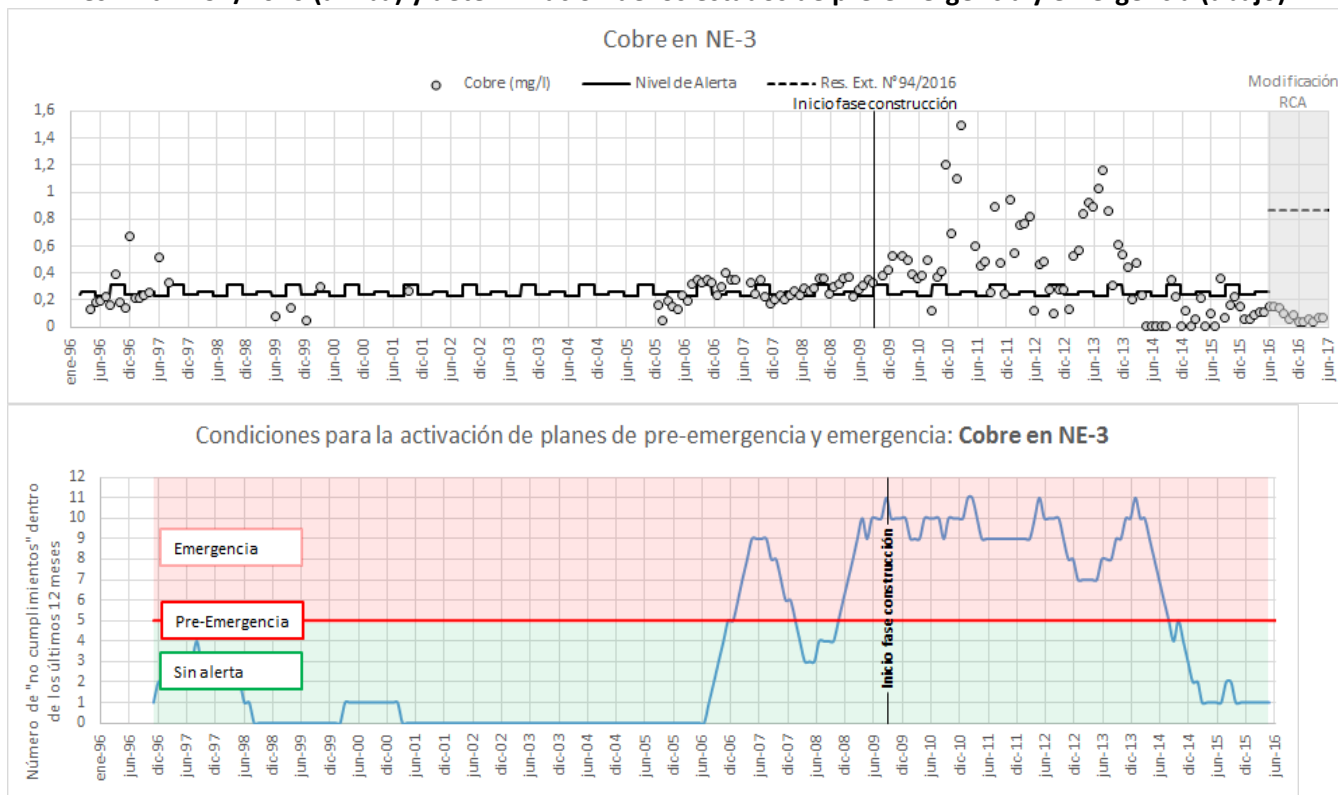
Figura 23. Evolución del Arsénico en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





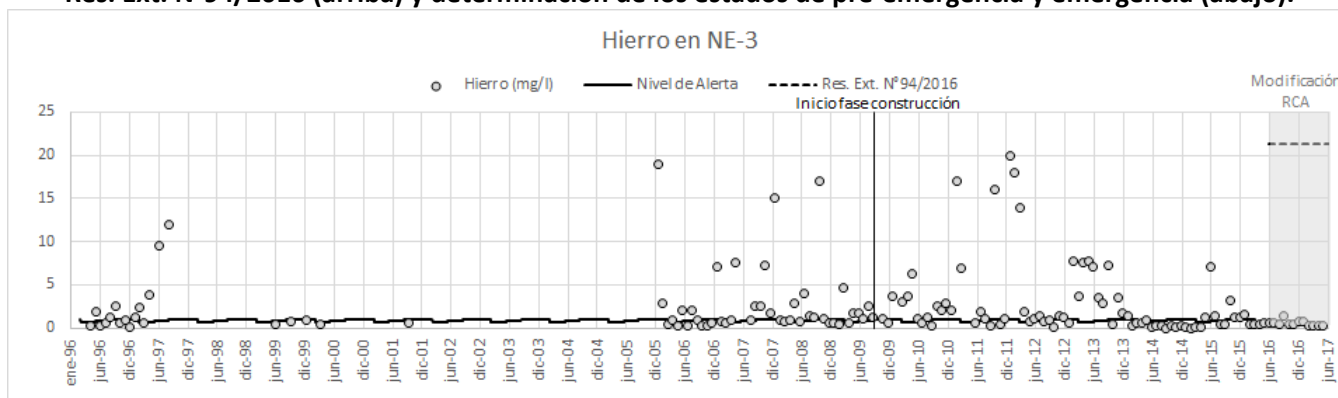
Fuente: Elaboración propia SMA.

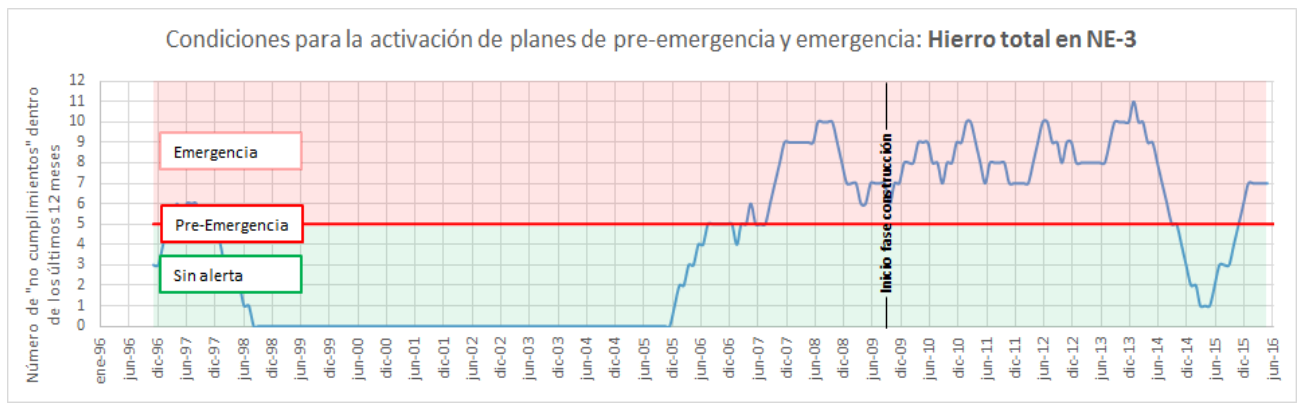
Figura 24. Evolución del Cobre en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

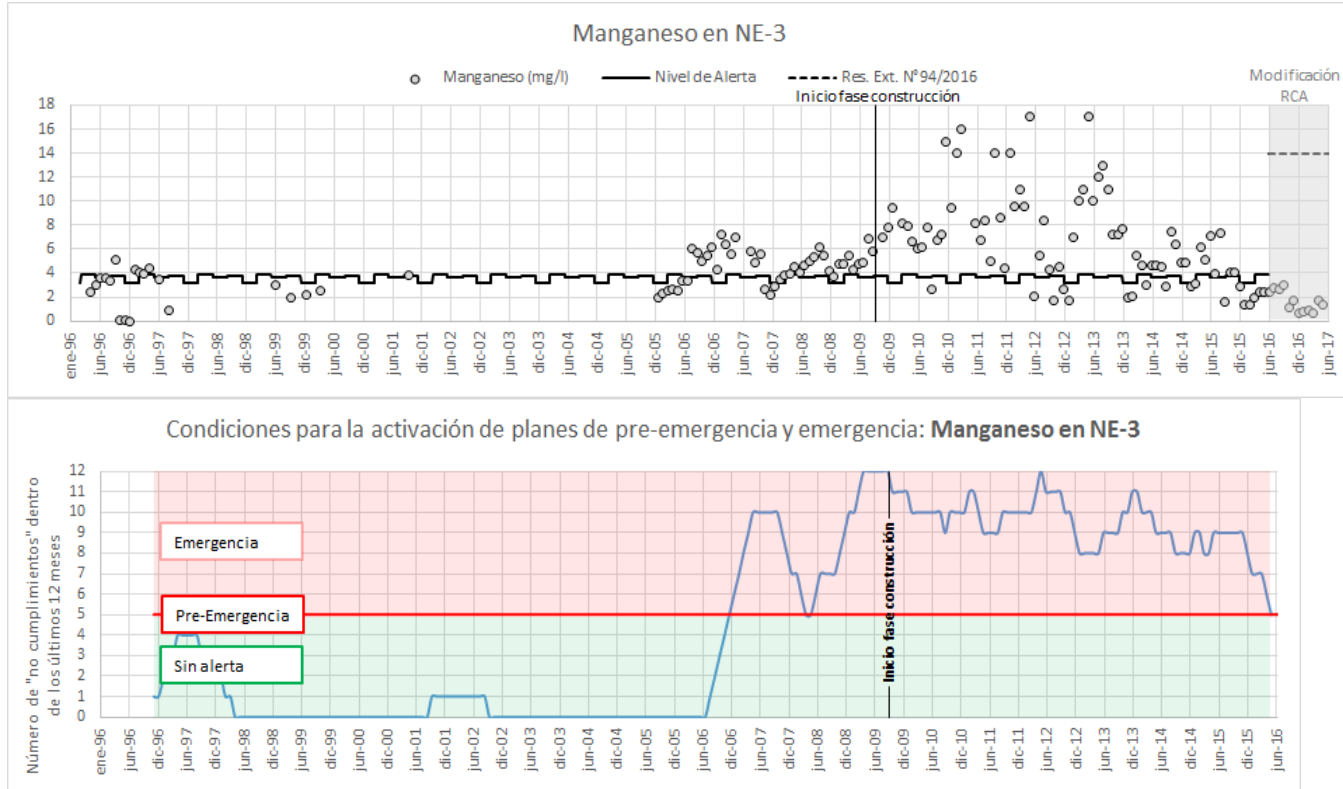
Figura 25. Evolución del Hierro en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





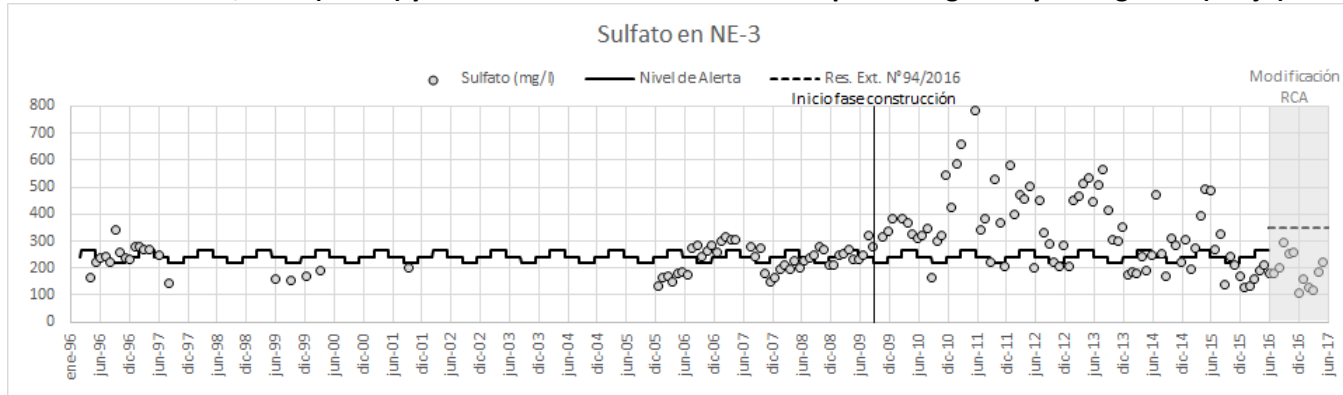
Fuente: Elaboración propia SMA.

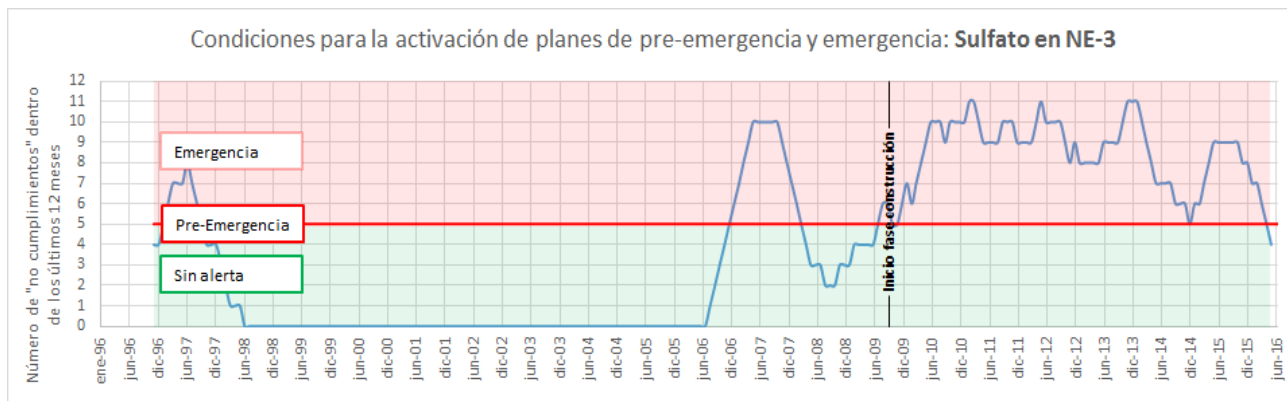
Figura 26. Evolución del Manganeso en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

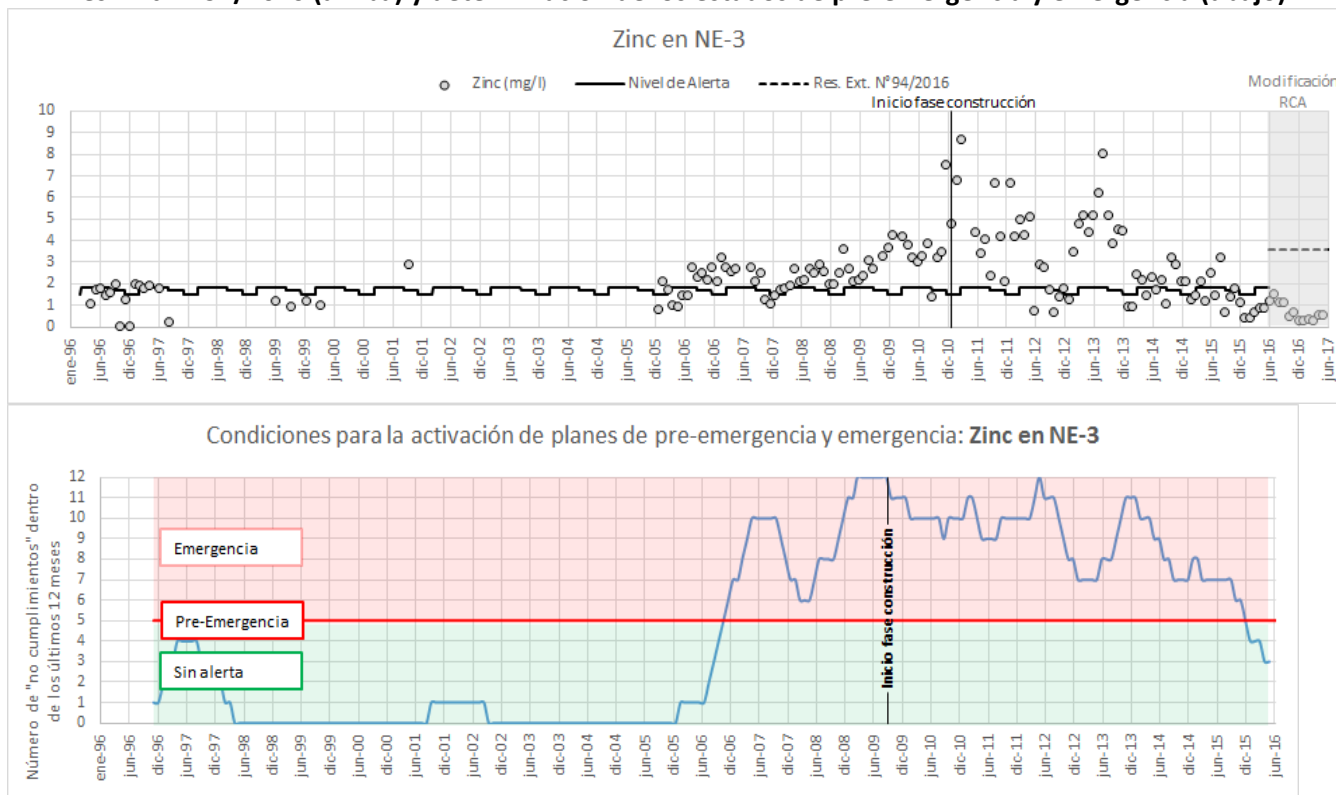
Figura 27. Evolución del Sulfato en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





Fuente: Elaboración propia SMA.

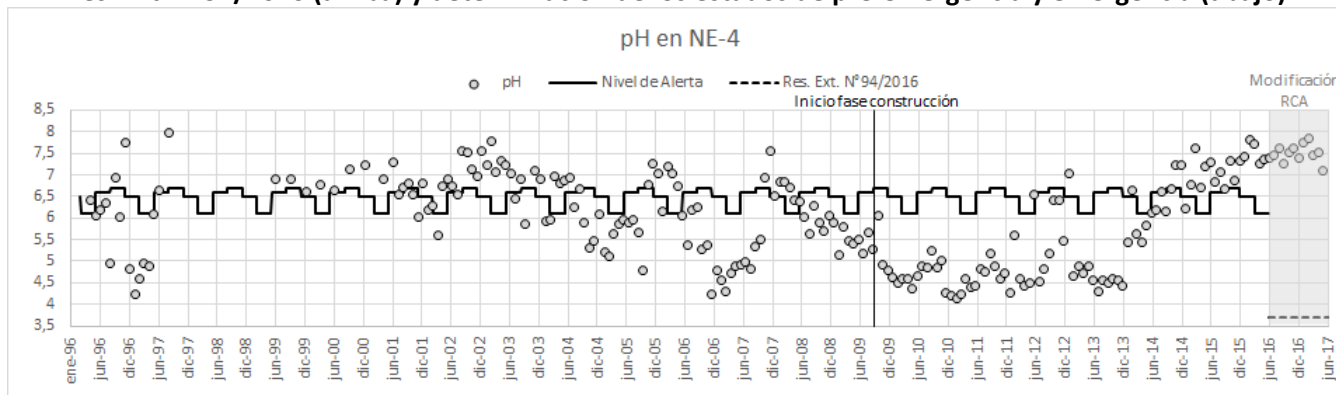
Figura 28. Evolución del Zinc en NE-3 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).

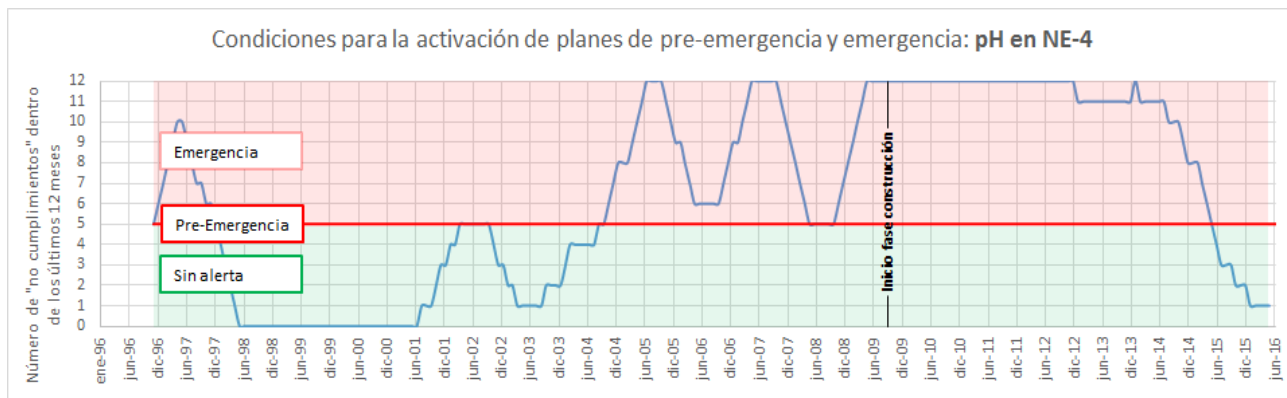


Fuente: Elaboración propia SMA.

4. Evolución de parámetros DAR en estación NE-4

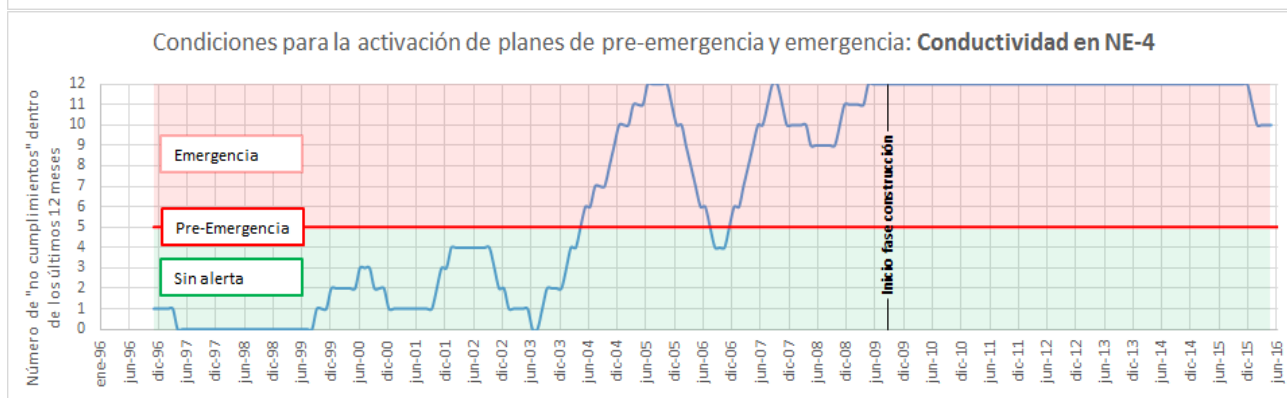
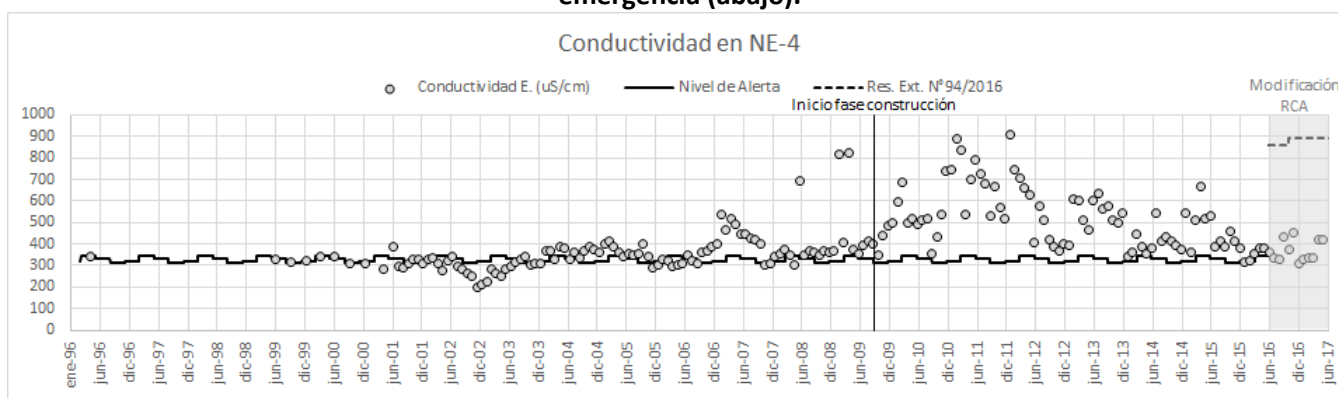
Figura 29. Evolución del pH en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





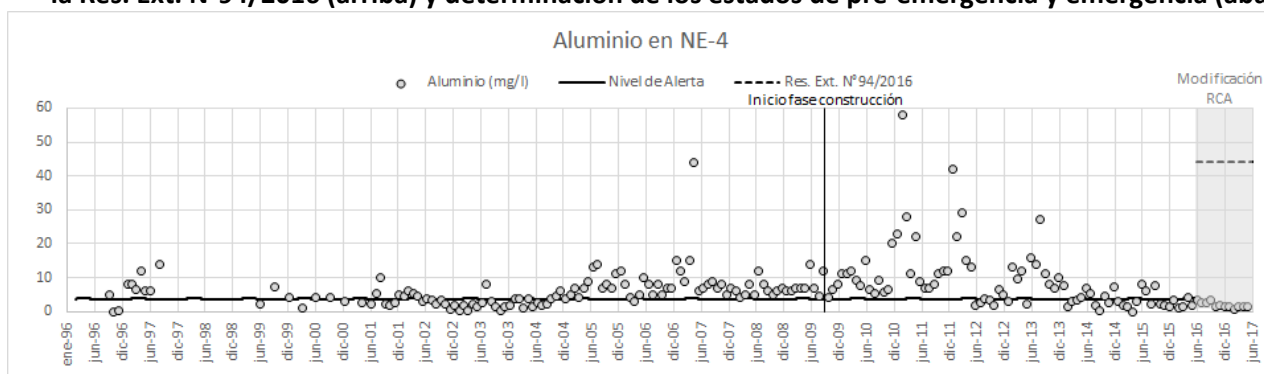
Fuente: Elaboración propia SMA.

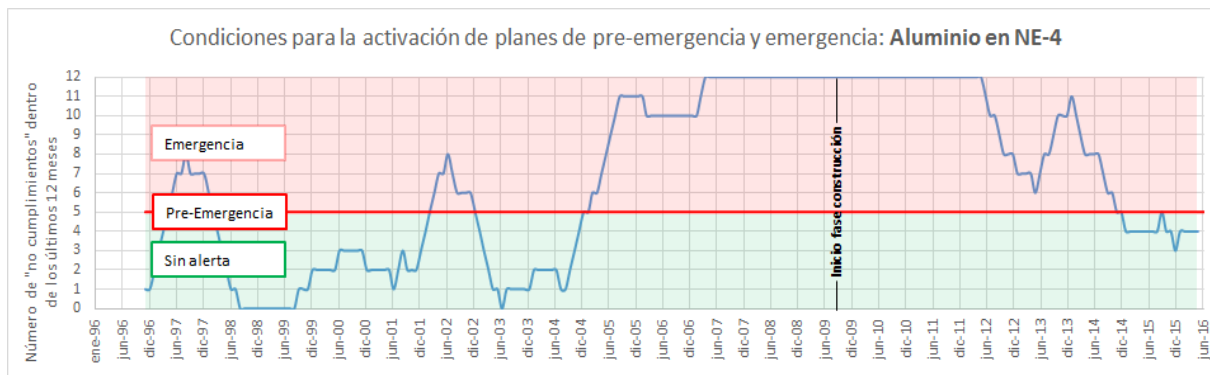
Figura 30. Evolución de la Conductividad Eléctrica en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

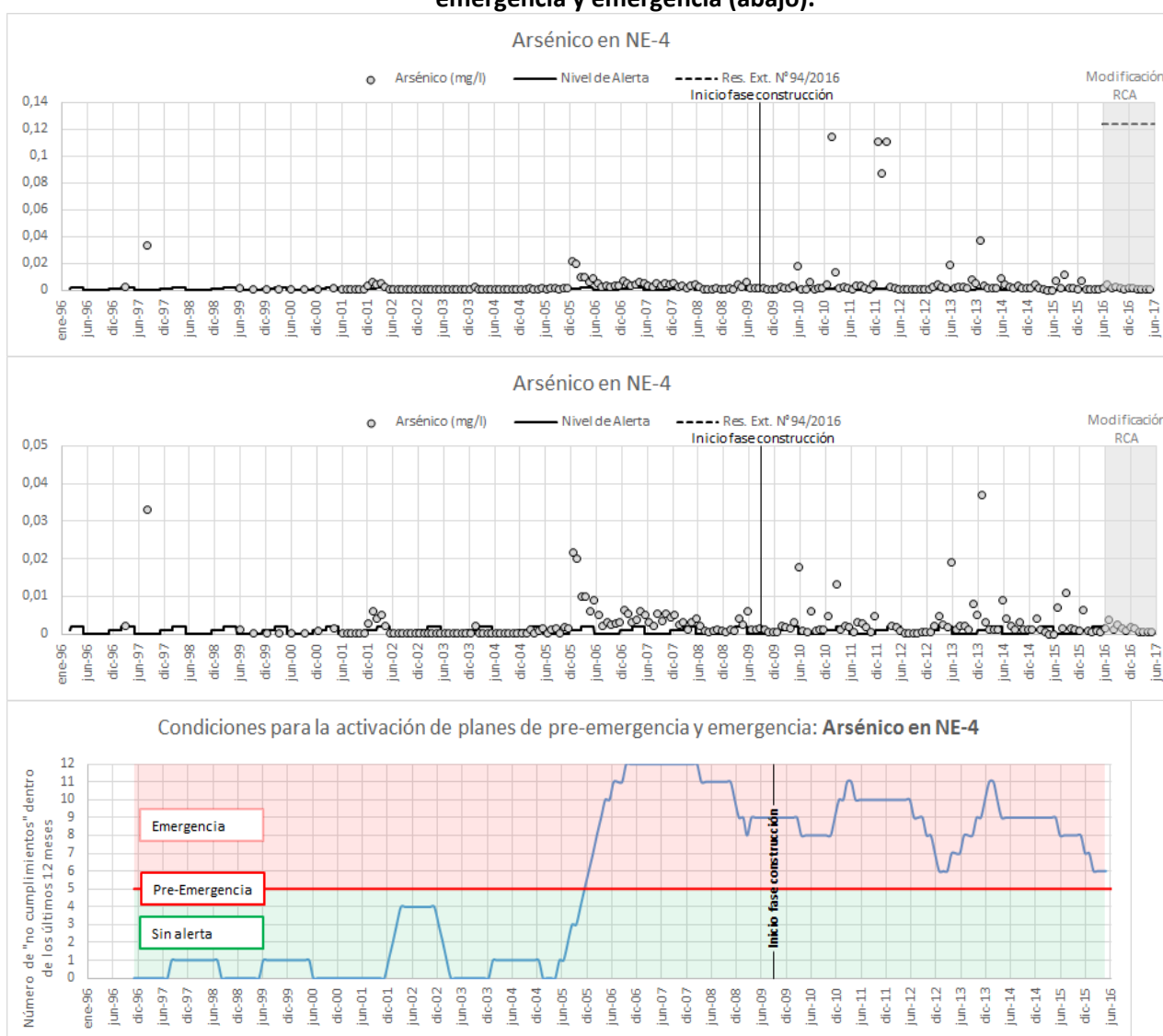
Figura 31. Evolución del Aluminio en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





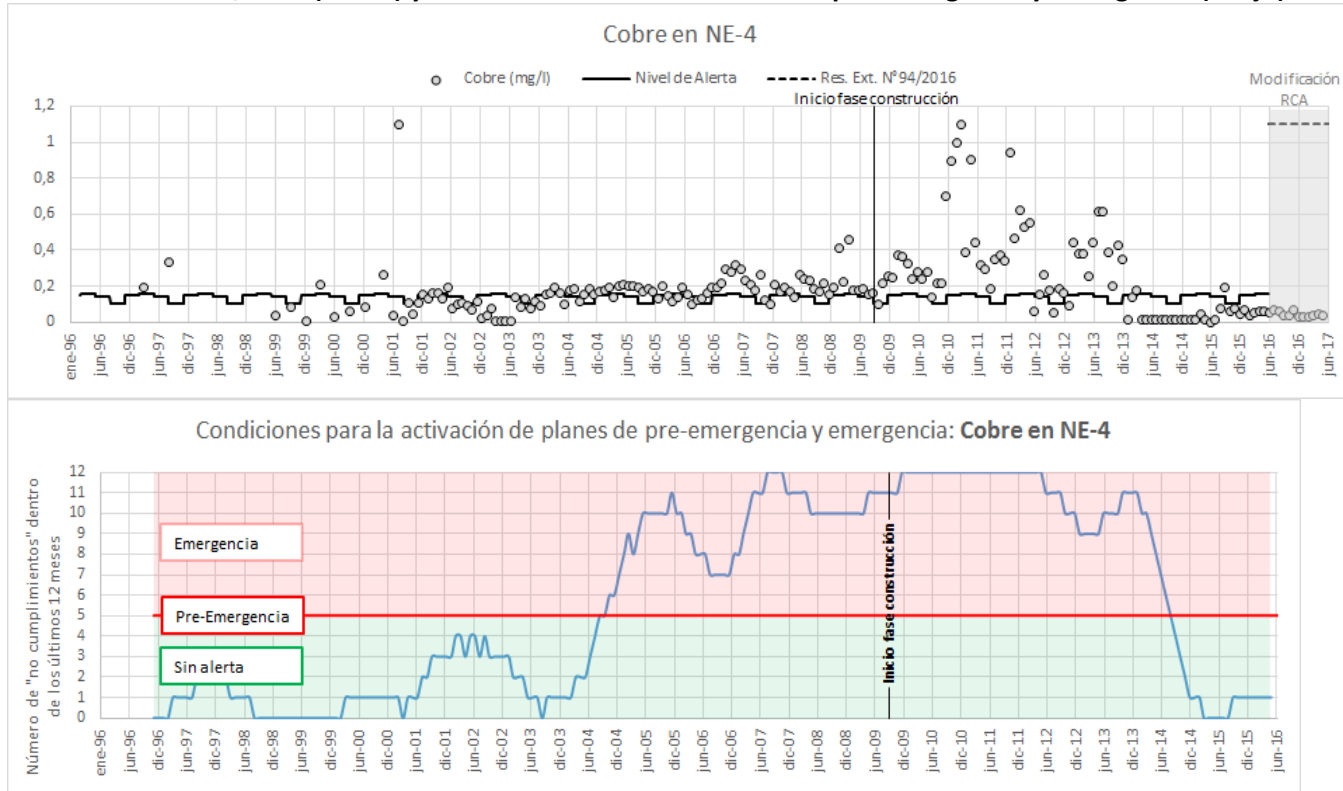
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 32. Evolución del Arsénico en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba, y al centro con ajuste de escala) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



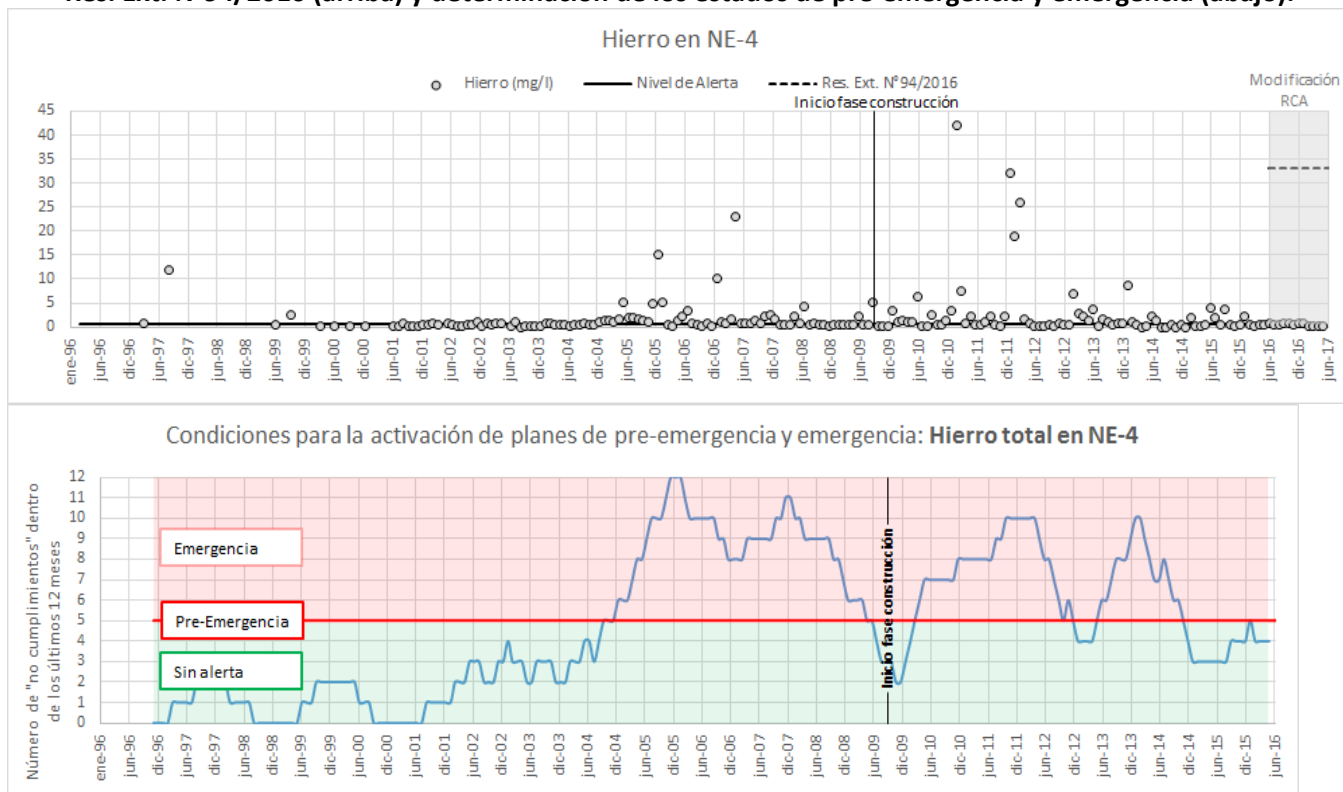
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 33. Evolución del Cobre en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



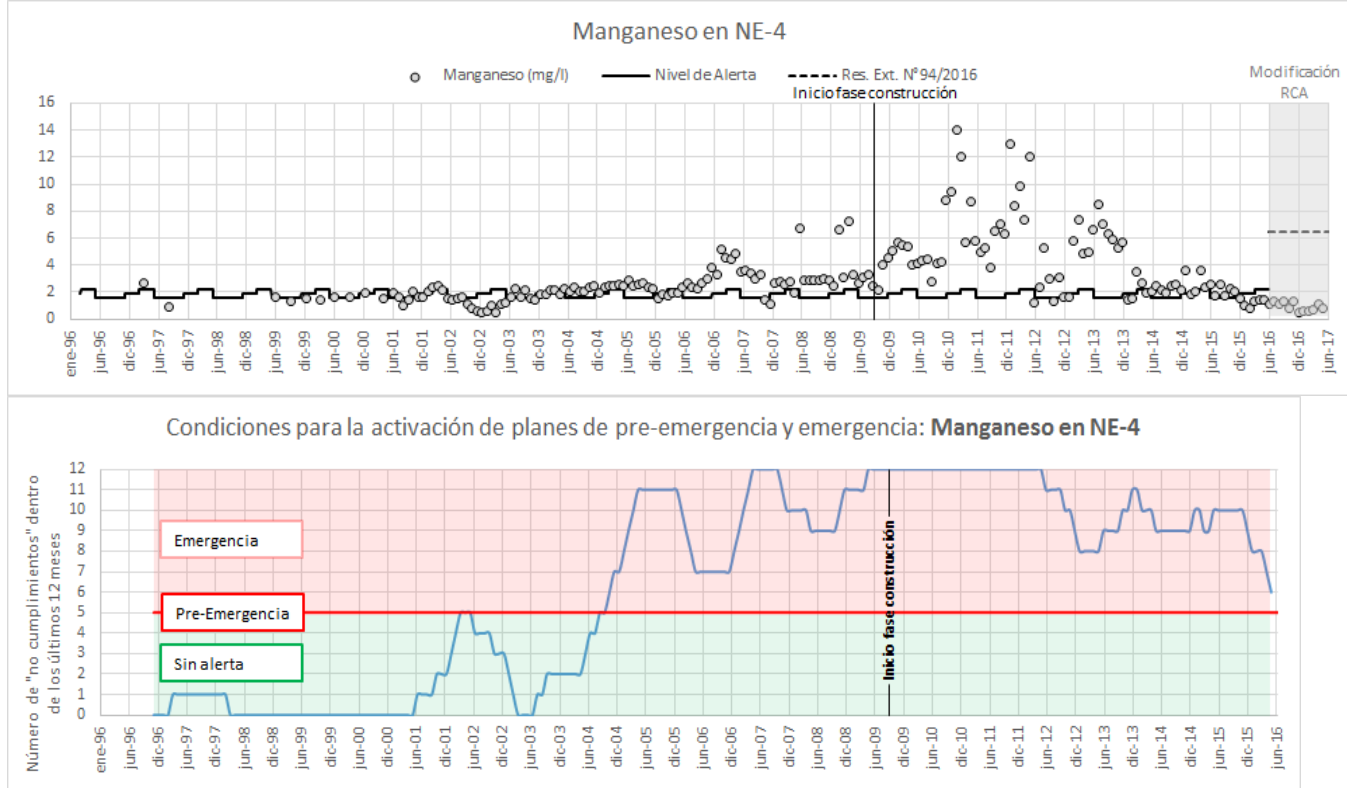
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 34. Evolución del Hierro en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



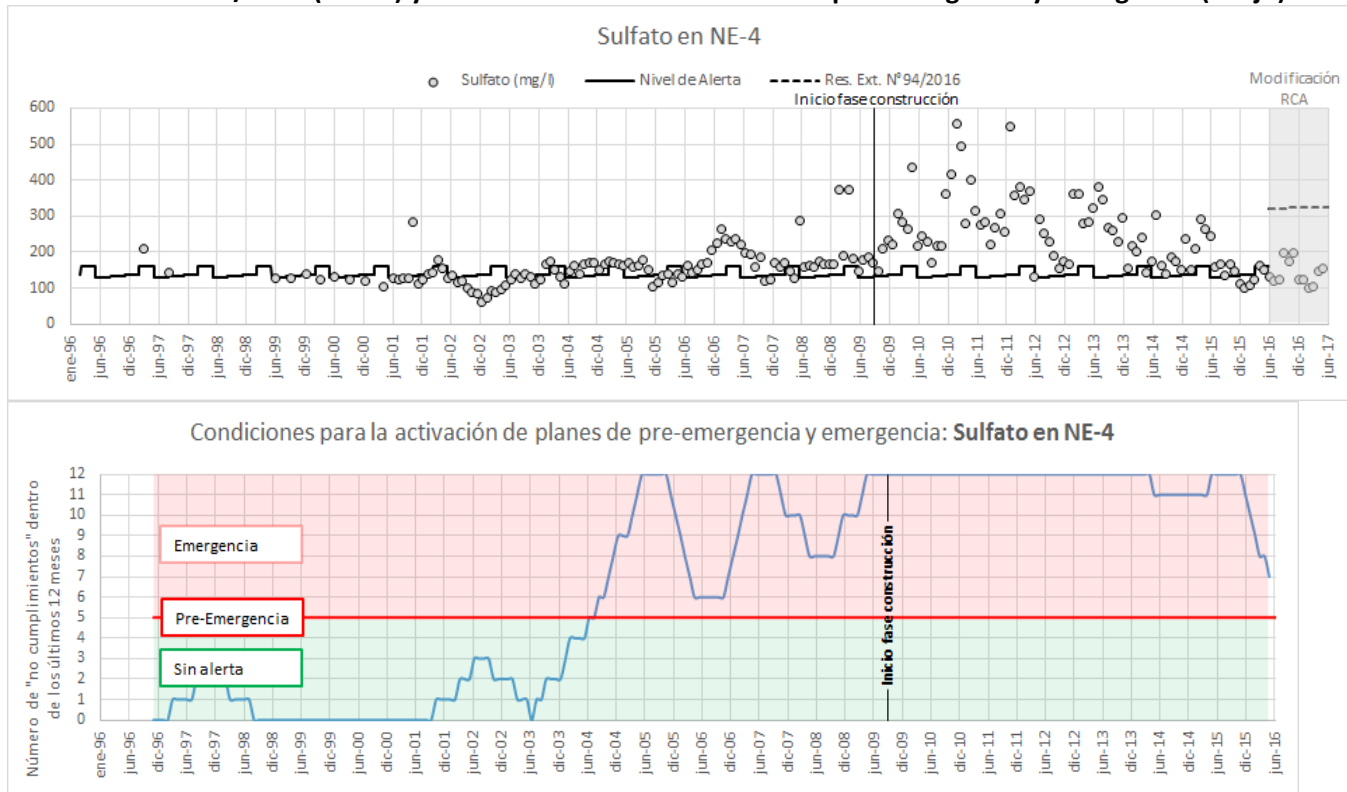
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 35. Evolución del Manganeso en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



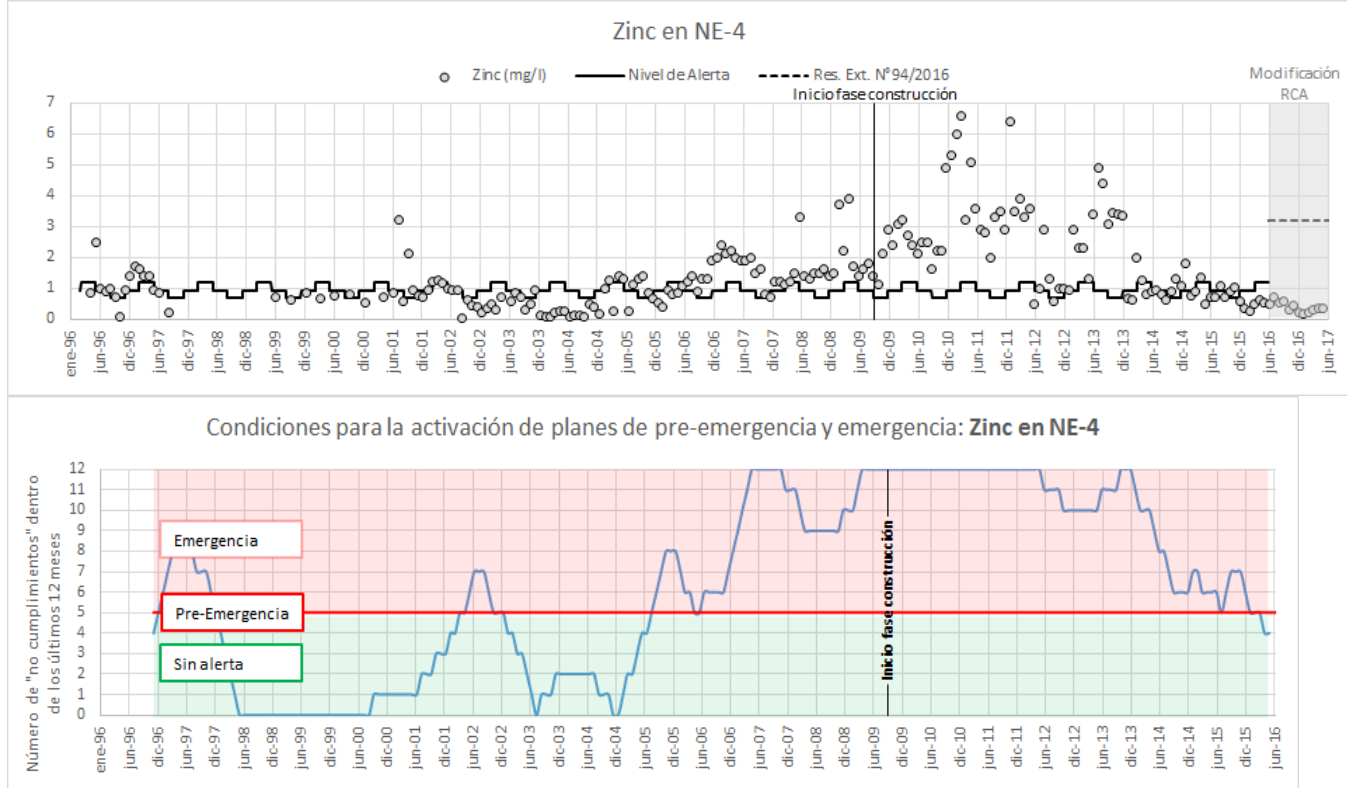
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 36. Evolución del Sulfato en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

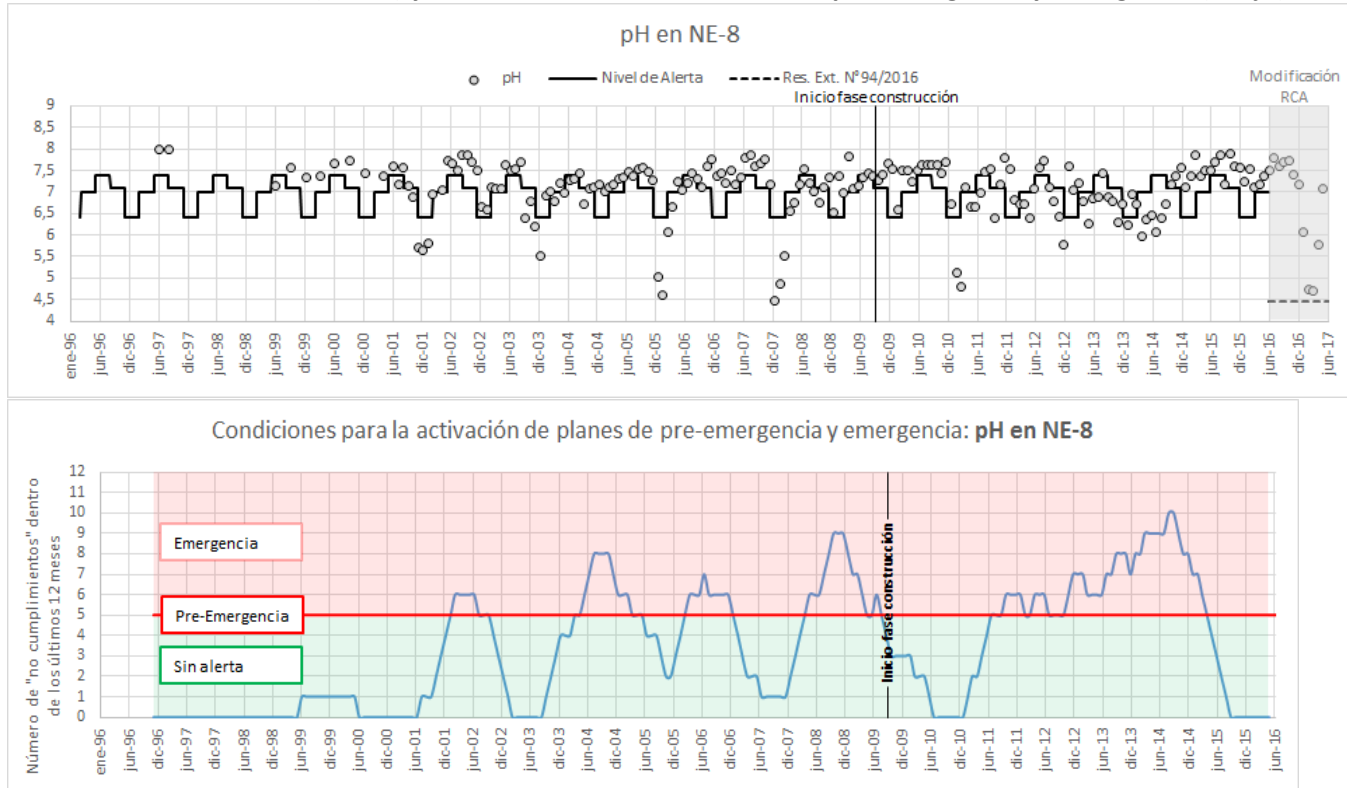
Figura 37. Evolución del Zinc en NE-4 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

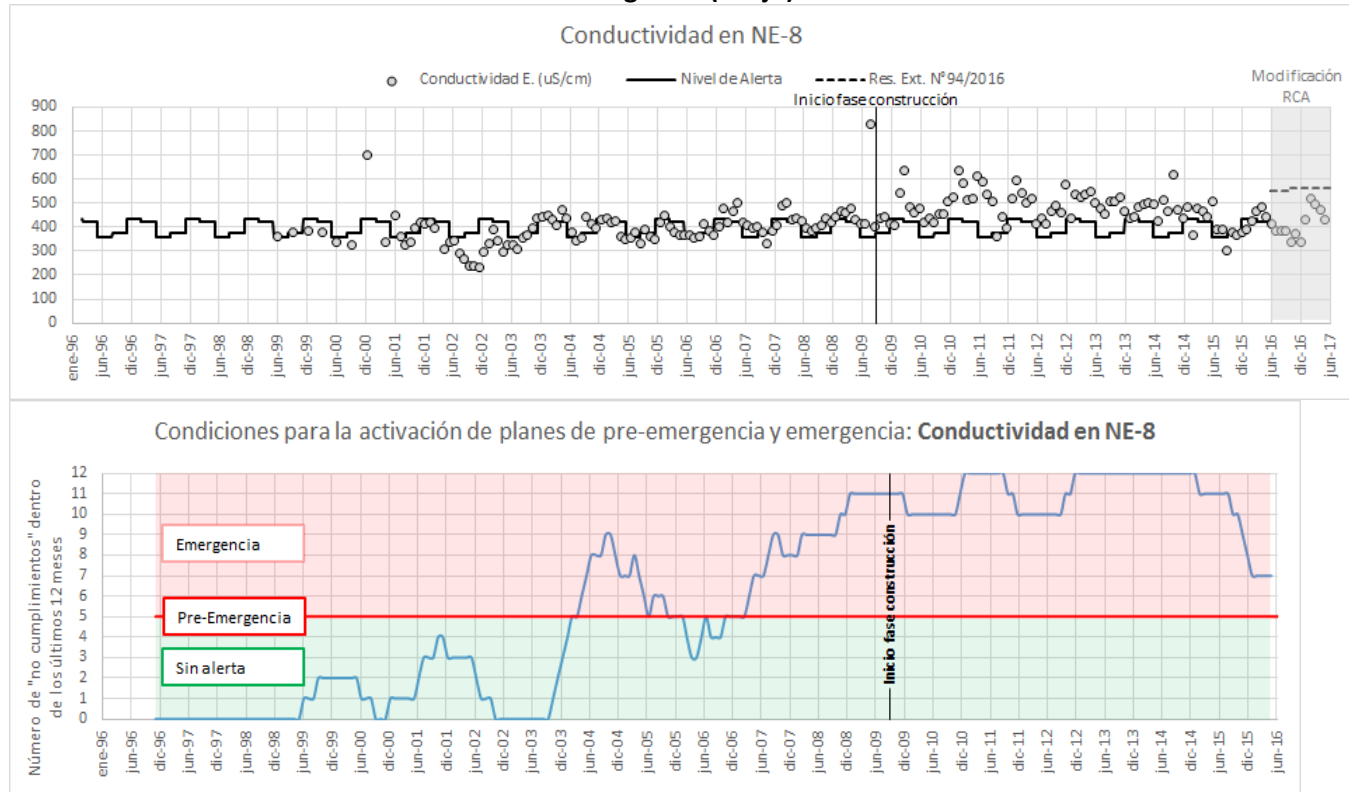
5. Evolución de parámetros DAR en estación NE-8

Figura 38. Evolución del pH en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



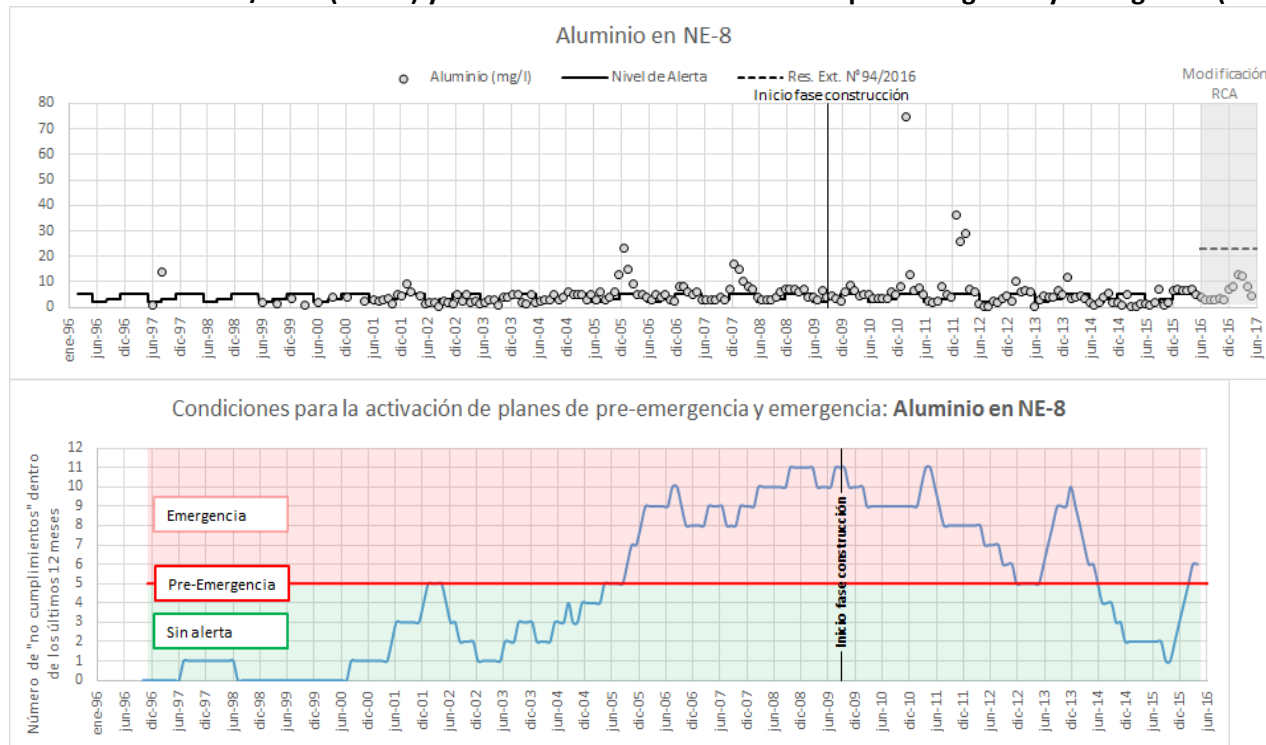
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 39. Evolución de la Conductividad Eléctrica en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



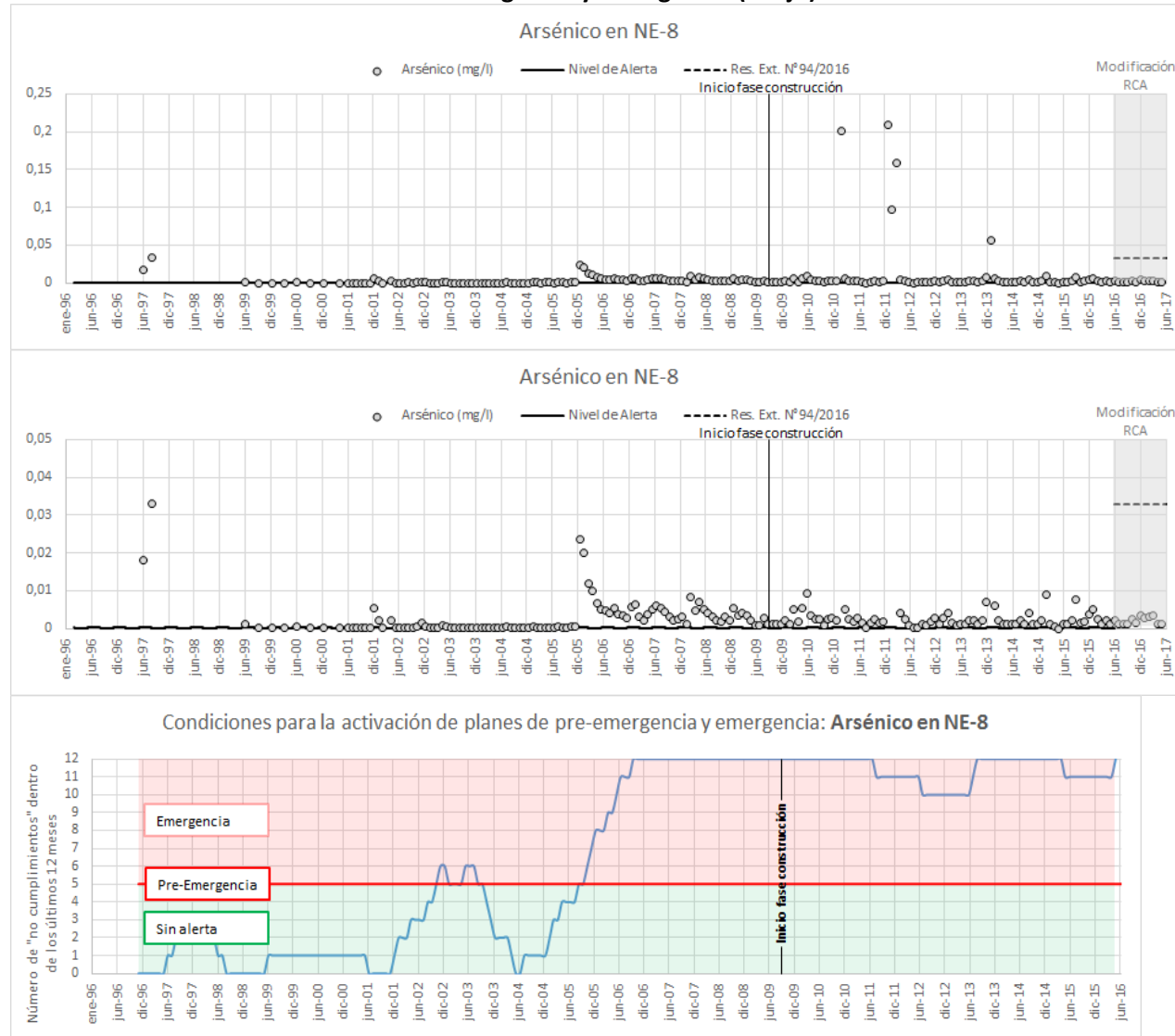
Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 40. Evolución del Aluminio en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



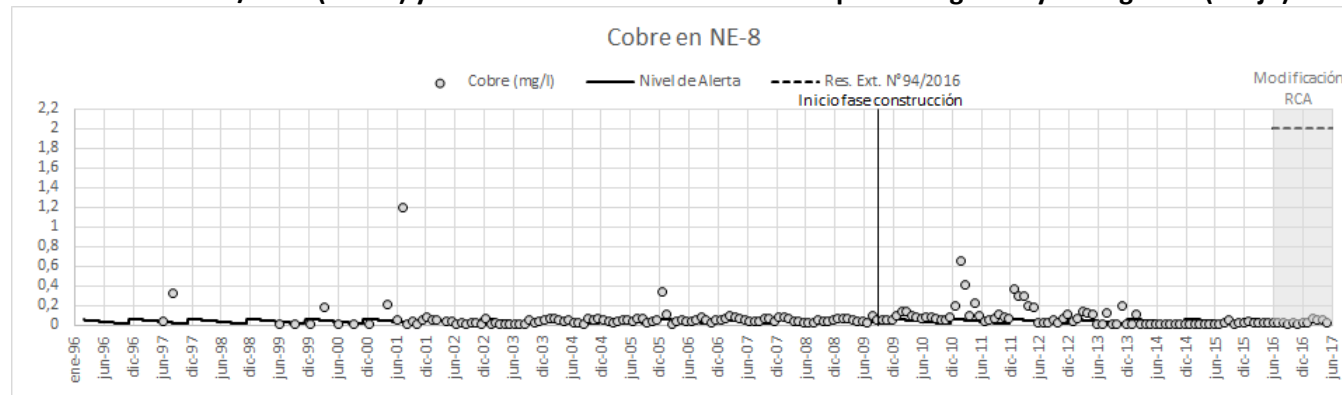
Fuente: Elaboración propia SMA.

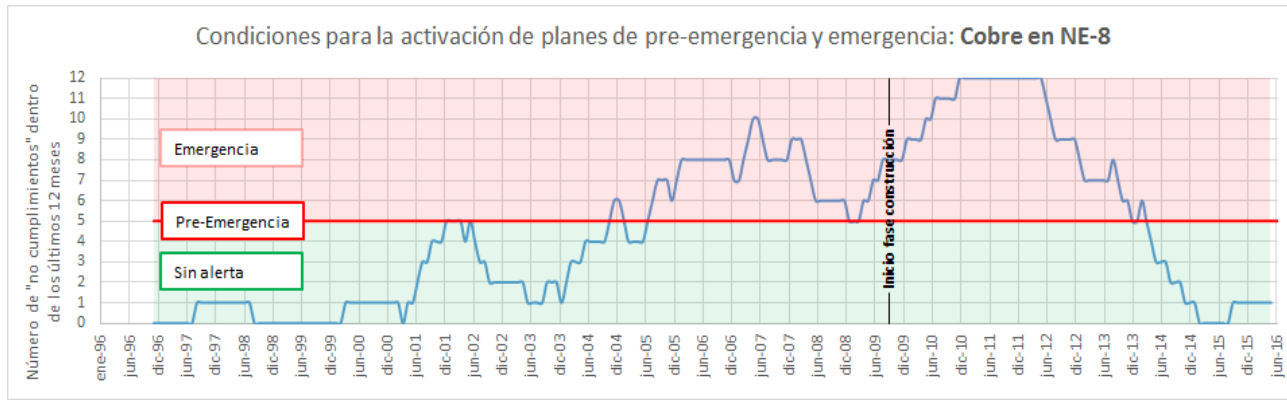
Figura 41. Evolución del Arsénico en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba, y al centro con ajuste de escala) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

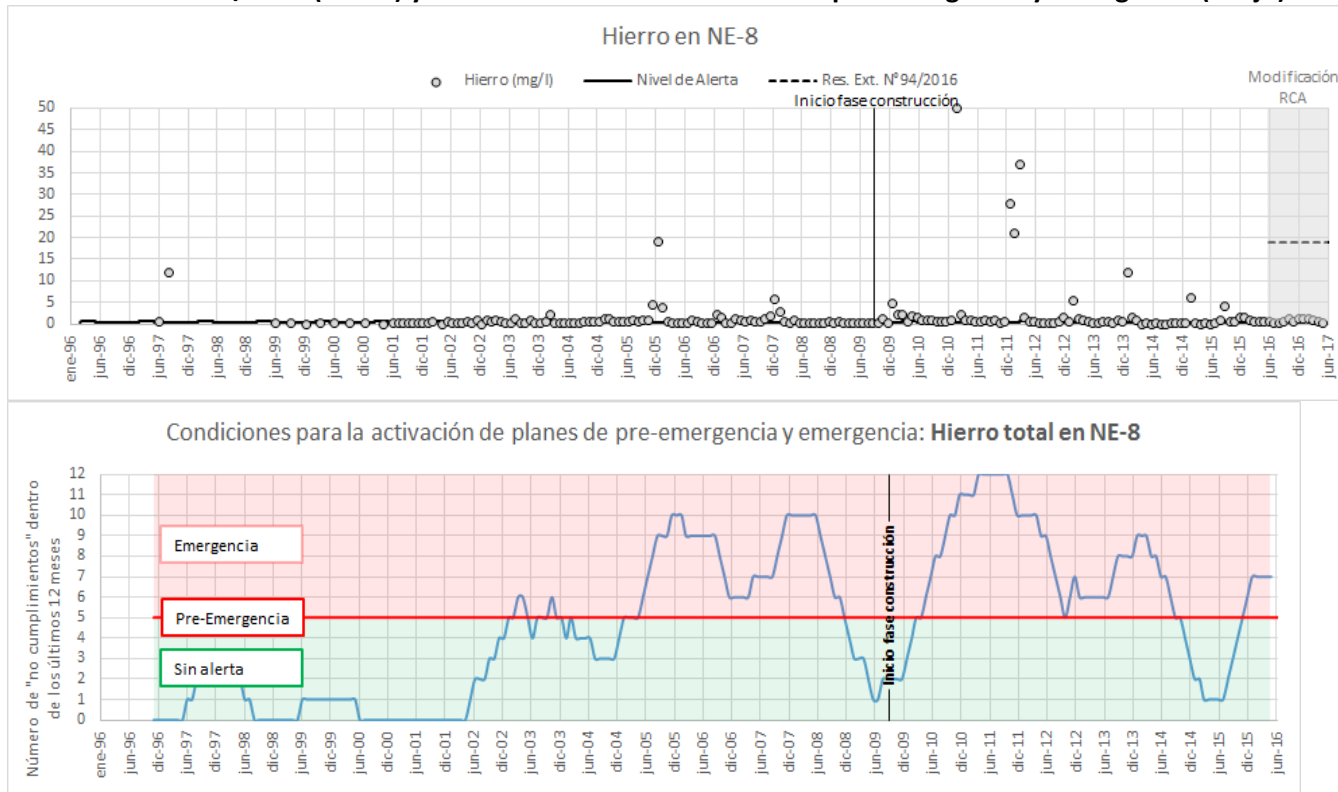
Figura 42. Evolución del Cobre en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





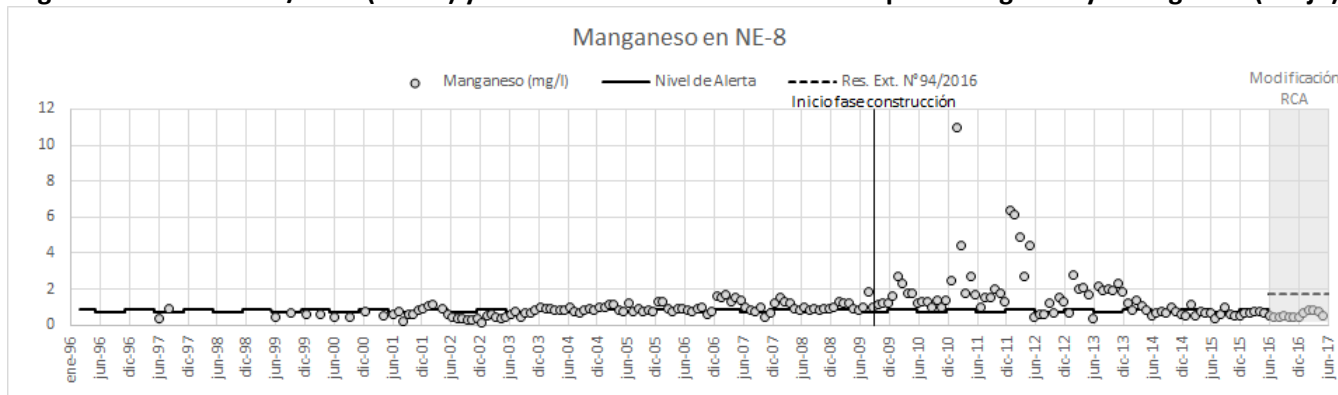
Fuente: Elaboración propia SMA.

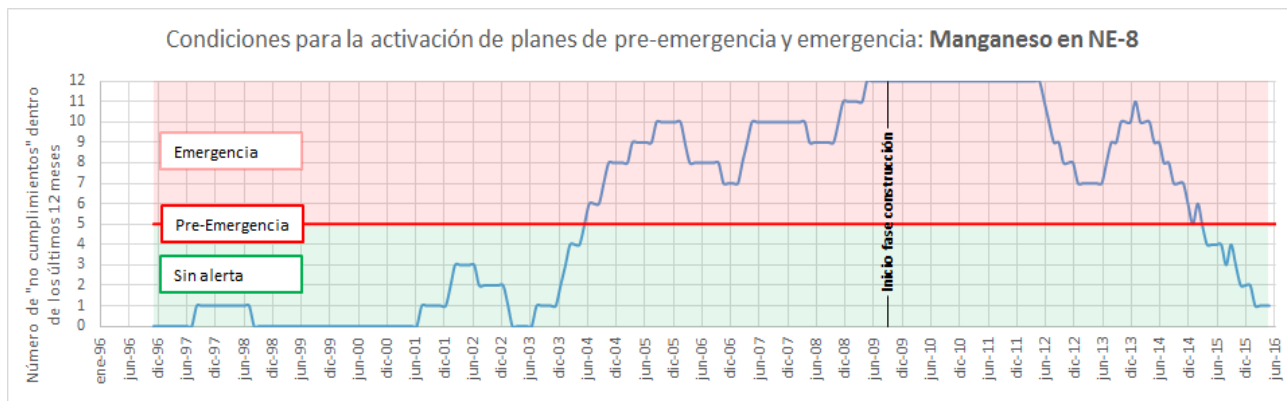
Figura 43. Evolución del Hierro en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

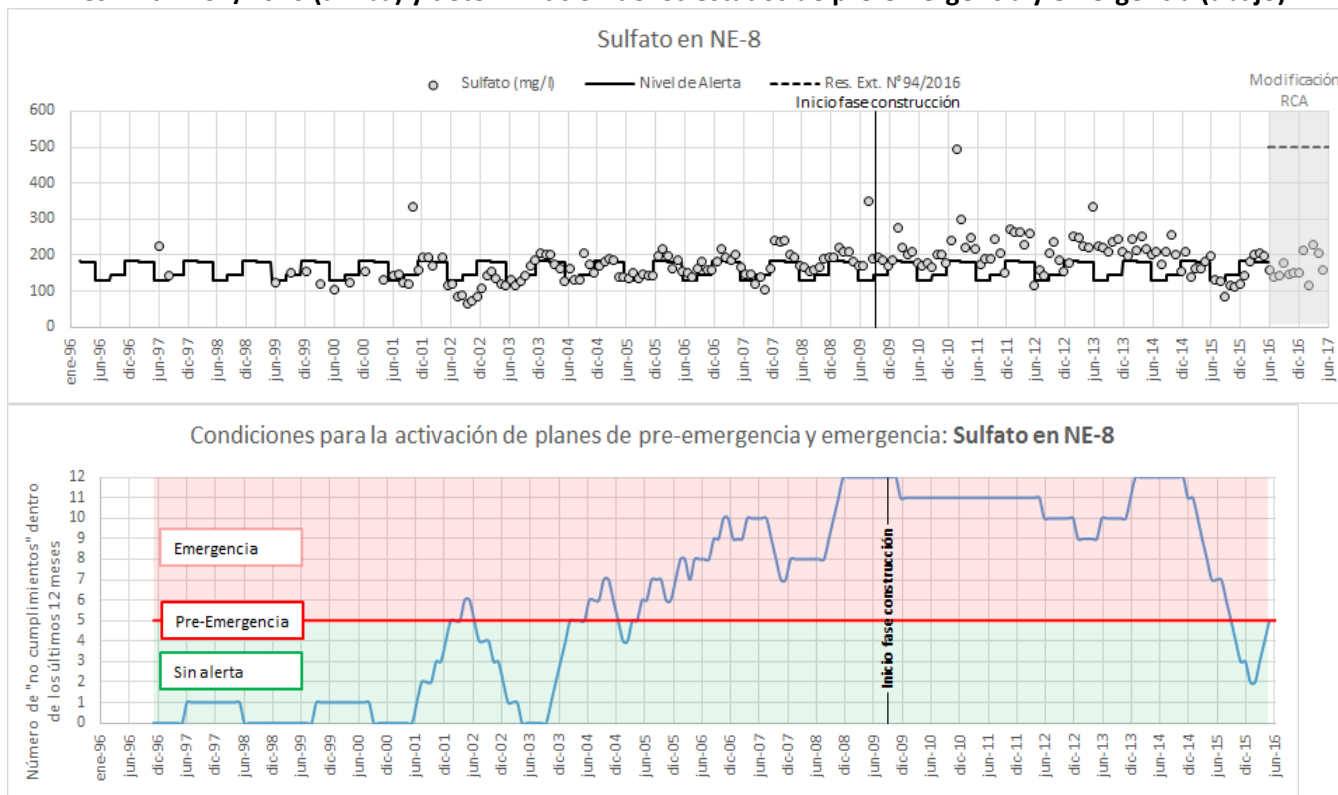
Figura 44. Evolución del Manganeso en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





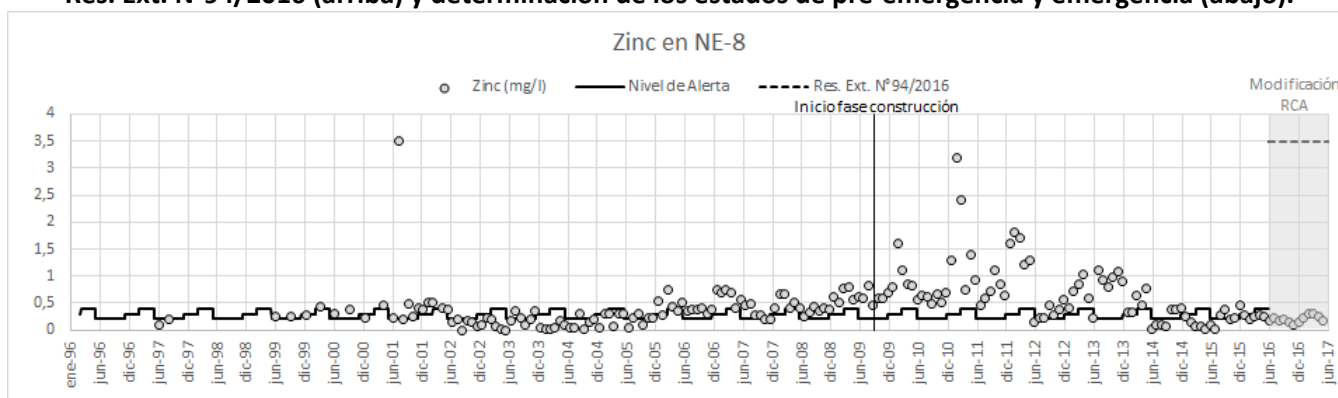
Fuente: Elaboración propia SMA.

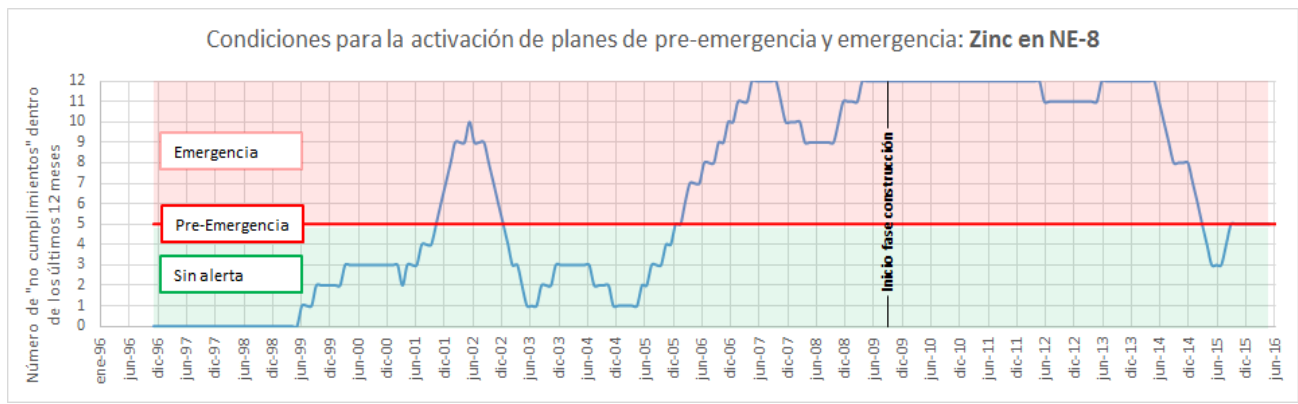
Figura 45. Evolución del Sulfato en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).



Fuente: Elaboración propia SMA.

Figura 46. Evolución del Zinc en NE-8 junto con los respectivos Niveles de Alerta y umbrales fijados según la Res. Ext. N°94/2016 (arriba) y determinación de los estados de pre-emergencia y emergencia (abajo).





Fuente: Elaboración propia SMA.



ANEXO 2: ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES Y CAUDALES

OBJETIVO: El presente Anexo contiene un análisis tanto de las precipitaciones como de los caudales en el sector de emplazamiento de proyecto y sus alrededores. El objetivo es determinar si las precipitaciones y los caudales medidos con posterioridad al inicio de la ejecución del proyecto son significativamente diferentes a los que han ocurrido históricamente, en particular en comparación con lo registrado durante el período de línea de base. Esta información resulta relevante a efectos de evaluar el origen de los cambios ocurridos en la calidad del agua del río Estrecho, ya que existe una relación entre la calidad del agua, las precipitaciones y los caudales.

1. Antecedentes de línea de base contenidos en el expediente de evaluación del proyecto

En el expediente de evaluación del proyecto “Modificación Proyecto Pascua Lama” se puede encontrar el Informe Final que da cuenta de la línea de base de hidrología, el cual corresponde al Anexo II-B del Adenda N°2 (en adelante “Informe Final”). En dicho informe se analiza tanto el comportamiento de las precipitaciones como de los caudales ya sea a nivel regional o local (zona de emplazamiento del proyecto). Entre la abundante información contenida en dicho informe resulta de particular relevancia aquella que dice relación con los registros de precipitaciones y caudales y con el funcionamiento del sistema hídrico. A continuación se reproduce parte de esta información.

1.1. Precipitaciones

Entre la información local de precipitación disponible, se encuentra la serie de datos correspondiente a la estación del área del Campamento Pascua. En particular, esta estación contiene el registro de la profundidad mensual de nieve caída. Los datos reportados por esta estación son el promedio de las mediciones recolectadas en varios sitios ubicados a elevaciones mayores y menores que las del campamento. La ubicación de los sitios fue seleccionada tomando en cuenta la redistribución de nieve causada por el viento, y por lo tanto, recogen datos representativos de la acumulación de nieve. Además de las mediciones de profundidad de nieve, existen datos disponibles de densidad del año 2001 (84 kg/m³ como promedio), lo que permite hacer cálculos de equivalente en agua. Por lo anterior, los datos de profundidad de nieve de la estación del área del Campamento Pascua fueron considerados en el estudio como la serie de datos más representativa de la condición local.

Sin embargo, dicha serie de datos solamente contaba con registros entre el año 2001 y 2003 por lo que, para extender los datos disponibles, se identificó la mejor correlación existente con estaciones con datos de largo plazo (estación El Indio), y en base a ello se generó una estadística que se remonta al año 1981. Los valores así estimados se incluyen en la Tabla 2-b del Apéndice 2 del Informe Final.

En base al patrón de distribución de la precipitación mensual (Figura 2-4 del Informe) se determinó que **los análisis de precipitaciones anuales se hicieran considerando como período anual el año calendario (enero a diciembre).**

Los resultados del análisis de frecuencia de la precipitación en la estación del Campamento Pascua se incluyen en la Tabla 2-7 del Informe Final. Es del caso hacer notar que han transcurrido más de 10 años desde que se realizó dicho análisis, por lo que los resultados deben ser modificados de tal forma de incluir los registros de estos últimos años que entregan información muy valiosa.

A nivel de precipitaciones regionales se consideraron las cuatro estaciones regionales con los períodos de registros más largos y con la mayor proximidad a Pascua-Lama, esto es: Junta del Carmen, San Félix, Conay y El Indio. Los datos de estas estaciones fueron analizados, y luego se desarrollaron estimaciones de precipitación en los meses en que no había datos. Es así como los valores de precipitación mensual total faltantes se estimaron utilizando la mejor relación disponible con base en las estaciones cercanas. Las series de datos anuales completos de las cuatro estaciones regionales seleccionadas se incluyen en el Apéndice 2 del Informe Final.

Los resultados del análisis de frecuencia de la precipitación en las estaciones regionales se incluyen en la Tabla 2-5 del informe Final. Es del caso hacer notar que han transcurrido más de 10 años desde que se realizó dicho análisis, por lo que los resultados deben ser modificados de tal forma de incluir los registros de estos últimos años que entregan información muy valiosa.

Del análisis de los registros de precipitación de largo plazo en el área se observa que existe un patrón típico de un año húmedo seguido por varios años secos. Como resultado de esto, existe una diferencia apreciable entre los valores promedio y los valores de la mediana para la precipitación anual, siendo los **valores de la mediana considerados como los “normales” o valores típicos.**

1.2. Caudales

El volumen y magnitud de los caudales varía de año en año primordialmente en función de la cantidad de nieve recibida. **Los registros de precipitaciones muestran que un año de altas precipitaciones es seguido por varios años de bajas precipitaciones (Concha, 2004) y, de manera similar, los caudales reflejan este mismo patrón.** Los resultados de dicho patrón son caudales medios anuales que presentan un sesgo positivo debido a los años de altas precipitaciones. En consecuencia, de forma similar a las precipitaciones, **los caudales medianos anuales (50% probabilidad de excedencia) pueden definirse como valores de caudales “normales”.**

Los caudales en la estaciones de Pascua-Lama fueron estimados basándose en las relaciones de caudales promedio diarios simultáneos entre las estaciones de Pascua-Lama y la estación DGA regional más cercana aguas abajo, a fin de completar análisis de frecuencia representativos para los caudales normales a altos. Se generaron regresiones lineales entre las estaciones, por ejemplo los caudales mensuales de NE-8 y NE-4 se estimaron en base a las relaciones con los datos del Río Tránsito en Angostura Pinte, y los caudales mensuales en NE-2A y NE-1A se estimaron luego, en base a las relaciones con los caudales en NE-4.

Una comparación entre los caudales medidos con los caudales estimados usando el método descrito anteriormente mostró que los caudales bajos no están adecuadamente representados. Esto probablemente debido a las extracciones para irrigación que afectan los caudales en las estaciones de la DGA aguas abajo durante el período de caudales bajo. Por lo tanto, el análisis de las series de largo plazo generadas no proporcionará estimados representativos de caudales bajos en las estaciones de Pascua-Lama. En consecuencia, los estimados

de caudal bajo fueron desarrollados usando las mediciones manuales de caudal disponibles en estaciones seleccionadas de Pascua-Lama.

Para el análisis de frecuencia del caudal anual, **se definieron los promedios anuales en base a un periodo de análisis que va de octubre a septiembre**. Los resultados de los análisis de frecuencia para caudales altos y bajos se presentan en la Tabla 3-10 y en la Tabla 3-15 del Informe Final, respectivamente. Es del caso hacer notar que han transcurrido más de 10 años desde que se realizó dicho análisis, por lo que los resultados deben ser modificados de tal forma de incluir los registros de estos últimos años que entregan información muy valiosa.

A nivel de caudales regionales se consideraron tres estaciones en el río Del Carmen, dos estaciones en el río El Tránsito y dos estaciones en el río Huasco. En los casos de falta de caudales mensuales en las series de datos, éstos se estimaron usando regresiones lineales de la relación entre caudales mensuales simultáneos en la estación con los datos faltantes y la estación de monitoreo de caudales más cercana con los datos disponibles.

Cabe destacar que el uso de agua para riego en las cuencas del Río El Tránsito, Río del Carmen, y Río Huasco es significativo. Existen numerosas derivaciones de riegos en las planicies del fondo del valle. Una inspección de los caudales diarios para estaciones seleccionadas de la DGA, muestra que esta regulación ha ocurrido en la región durante muchos años. El uso de agua para riego ha sido estimado en informes anteriores usando una metodología que se basa en las relaciones con los caudales en estaciones hidrométricas clave, lo cual permite desarrollar un registro artificial que simula los caudales en el “sistema natural” (es decir, cómo serían los caudales si no se extrajera agua para riego). Los conjuntos de datos de caudales se resumen en el Apéndice 5-2 del Informe Final para los conjuntos de datos completos y en el Apéndice 5-4 para los conjuntos estimados de datos del sistema de caudales naturales. La diferencia entre los caudales del sistema natural y los caudales reales medidos fue generalmente menor a 5% para las probabilidades de excedencia bajas (caudales altos). La diferencia fue más apreciable (hasta el 25% de diferencia) para las probabilidades de excedencia más altas (caudales bajos).

Los resultados del análisis de frecuencia de caudales en las estaciones regionales se incluyen en la Tabla 3-4 del Informe Final. Es del caso hacer notar que han transcurrido más de 10 años desde que se realizó dicho análisis, por lo que los resultados deben ser modificados de tal forma de incluir los registros de estos últimos años que entregan información muy valiosa.

1.3. Relación entre las precipitaciones y los caudales

Las precipitaciones en el área de Pascua-Lama son principalmente en forma de nieve, la que en su mayor parte permanece en las cuencas hasta el comienzo de la estación de los deshielos. En consecuencia, los caudales están típicamente retrasados con respecto de las precipitaciones. Los períodos de caudales altos y bajos en Pascua-Lama y en los ríos aguas abajo, son el reflejo de las variaciones de temperaturas en las diferentes temporadas y causantes de los derretimientos de nieve. **El volumen anual de los caudales depende de la cantidad de precipitación en el invierno antes de la estación de los deshielos del verano**. En atención a lo anterior es que los análisis de frecuencia anual de caudales se definen en base a promedios anuales que consideran un periodo que comprende de octubre a septiembre.

Las observaciones en la región han mostrado que la mayor parte de la nieve caída que se acumula durante la época húmeda (abril a septiembre) se derrite completamente al comienzo de la siguiente época húmeda, excepto luego de varios años con altas precipitaciones.

Los patrones de caudal en Pascua-Lama son similares a los patrones observados en las estaciones regionales. Las estaciones de Pascua-Lama en el sistema del Río del Estrecho / Río Chollay están dominadas por el derretimiento de nieve en la época temprana del verano e influenciadas con el deshielo del Glaciar Estrecho en el verano tardío. Los caudales más altos se observan típicamente en enero o febrero, el cual es típicamente uno o dos meses luego del pico observado en las estaciones regionales. Esto es probablemente el resultado del gradiente de temperatura retrasado en las partes altas de las cuencas hasta el final del verano. La lluvia no es un componente significativo en la respuesta de los ríos con respecto de los volúmenes de escorrentía o caudales pico debido a la alta elevación del sitio.

Los caudales bajos se observan generalmente en las estaciones de Pascua-Lama durante los meses de agosto y septiembre, y corresponden a períodos fríos del invierno donde el agua disponible se congela y las contribuciones del glaciar son mínimas. **Los caudales bajos están estrechamente vinculados a la descarga del agua subterránea y las condiciones hidrogeológicas en el valle del Río del Estrecho**, las cuales se discuten en mayor detalle en el informe de línea base de hidrogeología (Golder, 2005).

2. Información disponible al año 2015

Con posterioridad a la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental se continuaron generando datos de precipitación y caudales en las estaciones instaladas por el Titular para esos fines (muchos de los cuales son reportados a través del Sistema de Seguimiento Ambiental de RCA), pero también en aquellas estaciones meteorológicas y fluviométricas que son mantenidas por la Dirección General de Aguas. En este numeral se realiza un análisis de las precipitaciones y caudales considerando la información disponible de línea de base detallada en el numeral anterior (en los casos en que se encuentra disponible) junto con la información generada entre el año 2005 y el año 2015.

2.1. Precipitaciones

Tal como se determinó en los estudios de línea de base, la magnitud de los caudales depende de la cantidad de precipitación acumulada en el invierno antes de la estación de los deshielos del verano. Es por ello que cobra especial relevancia disponer de datos en la estación meteorológica ubicada en el campamento de Pascua Lama, que es que la contiene los datos más representativos del comportamiento de parte alta de la cuenca del río Estrecho. Al respecto, cabe mencionar que el Titular reporta mediante el sistema de seguimiento ambiental de RCA información sobre los registros de dicha estación. En particular, en el Informe "Monitoreo Meteorológico, Estadística Semestral, Abril - Septiembre 2016"¹ (código SSA 51248) se entregan datos anuales que permiten disponer de la estadística de precipitación nival entre el inicio de las mediciones (enero del año 2001) y el año 2015 completo. Por otra parte, mediante Carta PL-0163 de fecha 24/11/2015 (adjunta a Memorándum O.R.A. N°

¹ SMA. [en línea] <<http://snifa.sma.gob.cl/SistemaSeguimientoAmbiental/Visitante/VerInforme/51248>>

065 de fecha 18 de noviembre de 2016, a fojas 8815 y siguientes) el Titular informó, entre otros, la estadística de precipitaciones mensuales registradas en el Campamento desde el inicio de las mediciones. Estos registros pueden ser complementados con las estimaciones realizadas en los estudios de línea de base, en los que se generó una estimación de precipitaciones entre los años 1981 y 2000 en base a la correlación con otra estación meteorológica que disponía de datos en aquellas fechas (El Indio, actualmente suspendida). Si se agrupan los datos estimados con los datos medidos e informados se obtiene una serie con información de 35 años.

También interesa conocer el comportamiento de la precipitación en otras estaciones cercanas, de tal forma de poder ampliar la información disponible y establecer un comportamiento regional. Para ello se recurre a las estaciones meteorológicas que mantiene la DGA en las cercanías del proyecto, en particular a las estaciones meteorológicas Conay, El Corral y San Félix cuya ubicación se indica en la Figura 1. En el caso de las estaciones de Conay y San Félix se dispone de las series completas que fueron generadas en los estudios de línea de base, las cuales fueron complementadas con los datos posteriores registrados por la DGA. De esta forma, al año 2015 Conay cuenta con 51 años de datos y San Félix con 47, mientras que El Corral con 21 años de datos. En relación a esta última se encontró una buena correlación entre sus registros y los de la estación San Félix (ver Figura 2 y 3), por lo que en base a ello se estimaron los datos del período 1969-1994, generándose así una serie de 47 años de datos al año 2015.

Los registros de precipitaciones mensuales y anuales en las 4 estaciones indicadas se incluyen en las Figuras 4 a la 11.

2.2. Fenómeno ENSO

Un aspecto de relevancia que puede condicionar la ocurrencia de precipitaciones en el fenómeno ENSO, o del Niño. En condiciones “El Niño”, aumenta la frecuencia de bandas nubosas frontales y las intensifica, generando una mayor cantidad de precipitaciones, las que se hacen sentir mayoritariamente desde la III hasta la VII región del país².

Para determinar la ocurrencia del fenómeno se analizó el índice denominado “Oceanic Niño Index” (ONI) cuyos valores son proporcionados a nivel mensual por el Centro de Predicción Climática del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de Estados Unidos³.

En la Figura 12 se grafican los datos del índice ONI entre el año 1981 y el año 2015 (35 años de registros), indicándose los meses que pueden asociarse a fenómeno del Niño, Niña o aquellos considerados “normales”, según el criterio establecido por el NOAA.

En la Tabla 1 se muestra para cada año calendario la cantidad de meses asociados a los fenómenos indicados, señalando en rojo los años que pueden ser identificados como años con predominancia de Niño y en azul aquellos con predominancia de Niña. Para determinar lo anterior se clasificaron como años de Niño aquellos en que al

² Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, SHOA (<http://www.shoa.cl/en/our-services/tide/54-servicios/753-enos-fenomeno-de-el-nino>).

³ Ver http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

menos la mitad de los meses estén asociados a dicho fenómeno, y como años de Niña aquellos en que al menos la mitad de los meses estén asociados a este último fenómeno.

Tabla N° 1. Análisis anual de meses con fenómenos del Niño, Niña o normal (se indica en rojo los años con predominancia de meses con Niño, y en azul con predominancia de meses con Niña).

Año	Meses de Niño	Meses de Niña	Meses Normales
1981	0	0	12
1982	9	0	3
1983	6	0	6
1984	0	3	9
1985	0	6	6
1986	4	0	8
1987	12	0	0
1988	2	8	2
1989	0	5	7
1990	0	0	12
1991	7	0	5
1992	7	0	5
1993	0	0	12
1994	3	0	9
1995	3	5	4
1996	0	3	9
1997	8	0	4
1998	5	6	1

Año	Meses de Niño	Meses de Niña	Meses Normales
1999	0	12	0
2000	0	12	0
2001	0	2	10
2002	7	0	5
2003	2	0	10
2004	6	0	6
2005	4	0	8
2006	4	0	8
2007	1	5	6
2008	0	6	6
2009	6	0	6
2010	4	6	2
2011	0	9	3
2012	0	2	10
2013	0	0	12
2014	2	0	10
2015	12	0	0

Para visualizar la influencia del fenómeno ENSO se graficaron los registros anuales de precipitación en las estaciones analizadas, superponiendo los años que corresponden a Niño y Niña en base al criterio anterior (ver Figura 13). Se aprecia que los años en que ocurrió Niño dieron origen en su mayoría a precipitaciones particularmente altas, sin embargo ello no es una regla general. Por ejemplo, el año 2009 puede ser clasificado como Niño, sin embargo las precipitaciones fueron notoriamente bajas en todas las estaciones. Por el contrario, el año 1984 no corresponde a un año de Niño, pero registró precipitaciones de las más altas del registro en todas las estaciones. En cuanto a los años clasificados como Niña, no existe una relación clara con la magnitud de las precipitaciones ocurridas en dichos años.

2.3. Caudales

Como parte de los estudios de línea de base el Titular inició el monitoreo de varios ríos y esteros en el área de influencia de su proyecto. En particular monitorea el caudal del río Estrecho/Chollay en varias estaciones como NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8. Asimismo mantiene también un monitoreo de caudales en algunas quebradas afluentes al río Estrecho tales como la quebrada Barriales (NE-1A), quebrada Agua de la Falda (PX-1), río Del Toro (CN-2), río Blanco (NE-7), y río Pachuy (CN-8). Los resultados de estos monitoreos son informados periódicamente por medio del Sistema de Seguimiento de RCA.

De las estaciones indicadas se seleccionaron para su análisis una estación en la parte alta del río Estrecho (NE-2A), otra en la parte baja (NE-4) y una estación en uno de sus afluentes (NE-1A). La estación NE-1A fue seleccionada debido a que es la estación de quebradas laterales que cuenta con un mayor registro histórico de datos, y se ubica más cercana a la zona de intervención del proyecto.

Los datos obtenidos por medio del monitoreo pueden ser complementados con las estimaciones realizadas en los estudios de línea de base, en los que se generó una estimación de los caudales en ciertas estaciones desde el año 1965 en base a la correlación con otra estación fluviométrica que disponía de datos en aquellas fechas (río Tránsito en Angostura Pinte). Si se agrupan los datos estimados con los datos medidos e informados se obtiene una serie con información de 50 años para cada una de estas estaciones seleccionadas.

Al igual que para las precipitaciones, interesa conocer el comportamiento del caudal en otras estaciones cercanas, de tal forma de poder ampliar la información disponible y establecer un comportamiento regional. Para ello se recurre a las estaciones que mantiene la DGA, en particular a estaciones fluviométricas en el río Conay (en Las Lozas), en el río Carmen (en El Corral) y en el río Tránsito (en Angostura Pinte) cuya ubicación se indica en la Figura 14. Al año 2015 el río Conay cuenta con 31 años de datos mientras que el río Carmen cuenta con 24 años de datos y el río Tránsito con 50 años. En el caso de los dos últimos se cuenta con datos adicionales estimados en el estudio de línea de base, lo cual permite extender los datos en el río Carmen hasta un total de 51 años, y completar algunos datos faltantes en los registros disponibles del río Tránsito, todo en base a correlaciones con otras estaciones fluviométricas cercanas.

Los registros de caudales mensuales y anuales en las 6 estaciones seleccionadas se incluyen en las Figuras 15 a la 26.

3. Análisis de la información

El objetivo de este numeral consiste en analizar los registros históricos disponibles para determinar si es que las precipitaciones y caudales considerados en el período de línea de base y en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto, corresponden a períodos excepcionales (en particular de sequía). Esto es de particular relevancia para el análisis de la calidad del agua (que se realiza en otros documentos), ya que existe una relación entre la cantidad de metales y los caudales en la parte alta del río Estrecho.

En primer lugar se debe tener presente que las precipitaciones se analizan anualmente según cada año calendario, y que los caudales se analizan anualmente por períodos que van entre octubre y septiembre del año siguiente. Por lo demás, y tal como se estableció en los estudios de línea de base, el volumen anual de los caudales en el área del proyecto Pascua Lama depende de la cantidad de precipitación ocurrida en el invierno antes de la estación de los deshielos del verano. Según esto, el período de precipitaciones de un año (en particular las que ocurren en invierno) incide en la magnitud de los caudales de deshielo que ocurrirán a continuación, es decir entre fines de ese mismo año y comienzos del siguiente. A modo de ejemplo, se espera entonces que las precipitaciones ocurridas durante el año calendario 2009 incidan en los caudales del período que va de octubre de 2009 a septiembre de 2010, que tienen su máximo en la época de deshielos.

A objeto de acotar el período de línea de base se utilizó la información de línea de base de calidad del agua presentada por el Titular en el EIA. Para ello se distingue entre los datos esporádicos que forman parte de los registros y aquellos que resultan de mediciones sistemáticas y continuas en el tiempo. En la Tabla 2 se presenta para cada estación del río Estrecho el inicio y fin de las mediciones continuas de calidad del agua que constan en los registros de línea de base.

Tabla 2. Información sobre registros continuos de calidad del agua en el río Estrecho.

Estación	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
Inicio de mediciones continuas	Enero del año 2000	Diciembre del año 2001	Enero del año 2006	Julio del año 1999	Julio del año 1999
Fin de mediciones de línea de base	Abril del año 2005	Abril del año 2005	Abril del año 2005	Abril del año 2005	Abril del año 2005

Se aprecia que las primeras mediciones continuas comenzaron en julio del año 1999 en las estaciones NE-4 y NE-8. Siendo así, el primer período de deshielos comprendido en la serie de datos está incluido en el período de caudales de octubre 2009-septiembre 2010, el cual se relaciona a su vez con las precipitaciones ocurridas durante el año 1999. Por otra parte, las mediciones de calidad de agua se extienden hasta abril de 2005, por lo que incluyen información hasta el período de deshielo comprendido en el período de caudales de octubre 2004-septiembre 2005 y con las precipitaciones del año 2004. En base a lo anterior, se considera como registros de línea de base de precipitaciones los datos recabados durante los años 1999 a 2004, mientras que para el caudal se considera como registros de línea de base los datos recabados durante los períodos 1999/2000 a 2004/2005.

En cuanto a la ejecución del proyecto, esta ha sido fechada en octubre de 2009, por lo que se considera de forma análoga que los registros posteriores a la ejecución del proyecto comienzan con los datos del año 2009 para las precipitaciones y con los datos del período octubre 2009-septiembre 2010 para los caudales. Para establecer la fecha de corte de este período se tomaron en cuenta los datos de calidad del agua recabados hasta junio de 2015 obtenidos del informe de seguimiento “Programa de monitoreo de aguas proyecto Pascua Lama Julio 2014 – Junio 2015”⁴ (código SSA 37797). En base a ello, el último período de deshielo que abarcan los datos es el de 2014/2015, por lo que el período posterior a la ejecución del proyecto se extiende entonces hasta el año 2014 para las precipitaciones, y hasta el período octubre 2014-septiembre 2015 para los caudales.

3.1. Precipitaciones

En la Figura 27 a 30 se presentan los registros históricos de precipitaciones para todas las estaciones analizadas, los cuales han sido ordenados de menor a mayor y separados en cuartiles. A modo referencial se puede definir como precipitaciones “normales” aquellas que se sitúan en los dos cuartiles centrales (concentran el 50% central de todos los registros), como precipitaciones “bajas” aquellas ubicadas en el primer cuartil (contienen el 25% de los datos más bajos), y “altas” aquellas ubicadas en el cuarto cuartil (contienen el 25% de los datos más altos).

En la Tabla 3 se agrupan para cada estación las precipitaciones anuales separadas según cuartiles durante el período de línea de base. Se observa que los años considerados se ubican en su mayoría en cuartiles extremos (cuartil 1 y cuartil 4), aunque sin que exista un sesgo notorio hacia alguno de estos extremos. Si se analiza el rango de precipitaciones normales se aprecia claramente que hay más valores que se ubican en el cuartil 3, y que por lo tanto se ubican por sobre el valor central (dado por la mediana). En base a lo anterior se puede considerar que el período de línea de base, en comparación con el registro completo de datos, presenta un comportamiento normal

⁴ SMA. [en línea] <<http://snifa.sma.gob.cl/SistemaSeguimientoAmbiental/Visitante/VerInforme/37797>>

(con precipitaciones moderadamente elevadas) con cierta tendencia a valores extremos, destacándose las altas precipitaciones de los años 2000 y sobre todo 2002.

Tabla 3. Clasificación de los registros anuales de precipitación de línea de base según cuartiles.

Estación meteorológica	N° de años con datos	Altura (msnm)	Clasificación según cuartil			
			Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Conay	51	1.450	2003	1999	2001 2004	2000 2002
San Félix	47	1.100	2003 2001	1999	2004	2000 2002
Campamento Pascua Lama	35	3.700	1999 2004		2000 2003	2001 2002
El Corral	21	1.900	2003 2001	1999	2004	2000 2002

En la Tabla 4 se agrupan para cada estación las precipitaciones anuales separadas según cuartiles durante el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto. Se observa que los años considerados se ubican en su mayoría en cuartiles centrales (cuartil 2 y cuartil 3), y que en los cuartiles extremos (cuartil 1 o cuartil 4) solamente existen algunos años en el cuartil de caudales bajos (cuartil 1). Si se analiza el rango de precipitaciones normales se aprecia claramente que hay más valores que se ubican en el cuartil 2 que en el cuartil 3, y que por lo tanto se ubican por debajo del valor central (dado por la mediana). En base a lo anterior se puede considerar que el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto, en comparación con el registro completo de datos, presenta un comportamiento normal más bien caracterizado por precipitaciones normales a moderadamente bajas, sin la ocurrencia de ningún evento de precipitaciones particularmente elevadas.

Tabla 4. Clasificación de los registros anuales de precipitación en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto según cuartiles.

Estación meteorológica	N° de años con datos	Altura (msnm)	Clasificación según cuartil			
			Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Conay	51	1.450	2009	2011 2012 2013 2014	2010	
San Félix	47	1.100	2012	2009 2011	2010 2013 2014	
Campamento Pascua Lama	35	3.700		2009 2011 2013 2014	2010 2012	
El Corral	21	1.900	2012	2009 2010 2013	2011 2014	

En la Tabla 5 se comparan algunos atributos relevantes del período de línea de base y del período posterior al inicio de la ejecución del proyecto. Se incluye la distribución de los valores de precipitación anual separando entre valores superiores e inferiores a la mediana, y la magnitud de las precipitaciones por período.

Tabla 5. Comparación entre precipitaciones durante el período de línea de base y el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto.

Estación meteorológica	Período	N°años	Años con precipitaciones menores a la mediana	Años con precipitaciones mayores a la mediana	Precipitación acumulada en el período (mm o cm)	Precipitación promedio anual (mm/año o cm/año)
Conay	Línea base	6	2	4	554,0	92,3
	Post-ejecución	6	5	1	246,5	41,1
San Félix	Línea base	6	3	3	396,8	66,1
	Post-ejecución	6	3	3	184,9	30,8
Campamento Pascua Lama	Línea base	6	2	4	1371,0	228,5
	Post-ejecución	6	4	2	919,5	153,3
El Corral	Línea base	6	3	3	398,8	66,5
	Post-ejecución	6	4	2	218,5	36,4

Si se compara el comportamiento de ambos períodos se destaca lo siguiente:

- El período de línea de base contiene mayor cantidad de años en que ocurrieron precipitaciones extremas (altas o bajas), mientras que el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto contiene mayor cantidad de años en que ocurrieron precipitaciones en el rango central o “normal”.
- Mientras que la mayoría de los valores en el rango normal son superiores a la mediana del período de línea de base, en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto se da la situación contraria, es decir que la mayoría de los valores en el rango normal son inferiores a esa mediana.
- El período de línea de base representa una condición de mayores precipitaciones que el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto. Esta circunstancia se encuentra en directa relación con el punto anterior, y sobre todo con la mayor cantidad de eventos de precipitaciones extremas altas ocurridas durante el período de línea de base (años 2000 y 2002), las cuales contribuyen en gran medida al total del período. Lo anterior se ve cuantificado por los valores de precipitación acumulada en ambos períodos, en los cuales los valores correspondientes al período de línea de base son entre 1,5 y 2,5 veces superiores a los del período posterior al inicio de la ejecución del proyecto.
- En cuanto a la ocurrencia del fenómeno ENSO, se observa que en el período de línea de base hay dos años que pueden ser identificados como Niño (2002 y 2004), mientras que en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto existe solo uno (2009). De estos años identificados como Niño solamente el año 2002 trajo consigo precipitaciones notoriamente altas (se ubica en el cuartil 4 en todas las estaciones), mientras que el año 2009 se caracterizó por precipitaciones moderadamente bajas (se ubica mayormente en el cuartil 2).

3.2. Caudales

En la Figura 31 a 36 se presentan los registros históricos de caudales para todas las estaciones analizadas, los cuales han sido ordenados de menor a mayor y separados en cuartiles. De la misma forma que para las precipitaciones se puede definir a modo referencial como caudales “normales” aquellos que se sitúan en los dos cuartiles centrales (concentran el 50% central de todos los registros) y como caudales “bajos” aquellos ubicados en el primer cuartil (contienen el 25% de los datos más bajos), y “altos” aquellos ubicados en el cuarto cuartil (contienen el 25% de los datos más altos).

En la Tabla 6 se agrupan los caudales anuales por cuartiles en cada estación durante el período de línea de base. Se observa que los períodos considerados se ubican en su gran mayoría (80%) en los cuartiles 3 y 4, con lo cual la mayoría de los valores se ubica por sobre el valor central (dado por la mediana). En base a lo anterior se puede considerar que el período de línea de base, en comparación con el registro completo de datos, presenta caudales entre moderadamente altos y altos.

Tabla 6. Clasificación de los registros anuales de caudales de línea de base según cuartiles.

Estación fluviométrica	N° de años con datos	Altura (msnm)	Clasificación según cuartil			
			Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Río Tránsito en Angostura Pinte	47	1.000		2004/2005	1999/2000 2001/2002 2003/2004	2000/2001 2002/2003
Río Conay en Las Lozas	31	1.560		2004/2005	1999/2000 2000/2001 2001/2002 2003/2004	2002/2003
Río Carmen en El Corral	24	2.000		2004/2005	1999/2000 2003/2004	2000/2001 2001/2002 2002/2003
Río Estrecho en NE-4	50	2.911	2004/2005	2003/2004	1999/2000 2001/2002	2000/2001 2002/2003
Río Estrecho en NE-2A	50	3.833	2004/2005		2003/2004 1999/2000 2001/2002	2000/2001 2002/2003

En la Tabla 7 se agrupan los caudales anuales por cuartiles en cada estación durante el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto. Se observa que los períodos considerados se ubican en su gran mayoría en el cuartil 1 (77%), con algunos en el cuartil 2 y un único en el cuartil 3 (este último en el río Carmen), con lo cual prácticamente la totalidad de los valores se ubica por debajo del valor central (dado por la mediana). En base a lo anterior se puede considerar que el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto, en comparación con el registro completo de datos, se caracteriza por presentar caudales mayoritariamente bajos.

Tabla 7. Clasificación de los registros anuales de caudales en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto según cuartiles.

Estación fluviométrica	N° de años con datos	Altura (msnm)	Clasificación según cuartil			
			Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Río Tránsito en Angostura Pinte	47	1.000	2011/2012 2012/2013 2013/2014 2014/2015	2009/2010 2010/2011		
Río Conay en Las Lozas	31	1.560	2009/2010 2010/2011 2011/2012 2012/2013 2013/2014 2014/2015			
Río Carmen en El Corral	24	2.000	2010/2011 2011/2012 2012/2013 2013/2014 2014/2015	2009/2010		
Río Estrecho en NE-4	50	2.911	2009/2010 2010/2011 2014/2015	2011/2012 2012/2013 2013/2014		
Río Estrecho en NE-2A	50	3.833	2009/2010 2010/2011 2012/2013 2013/2014 2014/2015		2011/2012	

En la Tabla 8 se comparan algunos atributos relevantes del período de línea de base y del período posterior al inicio de la ejecución del proyecto. Se incluye la distribución de los valores de caudal anual separando entre valores superiores e inferiores a la mediana, y la magnitud de los caudales por período considerando la mediana y alternativamente el promedio.

Tabla 8. Comparación entre caudales durante el período de línea de base y el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto.

Estación meteorológica	Período	N° períodos	Períodos con caudales menores a la mediana	Períodos con caudales mayores a la mediana	Mediana del caudal (l/s)	Caudal promedio (l/s)
Río Tránsito en Angostura Pinte	Línea base	6	1	5	3140	4003
	Post-ejecución	6	6	0	1310	1403
Río Conay en Las Lozas	Línea base	6	1	5	1710	1950
	Post-ejecución	6	6	0	640	678
Río Carmen en El Corral	Línea base	6	1	5	2475	3218
	Post-ejecución	6	6	0	1110	1139

Río Estrecho en NE-4	Línea base	6	2	4	351	424
	Post-ejecución	6	6	0	149	173
Río Estrecho en NE-2A	Línea base	6	1	5	92	102
	Post-ejecución	6	5	1	38	57

Si se compara el comportamiento de ambos períodos se destaca lo siguiente:

- El período de línea de base predominan valores superiores a la mediana (cuartil 3 y cuartil 4), mientras que el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto predominan valores menores a la mediana (sobre todo cuartil 1). De ello se concluye que (i) los caudales del período de línea de base son consistentemente superiores a los caudales registrados en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto, y (ii) los caudales del período posterior al inicio de la ejecución del proyecto corresponden a caudales históricamente bajos.
- Lo anterior se ve cuantificado por los valores promedio y mediana de los caudales de ambos períodos, en los cuales los valores correspondientes al período de línea de base son en su mayoría entre 2 y 3 veces superiores a los del período posterior al inicio de la ejecución del proyecto.

A la luz de lo indicado, existe claridad respecto a que los caudales que ocurrieron durante el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto son significativamente menores a los registrados durante el período de línea de base. Con el objeto ampliar el análisis anterior en términos de su extensión temporal, se define el Índice Normalizado de caudales (INC)⁵. Para la construcción de ese índice se tuvo en consideración lo siguiente:

- a) Se construye en base a un período móvil de 12 meses, en atención a que el comportamiento de los caudales sigue un patrón cíclico anual (entre octubre de un año y septiembre del siguiente, es decir 12 meses).
- b) Se construye en base a la mediana, que fue definido en los estudios de línea de base como el indicador adecuado para caracterizar el comportamiento “normal” de los caudales.
- c) En base a los dos criterios anteriores se calcula para cada mes “i” la mediana del último período móvil de 12 meses, que es el valor que representa mejor el comportamiento del último año cuyo último mes es “i”. Este valor corresponde al numerador del INC asociado al mes “i”.
- d) Se calcula también la mediana del registro de caudales desde su inicio hasta septiembre del año 2005 (mes que marca el fin del período de línea de base para los caudales), lo cual representa el valor “normal” del caudal considerando todos los registros de línea de base. Este valor corresponde al denominador del INC para cualquier mes i.
- e) El INC se calcula entonces para cada mes “i” como $INC(i) = c/d$. Para interpretar el significado del INC se debe tener presente lo siguiente:
 - $INC(\text{mes } i) < 1$: la serie anual (cuyo último mes es el mes i) puede ser considerada con caudales inferiores a lo “normal”.
 - $INC(\text{mes } i) \approx 1$: la serie anual (cuyo último mes es el mes i) puede ser considerada con caudales “normales”.

⁵ Este índice ha sido definido como tal para su exclusiva utilización en el presente caso.

- $INC(\text{mes } i) > 1$: la serie anual (cuyo último mes es el mes i) puede ser considerada con caudales superiores a lo “normal”.

La utilidad del INC es que permite comparar el comportamiento del caudal entre distintas estaciones a lo largo del tiempo en un mismo gráfico, puesto que se encuentra normalizado y es por tanto adimensional. Los resultados del cálculo del INC para las estaciones analizadas se presentan en la Figura 37.

El comportamiento del INC en el tiempo refleja la situación ya señalada en los estudios de línea de base, en cuanto que “Los registros de precipitaciones muestran que un año de altas precipitaciones es seguido por varios años de bajas precipitaciones (Concha, 2004) y, de manera similar, los caudales reflejan este mismo patrón”⁶. Al respecto, se observa que el último período de altas precipitaciones corresponde al año 2002 (que fue un año de Niño), fruto de lo cual se observaron caudales importantes en los ríos de la zona en el período 2002/2003. A partir de este punto los caudales comenzaron a reducirse, experimentando un aumento transitorio (aunque de baja magnitud) durante los deshielos de los períodos 2005/2006 y 2007/2008, dando finalmente pie a caudales cuyo INC fue consistentemente inferior a 1 desde octubre de 2009 en adelante (hasta septiembre de 2015, que marca el fin del último período analizado). Este período de 6 años con un INC consistentemente inferior a 1 es una situación que no se daba desde antes del año 1980, con lo cual puede afirmarse que corresponde a una situación poco frecuente de caudales particularmente bajos.

Para confirmar la tendencia a la baja observada desde el año 2003, se realizó una prueba estadística de tendencia utilizando el test no-paramétrico de Mann-Kendall que se encuentra implementado en el software ProUCL versión 5.1, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos⁷. En la prueba se consideraron estaciones locales y regionales, entre ellas varias estaciones de control que no están afectas a la influencia del proyecto Pascua Lama. Los resultados se muestran en las Figuras 38 a 43 para el período de enero de 1965 a septiembre de 2003, y en las Figuras 44 a 55 para el período de octubre de 2003 a septiembre de 2015. Los resultados se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9. Tendencia en el comportamiento de caudales en distintas estaciones según test de Mann-Kendall (con un 95% de nivel de confianza (n.c)).

Tipo de Estación	Río o quebrada	Nombre o código de estación	Tendencia en período desde enero de 1965 a septiembre de 2003 según test de Mann-Kendall (95% n.c.)	Tendencia en período desde octubre de 2003 a septiembre de 2015 según test de Mann-Kendall (95% n.c.)
Estaciones de control regionales (DGA)	Río Conay	Las Lozas	Decreciente*	Decreciente
	Río Carmen	El Corral	Creciente	Decreciente
	Río Tránsito	Angostura Pinte	Creciente	Decreciente
Estaciones de control en sector de Pascua Lama	Qda. Barriales	NE-1A	Creciente	Decreciente
	Qda. Agua de la Falda	PX-1	Sin datos	Decreciente
	Río del Toro	CN-2	Sin datos	Decreciente
	Río Blanco	NE-7	Sin datos	Decreciente

⁶ Informe contenido en el Anexo II-B del Adenda N°2 del EIA del proyecto “Modificación Proyecto Pascua Lama”.

⁷ Los detalles del software pueden ser consultados en <https://www.epa.gov/land-research/proucl-software>

	Río Pachuy	CN-8	Sin datos	Datos insuficientes
Estaciones DAR en sector de Pascua Lama	Río Estrecho	NE-5	**	Decreciente
		NE-2A	Creciente	Decreciente
		NE-3	**	Decreciente
		NE-4	Creciente	Decreciente
	Río Chollay	NE-8	**	Decreciente

* Datos disponibles solo a partir de octubre de 1984.

** Los registros históricos para este período en las estaciones NE-5, NE-3 y NE-8 fueron estimados en base a una correlación cuyo origen son los datos de la estación del río Tránsito en Angostura Pinte, al igual que para las estaciones NE-2A y NE-4. Dado el origen común de los datos, no se realizó la prueba puesto que los resultados son forzosamente análogos.

Los resultados muestran que en todas las estaciones analizadas, entre ellas estaciones DAR y estaciones de control (locales y regionales), existe evidencia estadística de un comportamiento decreciente de los caudales a partir de octubre del año 2003 y hasta septiembre de 2015, dando cuenta de que la situación responde a un fenómeno de carácter regional.

4. Otros estudios disponibles sobre la materia

En el marco del procedimiento de revisión de la RCA N°024/2006, se solicitó al Titular que “presente mayores antecedentes técnicos que justifiquen el cambio natural haciendo referencia técnica al fenómeno de El Niño y su frecuencia evidenciada en la cuenca del río Huasco”. En respuesta a ello, el mismo hizo entrega, mediante Carta PL-0054/2015, del Informe “Análisis Integrado Información Hidrológica” elaborado por Hidromas⁸ (en adelante “Hidromas 2015”). Dicho informe contiene un análisis del fenómeno ENSO, de la precipitación local y regional, y de los caudales monitoreados por Pascua Lama.

Por otra parte, existe un informe de carácter público⁹ titulado “La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro”, elaborado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, con fecha de noviembre de 2015. En dicho informe se abordan diversos aspectos del fenómeno climático referido, siendo de particular interés para el presente análisis su caracterización e impactos derivados.

A continuación se presentan las principales conclusiones que se derivan de cada uno de estos informes.

4.1. Análisis integrado Información Hidrológica, Hidromas 2015

Se evaluó la ocurrencia histórica del fenómeno del Niño y la Niña en base al Índice Oceánico del Niño (ONI), según la información disponible en el Centro de Predicciones Climáticas (CPC) para la región Niño 3.4, considerando el período entre enero del año 2000 y septiembre del año 2014. En base a ello se determinó que los años de Niño fueron el 2002, 2004 y 2009, siendo el primero el único de magnitud considerable. Asimismo, los años de Niña fueron el 2000, 2008 y 2010, siendo también el primero el único de magnitud considerable. Sin embargo, al comparar la ocurrencia de estos fenómenos climáticos con la información hidrológica local, se llegó a la conclusión

⁸ SEA. [en línea] <<http://www.sea.gob.cl/rca/modificaciones-proyecto-pascua-lama>>

⁹ UACH. [en línea] <<http://www.forestal.uach.cl/manejador/resources/2015informe-a-la-nacinla-megasequia-2010-2015una-leccion-para-el-futuro-1.pdf>>

de que no es posible relacionar tan directamente las tendencias históricas de disminución de precipitación y caudal, con la ocurrencia de eventos ENSO.

Se analizaron también los registros de precipitaciones a nivel regional (estaciones Conay, Vallenar y Cerro Olivares) y a nivel local (estación Barriales). El período analizado varió según la disponibilidad de datos en cada estación, abarcando desde el año 2000 para las estaciones Conay y Vallenar, desde el año 2009 para la estación Cerro Olivares, y desde el año 2001 para la estación Barriales. Según los antecedentes expuestos se concluyó que, tanto a nivel regional como local, existe una clara tendencia a la baja desde el último evento de precipitación importante ocurrido el año 2002.

En cuanto a los registros de caudales, se analizó la información disponible entre el año 2000 y 2014 en las estaciones vinculadas al proyecto en el río Estrecho (NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8), en la quebrada Barriales (NE-1A) y en el río Blanco (NE-7). En el análisis se consideraron las series de datos a nivel mensual, a nivel promedio anual, y en base a una media móvil de 12 meses. En las conclusiones se sostiene que existe una tendencia histórica de descenso, la cual se presenta con anterioridad al comienzo de la construcción del Proyecto, y que se ha mantenido posteriormente. Esta tendencia se manifiesta también en las estaciones NE-1A y NE-7 (ubicadas en áreas no intervenidas por el proyecto), lo que permite establecer que es de origen natural, y se relaciona con la tendencia a la baja de la precipitación.

Por último, se incorporó un análisis de la estadística de volumen almacenado en el embalse Santa Juana entre el año 2004 y 2014, el cual también permite evidenciar la evolución de la disponibilidad de agua en la cuenca del río Huasco, en la cual se emplaza el Proyecto Pascua Lama. Los registros muestran una disminución abrupta desde el año 2008 al año 2014, lo cual confirma la existencia de una disminución en la disponibilidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Huasco, más allá del área de influencia del Proyecto.

En términos generales, el informe concluye que en la cuenca del río Huasco (y en consecuencia en la cuenca del río Del Estrecho/Chollay) se han venido registrando años más bien secos, que han implicado una merma en la escorrentía superficial y una disminución de las reservas de agua naturales y artificiales de la cuenca. Adicionalmente se hace notar que, a partir de octubre de 2009, existe un evidente cambio en los registros de escorrentía de las estaciones NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8, lo que está directamente relacionado con el comienzo de la construcción del Proyecto Pascua Lama (sumado a los cambios naturales antes indicados).

4.2. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro, (CR)2 2015

Respecto del fenómeno del Niño, se indica que los años que conforman la megasequía se caracterizaron por condiciones neutras en el Pacífico ecuatorial, sin observarse un enfriamiento significativo del Pacífico tropical, a excepción del 2010 caracterizado como un evento de La Niña. A pesar que el 2015 se ha observado el desarrollo de un evento de El Niño intenso con ocurrencia de tormentas importantes en el norte de Chile, el déficit de precipitación se mantuvo en la zona central del país. Históricamente, bajo condiciones neutras puede haber déficit o superávit de precipitación en Chile central. La probabilidad de que al azar ocurra una secuencia de cinco años secos como la observada es extremadamente baja, sugiriendo la actuación de otros factores climáticos en la mantención e intensidad de la megasequía.

Un segundo factor que modula la precipitación en Chile central es la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en Inglés). La PDO es un modo natural “tipo ENOS”, pero sus fases cálidas y frías tienden a prevalecer por décadas. Tal como ocurre durante un año de La Niña, los períodos fríos de la PDO se caracterizan por una intensificación del anticiclón del Pacífico y un debilitamiento de los vientos del oeste, lo que tiende a producir condiciones relativamente secas en Chile central. Considerando el promedio del índice de la PDO entre 2007 y 2014, sería esperable un déficit pluviométrico en Chile central cercano al 15%, valor bastante más moderado que el observado (cercano al 30%). Esta discrepancia apunta a la acción del cambio climático antrópico para producir un déficit hídrico tan marcado y persistente como el de la actual megasequía.

Durante las últimas cuatro décadas se observa un gradual desplazamiento hacia el sur de la corriente en chorro del oeste y del cinturón subtropical de altas presiones. Los modelos climáticos que consideran los efectos antrópicos (aumento de gases de efecto invernadero (GEI) y disminución del ozono estratosférico) son capaces de reproducir estos desplazamientos e indican su continuación durante siglo XXI bajo escenarios de incremento de GEI. Consistente con lo anterior, los modelos proyectan una reducción en la precipitación anual de hasta un 30% respecto al promedio actual sobre Chile central hacia fines de este siglo. Para evaluar la contribución del cambio climático antrópico, se tuvieron a la vista las simulaciones para el período 2010-2050, utilizando un escenario pesimista de emisión de GEI. Los resultados muestran la presencia de una megasequía cada 20 años. A medida que avanza el siglo XXI la definición de sequía, como una condición transitoria pierde sentido ya que existirá una disminución sustancial y permanente de la precipitación anual. Así, la condición media en el futuro podría ser similar a la observada durante la actual megasequía.

En cuanto a las características de la megasequía, se destacan tres situaciones. En primer lugar, se hace notar que sequías de uno o dos años son un elemento recurrente en el clima de Chile Central, pero los últimos seis años destacan como el período seco de mayor duración y extensión territorial desde mediados del siglo pasado. En segundo lugar, se muestra que la megasequía ocurre durante la década más cálida registrada en Chile central, aumentando la pérdida de agua por evaporación y agravando el déficit hídrico. En tercer lugar, se presentan los resultados obtenidos de un estudio paleoclimático en base al crecimiento de los anillos en ejemplares de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), el cual revela el carácter excepcional de la actual megasequía en los últimos 1000 años.

Dentro de las consecuencias derivadas de este fenómeno, se destacan los impactos en los recursos hídricos, recursos costeros, vegetación, propagación de incendios, entre otros. En relación con los primeros, se concluye que la cantidad de agua que fluye en los ríos de Chile central se ha visto reducida en directa respuesta al déficit de precipitaciones durante la megasequía, cuyo efecto también es evidente en lagos, embalses, nieve y aguas subterráneas.

En términos generales, el informe concluye que la denominada megasequía es un fenómeno extraordinario por su duración y extensión, siendo más de la mitad del déficit pluviométrico producto de alteraciones climáticas de origen natural y que varían en el tiempo. Sin embargo, el cambio climático antrópico es responsable de al menos un cuarto del déficit observado, una fracción que, se prevé, aumentará en el futuro.

5. Conclusiones

En los estudios de línea de base presentados en el marco del EIA del proyecto “Modificación proyecto Pascua Lama” se analizó la hidrología y se estableció una relación entre las precipitaciones y los caudales, en la que las precipitaciones ocurridas a lo largo de un año inciden en la magnitud de los caudales en el período de deshielo siguiente. El comportamiento de ambas variables en el tiempo mostró que normalmente un año de altas precipitaciones es seguido por varios años de bajas precipitaciones y, por consiguiente, los caudales reflejan este mismo patrón.

En base a esta dinámica se analizaron los registros de información disponibles de caudales y precipitaciones para caracterizar su comportamiento hasta el año 2015. Para ello se utilizaron los datos meteorológicos y fluviométricos presentados en los estudios de línea de base, los cuales fueron complementados con la información recabada de distintas fuentes, principalmente información provista por el Titular e información pública de la DGA. También se incluyó un análisis del índice ONI que da cuenta de la ocurrencia del fenómeno ENSO, cuya influencia en las precipitaciones (y por tanto en los caudales) es conocida.

En el análisis se incluyó información de estaciones locales y regionales, algunas de las cuales se encuentran directamente relacionadas a zonas intervenidas por el proyecto, mientras que otras que no lo están actúan como estaciones de control.

En términos temporales el análisis distingue entre dos períodos, uno que corresponde al intervalo donde se recabaron los datos de línea de base (1999 al 2005), y otro que corresponde al período posterior al inicio de la ejecución del proyecto (octubre de 2009 en adelante).

Los resultados permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- La ocurrencia del fenómeno del Niño permite explicar la mayoría de los eventos de precipitaciones marcadamente elevadas, con el consiguiente aumento de caudales en la siguiente época de deshielos. Sin embargo esta relación no se verifica en todos los casos y no permite explicar la ocurrencia de bajas precipitaciones, las cuales no muestran una buena correlación con el fenómeno de la Niña. De esta forma, la ocurrencia del fenómeno del Niño o la Niña no es un indicador que permita por sí solo explicar la dinámica de precipitaciones y caudales en la zona.
- Las precipitaciones ocurridas en el período de línea de base pueden ser consideradas como normales, con dos años en que ocurrieron precipitaciones particularmente importantes (2000 y sobre todo 2002). Por su parte, las precipitaciones en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto se caracterizan por ser normales a moderadamente bajas, sin ningún año de precipitaciones particularmente importantes. Al comparar ambos períodos entre sí, se concluye que el período de línea de base representa una condición de mayores precipitaciones que período posterior al inicio de la ejecución del proyecto. En efecto, los valores de precipitación acumulada en el período de línea de base son entre 1,5 y 2,5 veces superiores a los del período posterior al inicio de la ejecución del proyecto.
- Los caudales registrados en el período de línea de base pueden ser considerados entre moderadamente altos y altos, mientras que en el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto se caracterizan por ser mayoritariamente bajos. Al comparar ambos períodos entre sí, se concluye que el período de línea

de base representa una condición de mayores caudales que el período posterior al inicio de la ejecución del proyecto. En efecto, los caudales en el período de línea de base son en su mayoría entre 2 y 3 veces superiores a los del período posterior al inicio de la ejecución del proyecto.

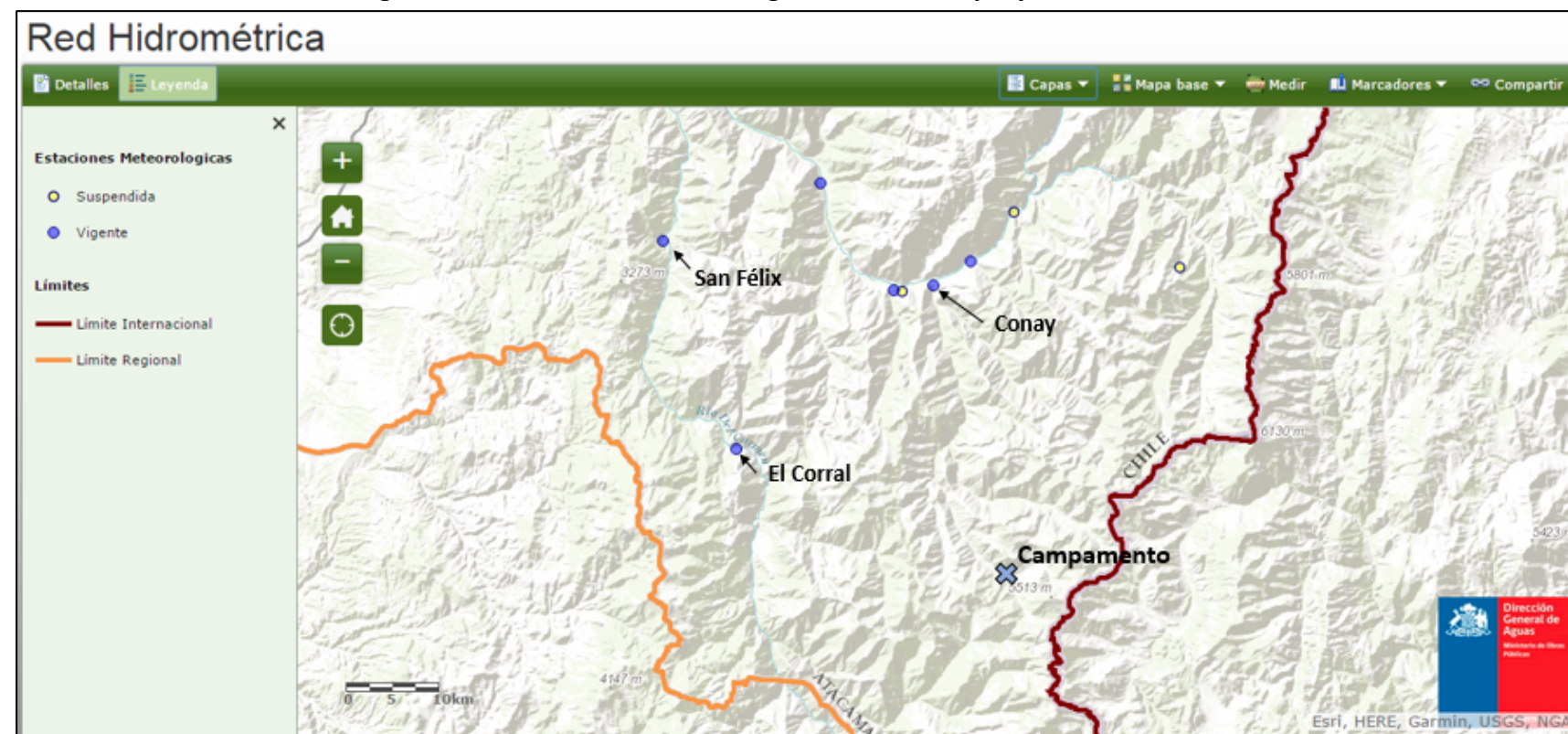
- El análisis temporal de las series de caudales revela que en el período 2002/2003 se registraron caudales importantes cuyo origen se encuentra en las abundantes precipitaciones que ocurrieron en el año 2002 (que fue un año de fenómeno del Niño), luego de lo cual se produjo una disminución gradual hasta alcanzarse caudales inferiores a la mediana histórica desde octubre de 2009 en adelante. Esta circunstancia se extendió hasta el final del período analizado, resultando en un período de 6 años consecutivos de caudales reducidos, situación que no se daba desde hace 30 años.

Existen dos estudios elaborados de forma independiente que también analizan la situación hídrica en la zona. Uno de ellos fue elaborado por Hidromas a solicitud del Titular (en el marco del procedimiento de revisión de la RCA N°024/2006), mientras que el otro fue elaborado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. Ambos estudios llegan a conclusiones muy similares, que permiten a su vez reafirmar las conclusiones del presente análisis. En particular, existe consenso respecto de las siguientes materias:

- El fenómeno del Niño o la Niña no es un indicador que permita por sí solo explicar la dinámica de precipitaciones y caudales en la zona.
- A nivel de precipitaciones, existe un evento prolongado de sequía que se ha manifestado desde el año 2009/2010 hasta, al menos, el año 2015.
- La situación anterior tiene consecuencias sobre la disponibilidad de recursos hídricos, en particular sobre los caudales que fluyen en los ríos, los cuales se ven reducidos.
- El origen de este fenómeno es principalmente natural y se presenta en una escala territorial amplia. Según esto, es posible establecer que no está relacionado con la ejecución del proyecto Pascua Lama (sin perjuicio de que pueda existir un efecto adicional de carácter local).

FIGURAS

Figura N° 1. Estaciones meteorológicas cercanas al proyecto Pascua Lama.



Fuente: Red Hidrométrica de la Dirección General de Aguas. Se superpuso al mapa la ubicación de la estación meteorológica instalada en el campamento de Pascua Lama y el nombre de las estaciones meteorológicas vigentes más cercanas que fueron consideradas en el análisis.

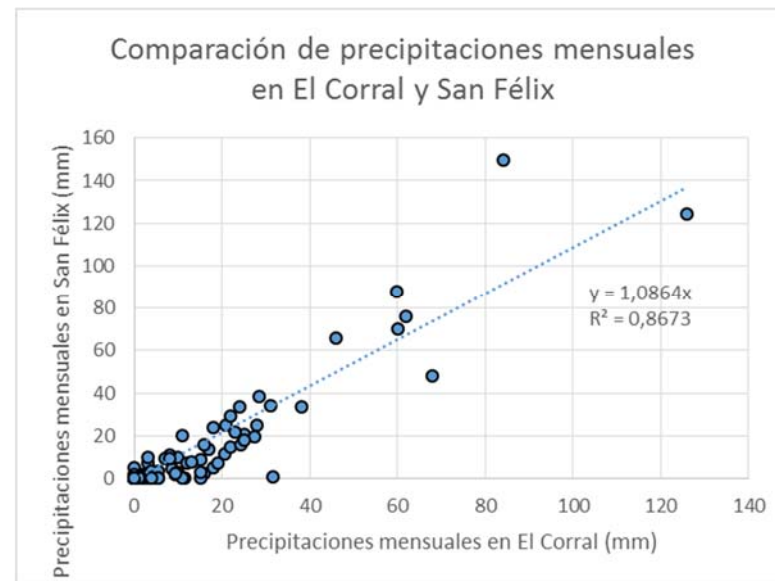


Figura 2. Correlación de precipitaciones mensuales entre la estación El Corral y San Félix.

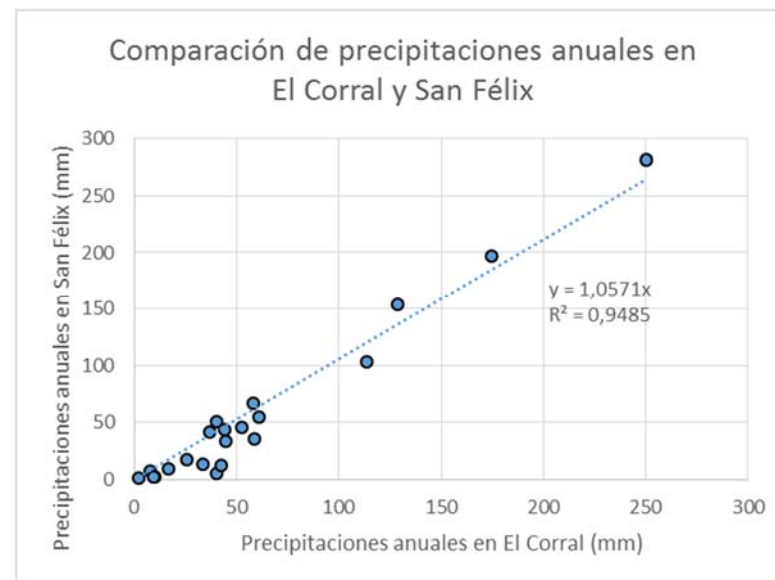


Figura 3. Correlación de precipitaciones anuales entre la estación El Corral y San Félix.

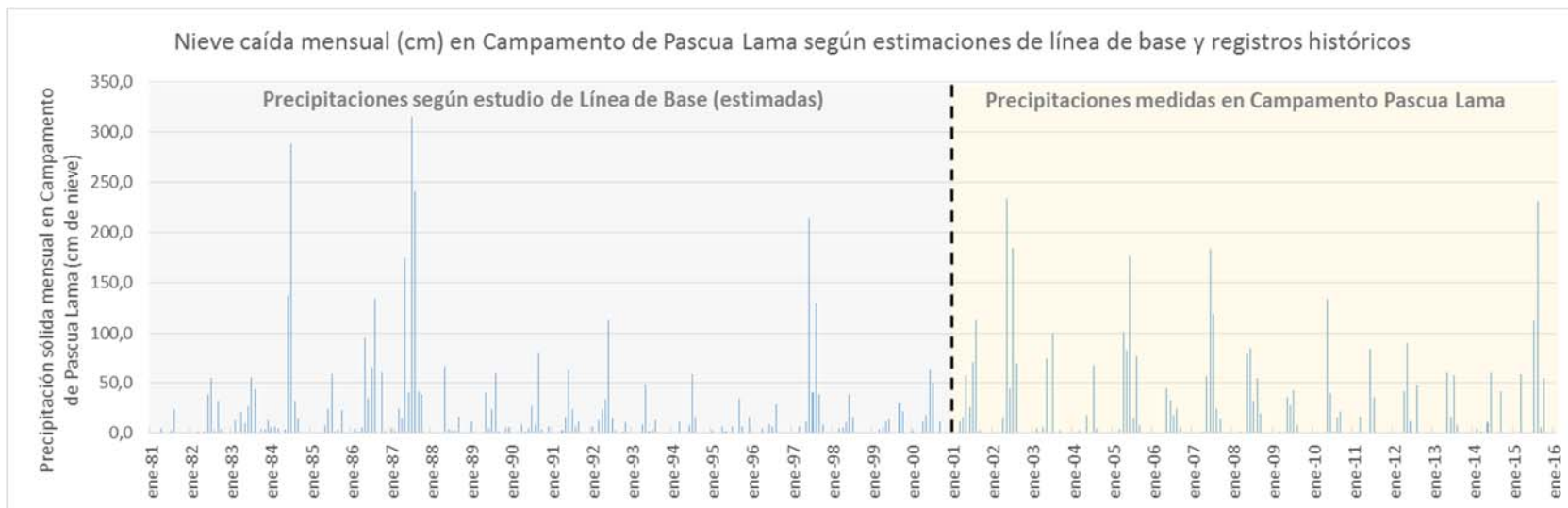


Figura 4. Registro mensual de nieve en el Campamento de Pascua Lama.

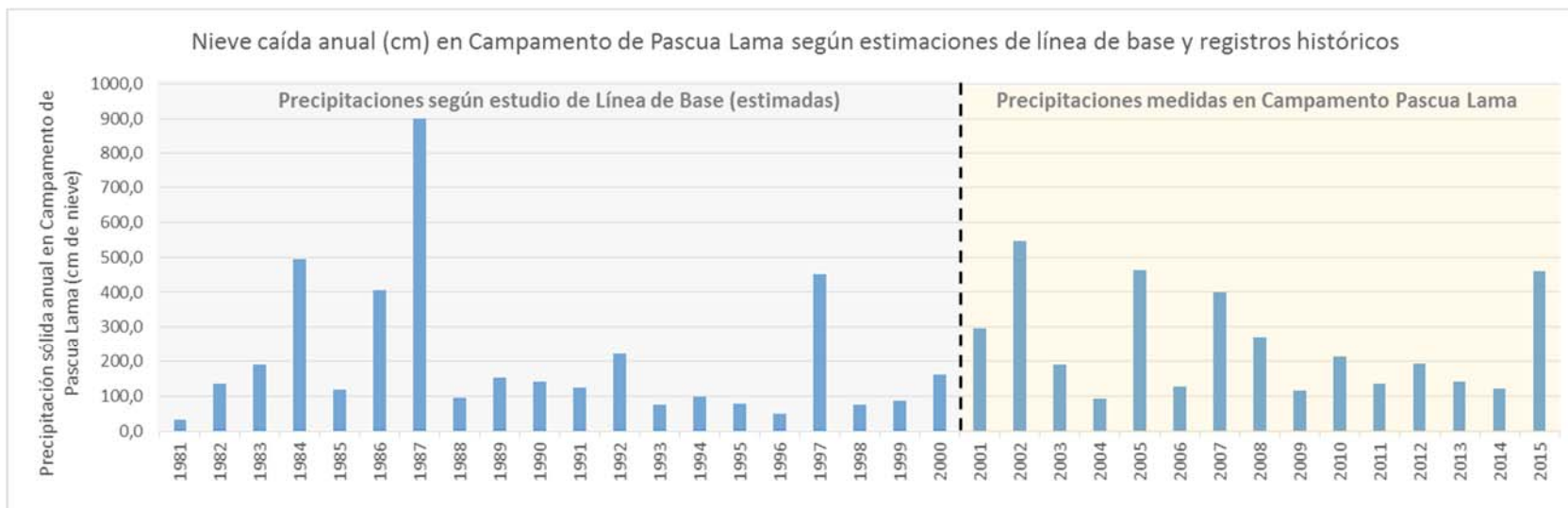


Figura 5. Registro anual de nieve en el Campamento de Pascua Lama.

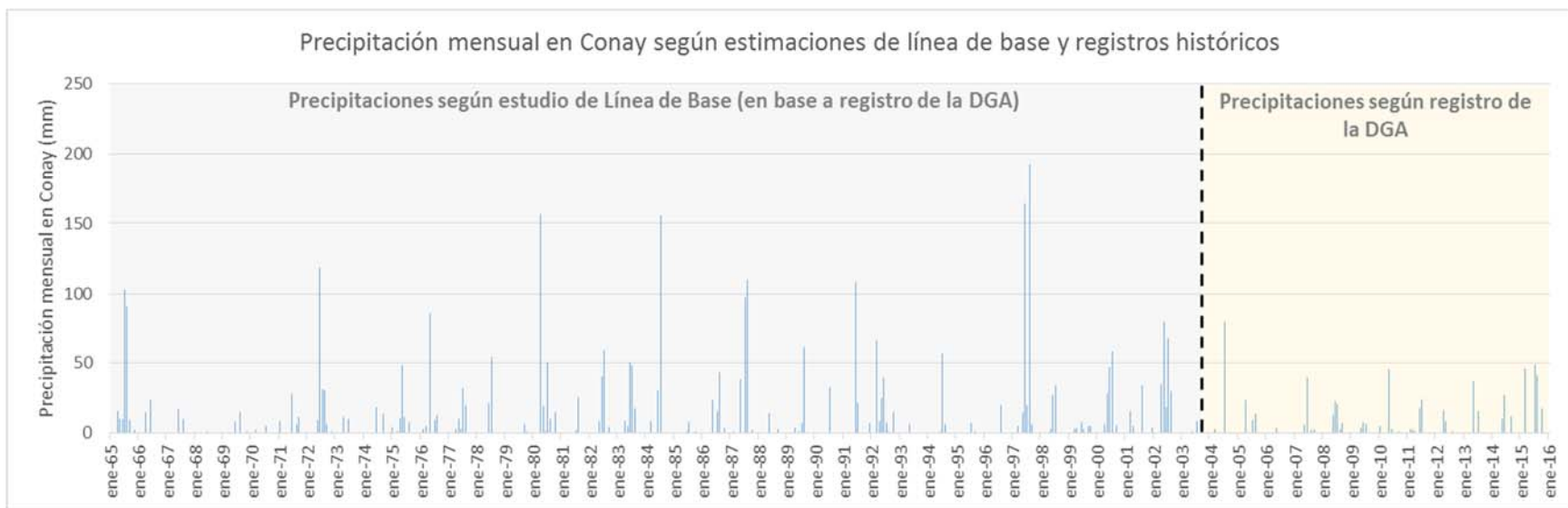


Figura 6. Registro mensual de precipitaciones en estación Conay.

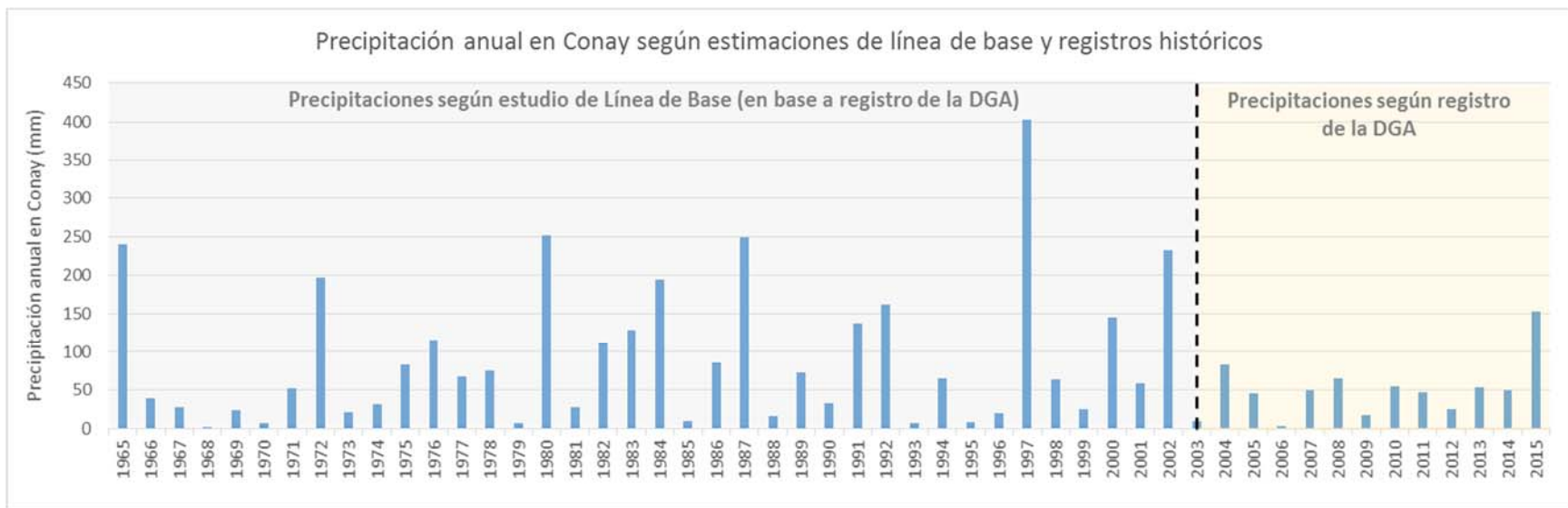


Figura 7. Registro anual de precipitaciones en estación Conay.

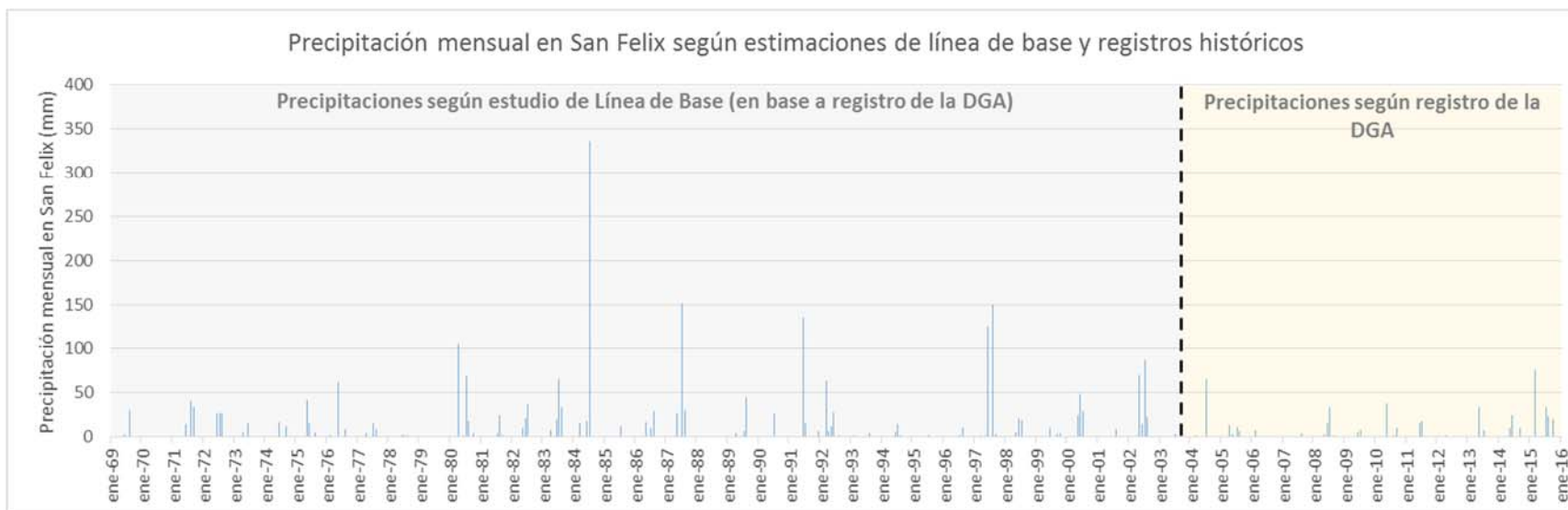


Figura 8. Registro mensual de precipitaciones en estación San Félix.

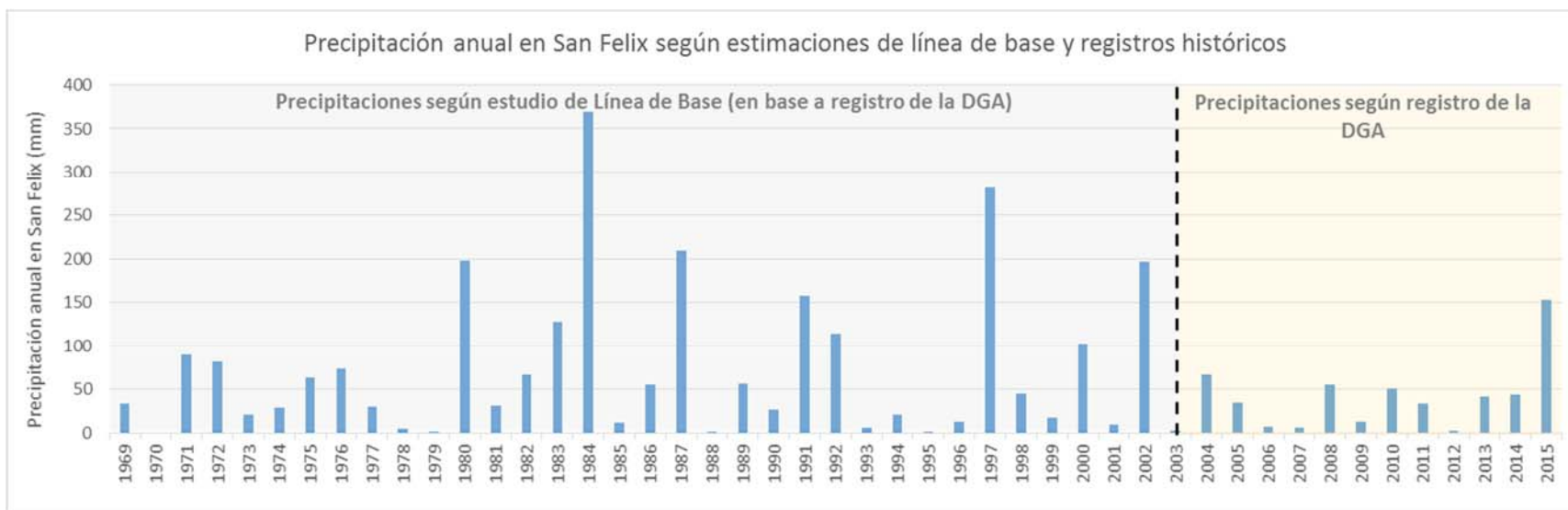


Figura 9. Registro anual de precipitaciones en estación San Félix.

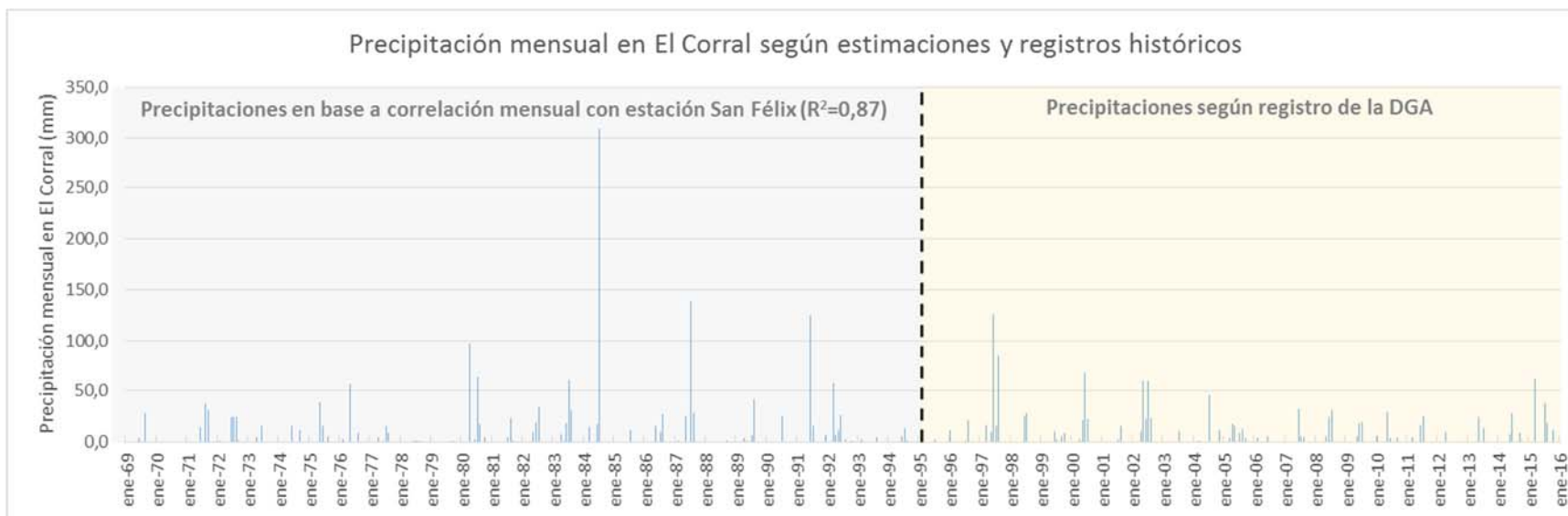


Figura 10. Registro mensual de precipitaciones en estación El Corral.

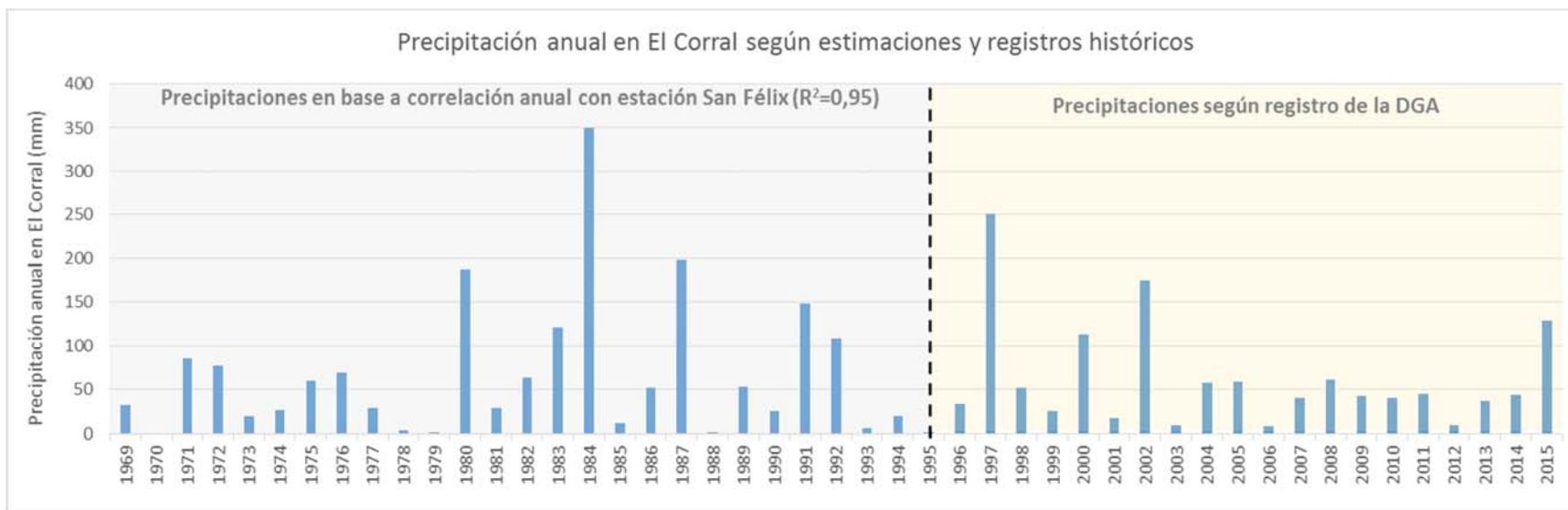


Figura 11. Registro anual de precipitaciones en estación El Corral.

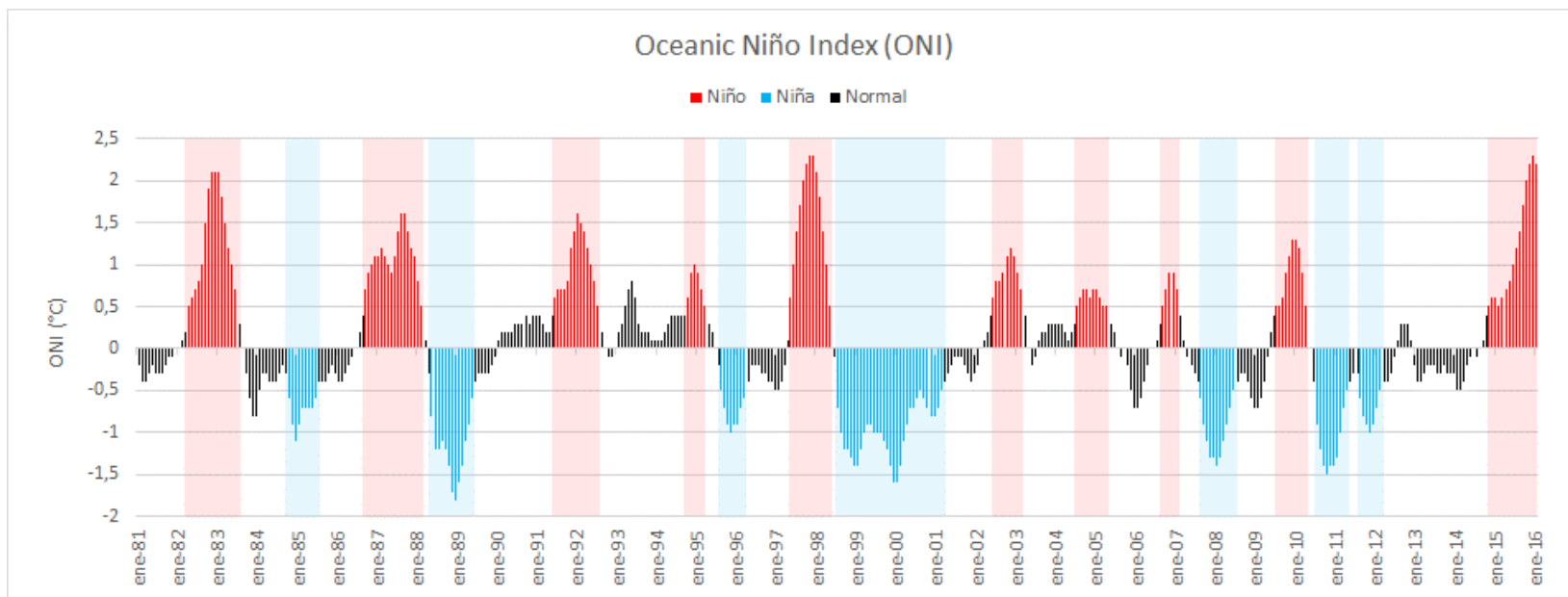


Figura 12. Fenómeno ENSO según índice ONI (fuente: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

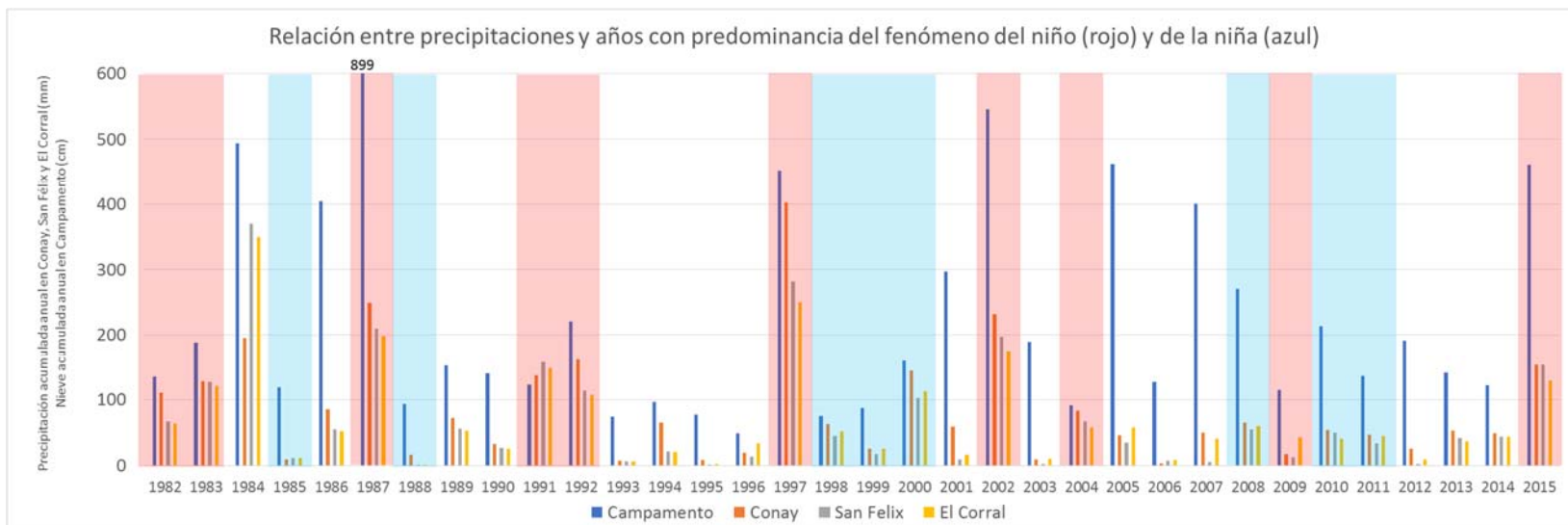


Figura 13. Relación entre las precipitaciones anuales en las estaciones meteorológicas analizadas y el fenómeno ENSO.

Red Hidrométrica

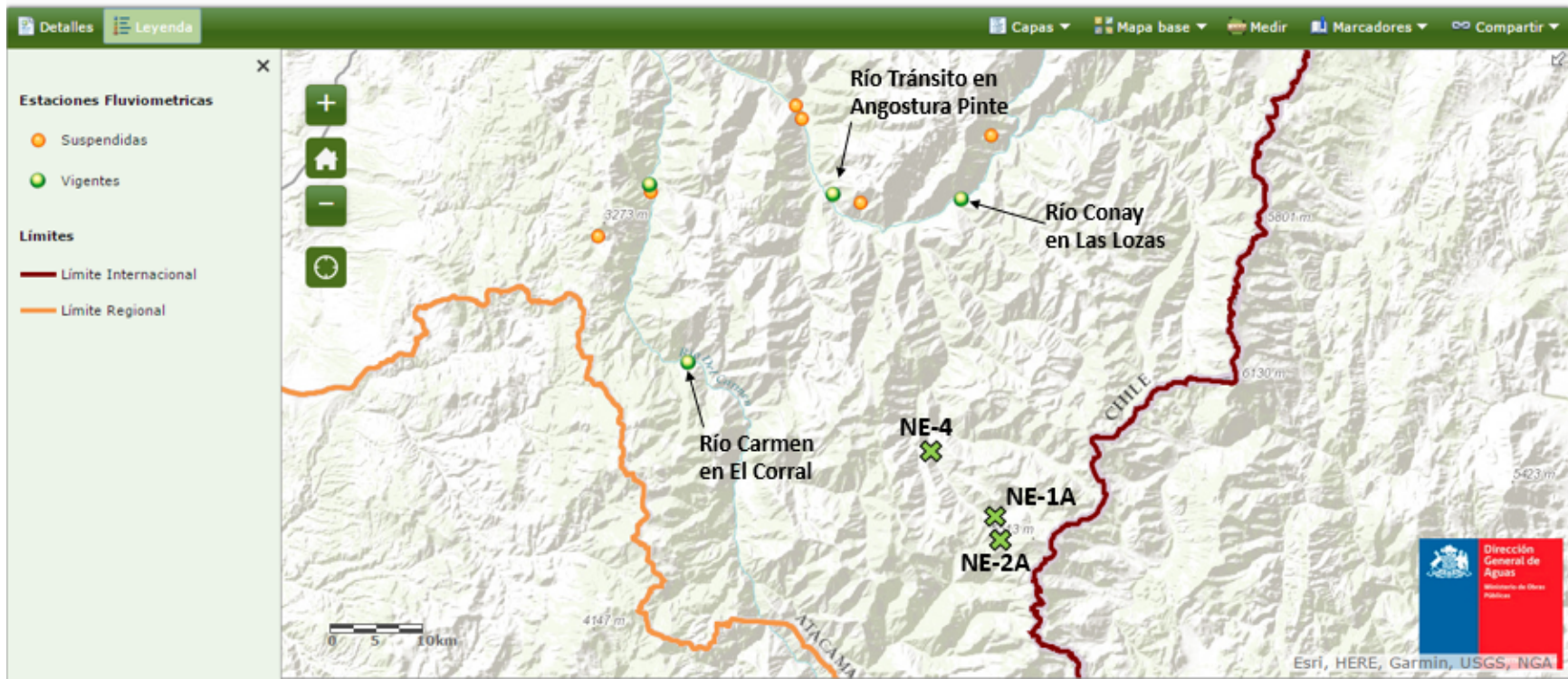


Figura 14. Estaciones fluviométricas cercanas al proyecto Pascua Lama. Fuente: Red Hidrométrica de la Dirección General de Aguas. Se superpuso al mapa la ubicación de ciertas estaciones de monitoreo del proyecto Pascua Lama (NE-1A, NE-2A y NE-4) y el nombre de las estaciones fluviométricas vigentes más cercanas que fueron consideradas en el análisis.

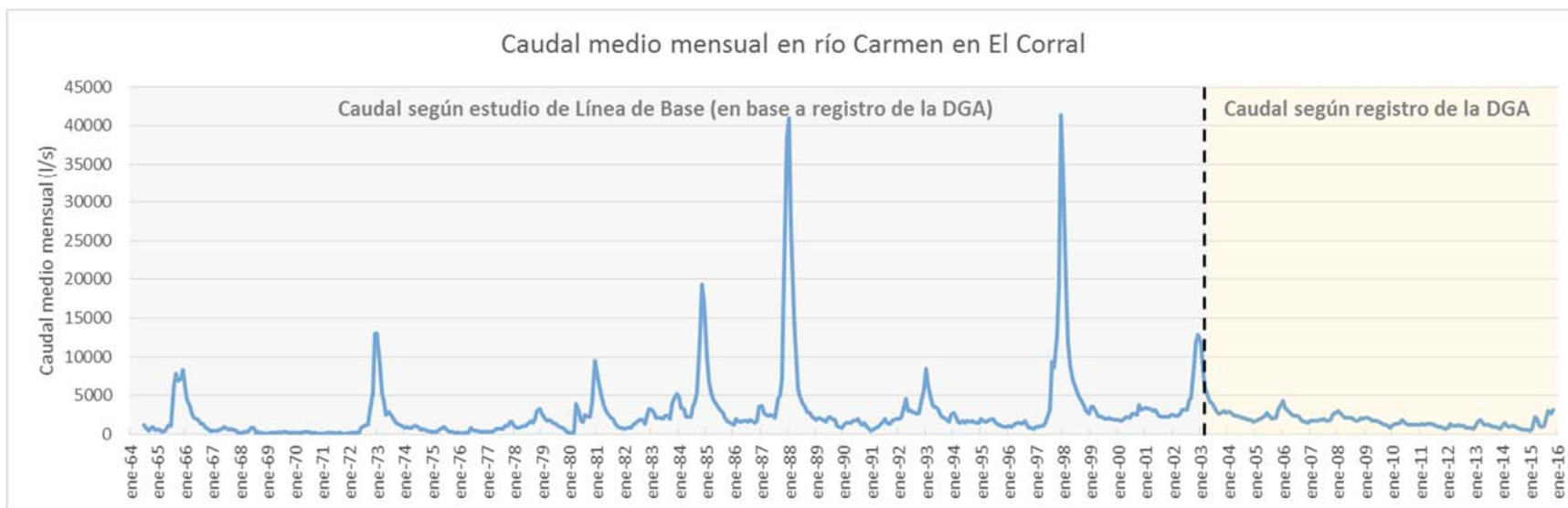


Figura 15. Registro de caudal medio mensual en río Carmen en El Corral.

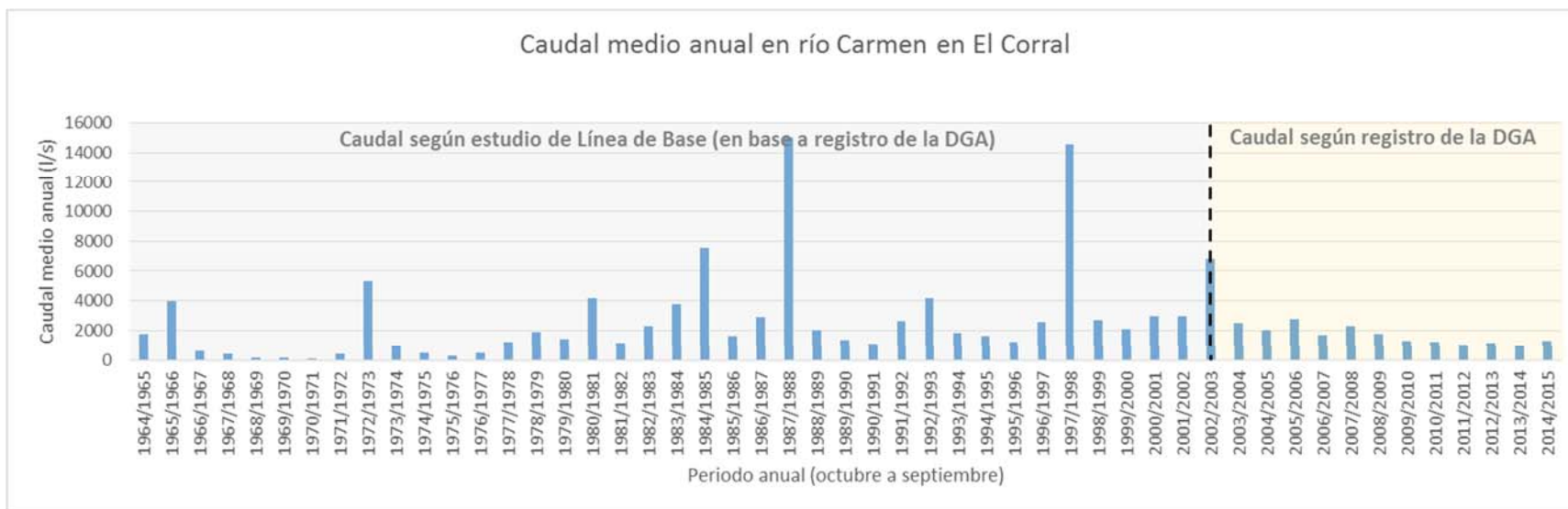


Figura 16. Registro de caudal medio anual en río Carmen en El Corral.

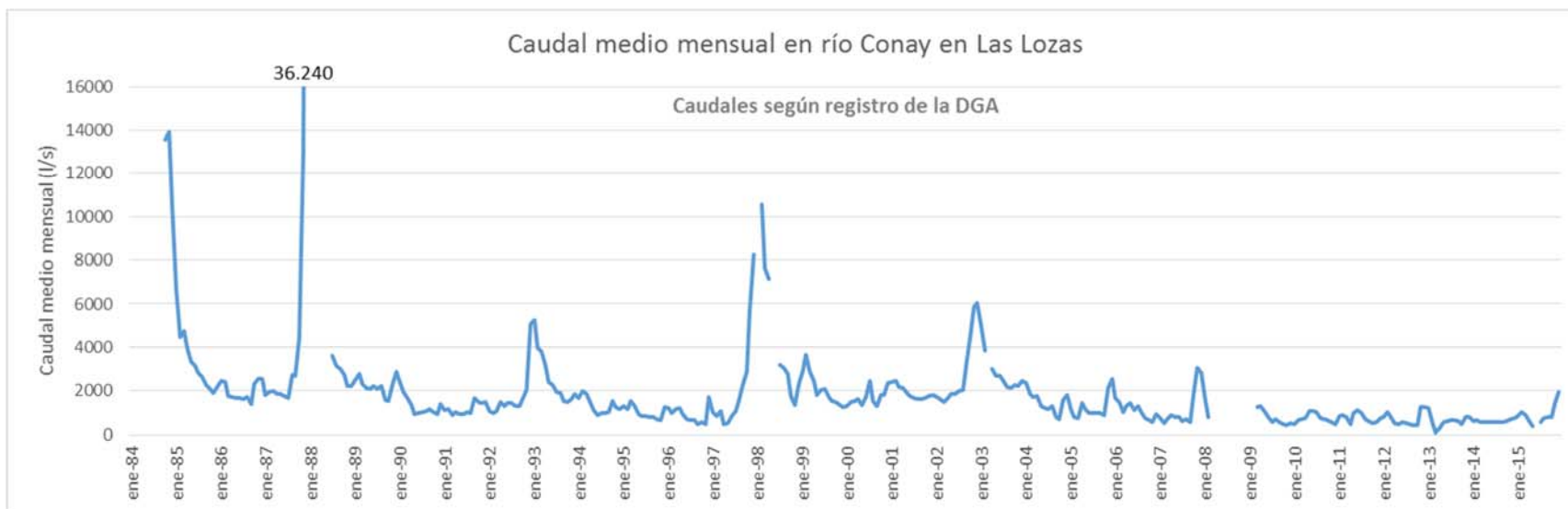


Figura 17. Registro de caudal medio mensual en río Conay en Las Lozas.

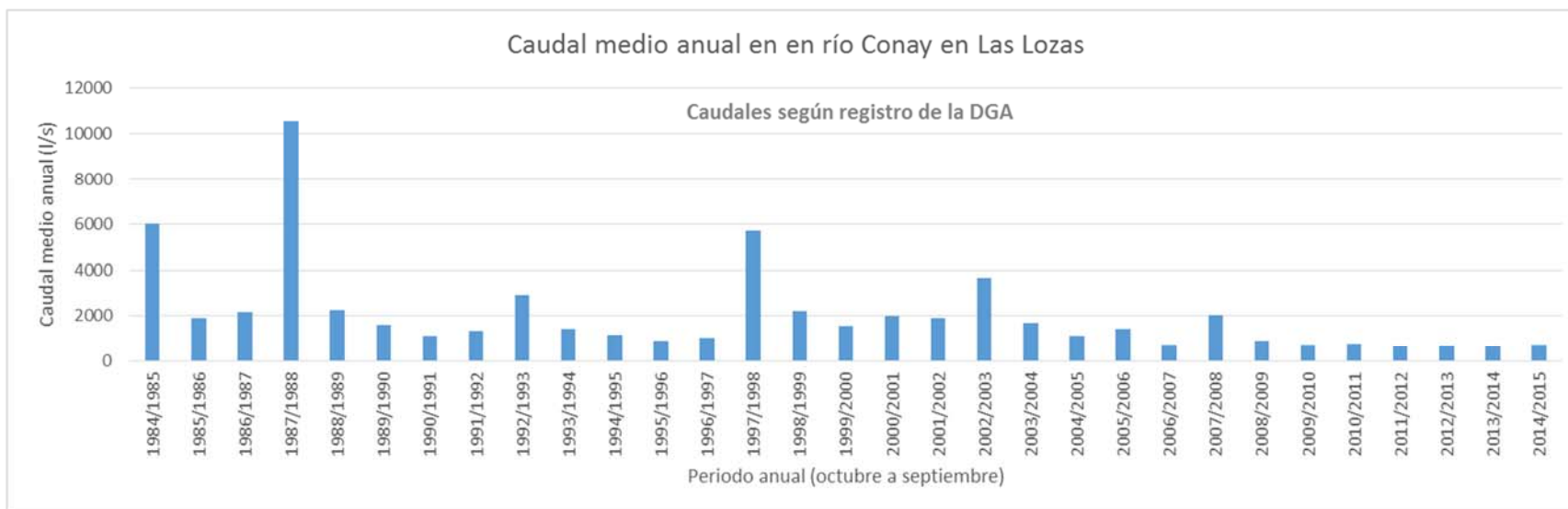


Figura 18. Registro de caudal medio anual en río Conay en Las Lozas.

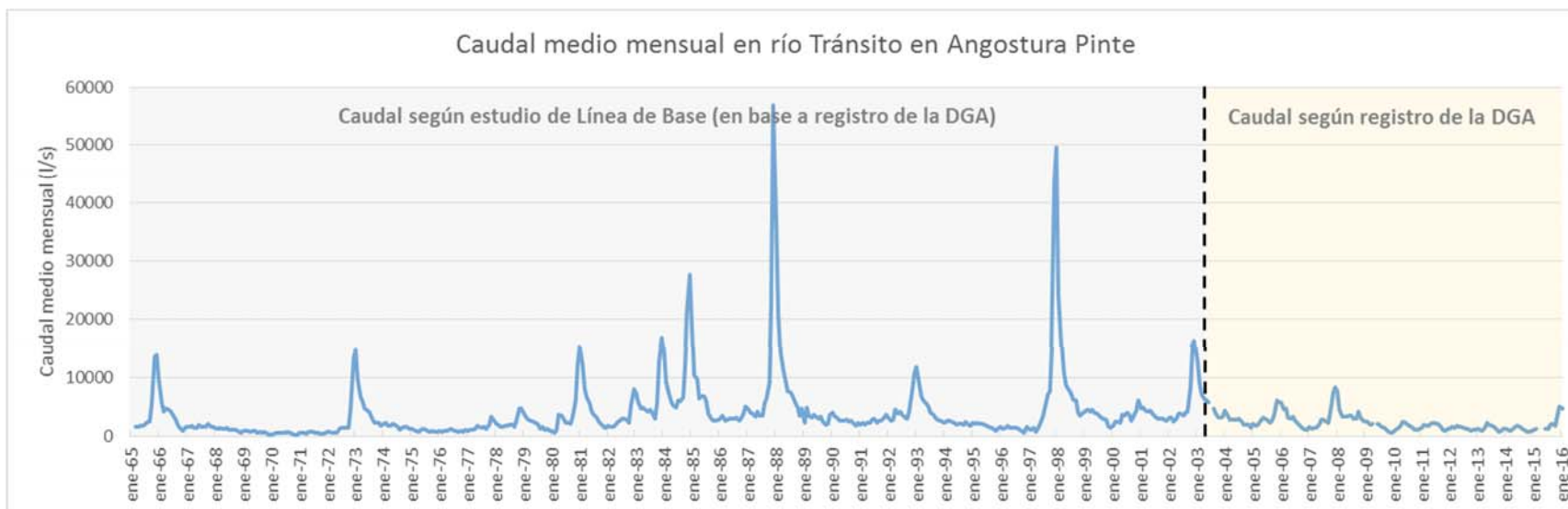


Figura 19. Registro de caudal medio mensual en río Tránsito en Angostura Pinte.

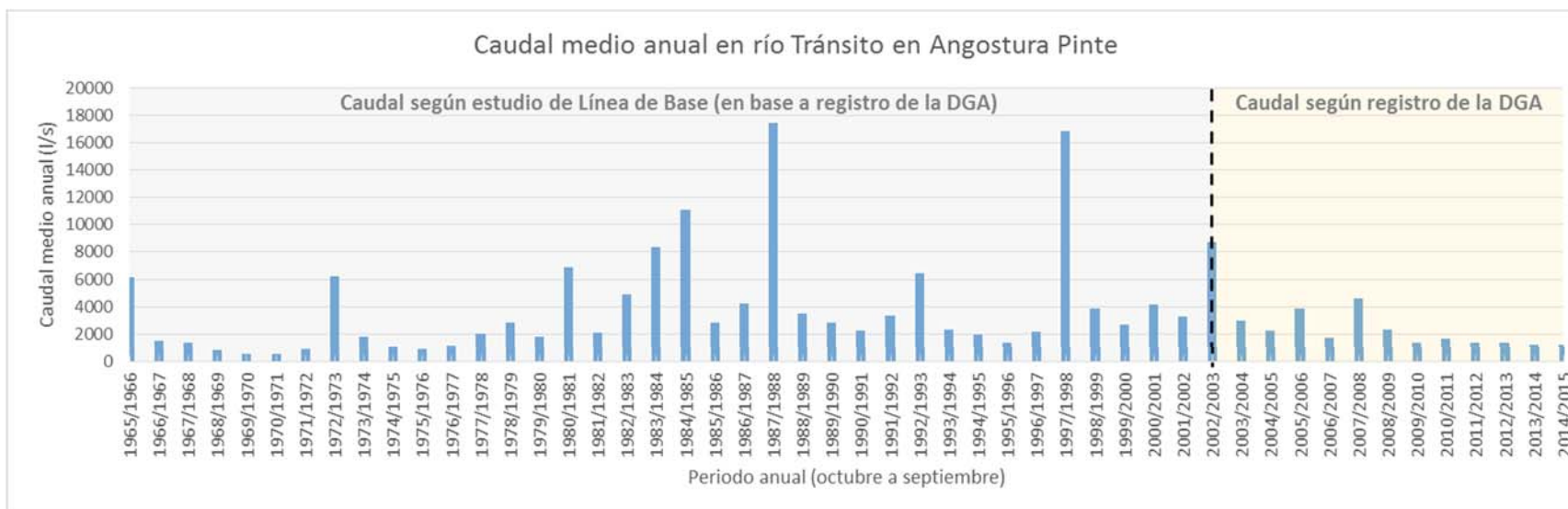


Figura 20. Registro de caudal medio anual en río Tránsito en Angostura Pinte.

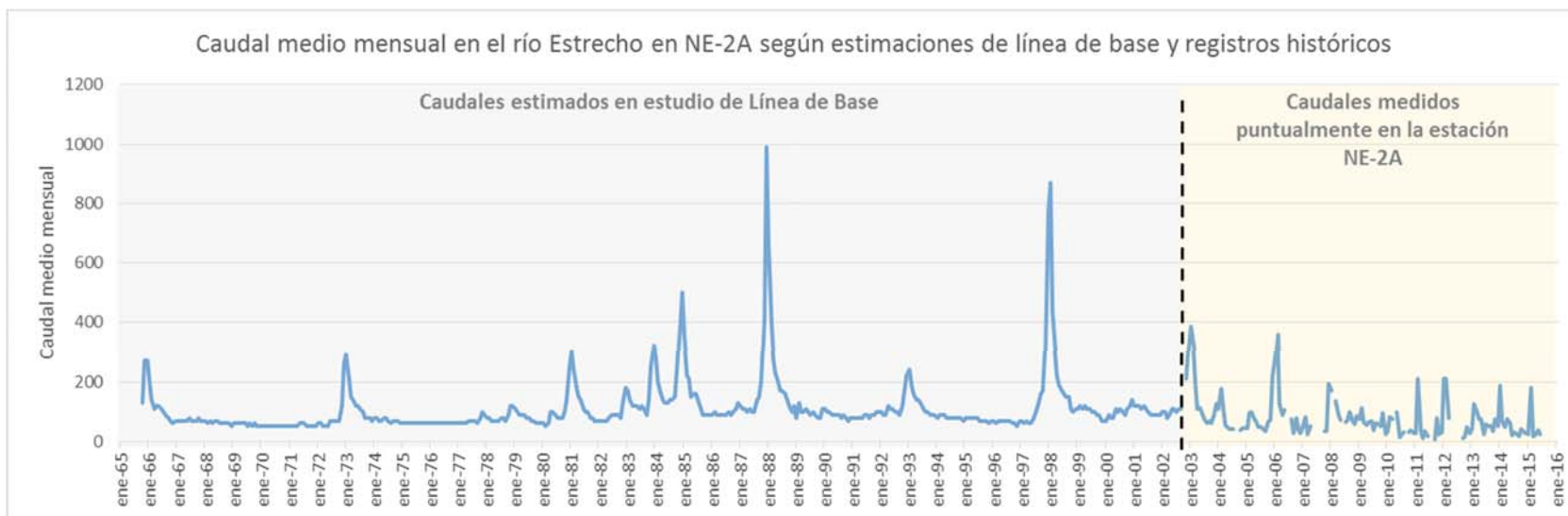


Figura 21. Registro de caudal medio mensual en río Estrecho en NE-2A.

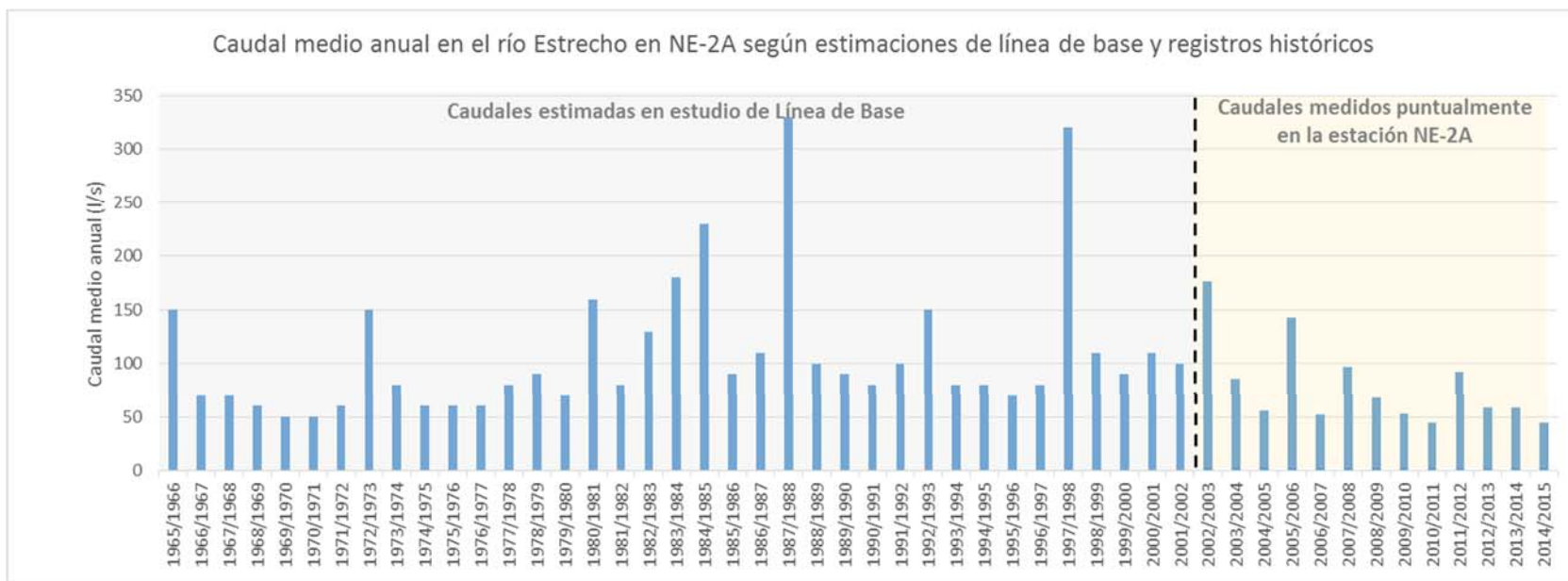


Figura 22. Registro de caudal medio anual en río Estrecho en NE-2A.

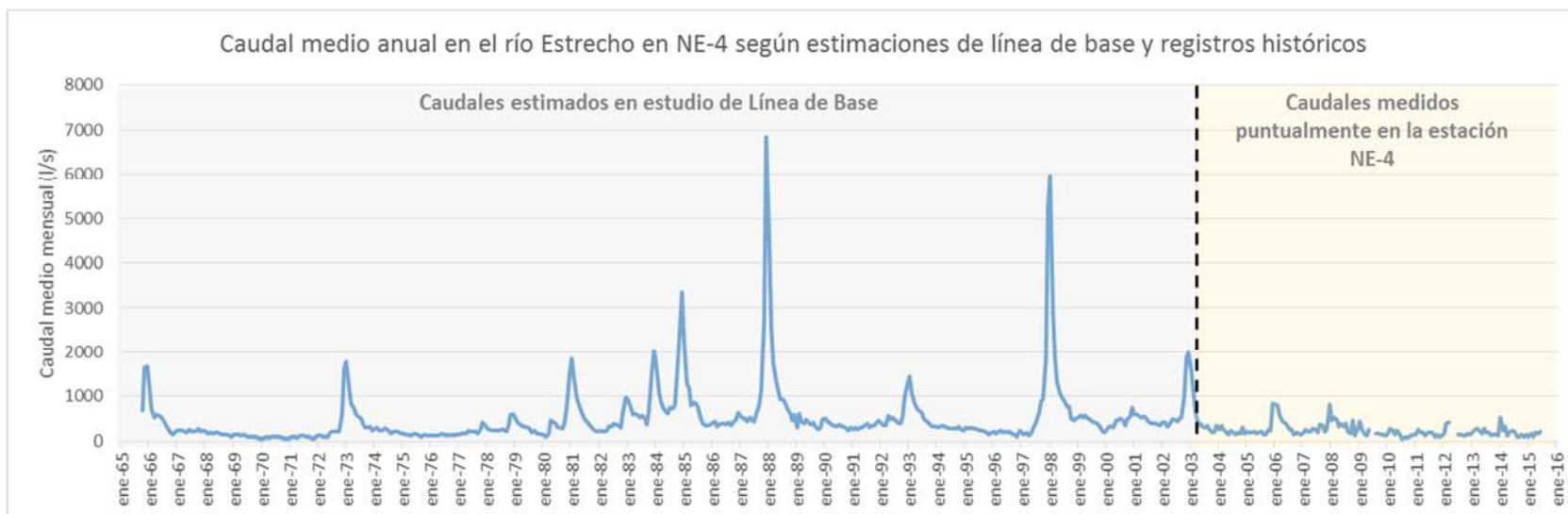


Figura 23. Registro de caudal medio mensual en río Estrecho en NE-4.



Figura 24. Registro de caudal medio anual en río Estrecho en NE-4.

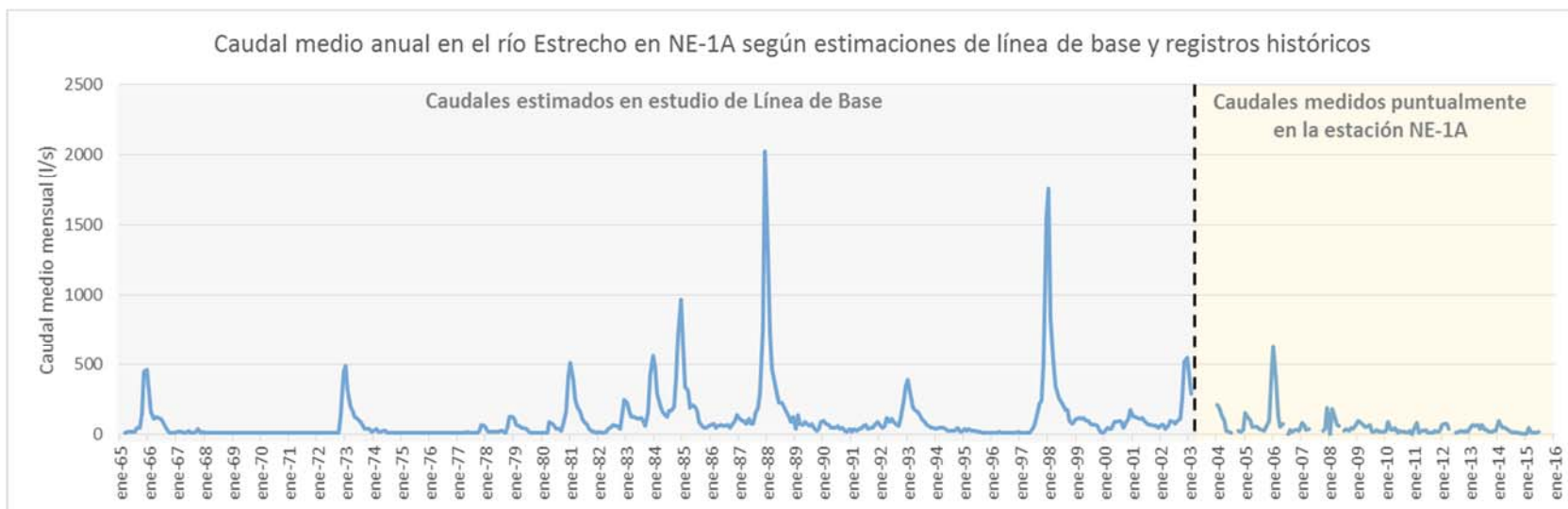


Figura 25. Registro de caudal medio mensual en río Estrecho en NE-1A.



Figura 26. Registro de caudal medio anual en río Estrecho en NE-1A.

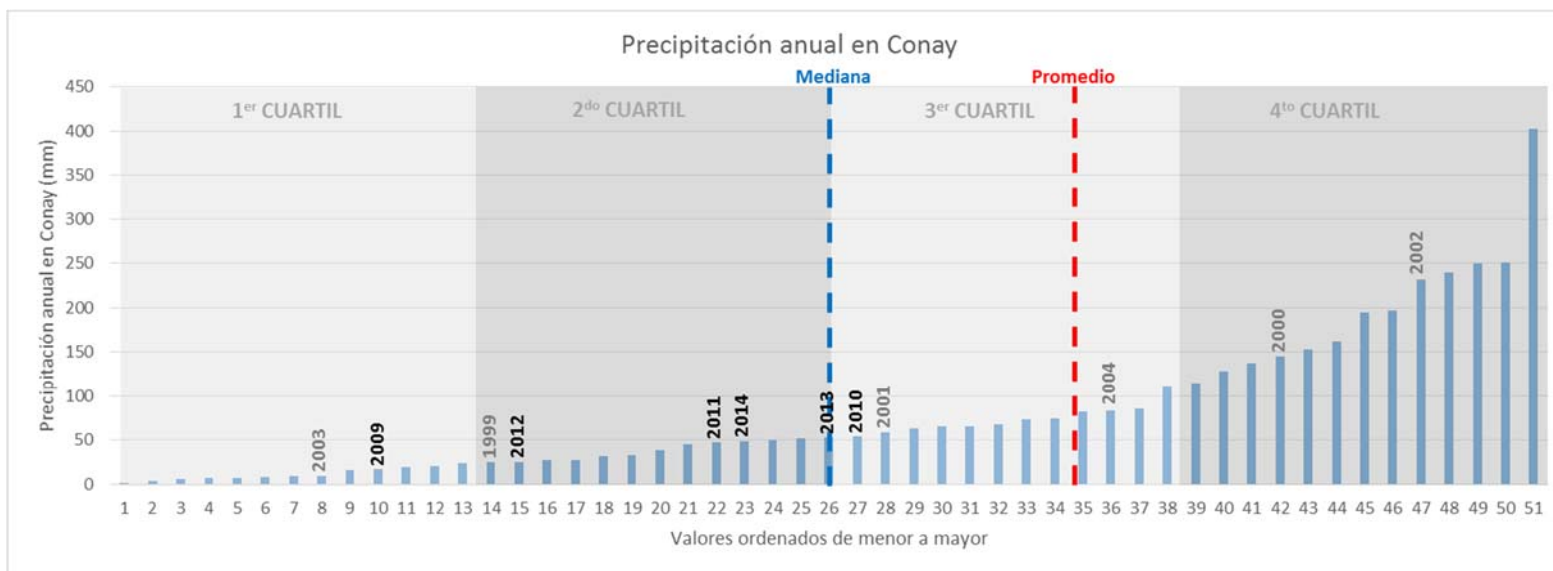


Figura 27. Ranking anual de precipitaciones en Conay.

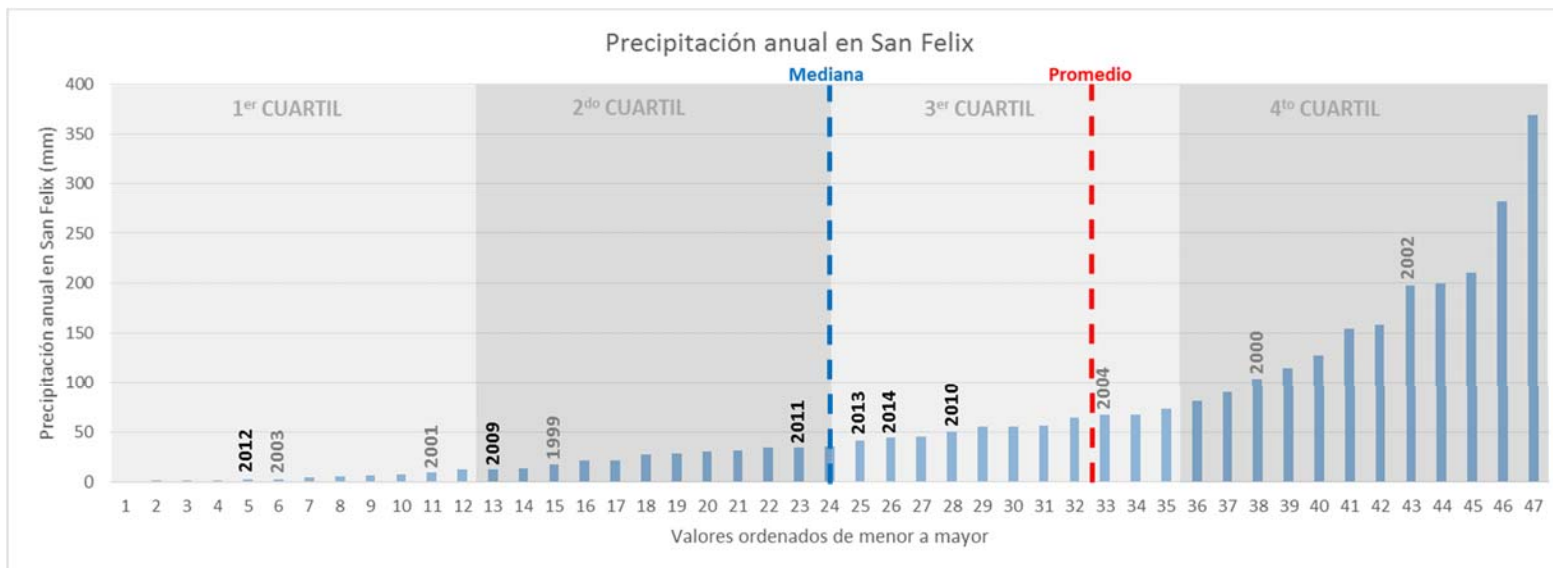


Figura 28. Ranking anual de precipitaciones en San Félix.

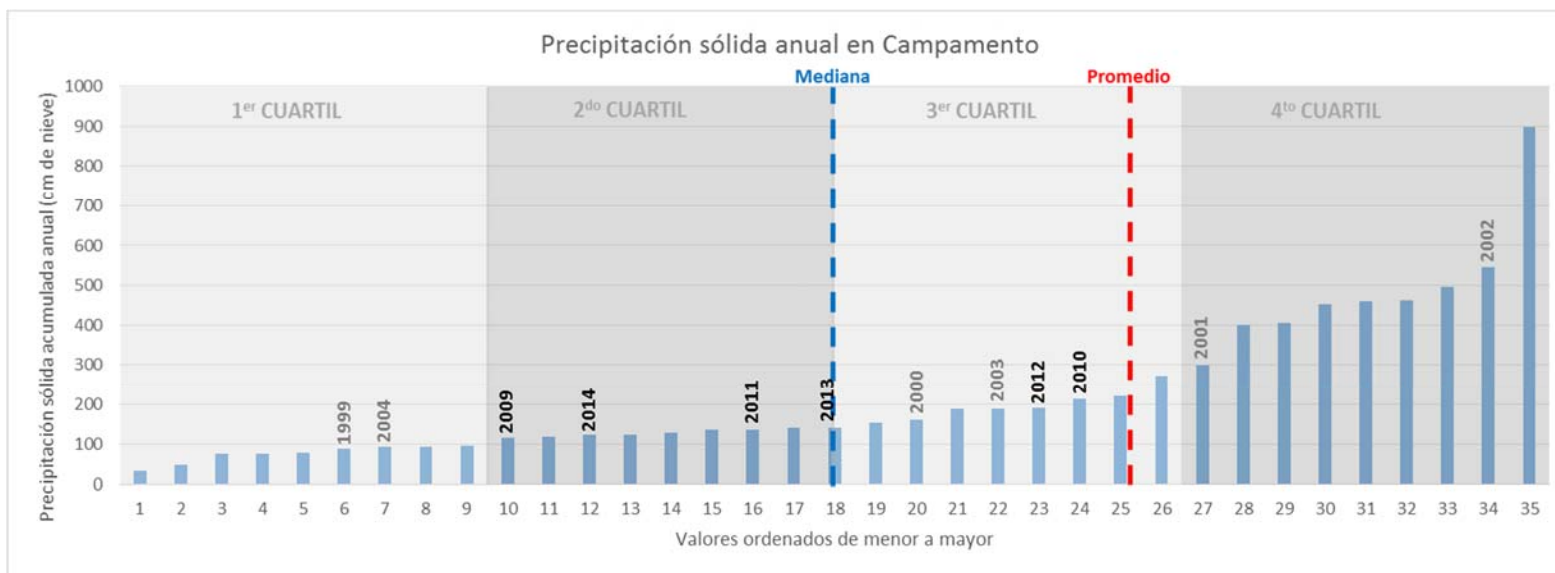


Figura 29. Ranking anual de precipitaciones sólidas (cm de nieve) en el Campamento de Pascua Lama.

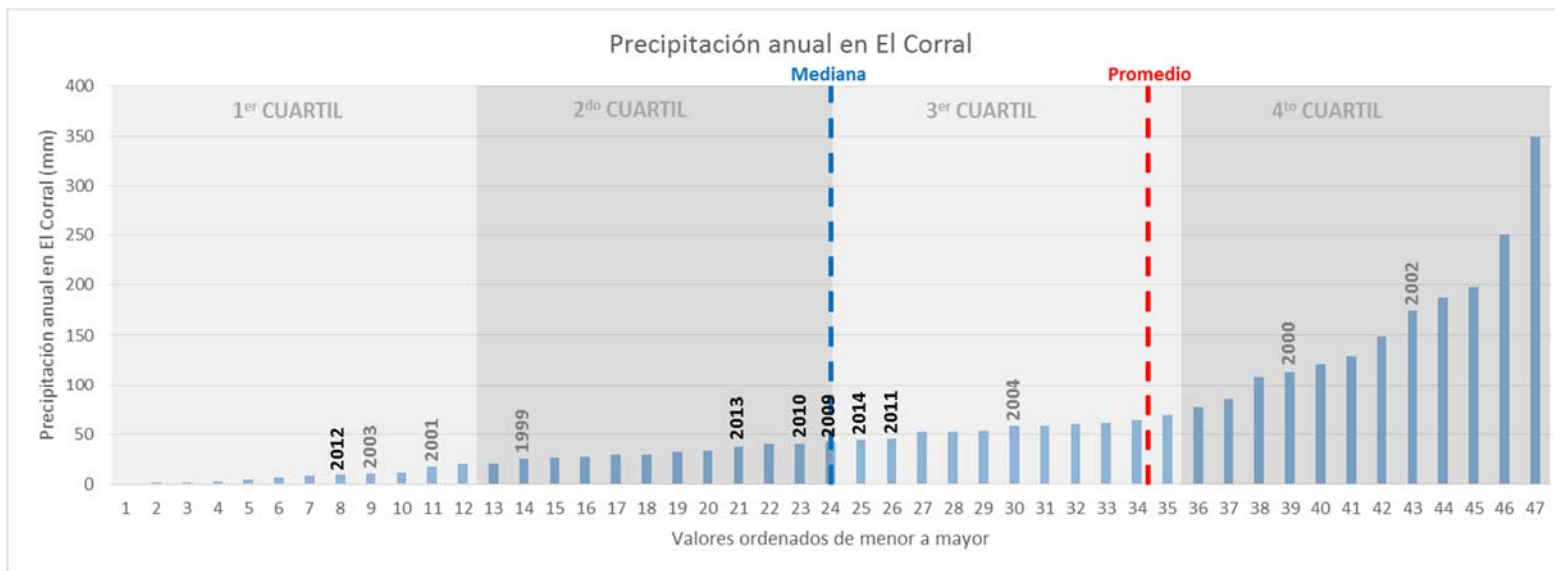


Figura 30. Ranking anual de precipitaciones en El Corral.

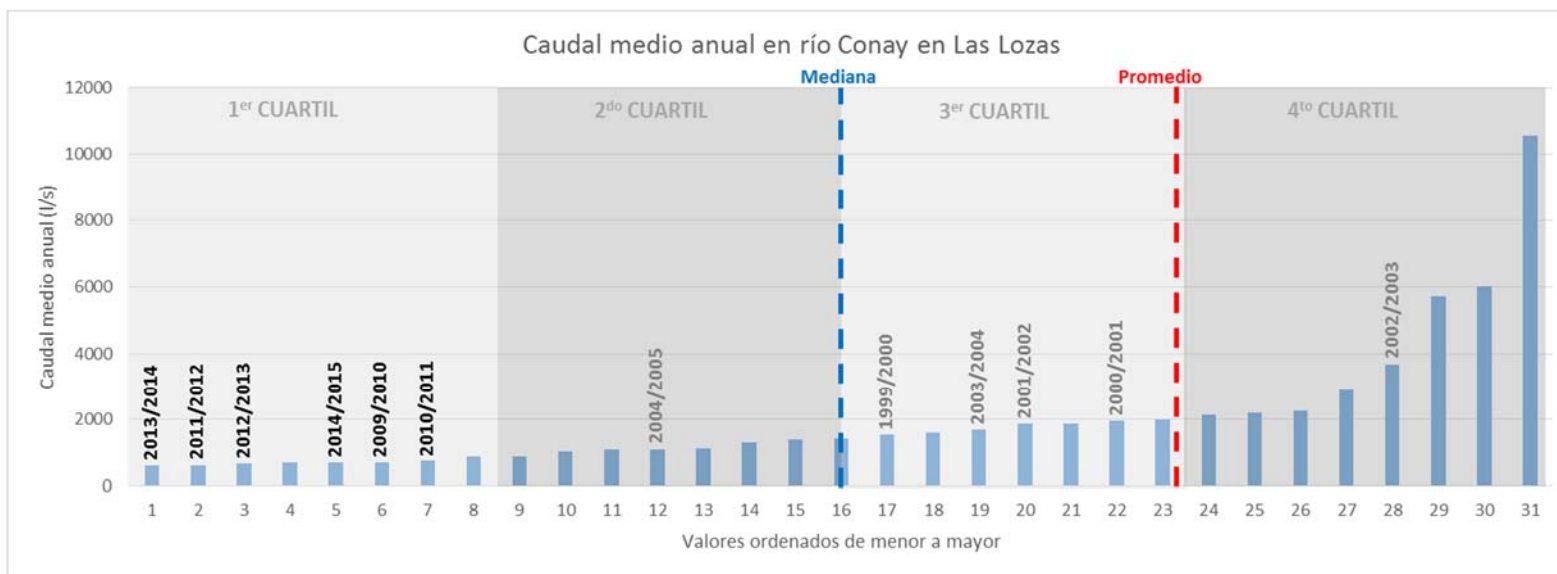


Figura 31. Ranking anual de caudales en Conay.

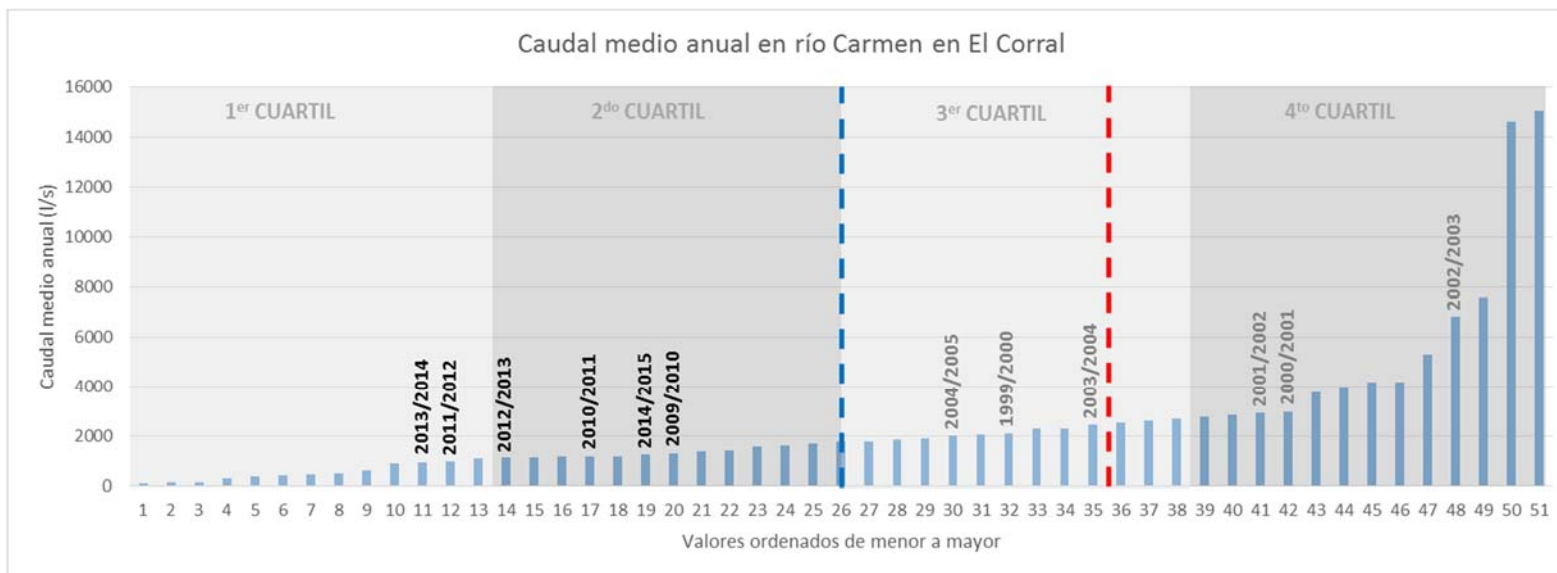


Figura 32. Ranking anual de caudales en el río Carmen El Corral.

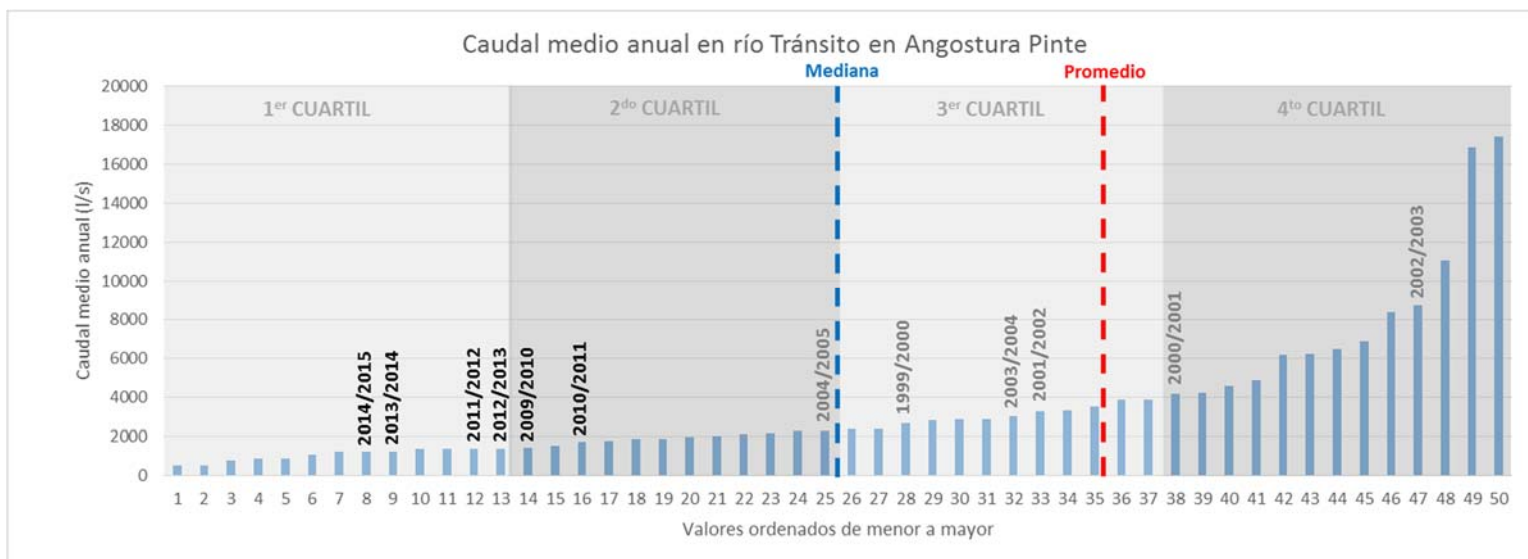


Figura 33. Ranking anual de caudales en el río Tránsito en Angostura Pinte.

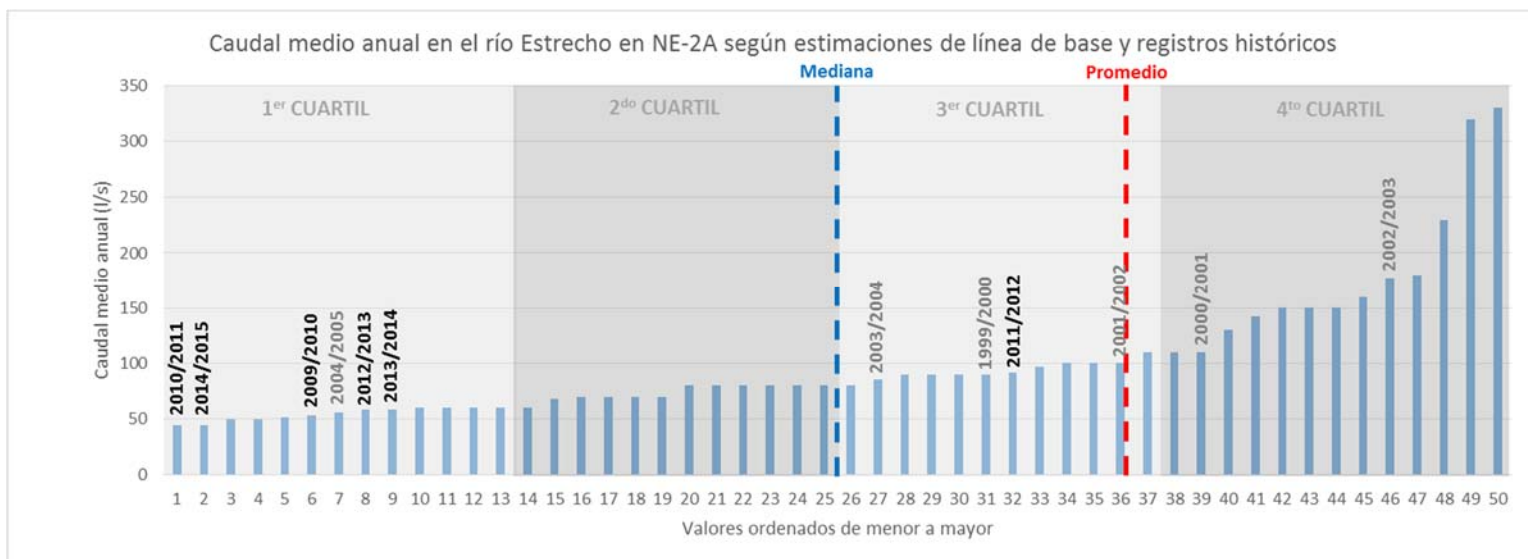


Figura 34. Ranking anual de caudales en el río Estrecho en NE-2A.

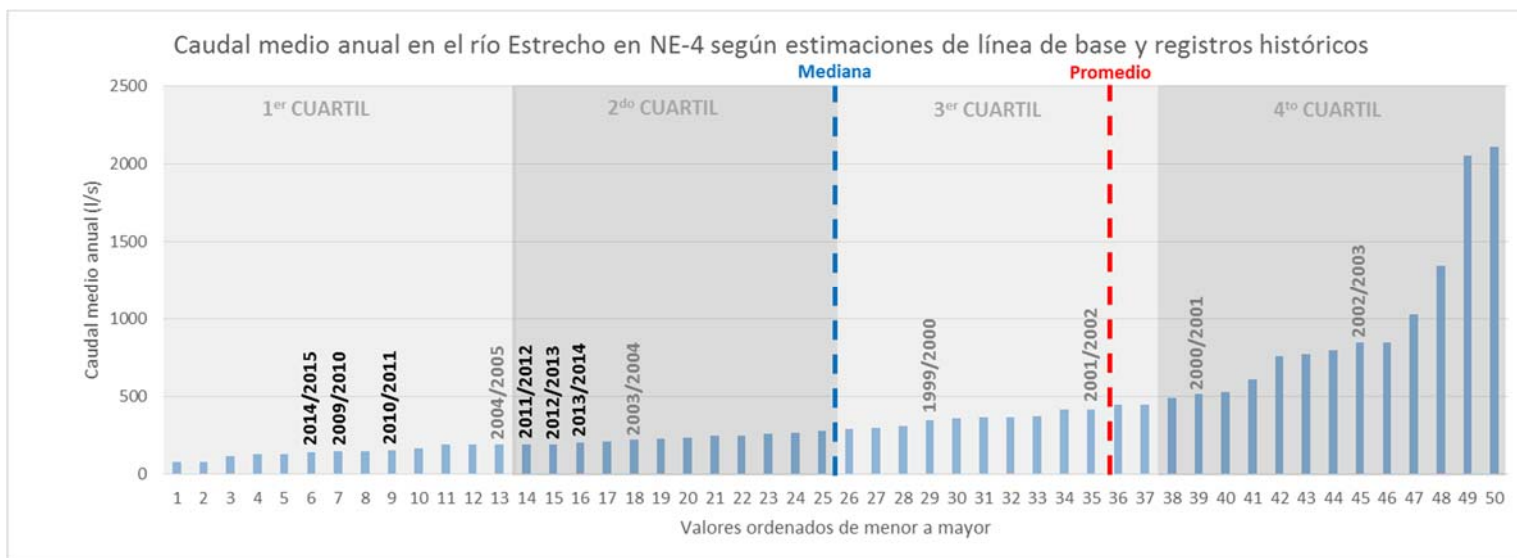


Figura 35. Ranking anual de caudales en el río Estrecho en NE-4.

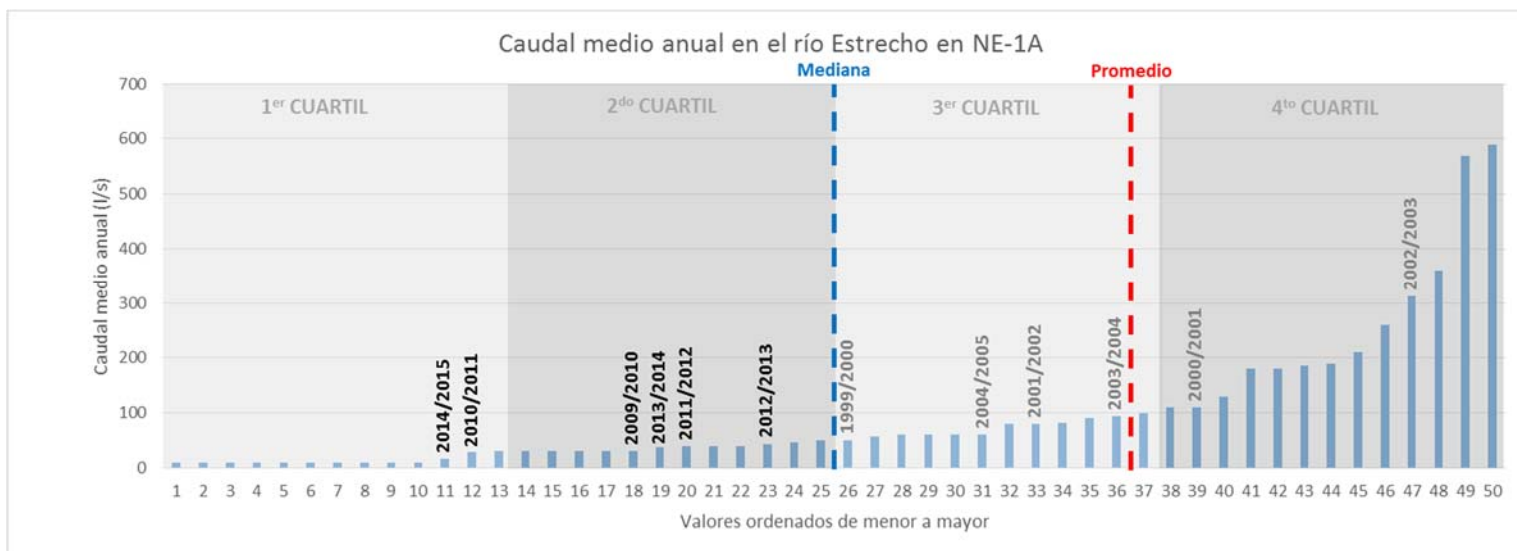


Figura 36. Ranking anual de caudales en el río Estrecho en NE-1A.

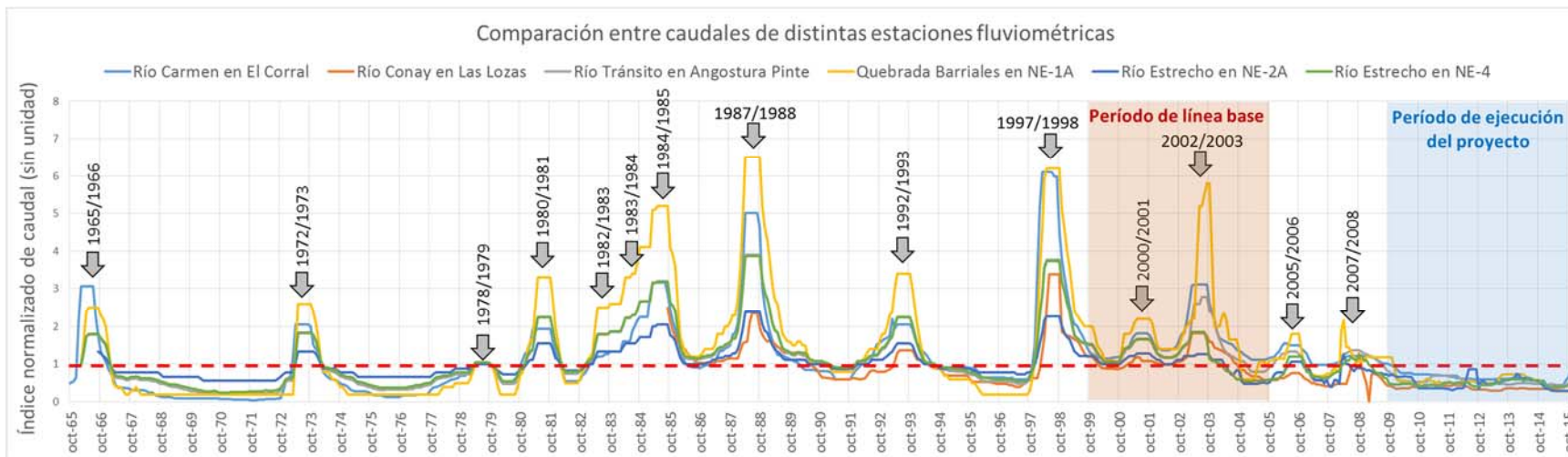


Figura 37. Evolución del Índice Normalizado de Caudales (INC) para distintas estaciones fluviométricas.

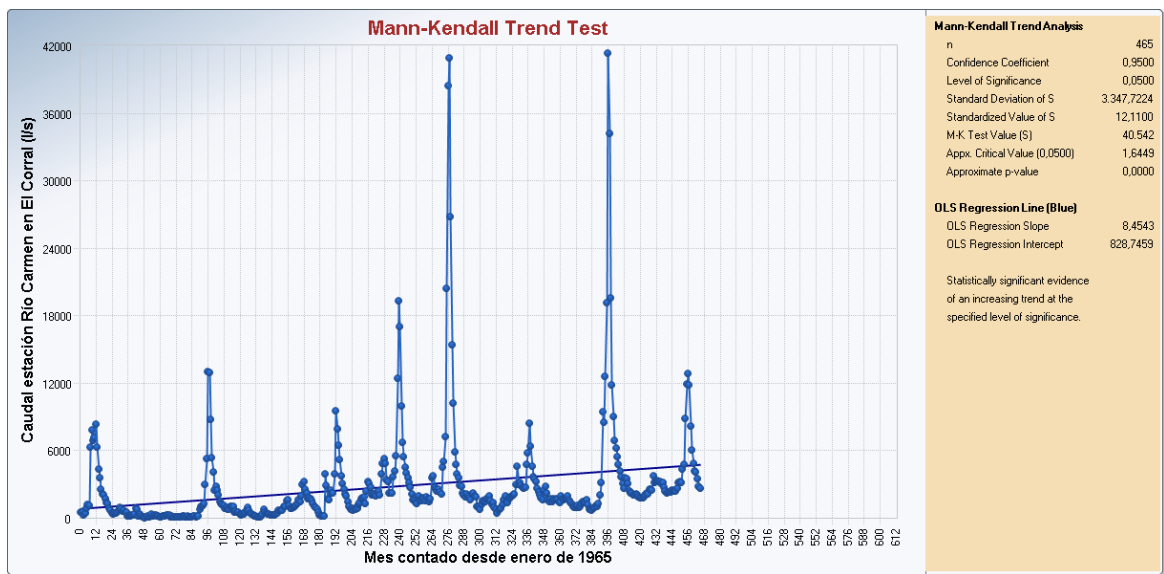


Figura 38. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en río el Carmen (El Corral), período enero 1965 a septiembre 2003.

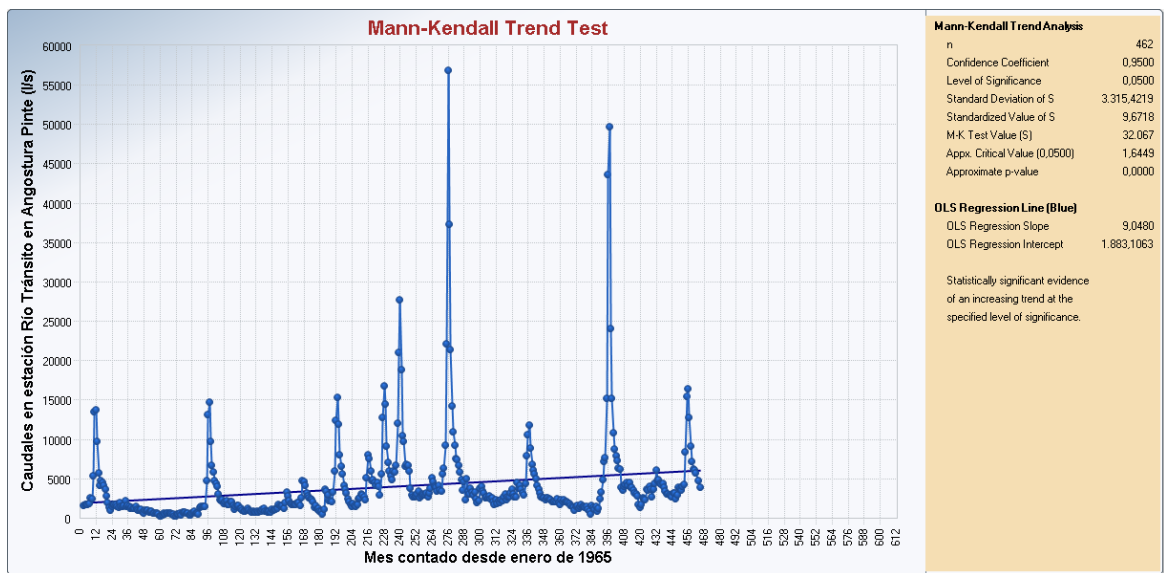


Figura 39. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Tránsito (Angostura Pinte), período enero 1965 a septiembre 2003.

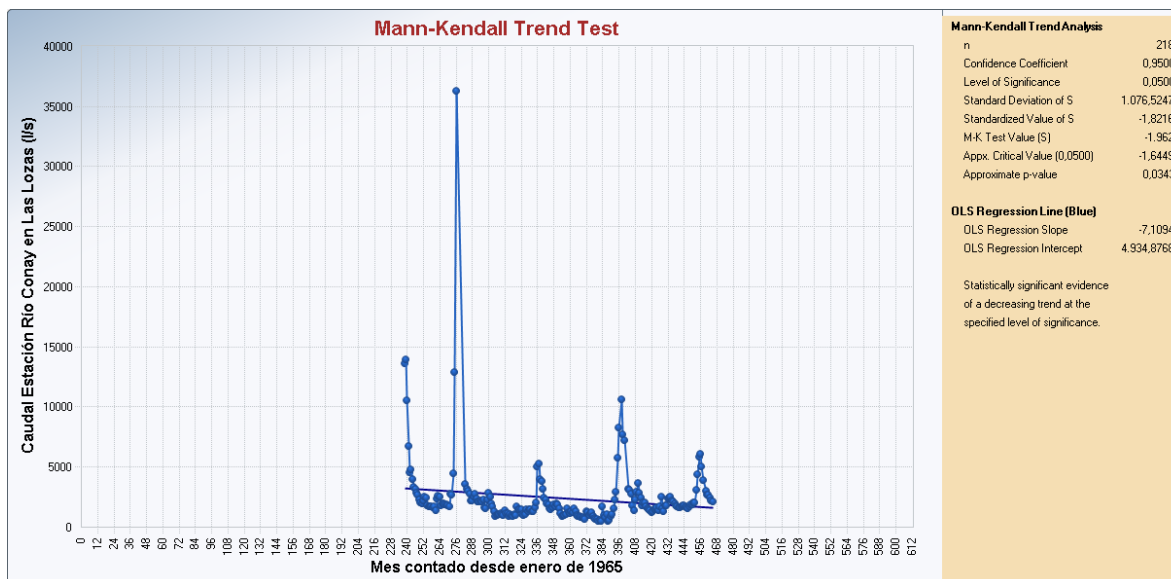


Figura 40. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Conay (Las Lozas), período enero 1965 a septiembre 2003.

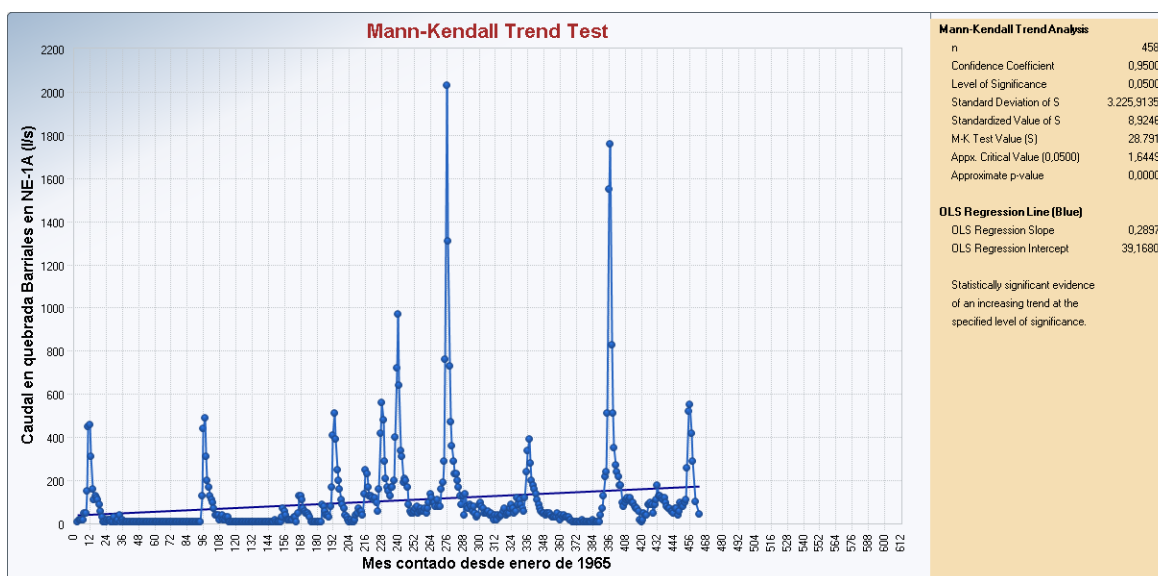


Figura 41. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en quebrada Barriales (NE-1A), período enero 1965 a septiembre 2003.

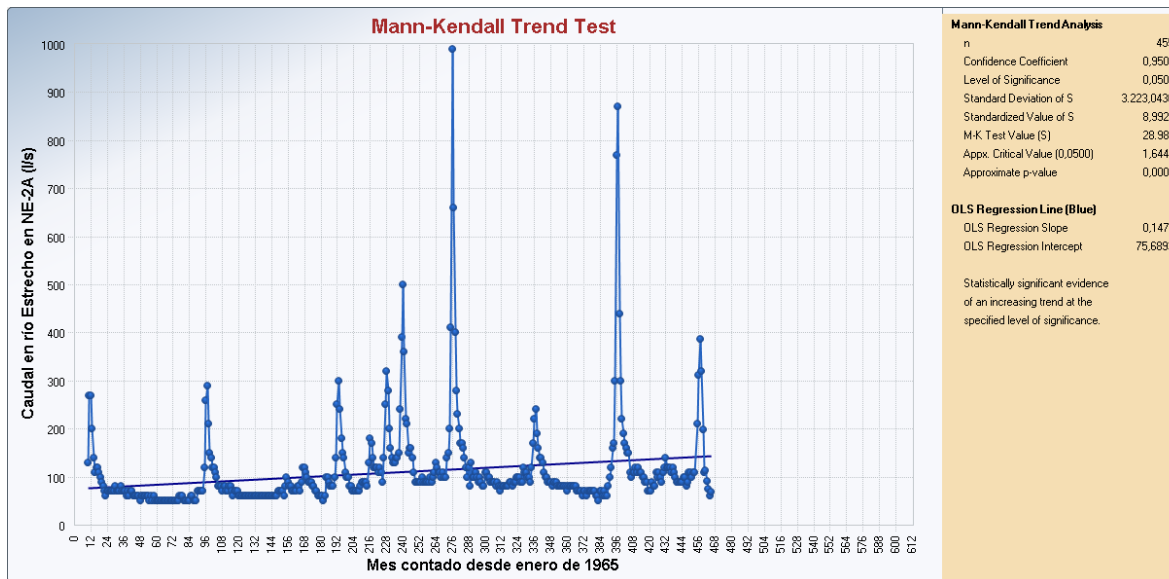


Figura 42. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Estrecho (NE-2A), período enero 1965 a septiembre 2003.

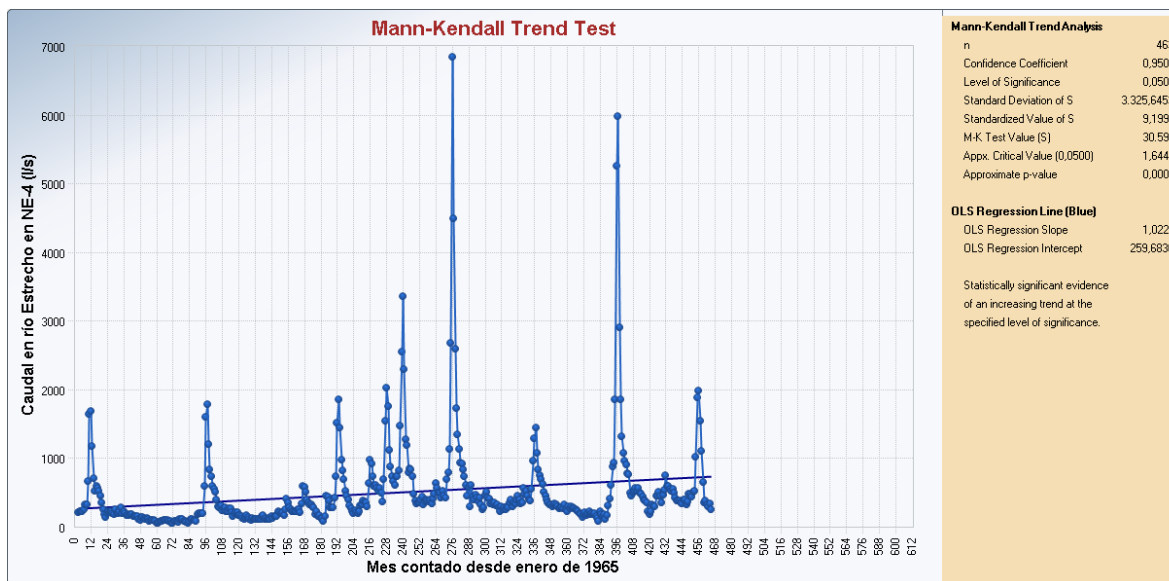


Figura 43. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Estrecho (NE-4), período enero 1965 a septiembre 2003.

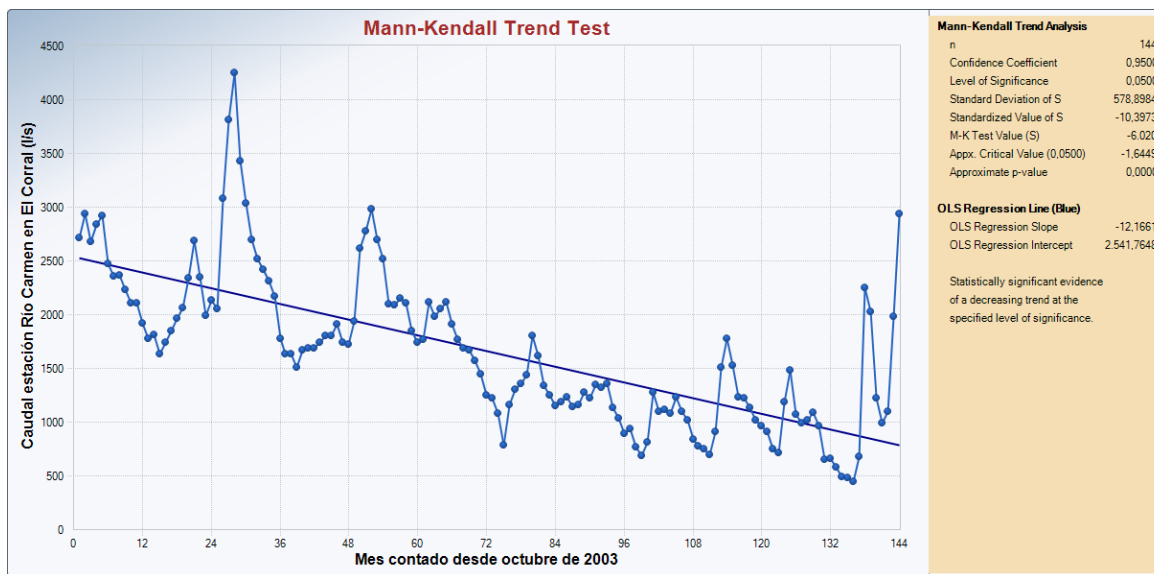


Figura 44. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Carmen (El corral), período octubre 2003 a septiembre 2015.

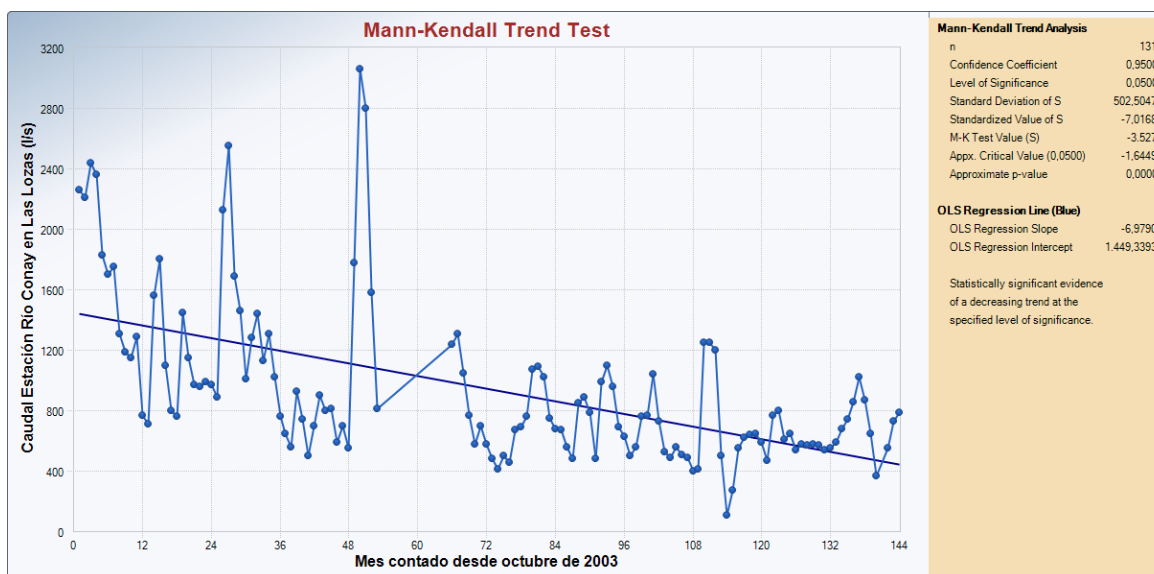


Figura 45. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Conay (Las Lozas), período octubre 2003 a septiembre 2015.

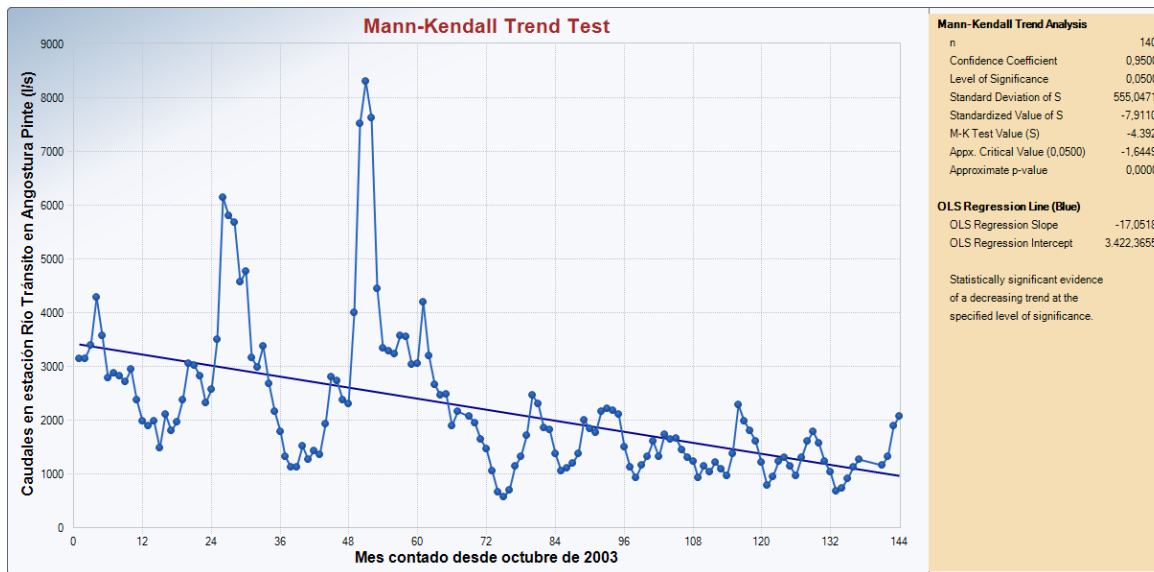


Figura 46. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Tránsito (Angostura Pinte), período octubre 2003 a septiembre 2015.

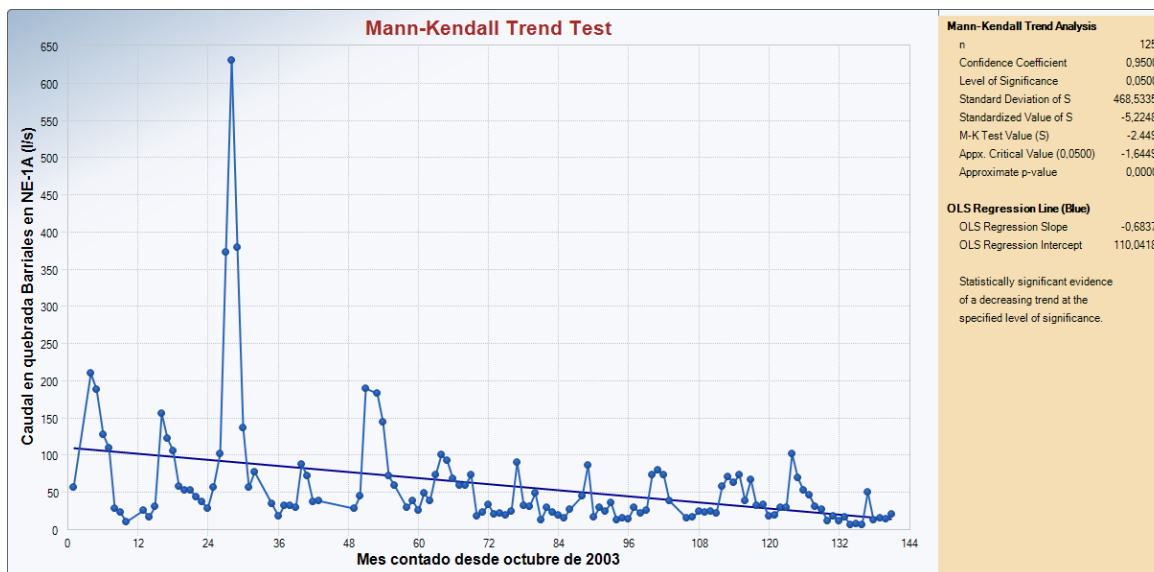


Figura 47. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en Quebrada Barriales (NE-1A), período octubre 2003 a septiembre 2015.

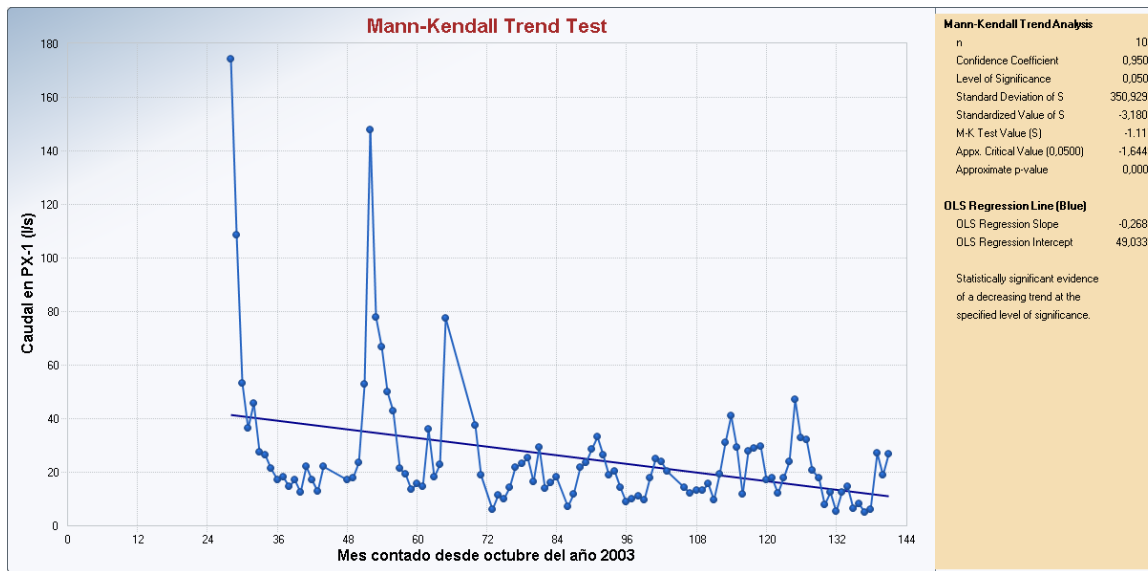


Figura 48. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en quebrada Agua de la Falda (PX-1), período octubre 2003 a septiembre 2015.

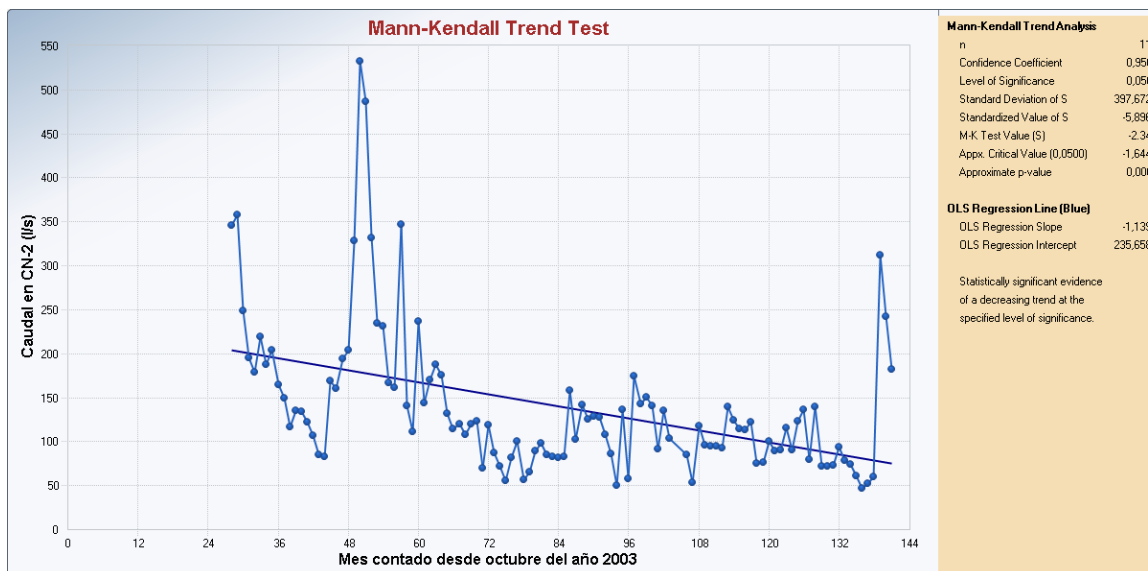


Figura 49. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río del Toro (CN-2), período octubre 2003 a septiembre 2015.

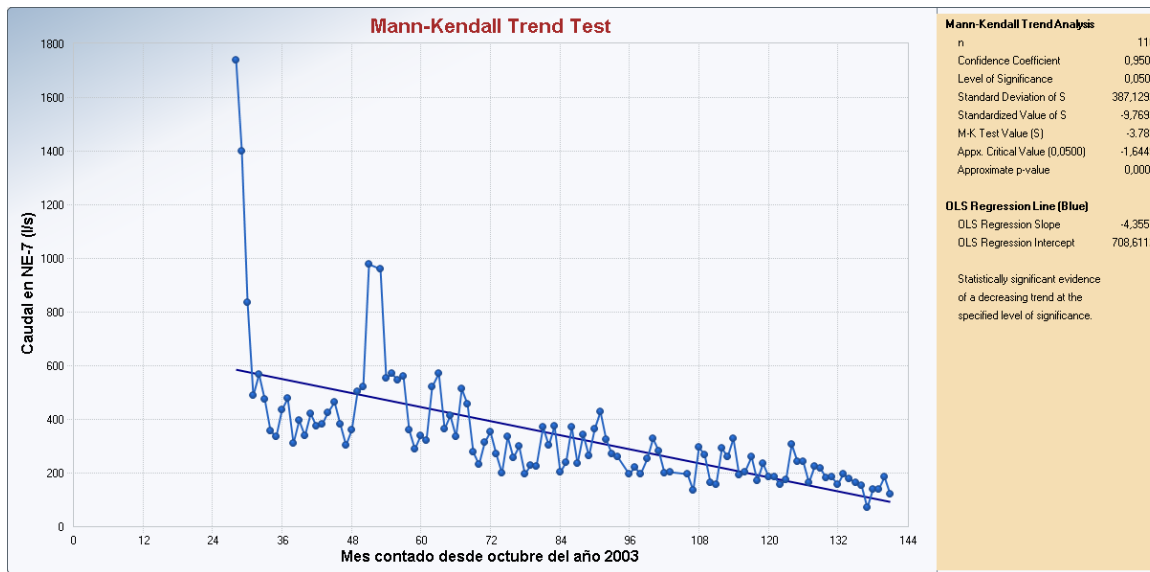


Figura 50. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Blanco (NE-7), período octubre 2003 a septiembre 2015.

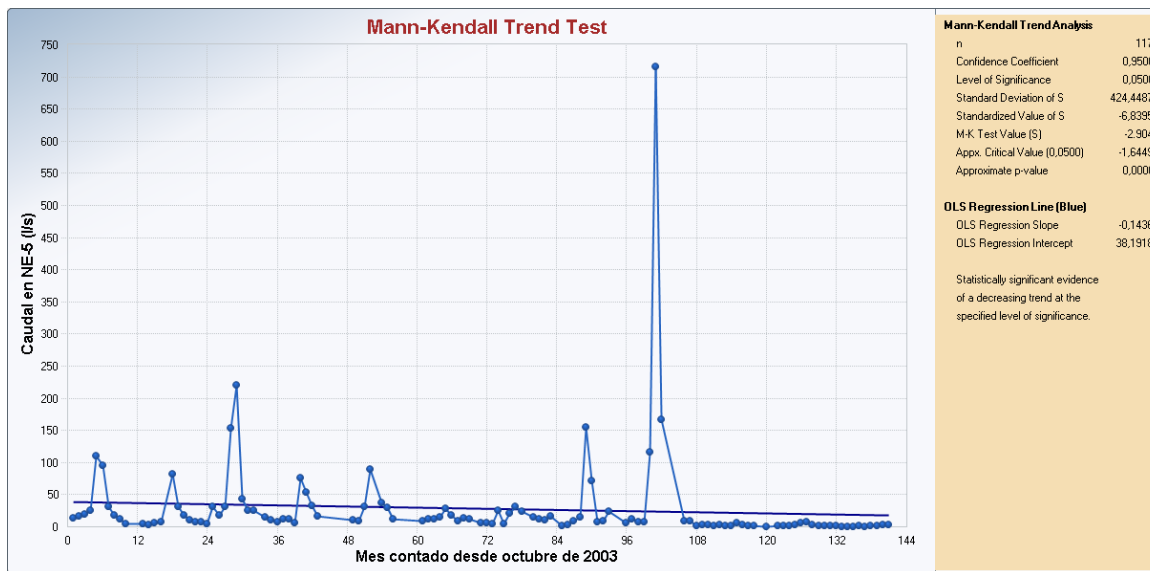


Figura 51. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Estrecho (NE-5), período octubre 2003 a septiembre 2015.

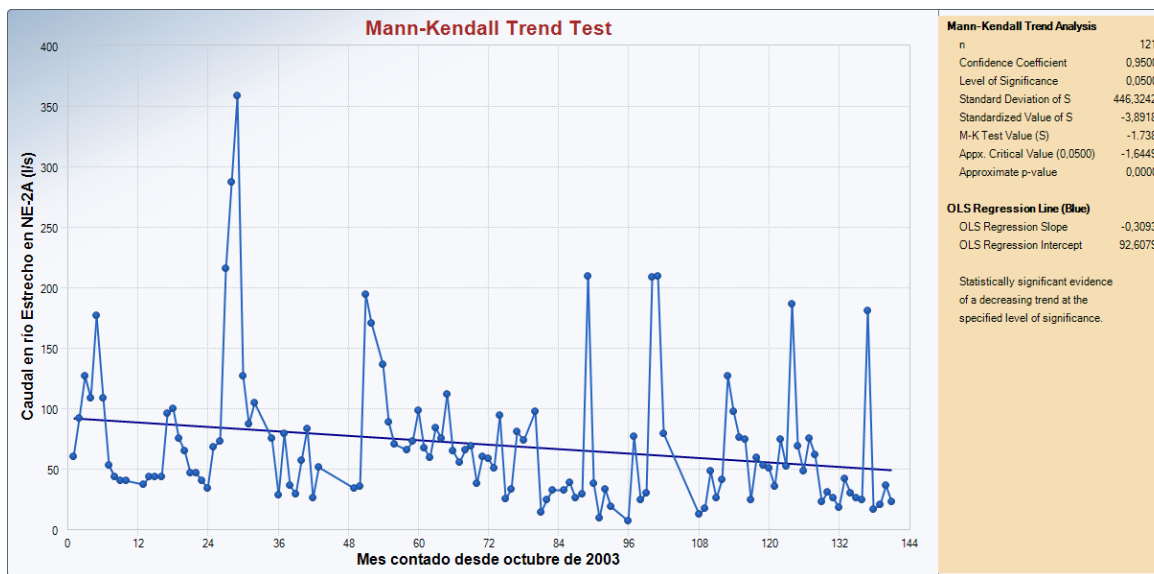


Figura 52. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Estrecho (NE-2A), período octubre 2003 a septiembre 2015.

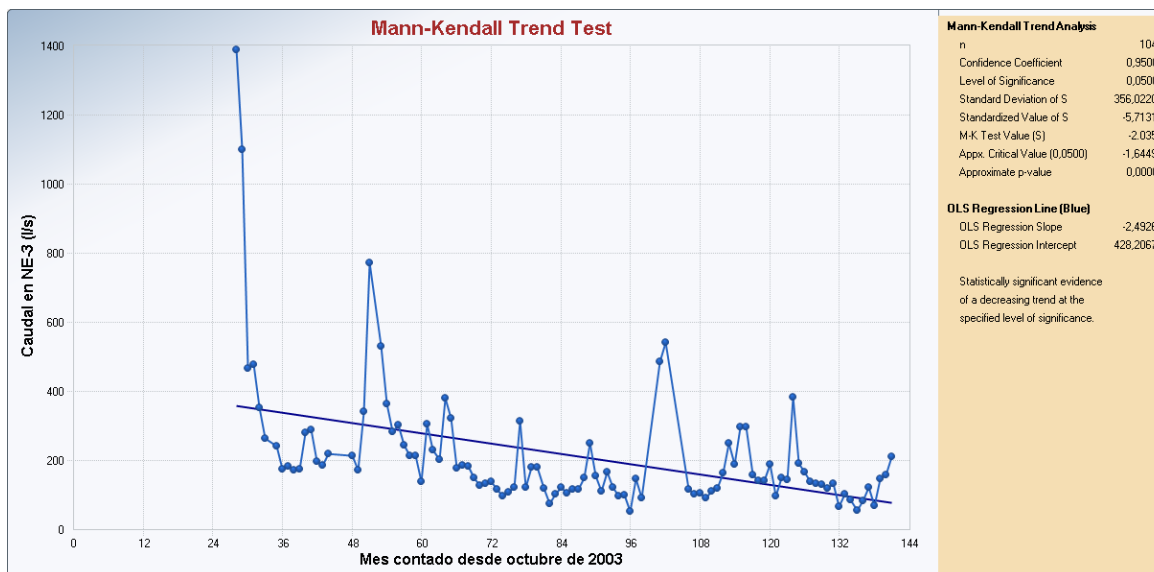


Figura 53. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Estrecho (NE-3), período octubre 2003 a septiembre 2015.

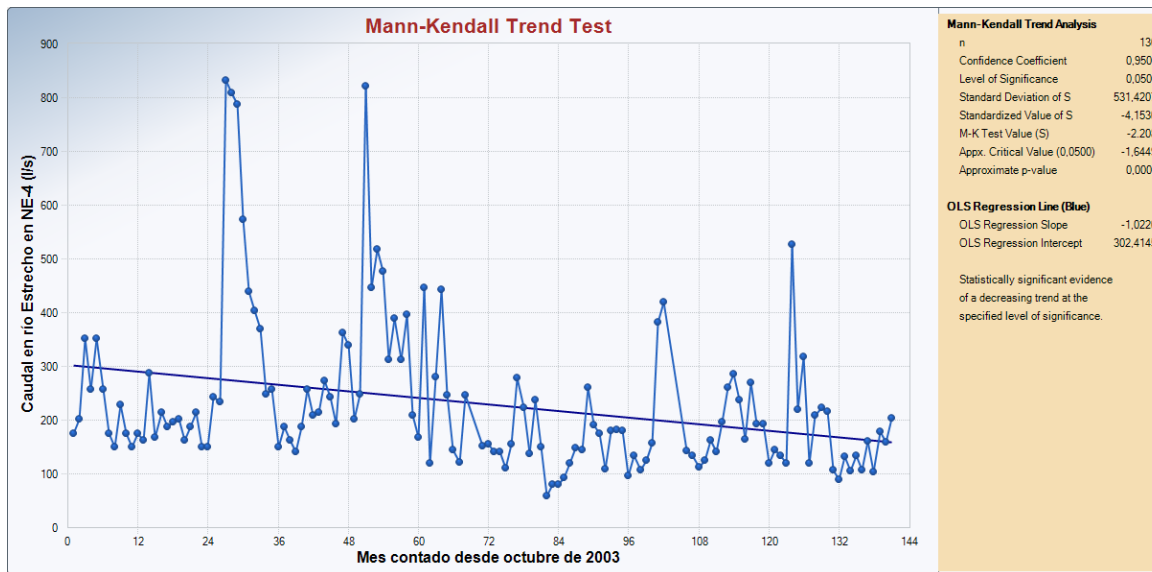


Figura 54. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Estrecho (NE-4), período octubre 2003 a septiembre 2015.

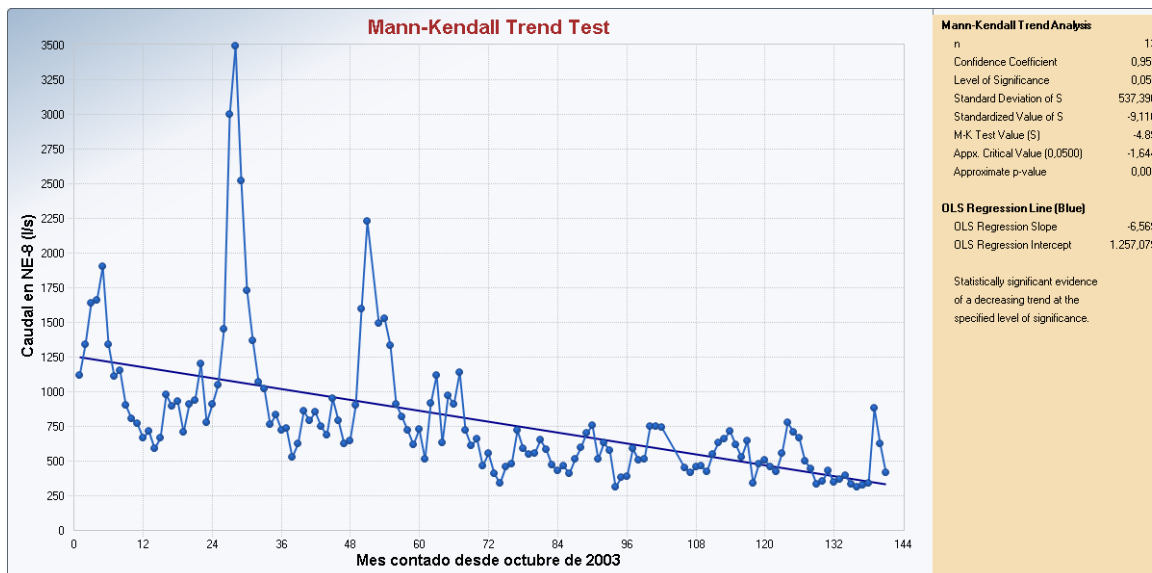


Figura 55. Test de Mann-Kendall para caudales mensuales en el río Estrecho (NE-8), período octubre 2003 a septiembre 2015.

ANEXO 3: SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS

OBJETIVO: En el presente Anexo se identifican las principales obras del sistema de manejo de aguas contempladas según la Resolución de Calificación Ambiental N°024/2006 y se busca establecer una línea de tiempo que permita conocer cuáles fueron los principales hitos en la construcción de las obras mencionadas. Esta información resulta relevante a efectos de evaluar el origen de los cambios ocurridos en la calidad del agua del río Estrecho, puesto que estas obras generaron una importante intervención en la dinámica hídrica en la cabecera del río Estrecho – tanto en su construcción como en su operación– que se tradujo en efectos en la calidad del agua, tal como se detalla en los Anexos siguientes.

1. Sistema de manejo de aguas según RCA N°024/2006

En términos generales, las obras se describen en el Considerando 4.3.1.a.1) y 4.3.1.a.2) de la RCA N°024/2006. A continuación se presentan algunos extractos de dichos considerandos.

a.1) Intercepción y Desvío de Aguas de No Contacto

Se construirán dos canales para interceptar y desviar las escorrentías superficiales de aguas de no contacto alrededor del depósito de estéril: uno por el lado norte y otro por el lado sur. (...) Los caudales de diseño son de 500 a 1.050 l/s para el canal perimetral norte, y de 250 l/s para el canal perimetral sur.

a.2) Captación de Drenajes Ácidos o Aguas de Contacto

El sistema básico de captación de drenajes del depósito de estéril Nevada Norte se compone de zanjas recolectoras superficiales de agua de contacto y de pozos de bombeo que actúan generando conos de abatimiento de la napa para atraer los flujos de drenaje. A este sistema, se agrega una barrera física o pantalla cortafugas impermeable construida en las unidades acuíferas, aguas abajo de la posición final del pie del depósito de estéril.

(...)

El sistema de recolección de aguas de contacto incluye una serie de tres zanjas colectoras líneas paralelas de pozos, construidas en etapas, aguas abajo del pie proyectado del depósito de estéril, conforme éste vaya creciendo, de tal forma que siempre existan al menos dos sistemas colectores funcionando. Las dos primeras zanjas colectoras y sus respectivas líneas de pozos se construirán antes que se inicie la disposición de estériles en el depósito.

(...)

Sobre la base de la información recolectada a la fecha, incluyendo los registros de pruebas de pozos y la caracterización hidrogeológica de la cuenca, se ha diseñado un sistema de captación de aguas subterráneas consistente en una línea de pozos situada inmediatamente aguas abajo de las zanjas colectoras, y constituida por tres pares de pozos espaciados cada 100 m.

(...)

El agua recolectada en dicho sistema será monitoreada y comparada con los niveles de alerta de calidad de aguas definida para el Proyecto. Si la calidad del agua excede los rangos de línea base, los drenajes se dirigirán hacia las piscinas de almacenamiento de aguas de contacto para ser consumida o tratada antes de su descarga. Aguas abajo, se construirá una cortina de pozos de verificación y control, los cuales también contarán con sistemas de bombeo para operar como instalaciones de captación.

La tubería que conducirá el agua de contacto recolectada por las zanjas y los pozos de aguas subterráneas, seguirá la pendiente de la llanura del valle y descargará en las piscinas de almacenamiento de aguas de contacto del depósito de estéril. La tubería será de HDPE y tendrá un diámetro de 800 mm. Se dispondrá enterrada a una profundidad mínima de 1,8 m, a fin de quedar situada bajo la profundidad estimada de congelamiento (estacional) dentro de los suelos superficiales en la planicie del valle del Río del Estrecho.

De forma complementaria, en el Considerando 4.3.2.i.1) se detallan las obras relacionadas al sistema de manejo de aguas de contacto, a saber:

- ✓ *Batería de pozos de bombeo operacionales constituidas por dos líneas, una activa y otra pasiva o de respaldo. Cada línea cuenta con tres pozos profundos y tres pozos someros, ubicadas aguas arriba de la pantalla cortafuga.*
- ✓ *Pantalla Cortafuga impermeable, construida aguas abajo de la posición final del pie del depósito, ubicada sobre compuesto una zanja cortafugas excavada hasta el Till Glaciar de baja permeabilidad y revestida en la cara aguas abajo por una geomembrana.*
- ✓ *Pozos de Bombeo de Contingencia, ubicada aguas abajo de la pantalla cortafuga, para monitorear y contener aguas ácidas, constituida por una batería de pozos de verificación y control de aguas, actúan generando conos de abatimiento de la napa para traer los flujos de drenaje.*
- ✓ *3 zanjas colectoras superficiales, compuesta de una trinchera de poca profundidad excavada a través del fondo del valle, una tubería de entrada, la cual es perforada y de HDPE para recolectar agua de contacto y una berma aguas abajo de la zanja como protección de las líneas de pozos ubicados aguas abajo*
- ✓ *2 piscinas de acumulación de drenaje, alcanzando una capacidad de embalsamiento de 400.000 m³, siendo capaz de contener el agua afluente en un año promedio sin necesidad de reutilizarla y/o descargarla al río. El diseño fue concebido para un período de retorno de 50 años.*
- ✓ *Sistema de impulsión y conducción de agua desde el sistema de manejo y tratamiento de agua desde los drenajes ácidos hacia las instalaciones de la mina.*
- ✓ *Planta de tratamiento de drenaje ácido corresponde a una tecnología probada (HSD, High Density Sludge), de alta eficiencia, y de operación automatizada y simple, compuesta por las siguientes unidades o componentes principales:*
 - *Unidad de oxidación mediante aplicación de peróxido (H₂O₂) para facilitar la conversión de hierro ferroso a hierro férrico.*
 - *Unidad de neutralización mediante la aplicación de lechada de cal que permite subir el pH de la solución y generar la precipitación de metales;*
 - *Unidad de clarificación, en que se aplican floculantes para facilitar la sedimentación de los sólidos;*
- ✓ *Piscina de regulación (o pulido) del efluente, se ubicará aguas abajo de la Planta de Tratamiento de aguas. Por lo tanto, el volumen de diseño de dicha piscina es de 50.000 m³ y sus dimensiones son 100 m x 100 m, con una profundidad máxima de 7,5 m y un borde libre de 0,5 m.*
- ✓ *Planta de tratamiento de osmosis inversa*

(...)

Las piscinas de acumulación regularán la cantidad de agua que será enviada a la planta de tratamiento, la que operará a un caudal promedio de 19 l/seg, en condiciones habituales el efluente será enviado a las piscinas de pulido y desde allí recirculado a través del sistema de impulsión y conducción para satisfacer los consumos de agua industrial de las operaciones de la mina. En años normales y secos las aguas acumuladas en el sistema de piscinas serán enviadas al área de la mina para su uso industrial y/o evaporadas, utilizando un sistema de impulsión y conducción. En años de extrema humedad la calidad del drenaje capturado será mucho más diluida que en años normales o secos. En estos casos las piscinas de acumulación también cumplirán una función clave de regulación; ellas han sido diseñadas para proporcionar un 96 % de probabilidad de no excedencia de su capacidad durante el período de operación y un 99% durante la etapa de cierre. En estos casos, el agua tratada será impulsada al área de la mina y/o descargada al río. En años aún más húmedos, se estima que la calidad del afluente estará significativamente diluida y habrá una notable capacidad de dilución en el río. (...)

Las piscinas de pulido poseen como objetivo regular la calidad de la descarga para su uso industrial en la faena minera principalmente, o, asegurar el cumplimiento de la norma de descarga al Río El Estrecho. Esta piscina recibe las aguas efluentes de la planta de tratamiento, las cuales se encuentran aptas para ser rebombadas hasta las operaciones de la mina o descargadas al cauce natural del Río del Estrecho, con capacidad equivalente a 30 días de almacenamiento de flujo de la planta de tratamiento de aguas (19 l/s).

En forma contigua a la planta de tratamiento de drenaje ácido se localizará la unidad de tratamiento complementario (osmosis reversa u otra equivalente a definir durante el desarrollo de la ingeniería de detalles),

2

para responder a eventuales contingencias o demandas puntuales si fuera necesario, como alto contenido de sulfatos en años secos. Este tipo de proceso complementario permitirá reducir drásticamente las concentraciones del efluente, y se aplicaría a parte o la totalidad del drenaje, en función de los requerimientos puntuales para mantener el cumplimiento de las normas.

Las obras en cuestión se muestran en la Figura 1. Por otra parte, en la Figura 2 se representa el balance de agua del sistema de manejo de aguas de contacto.

2. Daños producidos en el sistema de manejo de aguas producto de los deshielos 2012/2013

Mediante Carta PL 0008/2013 CMNSpA ingresó una Autodenuncia conforme al art. 41 de la Ley 20.417, en el cual detalla la ocurrencia de un evento que afectó el sistema de manejo de aguas. En particular, detalla que:

- I. El emplazamiento de la “obra salida del canal perimetral norte inferior”, que recibiría el total de las aguas no contactadas conducidas por el canal perimetral norte (superior e inferior), no fue el más adecuado puesto que aguas debajo de su emplazamiento se encontraban depósitos aluviales y coluviales.
- II. Para evitar un potencial descontrol de los flujos de salida de la obra mencionada, se construyeron “obras de alivio” (tubos corrugados) que permitían desviar aguas desde el sistema de manejo de aguas no contactadas hacia la zona de aguas de contacto.
- III. El día 22 de diciembre de 2012 ocurrió un aumento de flujo en el sistema de manejo de aguas no contactadas que sobrepasó los estándares de protección de la obra de salida. Ello produjo una remoción en masa de coluvio que sobrepasó las obras de arte que habían sido diseñadas para el encausamiento de las aguas hacia el sedimentador norte, afectándolas de tal manera que quedaron significativamente dañadas para enfrentar un nuevo evento de similar magnitud. Con motivo del mismo evento se utilizaron las obras de alivio descritas, reconduciendo temporalmente (22 de diciembre al 07 de enero) las aguas no contactadas hacia la zona de aguas de contacto, donde fueron contenidas y conducidas conforme a lo previsto.
- IV. El día 10 de enero de 2013 ocurrió un segundo evento, en el que un nuevo aumento de flujo de aguas no contactadas volvió a dañar nuevamente las obras. De igual forma que en el evento anterior, se utilizaron las obras de alivio entre los días 10 y 18 de enero. No obstante lo anterior, el agua evacuada desde la obra de salida del canal perimetral norte provocó un nuevo movimiento de tierra que alcanzó una zona de vegas.

3. Sistema de manejo de aguas construido por Compañía Minera Nevada

Con motivo de la autodenuncia a la que se refiere el numeral anterior, se realizaron actividades de fiscalización ambiental, cuyos resultados se plasman en el Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA. Este informe resulta de suma utilidad para determinar las condiciones en que se contruyeron los sistemas de manejo de aguas, lo cual se basa en los resultados las inspecciones ambientales realizadas durante enero del año 2013.

Al respecto, se debe considerar especialmente lo indicado en el apartado 5.3 “Condiciones de construcción y operación del sistema de manejo de aguas de contacto del botadero” y 5.4 “Manejo de lixiviados y calidad de las aguas contactadas” del mencionado informe.

Respecto del sistema de manejo de aguas no contactadas, se constató la existencia de canales provisorios, que comunican el flujo de agua de no contacto que baja desde los aliviaderos 1 y 2 del Canal Norte Perimetral Inferior (CNPI), hacia el área de botadero de estériles, conduciendo así aguas no contactadas hacia el sector de aguas contactadas. Se encuentra también construida una obra denominada “canal auxiliar” que va desde la obra de arte n° 6 del CNPI hacia la parte baja de la quebrada denominada Q9. Las obras anteriores se indican en la Figura 3.

En cuanto al sistema de manejo de aguas de contacto, se constató que la planta DAR no tiene construida su unidad de oxidación con peróxido de hidrógeno ni la planta de tratamiento mediante osmosis inversa. Por otra parte, se verificó la existencia de una “Cámara de Captación y Restitución” (CCR) la cual recibe las aguas provenientes del

sistema de aguas de contacto y permite las alternativas de desviar aguas hacia piscinas de acumulación, 1 y 2 respectivamente, o al río Estrecho. Al momento de la inspección, la descarga desde la CCR se realizaba hacia río Estrecho. Es importante destacar que esta obra no se describe en las autorizaciones ambientales del proyecto.

En particular, en relación con la CCR el encargado de la actividad fiscalizada, Rodolfo Westhoff, señaló que la descarga hacia el Río Estrecho se inició el día 17 de enero¹. Por otra parte, se hace presente que las aguas descargadas desde la CCR y las del Río Estrecho se unen aguas abajo de la estación de monitoreo NE-5 y se monitorean mediante la estación NE-2 (ver Figura 4).

4. Modificaciones al sistema de manejo de aguas según construido por Compañía Minera Nevada

En la Resolución Exenta N°477/2013, de esta Superintendencia, se ordenó como medida urgente y transitoria el “paralizar la totalidad de las actividades de la fase de construcción del proyecto mientras no ejecute el sistema de manejo de aguas en la forma prevista en la Resolución de Calificación Ambiental”. En complemento a lo anterior, se ordenó también informar cada 3 meses el estado de avance de las obras.

Asimismo, se ordenó también “Construir transitoriamente las obras que se indican a continuación”, entre ellas incorporar las obras de captación, transporte y descarga al estanque de sedimentación norte, las cuales podrán operar exclusivamente durante el período necesario para implementar las obras definitivas que permitan cumplir cabalmente las condiciones establecidas en la RCA. Esta medida temporal debía estar operativa antes del inicio de la temporada de deshielos.

En el Informe DFZ-2013-6945-III-RCA-IA se aborda específicamente la aplicación de las medidas urgentes y transitorias, incluyendo las obras detalladas anteriormente. En dicho informe se consigna que por medio de Carta PL-0210/2013, de fecha 12 de noviembre de 2013, CMNSpA informó el término de la construcción de las obras transitorias del Sistema de Manejo de Aguas de No Contacto, Canal Perimetral Norte, denominadas “Fase 1” (ver Figura 5).

En el mismo informe, se indica que en el Acta de Inspección del día 24 de octubre de 2013, se solicitó al titular presentar un cronograma actualizado de obras de la Fase 1. En respuesta, CMNSpA acompañó en su Carta PL-0206/2013 de fecha 30 de octubre de 2013 un cronograma (se incluye en la Tabla 1) en el que se indica que la construcción de la Fase 1 se extendió entre junio y noviembre de 2013.

5. Antecedentes sobre la temporalidad de la construcción de diversas obras

5.1. Canales perimetrales y sedimentador norte

Según el cronograma de obras ejecutadas al año 2013 entregado por CMNSpA en el Anexo 3 de la Carta PL-0054/2015 (remitida al SEA Atacama en el marco del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006, se reproduce en la Figura 6 del presente Anexo), el canal norte inició su construcción en octubre del año 2011 mientras que el canal sur la inició un mes después, concluyéndose ambas en abril de 2012. Asimismo, en el referido cronograma se indica que se inició la construcción del sedimentador norte en enero de 2011, concluyéndose en abril de 2012.

En concordancia con lo anterior, resulta relevante la Carta PL-0045/2012 de fecha 04/04/2012 (se incluye entre los anexos del informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA) en que CMNSpA presenta la documentación para la recepción de obras de modificación de cauces entre las que se incluye el canal perimetral norte y el estanque de sedimentación norte. Ello da cuenta de que efectivamente en abril de 2012 se encontrarían concluidas las mencionadas obras.

Por otra parte, y según lo detallado en la Autodenuncia del año 2013, el canal perimetral norte se hallaba en funcionamiento para el período de deshielo 2012/2013, siendo precisamente la descarga de estos flujos captados y conducidos por esta obra lo que ocasionó la remoción en masa.

¹ Esta información entregada por el Sr. Rodolfo Westhoff no se condice con la información proveniente de otras fuentes. Esta situación se aborda en detalle en el numeral 5.3 del presente Anexo.

Por otra parte, CMNSpA informó en su Carta PL-017/2013 (que responde requerimientos del Acta de Inspección Ambiental del día 25 de enero de 2013) que el canal auxiliar (se muestra en la Figura 3) se modificó y se mejoró, mediante obras que se iniciaron a fines de noviembre del año 2012 y concluyeron a principios de diciembre del mismo año.

5.2. Zanjas colectoras superficiales

Según el cronograma de obras ejecutadas al año 2013 entregado por CMNSpA en el Anexo 3 de la Carta PL-0054/2015 (remitida al SEA Atacama en el marco del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006, se reproduce en la Figura 6 del presente Anexo), tanto la zanja colectora N°1 como la N°2 iniciaron su construcción en julio del año 2010, siendo concluida la primera en septiembre de 2011 y la segunda en junio de 2011.

Adicionalmente, según se indica en una tabla del Anexo 14 Dco B. del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA (se reproduce en la Tabla 2 de este Anexo), la zanja colectora N°1 fue aceptada por el administrador del proyecto (CMM) en octubre de 2011, mientras que la zanja colectora N°2 lo fue en enero de 2012.

5.3. Baterías de pozos

A solicitud de esta Superintendencia (Res. Ext. D.S.C./P.S.A. N°199/2017) CMNSpA remitió mediante Carta PL-036/2017 un cronograma que detalla el inicio y término de la construcción de las líneas de pozos L1, L2 y L4. Dicho cronograma se reproduce en la Tabla 3 del presente documento, y da cuenta de que la construcción se realizó en distintos períodos entre mayo de 2008 y abril de 2012.

Sin embargo, en la Conclusión N°10 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA se consigna que “Al momento de la inspección pozos inspeccionados no cuentan con capacidad de bombeo instalada para captar aguas acidas infiltradas” (enero del año 2013). Ello da cuenta de que en enero de 2013 los pozos se encontraban construidos, pero sin capacidad de bombeo.

Posteriormente, en el reporte titulado “Ejecución íntegra sistema manejo de aguas” (consta en el Anexo 3 del Informe DFZ-2013-6945-III-RCA-IA), de junio del año 2013, se reconoce que los pozos de las líneas N°1, 2 y 4 existen, pero no se encuentran energizados. Se agrega que los pozos de la línea N°1 y línea N°4 no cuentan con sistema de bombeo ni se encuentran conectados a la red de drenaje de aguas de contacto, mientras que los pozos de la línea 2 sí se encuentran conectados a la red, y 5 de los 6 pozos cuentan con sistema de bombeo instalado.

Por último, y según consta en la Carta PL-58/2016, entregada en respuesta a la Res. Ext. D.S.C./P.S.A. N°356/2016, la habilitación de la línea de pozos L2 se realizó el 23 de enero de 2015, fecha en que se puso en marcha el generador de la sala eléctrica respectiva.

En cuanto a la calidad del agua, en los antecedentes expuestos en el informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA consta un documento entregado por el Titular con el monitoreo de nivel y calidad de las líneas de pozos (Anexo 8 del informe). En dicho documento se entregan datos de la línea colectora N°1 desde junio de 2012, y de la línea colectora N°2 desde septiembre de 2012. Respecto de la línea ubicada aguas abajo del muro cortafuga (denominada L4), consta en los antecedentes que acompañan a la Carta PL-034/2016 que existe al menos una medición puntual de calidad del agua en cada uno de los pozos de dicha línea, las cuales fueron realizadas entre febrero y abril del año 2012, existiendo un monitoreo sistemático solamente a partir de abril del año 2013.

5.4. Zanja o Muro cortafuga

Según el cronograma de obras ejecutadas al año 2013 entregado por CMNSpA en el Anexo 3 de la Carta PL-0054/2015 (remitida al SEA Atacama en el marco del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006, se reproduce en la Figura 6 del presente Anexo), el muro cortafuga inició su construcción en enero del año 2011, siendo concluida en marzo de 2012.

Es del caso señalar que para la construcción de esta obra es necesario realizar un bombeo intensivo de agua desde el acuífero, con el fin de deprimir el nivel de la napa en la sección de la obra, y permitir así que los trabajos se realicen sin un exceso de agua que pueda inducir inestabilidad en el sector de operaciones. Por medio de Res. Ex.

D.S.C./P.S.A. N°199/2017 se consultó a CMNSpA sobre esta actividad, quien señaló por medio de su Carta PL-036/2017 que:

- “El sistema empleado para la depresión del nivel freático necesaria para la construcción segura de la zanja, se llevó a cabo mediante el empleo de bombas flotantes que fueron instaladas en piscinas o calicatas. Esta agua era enviada a una piscina de acumulación temporal en donde se decantaban los sedimentos para luego, por rebalse, conducirla al río Estrecho mediante una obra lateral”.
- “No se cuenta con registros que indiquen las fechas exactas en las cuales se llevaron a cabo las actividades de construcción y operación de sistema utilizado para deprimir el nivel freático del área del muro cortafugas. No obstante ello, a partir de los resultados del monitoreo del nivel de agua subterránea de los pozos de observación del área, es posible constatar cambios que evidencian la operación de este sistema”. En función del análisis propuesto, el Titular determinó que la depresión del nivel freático producto del drenaje ocurrió entre diciembre del año 2010 y junio del año 2011.
- No se realizó una medición de los caudales bombeados, por lo que no existe un registro de estos.

Es del caso señalar también que, en una visita inspectiva realizada por la DGA con fecha 19 de mayo de 2011, se constató la existencia de una captación de aguas subterráneas (sistema de bombeo en profundidad) en funcionamiento, ubicada inmediatamente aguas abajo del muro cortafuga. Al ser consultado por su función, CMNSpA argumentó que es una obra destinada a la depresión de la napa freática con motivo de la construcción de la zanja cortafuga. Dichos antecedentes constan en la Res. Ext. DGA Atacama N°433 de fecha 07 de junio de 2011, y en en la Res. Ext. DGA Atacama N°1035 de fecha 27 de diciembre de 2011, ambas incorporadas en los anexos de la Carta PL-036/2017.

De los antecedentes expuestos es posible concluir que, el sistema de bombeo utilizado durante la construcción del muro cortafuga estaba constituido tanto por bombas flotantes que fueron instaladas en piscinas o calicatas (que es lo declarado por el Titular) como por pozos profundos (constatado en terreno por la DGA), que funcionaron entre diciembre del año 2010 y junio del año 2011, siendo las aguas bombeadas descargadas al cauce del río Estrecho.

Por otra parte, dentro del diseño del muro cortafuga se incluyen los denominados “pozos de alivio”. En el “Informe técnico sistema cortafugas en el cauce del río Estrecho” (incorporado en los anexos de la Carta PL-036/2017), se explica que el diseño del muro contempla una batería de 11 pozos de alivio ubicados aguas arriba de la pared moldeada, perforados desde el fondo de la excavación hasta 1 m bajo el nivel de la roca basal. Estos pozos drenan por gravedad sus aguas hacia el interior de la galería de drenaje, que se conecta con la Tubería N°5, que empalma a su vez con la Tubería N°2 (esta última tubería es la que conduce las aguas del sistema de manejo de aguas de contacto hacia CCR). La ubicación de los pozos, el muro cortafugas y las tuberías de conducción se muestra en la Figura 7. El objetivo de estos pozos es interceptar los flujos subterráneos y disminuir las eventuales subpresiones sobre la pared moldeada.

Según lo indicado en la Tabla 4, los pozos de alivio iniciaron su construcción el 24 de febrero de 2011, la que se extendió hasta el 30 de noviembre del mismo año. Al ser consultada CMNSpA acerca de ciertos aspectos específicos en relación con la construcción y operación de estos pozos de alivio (Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N°00895/2017), esta señaló mediante Carta PL-085/2017 que:

- La construcción y habilitación de los pozos de alivio concluyó el 30 de noviembre 2011 (pero no captaban ni conducían agua, encontrándose pendiente a esa fecha la construcción de otras obras del sistema cortafugas, como, por ejemplo, la Tubería N°5).
- Una vez iniciado el prestripping, el agua captada por las instalaciones del sistema cortafugas (pozos de alivio y tuberías de conducción) era recibida en la CCR y, desde ahí, conducida a las piscinas de acumulación.
- En el período intermedio (esto es, desde que los pozos y tuberías estuvieron operativos y antes del inicio del prestripping), no existen registros de si hubo captación y conducción de agua aguas arriba del muro cortafuga ni cuál fue su destino, toda vez que no se trataba de aguas de contacto, en los términos establecidos en las autorizaciones ambientales del Proyecto.

Es del caso destacar que existe una contradicción entre entre el primer punto y el tercero, puesto que en el primero se firma que los pozos de alivio no captaban ni conducían agua, mientras que en el tercero se señala que

no existen registros de si hubo o no captación y conducción de aguas provenientes del muro cortafuga. Para sostener lo indicado en el primer punto, CMNSpA se refiere (bajo la forma de una cita a pie de página) a las páginas 5 y 6 del "Documento C: Zanja Cortafuga y Tubería de Conducción N° 5" (adjunto a la presentación realizada por Compañía Minera Nevada con fecha 29/04/2013). Sin embargo, al revisar el documento referido, no se encontró información alguna que permita respaldar el hecho de que los pozos de alivio no captaban ni conducían agua luego de su habilitación. Por el contrario, dado que (i) los pozos de alivio captan y conducen agua por gravedad, es decir, sin necesidad de obras adicionales o energía, y (ii) su objetivo es interceptar los flujos subterráneos y disminuir las subpresiones sobre la pared moldeada, ambas variables críticas para el funcionamiento del muro cortafuga, resulta más razonable suponer que dicho sistema sí se encontraba en funcionamiento, pero que no existían aún las obras necesarias para conducir el flujo hacia las piscinas de acumulación. De esta forma, el destino más probable de las aguas captadas es la descarga directa al río Estrecho, tal como se realizó anteriormente con las aguas captadas para deprimir el nivel de la napa durante la construcción del muro cortafuga. Esto último se sostiene también en lo constatado en terreno por la DGA, en cuyo Informe Técnico DARH DGA Región de Atacama N°22, del 24/04/2012, consta que durante las inspecciones realizadas en el mes de enero (23 y 24 de enero) y abril (16 de abril) de 2012, se realizaban descargas directas desde la CCR al río Estrecho (ver Fotografías N°16 y N°17 del Informe Técnico)².

5.5. Cámara de Captación y Restitución (CCR)

En el Anexo 14 Dco B. del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA se incluye un documento proporcionado por CMNSpA en el cual se entregan detalles sobre los períodos de construcción de ciertas obras, entre ellas la CCR (se reproduce en la Tabla 2 de este Anexo). Según se indica, el movimiento de tierra asociado a la construcción de la CCR comenzó en septiembre del año 2011 y concluyó un mes después. Asimismo, el último hito asociado a la construcción corresponde a la instalación de concreto, lo cual se realizó entre septiembre y diciembre del año 2012. Sin embargo, en su Carta PL-085/2017 CMNSpA precisó que la CCR se encontraba operativa desde marzo del año 2012, y que a mediados de abril del mismo año fue instrumentalizada de manera que, cuando iniciara el prestripping, pudiera captar y manejar el agua de contacto proveniente del sistema cortafugas.

Más precisamente, en su Carta PL 0068/2015 (en respuesta a la Res. Ext. D.S.C. N°216/2015), CMNSpA detalló que "Teniendo presente lo expuesto, la CCR comenzó a operar - esto es, a captar aguas de contacto y manejarlas según el proceso diferencial descrito en la RCA y permisos sectoriales- una vez que comenzó la depositación de material estéril en el Botadero Nevada Norte. Esto ocurrió al comenzar el prestripping o remoción de sobrecarga, etapa de la fase de construcción que comenzó en mayo de 2012".

No obstante lo anterior, consta en el Informe Técnico DARH DGA Región de Atacama N°22, del 24/04/2012, que durante las inspecciones realizadas en el mes de enero (23 y 24 de enero) y abril (16 de abril) de 2012, se realizaban descargas desde la CCR al río Estrecho (ver Fotografías N°16 y N°17 del Informe Técnico). Estas descargas serían previas a lo declarado por el CMNSpA, según lo indicado en los párrafos anteriores.

Independiente de lo anterior, y con el fin de determinar las condiciones bajo las cuales operó la CCR luego del inicio del prestripping, se requirió a CMNSpA mediante Res. Ext. D.S.C./P.S.A. N°199/2017 acompañar los datos de caudal a nivel diario medidos en dicha obra. Por medio de Carta PL-036/2017 el Titular adjuntó dicha información (datos a partir del 30 de mayo de 2012), en la cual se pueden observar las descargas informadas por la CCR directamente al río Estrecho. Según los datos, estas descargas fueron las siguientes:

- 02 de julio de 2012, con un caudal promedio diario de 0,07 l/s.
- 07 al 17 de julio de 2012, con un caudal promedio diario de 5,86 l/s.
- 23 de julio de 2012, con un caudal promedio diario de 0,0046 l/s.
- 12 de septiembre de 2012, con un caudal promedio diario de 0,0046 l/s.
- 20 de septiembre de 2012, con un caudal promedio diario de 0,024 l/s.
- 02 al 05 de octubre de 2012, con un caudal promedio diario de 0,02 l/s.
- 07 de octubre de 2012, con un caudal promedio diario de 0,051 l/s.
- 21 de octubre de 2012, con un caudal promedio diario de 0,013 l/s.

² Disponible en archivo V5_VP-0303-57, en CD ubicado a fojas 4502 del expediente sancionatorio. Además acompañado en el Anexo III de la Carta PL-60/2016, a fojas 5473.

- 26 de octubre de 2012, con un caudal promedio diario de 0,013 l/s.
- 21 de noviembre de 2012, con un caudal promedio diario de 0,075 l/s.
- 17 de enero al 02 de diciembre de 2013, con un caudal promedio diario de 92,35 l/s.

No obstante lo anterior, consta en ciertos “Flash Report” la realización de descargas posteriores al inicio del prestripping que no se encuentran descritas en la documentación adjunta a la Carta PL-036/2017, a saber:

- 17 de diciembre de 2012³: “A las 17:30 horas se recibe aviso de descarga de agua al río estrecho en la cámara de restitución. El equipo de Medio Ambiente concurre al lugar y verifica la salida de agua hacia el río estrecho, por el vertedero de descarga lateral. Se acciona la válvula de la compuerta para permitir el paso de todo el caudal de agua hacia la piscina N°2. Se comprueba un aumento importante del caudal de agua de contacto que llega a la cámara de restitución”.
- 9 de enero de 2013⁴: “A las 23:00 horas se verifica descarga de agua al río Estrecho desde CRRE (Cámara de Restitución), lo cual fue detectado en sistema de medición on-line de caudal y parámetros en CRRE. Inmediatamente el equipo de Medio Ambiente concurre al lugar y verifica la salida de agua hacia el río Estrecho; causado por el rebalse en la cámara, el agua salió por el vertedero de descarga lateral. Se acciona la válvula de la compuerta para permitir el paso de todo el caudal de agua hacia la piscina N°2. Se comprueba un aumento importante del caudal y turbiedad de agua de contacto que llega a la cámara de restitución, se registró un peak de ingreso a la cámara de 332 litros/segundo. Esta agua proviene del canal perimetral norte inferior, que está siendo desviado hacia la zona del botadero Nevada y que superficial y subterráneamente está llegando al Muro Corta Fuga, el cual ha recibido un flujo importante de material de arrastre por los caudales descritos y como lo muestra la imagen adjunta”.
- 10 de enero de 2013⁵: (el Flash Report del 11 de enero se refiere a hechos ocurridos el 10 de enero) “A las 18:00 horas se verifica descarga de Aguas de Contacto al Río Estrecho desde CRRE (Cámara de Restitución Río Estrecho) por aumento de caudal, lo cual fue detectado en sistema de medición on-line de caudal y parámetros en CRRE. Se registró un peak de ingreso a la Cámara de 521,5 litros/segundo, de los cuales 139,3 litros/segundo fueron descargados al Río Estrecho durante una hora. Esta agua proviene del canal perimetral norte inferior, que está siendo desviado hacia la zona del botadero Nevada y que superficial y subterráneamente está llegando al Muro Corta Fuga, el cual ha recibido un flujo importante de material de arrastre por los caudales descritos y como lo muestra la imagen adjunta. El Foso del muro presenta acumulación de sedimentos, con posibles daños a la carpeta de impermeabilización”.

Asimismo, en el informe “Cámara Captación Restitución (CCR) Río Estrecho” elaborado por Compañía Minera Nevada, con fecha 31 de enero de 2013, disponible en el Anexo 7 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA, se incluye una tabla (Tabla N°3 del referido documento) en la que constan los caudales descargados al río Estrecho entre el 01/12/2012 y el 30/01/2013. En dicha tabla se cuantifican las descargas realizadas al río Estrecho desde el 10 al 16 de enero de 2013, que no se encuentran descritas en la documentación adjunta a la Carta PL-036/2017. Se aprecia también que la descarga informada para el día 17 de enero del mismo año es más del doble que lo informado para ese mismo día en la Carta PL-036/2017.

Por otra parte, al analizar una imagen satelital de alta resolución (Pleiades, Banda Pancromática) obtenida con fecha 23 de diciembre de 2012, se observa que la CCR se encuentra descargando hacia el río Estrecho. Esta situación no se encuentra consignada en Carta PL-036/2017 ni en los citados Flash Reports. La referida imagen fue obtenida mediante requerimiento de información realizado por la Res. Ext. D.S.C./P.S.A. N°199/2017, cuya respuesta fue remitida por el Titular en su Carta PL-036/2017.

Por último, mediante Carta PL-058 de 2016 CMNSpA informó que con fecha 2 de diciembre de 2013 se dio la instrucción operacional de cesar toda restitución al río Estrecho desde la CCR, con lo cual todas las aguas captadas serían conducidas en su totalidad e independiente de su calidad, a las piscinas de acumulación. En el mismo documento se indica que la obra de restitución fue sellada el 15 de enero de 2015.

³ Fojas 890 y ss.

⁴ Fojas 903 y ss.

⁵ Fojas 906 y ss.

La información proveniente de las distintas fuentes analizadas muestra que existen inconsistencias entre ellas, en particular en cuanto a las fechas en que se realizaron descargas desde la CCR al río Estrecho. Es así como en la Carta PL-036/2017 consta que, en el mes de enero del año 2013, las descargas al río Estrecho habrían comenzado el día 17, mientras que en los Flash Report consta que ello habría ocurrido el día 9, y en el Anexo 7 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA que ello habría ocurrido el día 10. Sin perjuicio de lo anterior, la información más completa acerca de la operación de la CCR posterior al inicio del prestripping, es aquella que fue entregada en la Carta PL-036/2017, que incluye los datos de caudal a nivel diario medidos en dicha obra, en todo el horizonte de tiempo en que estuvo operativa. Al analizar los datos, se desprende que entre el 30 de mayo de 2012 y el 02 de diciembre de 2013 la CCR manejó un volumen de 2.770.773 m³, de los cuales un 7,7% fue conducido a las piscinas y un 92,3% descargado al río estrecho (ver Figura 8). Se aprecia también que esta descarga directa ocurrió principalmente durante el año 2013 (ver Figura 9). En efecto, los datos indican que el volumen descargado desde la CCR al río Estrecho durante dicho año representa el 99,8% del total conducido a través de la CCR.

5.6. Tuberías de conducción

Según el cronograma de obras ejecutadas al año 2013 entregado por CMNSpA en el Anexo 3 de la Carta PL-0054/2015 (remitida al SEA Atacama en el marco del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006, se reproduce en la Figura 6 del presente Anexo), existe una obra denominada "Tubería N°2" cuya construcción comenzó en julio del año 2010 y concluyó en febrero del año 2012.

En el Anexo 14 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA se incluye el plano N°SA202-00027/41.200 que se refiere a la recepción de obras de manejo de aguas de contacto y no contacto, en particular a las zanjas colectoras y las tuberías N°2 y N°4. En dicho plano se aprecia el trazado de la Tubería N°2, que corresponde a la tubería que conduce el agua captada desde las dos zanjas colectoras y de la zanja cortafuga hacia a la CCR. En el mismo plano se observa la tubería N°4, que conecta la zanja colectora N°2 con la tubería N°2.

En cuanto a la Tubería N°4, según se indica en una tabla del Anexo 14 Dco B. del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA (se reproduce en la Tabla 2 de este Anexo), esta comenzó su construcción en julio del año 2010, siendo concluida en junio del año 2011, y aceptada por el administrador del proyecto (CMM) en febrero de 2012.

Por otra parte, existe la Tubería N°5 que conduce el agua proveniente del muro cortafugas hasta la Tubería N°2 (ver Figura 7). Tal como se indica en la Tabla 4, la construcción de esta tubería comenzó en diciembre de 2011 y concluyó en febrero de 2012.

5.7. Piscinas de manejo de aguas

Según el cronograma de obras ejecutadas al año 2013 entregado por CMNSpA en el Anexo 3 de la Carta PL-0054/2015 (remitida al SEA Atacama en el marco del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006, se reproduce en la Figura 6 del presente Anexo), la Piscina N°1 inició su construcción en noviembre del año 2009 y concluyó en diciembre del año 2011. Por su parte, la Piscina N°2 inició su construcción en diciembre del año 2009 y concluyó en enero del año 2012. A su vez, en el mismo cronograma se indica que la construcción de la piscina de pulido se inició en agosto del año 2011 y concluyó en marzo del año 2012.

En su Carta PL-085/2017, el Titular agregó que las piscinas de acumulación N°1 y 2 quedaron operativas en marzo del año 2012.

5.8. Planta de Tratamiento

Según el cronograma de obras ejecutadas al año 2013 entregado por CMNSpA en el Anexo 3 de la Carta PL-0054/2015 (remitida al SEA Atacama en el marco del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006, se reproduce en la Figura 6 del presente Anexo), la Planta ARD inició su construcción en julio del año 2011 y concluyó en diciembre del año 2012.

No obstante lo anterior, se constató en el Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA que a enero de 2013 la planta no tenía construida su unidad de oxidación con peróxido de hidrógeno ni la planta de tratamiento mediante osmosis inversa.

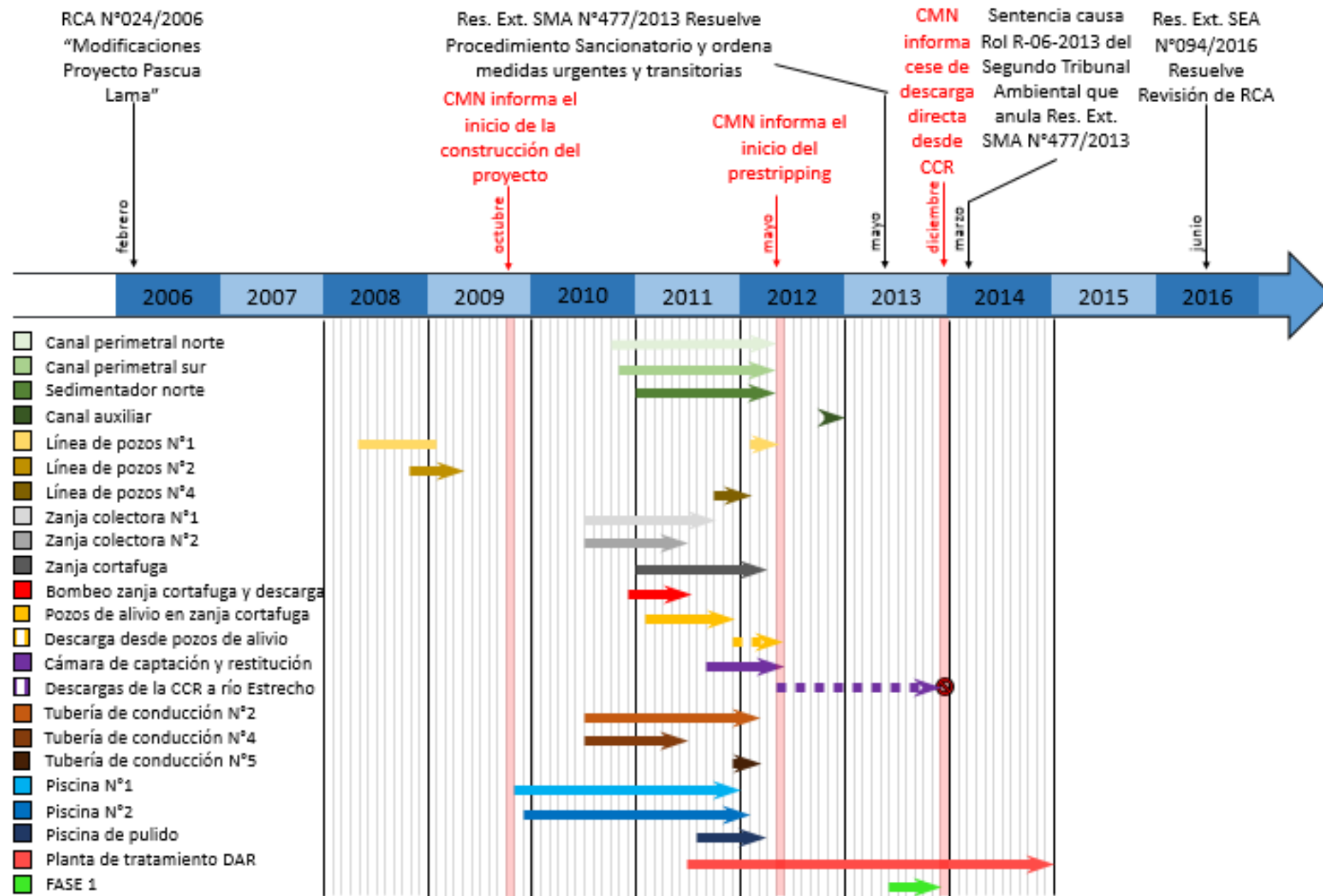
En la Carta PL-58/2016, entregada en respuesta a la Res. Ext. D.S.C./P.S.A. N°356/2016, se menciona que el contratista de ingeniería Fluor, con fecha 02 de abril de 2014, entregó la unidad de osmósis inversa a CMM, certificando que estaba completa mecánicamente. Sin embargo, se agrega que conforme consta de Resolución Exenta N°746, de 17 de diciembre de 2014 de la SMA, en su Considerando 4 se da cuenta de sucesivos aplazamientos de descarga desde la planta, que fueron informados por CMNSpA mediante cartas de diciembre 2013, marzo 2014 y abril de 2014. Se declara también en la Carta PL-58/2016 que durante este tiempo, y en la época en que existía afluente, las aguas tratadas eran almacenadas en la piscina de pulido, desde donde se extraían para empleo en humectación de caminos. Se indica también que, en ese mismo período, se habrían realizado una serie de pruebas, que se vieron afectadas por las condiciones climáticas, principalmente las bajas temperaturas que congelaban las distintas unidades e instalaciones de la planta, lo que explica el retraso en su puesta en régimen. Lo anterior fue verificado en el Informe de Fiscalización Ambiental DFZ-2014-60-III-RCA-IA, en el cual consta que la planta se encontraba descargando sus efluentes entre los días 16 y 17 de junio de 2014. En definitiva, la planta habría entrado en régimen en diciembre del 2014, tras la dictación de las Res. Ext. N°746 de 17 de diciembre de 2014, de la SMA.

6. Conclusiones: línea de tiempo

En base a los antecedentes recabados en el numeral 5, se generó la línea de tiempo que se aprecia a continuación.

Se incluyeron algunos hitos administrativos, tales como la obtención de la resolución de calificación ambiental (RCA N°024/2006), la sanción impuesta por la SMA (Res. Ext. N°477/2013), la sentencia del Ilustre Segundo Tribunal Ambiental que anuló la sanción anterior (Rol R-06-2013), y la modificación de la RCA N°024/2006 mediante la Res. Ext N°094/2016 del Servicio de Evaluación Ambiental.

Asimismo, se indican algunos hitos operativos de especial significancia, tales como el inicio de la fase de construcción, el comienzo de la remoción de la sobrecarga (denominado también prestripping), y el cese de la descarga directa desde la CCR al río Estrecho.



FIGURAS Y TABLAS

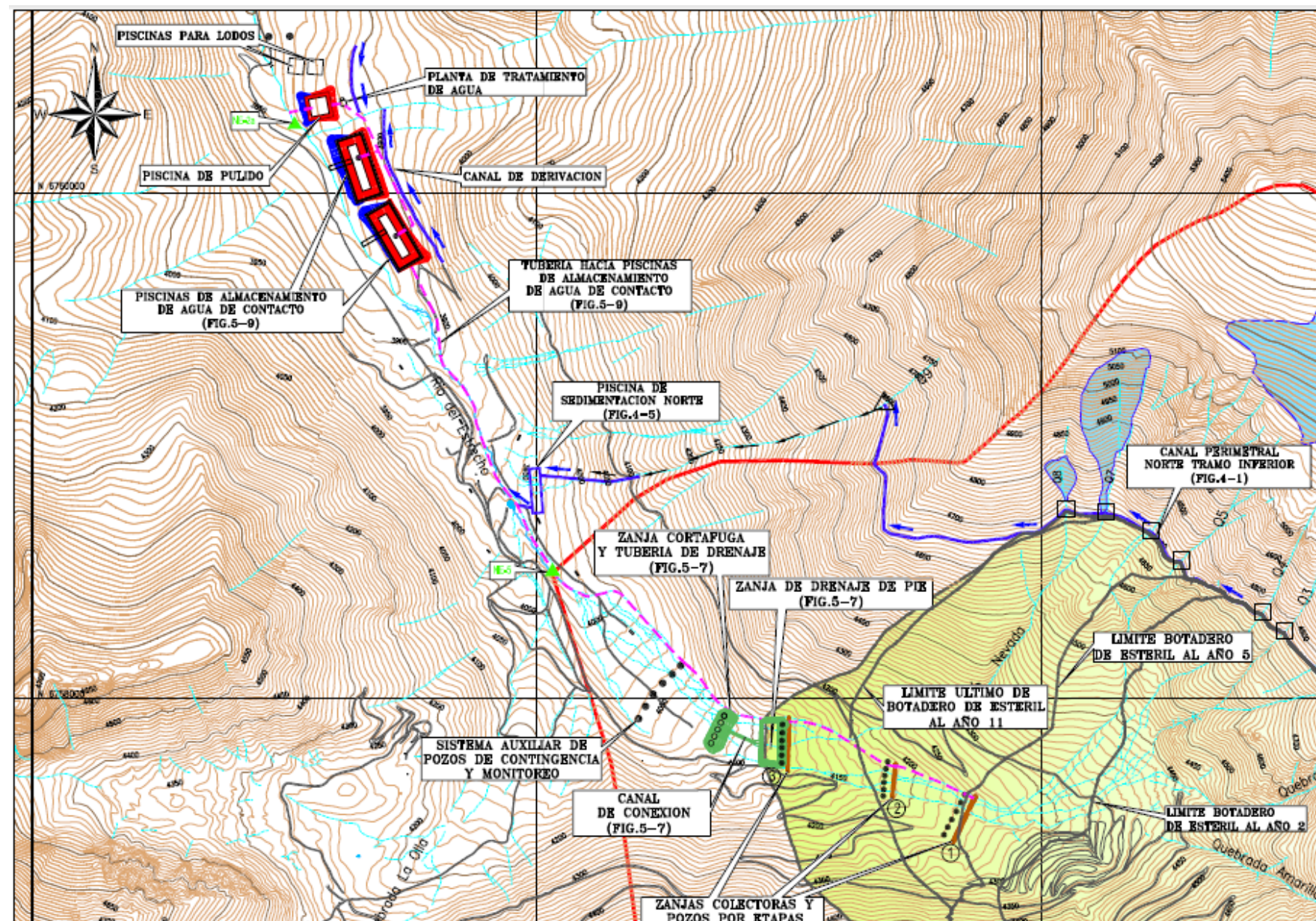


Figura 1. Sistema de manejo de aguas según RCA N°024/2006 (Fuente: Extraído de la Figura 3-1 del Anexo II-M del Adenda N°2)

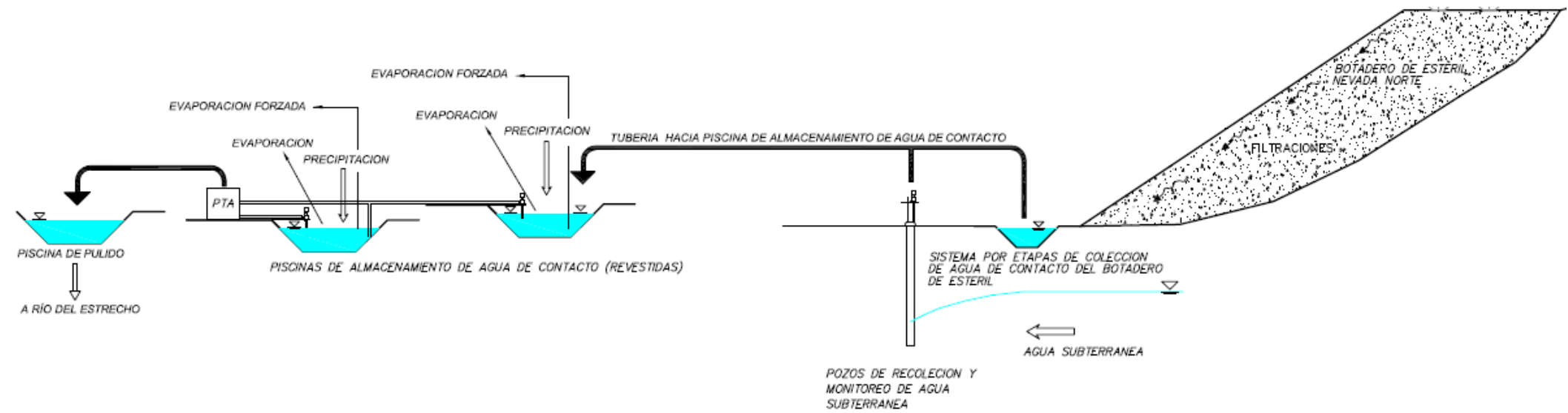
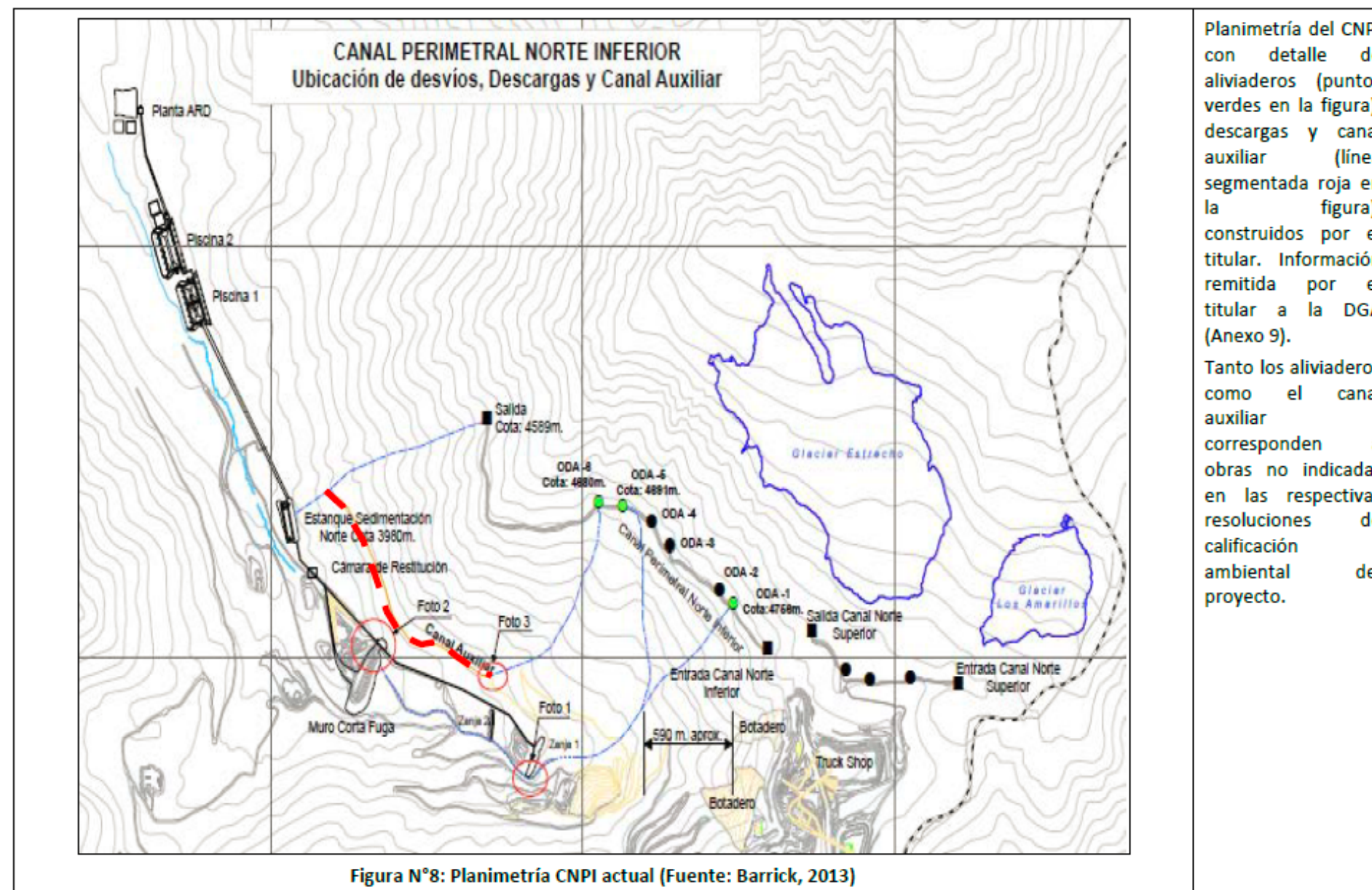


Figura 2. Balance de aguas en el sistema de manejo de aguas de contacto según RCA N°024/2006 (Fuente: Extraído de la Figura 3-3 del Anexo II-M del Adenda N°2)



Planimetría del CNPI con detalle de aliviaderos (puntos verdes en la figura), descargas y canal auxiliar (línea segmentada roja en la figura), construidos por el titular. Información remitida por el titular a la DGA (Anexo 9). Tanto los aliviaderos como el canal auxiliar corresponden a obras no indicadas en las respectivas resoluciones de calificación ambiental del proyecto.

Figura 3. Obras del canal perimetral inferior construidas, estado a enero de 2013 (Fuente: Figura N°8 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA)

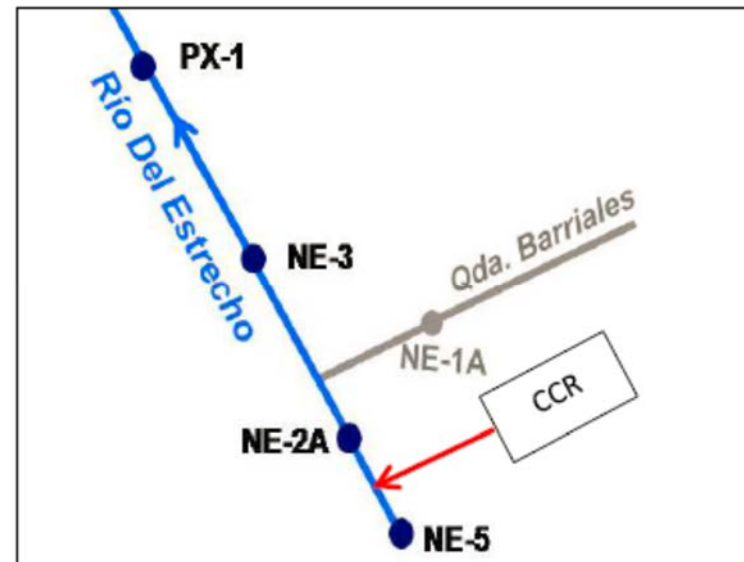


Figura 4. Ubicación esquemática de la descarga de la CCR en relación con las estaciones de monitoreo ubicadas en el río Estrecho (Fuente: Figura N°09 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA).

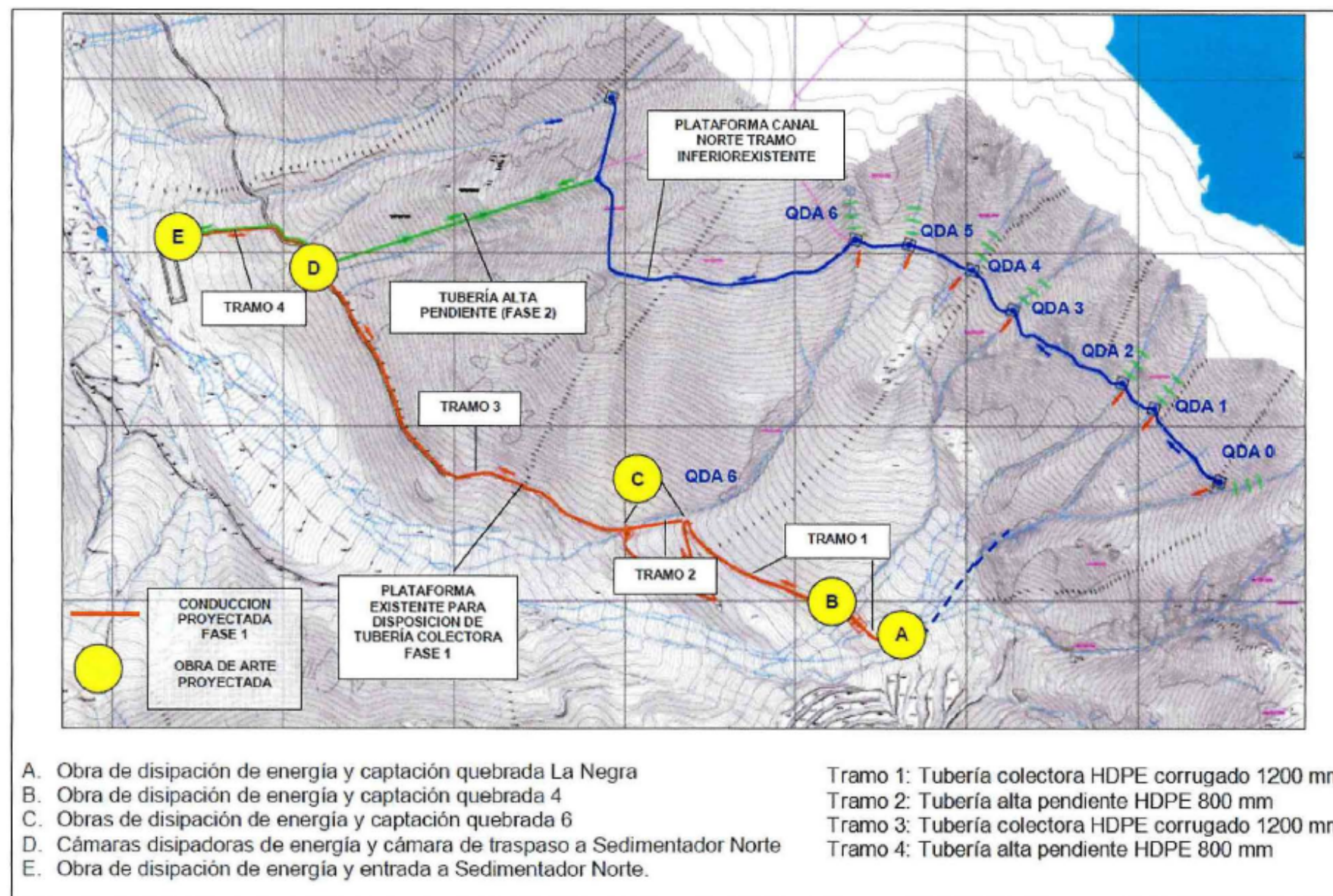


Figura 5. Obras temporales Fase 1 (rojo) construidas (Fuente: Figura N°8 del Informe DFZ-2013-6945-III-RCA-IA).

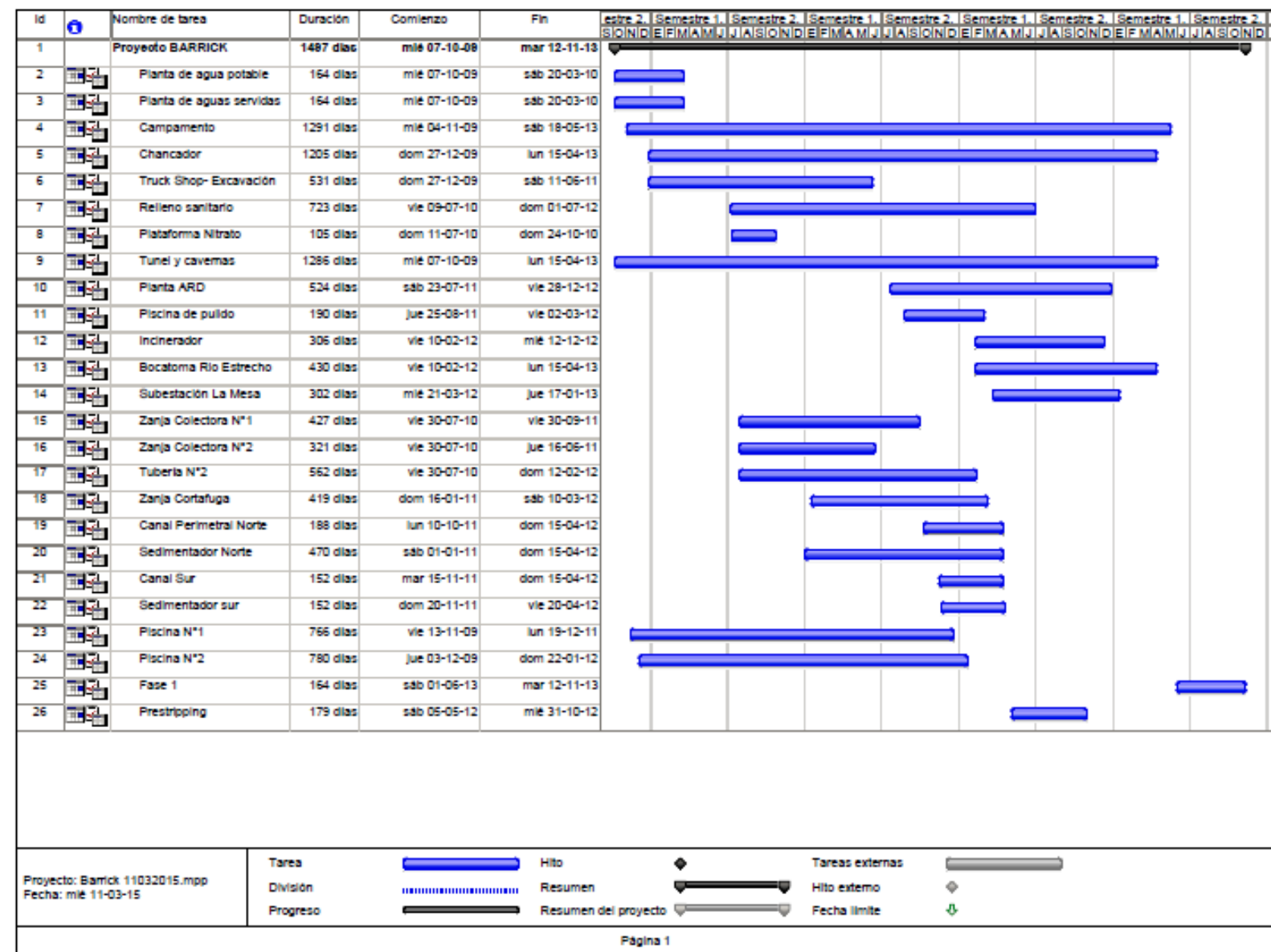


Figura 6. Cronograma de obras ejecutadas al año 2013 (Fuente: Anexo 3 de la Carta PL-0054/2015 entregada al SEA Atacama en el marco del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006)

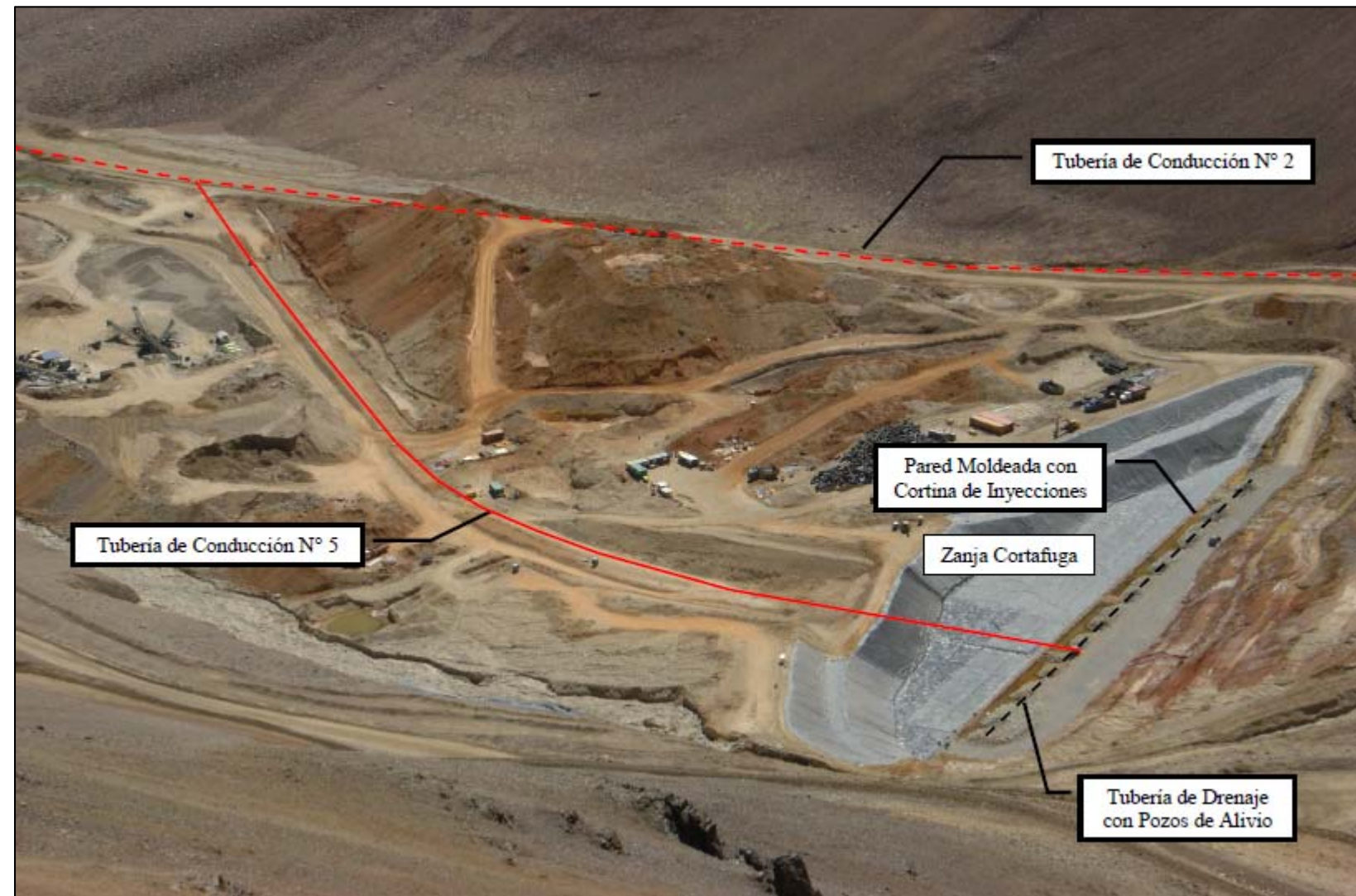


Figura 7. Principales obras relacionadas con el muro cortafugas (Fuente: Foto 1 del "Documento C: Zanja Cortafuga y Tubería de Conducción N° 5", adjunto a la presentación realizada por Compañía Minera Nevada con fecha 29/04/2013).

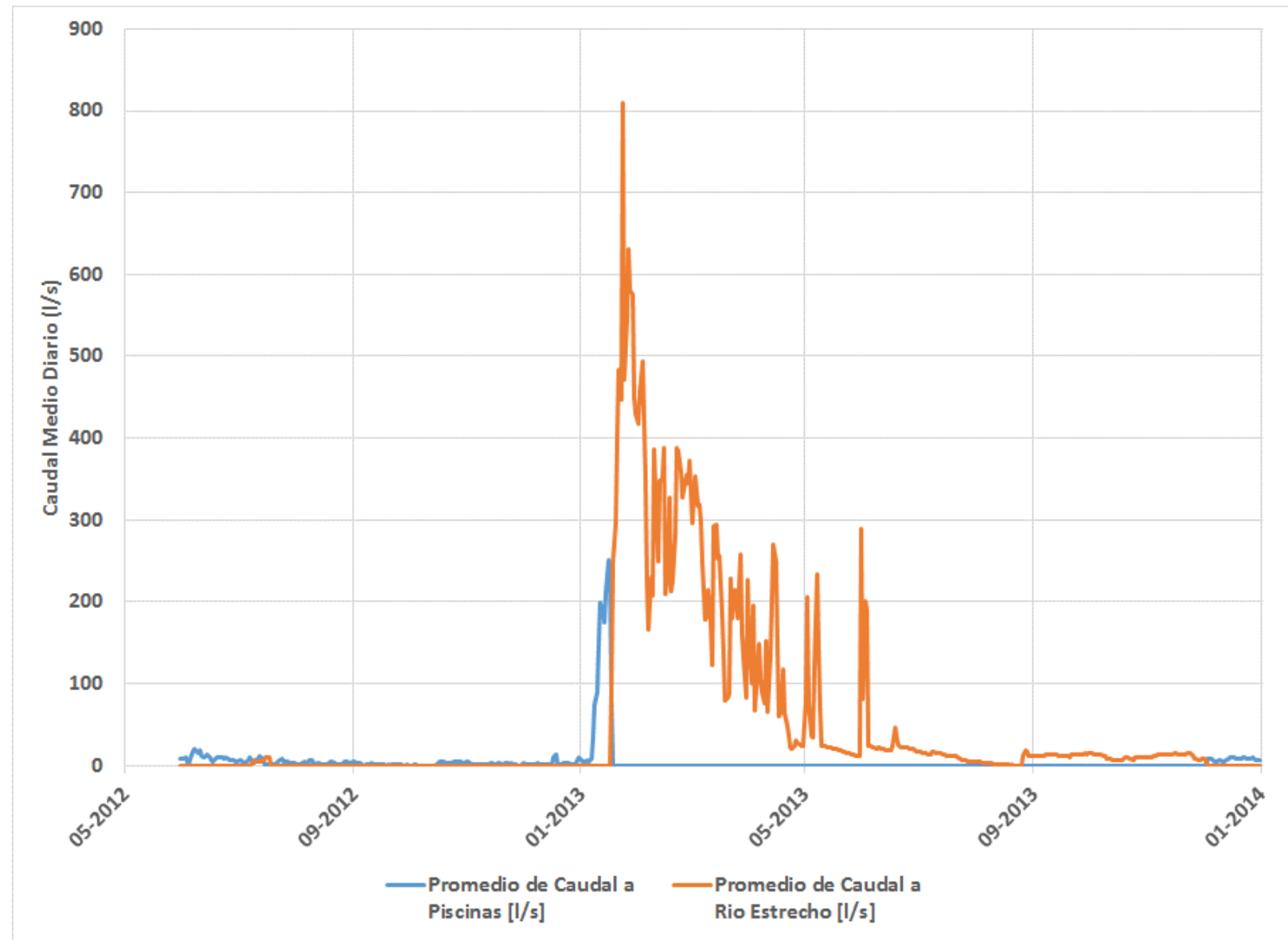


Figura 8. Caudales descargados desde la CCR (Fuente: Carta PL-036/2017).

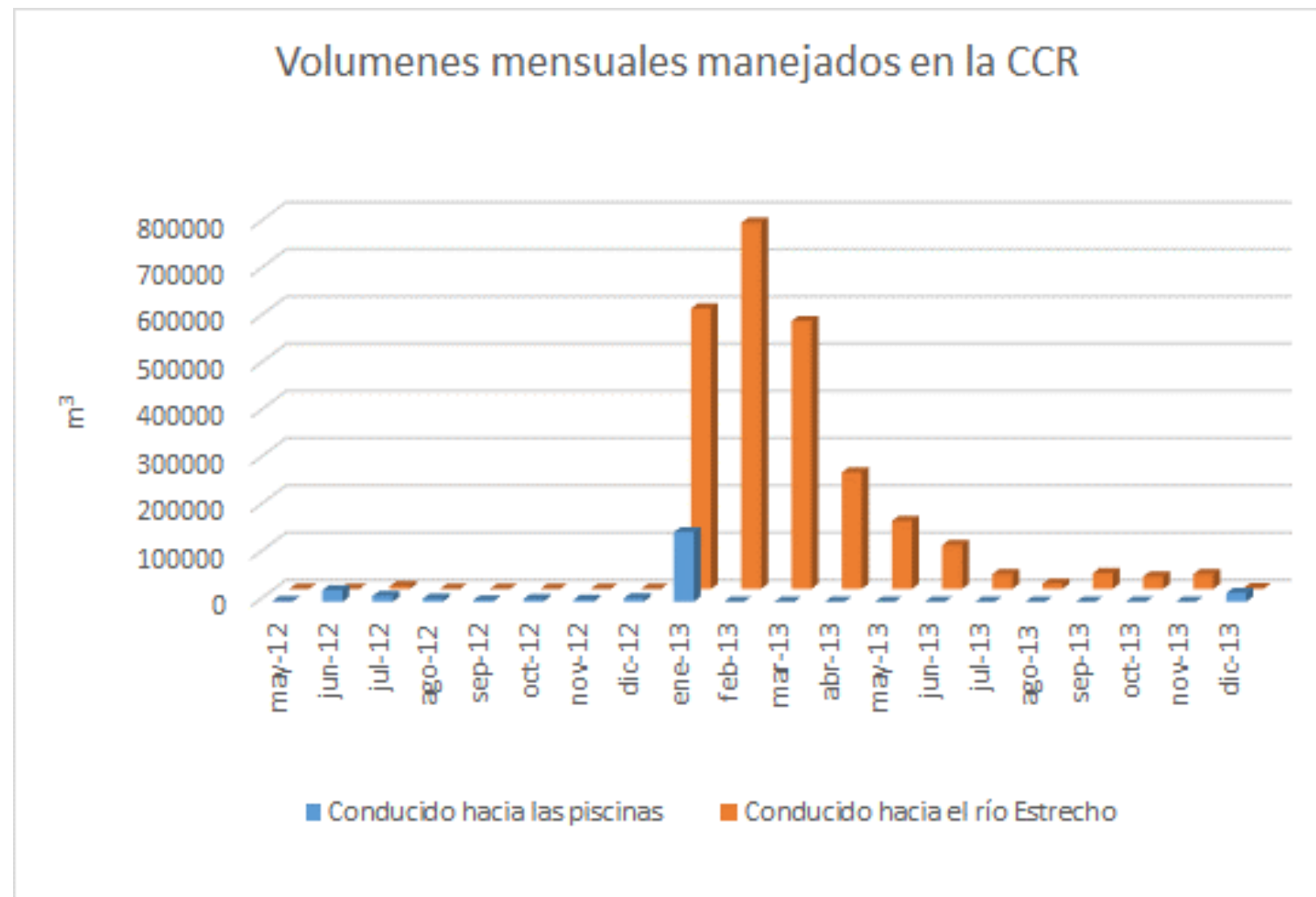


Figura 9. Volúmenes mensuales manejados en la CCR (Fuente: elaboración propia según datos presentados en la Carta PL-036/2017).

Tabla 1. Cronograma de ejecución de obras Fase 1 (Fuente: Carta PL-0206/2013)

		2013											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CANAL NORTE - FASE 1	INGENIERIA												
	COMPRAS- CONTRATOS												
	PERMISOS												
	CONSTRUCCIÓN												
	COMISIONAMIENTO												

Tabla 2. Información sobre la fase de construcción de las zanjas colectoras, tuberías y cámara de restitución (Fuente: Anexo 14 Dco B. del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA)

Cuadro 2.1
Fases de Construcción
Zanjas Colectoras (N° 1 y N° 2) y Tuberías de Conducción (N° 2 y N° 4) y
Cámara de Restitución

Descripción de Actividad	Zanja Colectora N° 1	Zanja Colectora N° 2	Tubería N° 2	Tubería N° 4	Cámara de Restitución
Movimiento de Tierra (masivo)	N/A	30/07/2010 - 05/10/2010	03/06/2011 -	30/07/2010 - 05/10/2010	08/09/2011 - 08/10/2011
Instalación de Tuberías	N/A – 30/09/2011	14/04/2011 - 16/06/2011	12/02/2012	14/04/2011 - 16/06/2011	-
Instalación de Concreto	-	-	-	-	24/09/2011 - 09/12/2012
Terminación de Construcción:					
Aceptación por Constructores	30/09/2011	07/01/2012	12/02/2012	09/02/2012	N/A
Aceptación por Administrador del Proyecto (CMN)	03/10/2011	10/01/2012	13/02/2012	13/02/2012	N/A

Nota: Fechas el formato de dd/mm/aaaa

Tabla 3. Cronograma de construcción de las líneas de pozos (Fuente: Anexo 1 de la Carta PL-036/2017).

Pozos	Proyecto Pascua Lama																																																
	Perforación y construcción de pozos de las líneas L1, L2, L4																																																
	2008												2009												2010												2011												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
L1-CW1																																																	
L1-CW2 (*)																																																	
L1-CW3																																																	
L1-CW4																																																	
L1-CW5																																																	
L1-CW6																																																	
L2-CW1																																																	
L2-CW2																																																	
L2-CW3																																																	
L2-CW4																																																	
L2-CW5																																																	
L2-CW6																																																	
L4-PM1																																																	
L4-PM2																																																	
L4-PM3																																																	
L4-PM4																																																	
L4-PM5																																																	
L4-PM6																																																	

(*) La construcción de este pozo fue interrumpida durante los meses de invierno de julio, agosto, septiembre.

Tabla 4. Información sobre la fase de construcción de la zanja cortafuga y la Tubería N°5 (Fuente: “Documento C: Zanja Cortafuga y Tubería de Conducción N° 5”, adjunto a la presentación realizada por Compañía Minera Nevada con fecha 29/04/2013).

Cuadro 2.1
Fases de Construcción
Zanja Cortafuga y Tubería de Conducción N° 5

Descripción de Actividad	Zanja Cortafuga	Tubería de Conducción N° 5
Movimiento de Tierra	16/01/2011 – 08/12/2011	N/A
Instalación de Revestimiento	01/12/2011 – 10/03/2012	N/A
Instalación de Obras Civiles (cortina y pozos)	24/02/2011 – 30/11/2011	N/A
Instalación de Tubería de Conducción N° 5	N/A	14/12/2011 – 16/02/2012
Terminación de Construcción:		
Aceptación de los Constructores	12/12/2011	16/02/2012
Aceptación del Administrador del Proyecto (CMN)	N/A	N/A

Nota: Fechas el formato de dd/mm/aaaa

ANEXO 4: MODELO CONCEPTUAL DE LA DINÁMICA HÍDRICA Y CALIDAD DEL AGUA

OBJETIVO: En el presente Anexo se exponen los antecedentes más relevantes que constan en el expediente de evaluación ambiental del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”, calificado favorablemente mediante Resolución de Calificación Ambiental N°024/2006, y en otros documentos, en relación con las características y dinámica del sistema hídrico ubicado en la zona alta de la cuenca del río Estrecho. En base a lo anterior se configura el modelo conceptual que permite entender el funcionamiento del sistema hídrico en su condición de línea de base y con proyecto, destacándose los potenciales impactos que pueden generarse debido a la ejecución del proyecto.

1. Expediente de evaluación ambiental

En el Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama” (RCA N°024/2006), se incluye el informe “Condiciones Hidrogeológicas de Línea Base Sector Superior del Río del Estrecho” elaborado por Golder Associates.

En sus propios términos, el propósito del documento es “*la consolidación y síntesis de la información geológica e hidrogeológica recopilada por Compañía Minera Nevada Ltd, CMN y sus consultores, con el objeto de identificar y caracterizar las condiciones de línea base del agua subterránea y desarrollar un modelo conceptual del flujo de agua subterránea para el sector superior de la cuenca del río del Estrecho*” (énfasis agregado).

La información contenida en el informe sienta las bases para el entendimiento de la dinámica de las aguas subterráneas y su interrelación con las aguas superficiales. Si bien se deben tener presentes la totalidad de los antecedentes expuestos en el referido documento, a continuación se presentan algunos extractos de particular relevancia para este análisis.

2. Propiedades y funcionamiento de los acuíferos

Existen 2 sistemas acuíferos, o dos capas de acuíferos, separados. Estos son el acuífero que se desarrolla en los “*sedimentos fluviales y aluviales*” (denominado FAS) y el acuífero existente en las “*rocas fracturadas*” subyacentes (denominado GR). Estos dos sistemas se encuentran separados en algunas partes por un “*till glaciar*” (denominado GT), que es clasificado como un nivel acuitado¹ (transmisividad inferior a 2 m²/día), y actúa como una capa de muy baja permeabilidad que separa los acuíferos anteriores.

Acuífero FAS: El espesor saturado es de hasta 30 m y el agua fluye de forma no confinada. No se colectaron muestras en la parte superior de la cuenca. Aguas abajo de la Quebrada la Olla presenta un pH casi neutro, Sólidos Disueltos Totales (TDS) menores a 300 mg/l y una composición rica en Ca-HCO₃ (se denominan aguas “*bicarbonatadas-cálcicas*”).

Acuífero GR: Consiste en una roca que se encuentra muy fracturada en sus primeros 10 m. En la parte superior el flujo no es confinado, sin embargo a partir de los 4.200 msnm el flujo se vuelve confinado. El agua es rica en Ca-SO₄ (se denominan aguas “*bicarbonatadas-sulfatadas*”) y se caracteriza por un pH ácido (3.3 – 4.4) y TDS de 500 a 3100 mg/l. Este tipo de agua corresponde a drenaje ácido natural.

¹ Acuitado: unidad que permite el almacenamiento de agua, pero que tiene una limitada capacidad para transmitirla, haciendo inviable su explotación (fuente: Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA, Servicio de Evaluación Ambiental, 2012). [en línea]: http://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/guias/Guia_uso_modelo_aguas_subterranas_seia.pdf

Un perfil longitudinal de la parte alta de la cuenca se presenta en la Figura 1, mientras que en la Figura 2 se muestra una vista en planta. En ambas figuras se pueden apreciar los distintos elementos del sistema (sistemas FAS, GT, GR).

3. Recarga y descarga de aguas subterráneas

Los hidrogramas de aguas subterráneas analizados en el referido informe² muestran una marcada tendencia estacional. En efecto:

- Los cambios en los niveles de agua subterránea coinciden con las variaciones del flujo superficial.
- Durante el invierno, todas las precipitaciones se acumulan en forma de nieve la cual se almacena en la cuenca. Los niveles de agua subterránea en todos los pozos de monitoreo declinan durante este período del año alcanzando su nivel más bajo en el mes de octubre.
- Los periodos de deshielo durante primavera y verano liberan las aguas almacenadas en la parte superior de la cuenca, generando una fuente de recarga de aguas subterráneas. Los niveles más altos de aguas subterráneas se producen a fines de la temporada de verano (marzo).
- Por lo general, los niveles de agua subterránea en las unidades sedimentarias, no presentan una variación superior a 5 m a lo largo del año. En cambio, se registran fluctuaciones de agua subterránea de hasta 20 m en los piezómetros más profundos, debido a un coeficiente de almacenamiento más bajo asociado con la roca fracturada.

En esencia, la recarga de las aguas subterráneas es rápida, estacional y se presenta principalmente de octubre a marzo, siendo su origen el deshielo de la nieve y también filtraciones desde el lecho del río Estrecho.

La descarga difusa del agua subterránea, como flujo base e infiltraciones, se presenta a través de los sedimentos aluviales y fluviales en el fondo del valle en el río del Estrecho, desde NE-5 y hacia aguas abajo. En particular, esta descarga se asocia a cambios de transmisividad que resultan de las reducciones en el área saturada y contribuciones de agua subterránea adicional desde Quebrada La Olla. Cabe destacar que es esta descarga de aguas subterráneas la que sustenta bofedales y humedales en el área.

Las zonas de recarga y descarga fueron delimitadas según se muestra en la Figura 3.

² Ver plano 3-2 del informe "Condiciones Hidrogeológicas de Línea Base Sector Superior del Río del Estrecho" elaborado por Golder Associates (Anexo II-C de la Adenda N°2 del EIA del proyecto "Modificaciones Proyecto Pascua Lama").

4. Interacción entre aguas subterráneas y aguas superficiales

A continuación se presenta un extracto del mismo Informe, en el cual se incluyen tablas que dan cuenta de la relación entre las aguas subterráneas y superficiales en la cuenca del río Estrecho.

Tabla 1. Cálculos de los flujos de agua subterránea por cada unidad hidrogeológica (Fuente: Tabla 5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación de la RCA N°024/2006).

Sección Hidrogeológica	Calculo del Flujo de Agua Subterránea (L/s)			
	FAS	GR	GT	Total
Sección A: Parte Alta de la Cuenca del Río del Estrecho	<1 a 1	3 a 6	<1	4 a 8
Sección B: Sección a través de RE-12 / Test Well-2	6 a 7	3 a 8	<1	10 a 16
Sección C: Ubicación NE-5	5 a 6	3 a 7	<1	8 a 14
Sección D: Ubicación en NE-2/NE-2A	1 a 2	7 a 15	<1 a 1	8 a 18
Sección E: Ubicación en NE-4	0	7 a 16	0	7 a 16

FAS – Sedimentos fluviales y aluviales, GR – lecho de roca fracturado, GT – til glacial

Tabla 2. Proporciones de flujo del agua subterránea en la cuenca del río Estrecho en estado estable (Fuente: Tabla 5-2 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación de la RCA N°024/2006)³.

Componente del Flujo	NE-5 (L/s)	NE-2A (L/s)	NE-4 (L/s)
Escorrentía Total de Agua Superficial (Caudal promedio medido)	55	109	570
Flujo de agua subterránea a través de unidades geológicas	8 - 14	8 - 18	7 - 16
Flujo Total (Agua Superficial y Agua Subterránea)	63 - 69	117 - 127	577 - 586
Porcentaje de Agua Subterránea	13-21%	7-14%	1-3%

SW – Agua superficial, GW – Agua subterránea

Tal como puede apreciarse, la influencia de las aguas subterráneas sobre las aguas superficiales es mayor en el punto NE-5, para luego ir descendiendo hacia aguas abajo. Esta influencia es significativa en NE-5 y NE-2A, mientras que en NE-4 ya no es relevante (inferior al 3%).

5. Calidad del agua

A continuación se presenta una comparación entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas en relación con los principales parámetros o grupos de parámetros de calidad del agua.

Tabla 3. Resumen de la caracterización de la calidad del agua (Fuente: datos del expediente de evaluación ambiental de la RCA N°024/2006).

Parámetro	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
-----------	---------------------	--------------------

³ En esta tabla se indica el “porcentaje de agua subterránea”, el cual se refiere al porcentaje que representa el agua que escurre subterráneamente respecto del total del flujo en la cuenca (suma del flujo superficial y subterráneo).

pH	Ácido en NE-5 (pH=3,9) a casi neutro en NE-4 (pH=6,6).	Ácido en lecho rocoso, varía entre 3,2 (BT-4) y 4,4 (RE-6P). Casi neutro en valle (6,4 en BT-4 y 7,2 en Nev-2).
Iones principales	El agua es del tipo Ca-SO ₄ en todas las estaciones. La concentración de iones disminuye desde NE-5 (TDS=1.106 mg/l) hacia NE-4 (TDS=275 mg/l).	Arriba quebrada la Olla: agua Ca-SO ₄ Abajo quebrada la Olla: agua varía entre Ca-HCO ₃ y Ca-SO ₄ . Abajo quebrada barriales: agua Ca-HCO ₃ .
Metales	Dominan Al, Mn, Zn, Fe y Cu. Disminuyen hacia aguas abajo: Al: 48 mg/l en NE-5 a 0,1 mg/l en NE-4 Mn: 20 mg/l en NE-5 a 2 mg/l en NE-4 Zn: 8 mg/l en NE-5 a 0,5 mg/l en NE-4 Fe: 3 mg/l en NE-5 a 1 mg/l en NE-4 Cu : 1 mg/l en NE-5 a 0,05 mg/l en NE-4	Dominan Al, Mn, Zn, Fe, Cu y F. Hay una diferencia de órdenes de magnitud entre la cantidad de metales en aguas del lecho rocoso (drenaje ácido natural) y aguas de sedimentos suprayacentes (FAS).
Estacionalidad	Las fluctuaciones más altas se producen en los tramos superiores de la cuenca, donde la calidad del agua se encuentra más afectada por las escorrentías originadas por el derretimiento de nieves.	Menos pronunciadas que en agua superficial, sobre todo en el lecho rocoso. El agua del lecho rocoso presenta valores consistentemente altos, mientras que en los sedimentos suprayacentes (FAS) existe mayor variabilidad.

6. Modelo Conceptual

El modelo conceptual representa los elementos fundamentales que caracterizan el comportamiento de los cursos de agua en una cuenca y su interrelación, todo lo cual se deriva del conjunto de los antecedentes analizados. En el caso de la cuenca del río Estrecho, algunos de los elementos más relevantes que se desprenden de la información analizada son los siguientes:

- Existen dos acuíferos de relevancia, el FAS (superficial) y el GR (profundo).
- El acuífero FAS conduce agua de una calidad relativamente buena.
- El acuífero GR conduce aguas que son naturalmente ácidas y con elevados contenidos de metales.
- Existe un potencial flujo vertical de agua subterránea que va desde las unidades hidrogeológicas profundas (GR) hacia las superficiales (FAS) en la parte alta de la cuenca (aguas arriba de la quebrada Barriales).
- El comportamiento de los acuíferos está fuertemente influido por la estacionalidad asociada a la ocurrencia de deshielos, que producen un ascenso de los niveles (recarga) y una disminución en la concentración de metales (dilución por mezcla con aguas de deshielo de buena calidad).
- En la parte alta existe un aporte significativo de las aguas subterráneas hacia las aguas superficiales (sobre todo en NE-5 y NE-2A), el cual disminuye hacia aguas abajo hasta ser irrelevante en NE-4.

En la Figura 4 se incluye una representación del modelo conceptual en la situación de línea de base, lo cual complementa la representación incluida en la Figura 1.

7. Validación del modelo conceptual posterior a la construcción del proyecto

El informe "Condiciones Hidrogeológicas de Línea Base Sector Superior del Río del Estrecho" (Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental de la RCA N° 024/2006) está fechado en noviembre de 2005. De ello se desprende que el modelo conceptual se sostiene en la información recopilada y analizada hasta esa fecha. Luego de ello han transcurrido varios años en los cuales se recopiló mayor información de línea de base (antes de la ejecución del proyecto), y también información del comportamiento frente a las obras de construcción del proyecto, todo lo cual resulta relevante considerar.

La información anterior ciertamente aporta al conocimiento del sistema, y puede contribuir a realizar actualizaciones al modelo conceptual, ya sea mayores (modificación sustantiva del modelo) o bien menores (precisiones de ciertos aspectos conservando el modelo original). Ahora bien, cabe entonces preguntarse si la información recopilada con posterioridad a la evaluación ambiental ha generado la necesidad de introducir cambios sustantivos en la conceptualización del sistema. Esto fue abordado en el marco de la declaración testimonial realizada por el Sr. Carlos Espinoza Contreras, en calidad de testigo experto, la cual se encuentra transcrita e incorporada al procedimiento sancionatorio mediante Resolución Exenta D.S.C./P.S.A. N° 355, de fecha 25 de abril de 2016. En su declaración, el testigo experto declaró entre otros, lo siguiente:

En cuanto al sistema en general:

“Al 2006, en general la información hidrogeológica que había disponible era la mayoría de los pozos RE que estaban ahí, probablemente en cantidad, en calidad habían pocos datos, hay pozos que tienen datos antes del 2005 pero muchos de ellos, me da la impresión según lo que contamos, parten el 2005 o 2006, probablemente contaban con un año de información al momento del cierre del proyecto. En general, la información que había en los pozos RE y de cómo es el sistema somero y profundo, era suficiente para ver que habían dos sistemas bien diferentes desde un punto de vista de cantidad y de calidad. De hecho si uno mira particularmente los antecedentes de la Adenda 2, de hidrogeología, que fueron desarrollados por la consultora Golder, conceptualmente cuando ellos hablan de los sistemas acuíferos que existen, si uno los mira hoy día no hay una gran variación, o sea los sistemas, la unidad hidrogeológica que existían o que ellos caracterizaron, son las que hoy día hay. Por tanto, como caracterización no estuvieron muy lejos al decir, este es el sistema y tienen calidad natural más concentrada por ejemplo este sistema inferior y también conocían estas ferricretas y este material intermedio que tenía ciertas características geológicas, por tanto al año 2005 había información, no tanta como hay hoy día, pero había información en que el modelo conceptual desde un punto de hidrogeológico para caracterizar una línea de base (...)” (pregunta/respuesta N°89).

“(...) Entonces si miramos Pascua Lama en el año 2005 para lo que se conocía, desde el punto de vista cantidad hoy día es lo mismo, es decir el sistema no es muy diferente desde el punto de vista de todo lo que conocemos ahora” (pregunta/respuesta N°93).

En cuanto a la calidad del agua:

“En calidad efectivamente hay mucha más información, y yo diría que la información en un proyecto Greenfield o proyecto nuevo, probablemente entre el 2005 y el 2009 hay más información, de hecho el sistema se comporta de manera diferente y eso es parte del 25 quinquies, pero antes de intervenirlo, antes de construir las obras habían cosas que no necesariamente se iban a conocer por más que uno siguiera estudiando 20 años el sistema. Entonces hoy día por ejemplo, sí hay producto de las construcciones de obras, cambios que permiten entender el sistema de una manera en el fondo es propia de tener un sistema con menos recarga, la obra, en este caso la zanja, te da más información, tú puedes entender cosas con más detalle. Pero antes de construirlas, tú podrías haber seguido midiendo, uno podría haber seguido midiendo años y haber igual encontrado ciertas cosas dentro de la época de construcción” (pregunta/respuesta N°94).

A la luz de lo indicado, se concluye que el modelo conceptual establecido en el marco de la evaluación ambiental sigue siendo válido, en especial en lo que dice relación con los componentes del sistema y su funcionamiento respecto de la cantidad de agua. Respecto de la calidad del agua, los datos obtenidos en su oportunidad, junto con su respectiva interpretación, siguen siendo válidos también. Sin embargo, se hace la prevención de que ello no obsta a que ocurran situaciones durante la construcción del proyecto, que no podrían haber sido previstas por más que se contara con mayor y mejor información. Dicho de otro modo, se reconoce que la información de línea de base permite conocer el funcionamiento del sistema en condiciones de línea de base (o naturales en este caso), pero no necesariamente entrega suficiente información en relación con los cambios que pueden ocurrir producto de la ejecución del proyecto.

Reconociendo lo anterior, resulta necesario complementar el modelo conceptual de la evaluación ambiental, de tal forma de comprender el funcionamiento del sistema sometido a la intervención del proyecto, particularmente en lo que dice relación con la calidad del agua (entendiendo que cantidad y calidad son indisociables). Para ello es fundamental tener a la vista la información que se ha generado con posterioridad al inicio de la construcción del proyecto, y que se detalla a continuación.

8. Respuesta del sistema subterráneo frente a la intervención del proyecto

En la declaración testimonial ya individualizada, se abordó en distintas partes el tema del comportamiento del sistema hídrico sometido a la intervención del proyecto. Dentro de lo que explicó el testigo experto se destaca lo siguiente:

- Durante la construcción del sistema cortafuga se bombeó agua para poder bajar los niveles de agua en la zanja (requisito para la construcción de obras). Esto produjo una alteración en el entorno, que se traduce en una alta variabilidad en la calidad del agua que se ejemplifica con los pozos RE-14 y RE-17. Estos pozos presentan valores mayores a los previos a la construcción (parámetros de calidad del agua), y se espera que converjan a un valor estable, pero más alto que el histórico conforme se estabiliza el sistema (pregunta/respuesta N°80 y 83). Esta alteración se siente localmente en el entorno del muro cortafuga (aguas arriba y aguas abajo), y hacia aguas abajo queda limitada por la zona donde se ubican los pozos BT que son surgentes, y dan cuenta de la presencia de una zona en la cual el agua asciende y actúa como una barrera hidráulica natural (pregunta/respuesta N°82).
- Cuando se realizó la excavación masiva para construir el muro cortafuga, quedaron materiales expuestos. Hay un material intermedio que se llama Till Glaciar, químicamente es un ferricrete, el cual al quedar expuesto con el oxígeno cambia su calidad (pregunta/respuesta N°80).
- La operación del muro cortafuga produce una interrupción del agua subterránea que fluía naturalmente por el acuífero (el agua es captada, sacada del acuífero, y conducida a la CCR). Esto implica que aguas abajo del muro cortafuga circula menos agua que en la condición natural, por lo que los niveles en el acuífero descienden (se ejemplifica con la situación del pozo RE-17) (pregunta/respuesta N°69 y 84).
- Los canales perimetrales han mermado la recarga en la zona que cubren, lo cual reduce la cantidad de agua de buena calidad que ingresaba a la zona mineralizada, perdiéndose así capacidad de dilución (pregunta/respuesta N°80, 82, 83, 108).
- Respecto del impacto que surge de integrar todo lo anterior se indica que:
“Es un impacto local asociado a la construcción de la obra y por lo tanto si uno empieza a bombear por ejemplo esas aguas, va a estar básicamente bombeando agua local que después va a seguir llenándose, esto hay que dejar que se estabilice, parte de esta agua después se va al sistema superficial abajo, son calidades altas pero son cantidades pequeñas, los 15 litros por segundo, los 12 litros por segundo que venían subterráneamente están desviados hacia el sistema de captación de aguas, entonces lo que tenemos en RE-17 es una calidad alta, que viene particularmente, por ejemplo en sulfato, pero los niveles más bajos y la cantidad de agua que está pasando por ahí son mínimas porque provienen básicamente de las recargas locales, o sea no es un agua que vaya a tener una incidencia directa en lo que pasa más abajo. Porque la relación no es solamente concentraciones, es caudal/concentración. Y es algo que tenemos principalmente, es una cantidad de agua más pequeña porque le quité las fuentes de alimentación. Por eso que el punto acá es que la obra en este caso zanja, más perimetrales, más la devolución de los perimetrales aguas debajo de la línea de pozos L4 al RE-17 hace que esa zona esté desde el punto de vista de calidad relativamente alterada, pero aislada...” (pregunta/respuesta N°109).

En relación con la excavación masiva para construir el muro cortafuga, que dejó materiales expuestos con potencial de afectar la calidad del agua, existe información adicional que permite complementar lo señalado por el testigo experto. Al realizar una revisión de imágenes satelitales de alta resolución (ver Figura 5), se observa que los movimientos de tierra y la depositación de los materiales excavados se concentró aguas abajo del muro cortafugas. Esta situación fue también constatada por la DGA, en una inspección en terreno realizada el día 19 de mayo de 2011. Las principales observaciones realizadas por dicho servicio en esa oportunidad constan en la Res. Ex. DGA Atacama N°433 del 7 de junio de 2011 (acompañada por CMNSpA en los anexos de su Carta PL-036/2017). En particular, la DGA detalló que *“se constató la depositación de material removido desde la excavación señalada en la letra d) [se refiere a la excavación realizada para la construcción del muro cortafuga], dispuesto de manera irregular, en una zona ubicada inmediatamente aguas abajo de dicha excavación, a una altura máxima aproximada de 30 metros, en un sector ubicado referencialmente en coordenadas UTM Norte 6. 757.799 metros y Este 398.325 metros, según datum WGS84”* (énfasis agregado). La situación constatada por la DGA puede visualizarse también en la Figura 6, proporcionada por CMNSpA. En función de lo anterior, queda en evidencia que una eventual alteración de la calidad del agua debido a la exposición de estos materiales, no podría haber sido controlada por el sistema de manejo de aguas de contacto.

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que, al deprimir sustancialmente el nivel freático, se drena una zona que se encontraba permanentemente saturada. Bajo condiciones de línea de base, esta zona tiene un bajo potencial de oxidación, puesto que al encontrarse permanentemente saturada no está expuesta directamente al oxígeno. Sin embargo, al ser drenada, aumenta sustancialmente su exposición al oxígeno y puede ver alterado su equilibrio químico. Bajo este mecanismo, existe el potencial de que se liberen metales al medio acuoso, sobre todo en las épocas de deshielo, que es cuando ocurre la recarga en el sistema. Esta situación puede explicar, en parte, el deterioro en la calidad del agua subterránea que se observó junto con el bombeo intensivo, a lo cual se agrega también el efecto producto de la mezcla vertical de aguas en el acuífero, junto con otros procesos.

Por último, una situación que no puede desconocerse es la presencia del botadero Nevada Norte. Si bien la cantidad de material depositado dista mucho de la capacidad autorizada para dicha obra⁴, ello no obsta a que se puedan generar aguas de contacto, que en este caso corresponderían a drenajes ácidos (pH ácido y alto contenido de metales) según las predicciones realizadas durante la evaluación ambiental⁵, aun cuando del análisis que se expondrá en el Anexo N° 6, no hay evidencia de que estas aguas de contacto hayan alcanzado los pozos ubicados bajo el botadero.

9. Respuesta del sistema superficial frente a la intervención del proyecto

Según lo planteado en el modelo conceptual, existe una estrecha relación entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales en la parte alta de la cuenca. De hecho, el agua que pasa por la sección donde se ubica NE-5 proviene netamente de afloramientos de aguas subterráneas. De esta forma, se puede decir que el nacimiento del río Estrecho es, en esencia, una manifestación en superficie de las aguas subterráneas locales. Por lo tanto, si es que existe una alteración en la cantidad y calidad de estas aguas subterráneas, es esperable que exista también un efecto en la cantidad y calidad del agua superficial, al menos en NE-5 y NE-2A, que son las estaciones de monitoreo que presentan una influencia significativa de las aguas subterráneas según el modelo conceptual.

Respecto del caudal en NE-5, el testigo experto señaló que, producto del descenso inducido en los niveles de aguas subterráneas bajo el muro cortafuga, el río Estrecho está apareciendo más abajo, quedando así NE-5 con muy poco caudal (pregunta/respuesta N°84). Agrega que, dado que se pierde el aporte de agua, NE-5 deja de ser característico (pregunta/respuesta N°145). Esta situación ya había sido advertida en el Anexo II-D-2 de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental, en donde se señala respecto de este mismo punto que *“las condiciones de este lugar de monitoreo cambiarán significativamente, una vez construido el muro de contención. Se espera una drástica reducción de los caudales en este punto, porque la existencia del muro y de los canales perimetrales se traduce en una disminución de la superficie aportante”*.

En cuanto a NE-2A, el testigo experto explicó que *“NE-2 si bien es río es agua subterránea como una cuenca aportante pequeña, sobre todo en las épocas de invierno. Por lo tanto tú traspasas en aguas subterráneas para los efectos no tienes que irte muy lejos para ver los efectos del proyecto porque ya cualquier efecto es traspasado desde el punto de vista de cómo funciona la cuenca hacia el sistema superficial. (...) Pero en este caso NE-2 por ejemplo es el punto que tú ves, sobre todo en la época de invierno, ese aporte o el efecto potenciales del acuífero”*⁶ (pregunta/respuesta N°145). Respecto del caudal en NE-2A, no se espera necesariamente algún efecto, puesto que se ubica aguas abajo del punto de restitución de los canales perimetrales. Sin embargo, respecto de la calidad del agua, y tal como fue señalado por el testigo experto, se espera que refleje los efectos inducidos en el sistema subterráneo. Dado que la calidad del agua fue alterada en el sistema subterráneo, es esperable entonces que la calidad del agua en NE-2A también se vea alterada.

Un aspecto de particular interés es la relación que existe entre la construcción/operación del sistema cortafuga y la calidad del agua superficial. Como bien se explicó en la declaración testimonial, dicha obra requirió para su construcción de un bombeo intensivo con el fin de deprimir los niveles (pregunta/respuesta N°80). En el Anexo 3, sección 5.4, se entregan los detalles de esta acción, que en síntesis consistió en un bombeo desde la zona entorno

⁴ En el Anexo N°7 del Plan de Cierre Temporal presentado a Sernageomin mediante Carta PL-0134/2015, se indica que el botadero Nevada Norte dispone del orden del 1% de su capacidad aprobada.

⁵ En el Anexo II-I de la Adenda II del procedimiento de evaluación del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama” (RCA N°024/2006), se incluye el “Modelo predictivo revisado de la geoquímica de las filtraciones para la escombrera de roca estéril Nevada Norte”.

⁶ Se debe considerar que NE-2A reemplazó a NE-2 y son consideradas como estaciones de monitoreo equivalentes.

a la obra, donde existen aguas ácidas naturalmente, para su posterior derivación hacia piscinas de sedimentación temporales, en donde se decantaban los sedimentos para luego, por rebalse, descargar las aguas al río Estrecho mediante una obra lateral. Esta acción se habría llevado a cabo entre diciembre del año 2010 y junio del año 2011.

Posterior al cese del bombeo intensivo, y a partir del 30 de noviembre del año 2011, habrían comenzado a operar los denominados “pozos de alivio” ubicados en el muro cortafuga (ver descripción en Anexo 3). El testigo experto explicó detalladamente el funcionamiento de estos pozos (pregunta/respuesta N°57 y 58), indicando que son drenes verticales que captan las aguas subterráneas bajo el muro cortafuga, y las conducen gravitacionalmente hacia la Tubería N°5, que empalma con la Tubería N°2, la que a su vez está conectada con la CCR. En este punto se deben distinguir dos escenarios:

- **Previo al funcionamiento del sistema de manejo de aguas de contacto:**

Es del caso destacar que los pozos de alivio operan gravitacionalmente, lo que implica que a partir del momento en que fueron construidos (30 de noviembre de 2011) funcionan ininterrumpidamente, descargando el agua subterránea que alcanza la cota a la que se ubica su descarga. Tal como se describe en el Anexo 3, las aguas captadas por estos pozos no pueden haber sido acumuladas ni tratadas con anterioridad a la entrada en funcionamiento del sistema de manejo de aguas de contacto, debiendo haber sido descargadas al río Estrecho, tal como se hizo anteriormente con las aguas captadas para deprimir el nivel de la napa durante la construcción del muro cortafuga.

- **Durante el funcionamiento del sistema de manejo de aguas de contacto:**

A partir de mayo de 2012 comenzó a funcionar el sistema de manejo de aguas de contacto. Fruto de ello, las aguas captadas en los pozos de alivio eran conducidas hacia la CCR, donde CMNSpA determinaba si eran conducidas a las piscinas de acumulación o descargadas directamente al río Estrecho. Al respecto, resulta importante tener presente lo señalado por el testigo experto, en cuanto a que, antes de entrar a operar los pozos de la línea L2 (lo que habría ocurrido en enero del año 2015 según los antecedentes expuestos en el Anexo 3), todas las aguas captadas provenían de los pozos de alivio (pregunta/respuesta N°57). Según ello, las descargas que se generaron desde la CCR hacia el río Estrecho correspondían esencialmente al flujo captado por los pozos de alivio.

Las referidas descargas de aguas subterráneas en superficie, ya sea alumbradas por el bombeo intensivo o por los pozos de alivio, tienen el potencial de afectar la calidad del agua en las estaciones NE-5 y/o NE-2A, dependiendo del lugar donde sean descargadas (aguas arriba de NE-5 o entre NE-5 y NE-2A). Esto, debido a que el agua proviene de la zona mineralizada que se caracteriza por alta conductividad, bajo pH, y elevado contenido de metales (drenaje ácido natural)⁷. La intensidad de la afectación que pueda ocurrir dependerá (i) de la proporción de mezcla que ocurra entre las aguas de mala calidad que provienen principalmente del acuífero profundo fracturado (GR), y las aguas de mejor calidad que provienen principalmente del acuífero superficial (FAS), y (ii) del efecto de dilución que pueda ocurrir según la influencia relativa del caudal descargado.

En conjunto con lo anterior, debe tenerse presente también que las obras y acciones del proyecto asociadas a la construcción de las obras implicaron una intervención directa de las nacientes del río Estrecho, que se ubican entre NE-5 y el muro cortafuga. Esta intervención se caracterizó principalmente por el movimiento de tierra⁸, el establecimiento de infraestructura (plataformas, piscinas, acopio de materiales, galpones, otros) y por la alteración de los afloramientos (modificación del trazado, encauzamiento) (ver Figura 5), todo lo cual puede alterar la calidad del agua, sobre todo si se considera que en la zona existen naturalmente materiales con potencial de liberar metales y otros elementos al medio acuoso, y los riesgos inherentes a las actividades desarrolladas.

10. Análisis cualitativo de los potenciales efectos derivados de la ejecución del proyecto

Teniendo en consideración el modelo conceptual presentado en la evaluación ambiental, y los potenciales efectos descritos como consecuencia de la ejecución del proyecto, se elaboraron distintas figuras que representan el modelo conceptual del sistema sometido a la intervención del proyecto. Es así como en las Figuras 7 y 8 se

⁷ En el Anexo N°10 “Caracterización calidad del agua subterránea sector cortafugas” de la Carta PL-054/2015 (expediente de revisión de la RCA N°024/2006), se reconoce que “la calidad de las aguas ubicadas en las proximidades de la Zanja Cortafugas indicaría un importante aporte desde aguas subterráneas mineralizadas”.

⁸ Acá se destaca la exposición de materiales excavados durante la construcción del sistema cortafuga descrita en el numeral 8 del presente Anexo.

representa la condición de línea de base (en época de deshielos y cuando el área se encuentra congelada), mientras que en la Figura 9 se representa en la condición del sistema con descargas de aguas bombeadas durante la construcción del muro cortafuga (asociadas al bombeo intensivo y al funcionamiento de los pozos de alivio), en la Figura 10 se representa la condición de operación del sistema de manejo de aguas con descarga desde la CCR, en la Figura 11 se representa la condición de operación del sistema de manejo de aguas con acumulación de aguas en las piscinas 1 y 2, y en la Figura 12 se representa la condición de operación del sistema de manejo de aguas con tratamiento en la planta y su posterior restitución al río Estrecho. Para el análisis que se realiza en cada figura, se tomó como escenario de referencia la condición de línea de base en época de deshielo.

Tal como se aprecia en las Figuras 10, 11 y 12, existen secciones en la cuenca del río estrecho en que se introducen obras y/o acciones que alteran o modifican potencieamente el funcionamiento del sistema hídrico. Estos elementos son:

- Los canales de contorno o perimetrales.
- El botadero de estériles Nevada.
- El sistema cortafugas, tanto en su construcción como en su operación.
- Las zanjas y líneas de pozos que captan las aguas en la zona de contacto.
- La Cámara de Captación y Restitución (CCR), y su régimen de operación (descarga al río Estrecho o conducción hacia las piscinas de acumulación).
- La planta de tratamiento de aguas de contacto.

Dentro de las acciones, se destacan tres situaciones que pueden originar **descargas directas hacia el río Estrecho** de aguas captadas desde el acuífero en la zona mineralizada (y por lo tanto de mala calidad), sin tratamiento. Estas son:

1. Bombeo intensivo realizado durante la construcción del muro cortafuga.
2. Captación de aguas subterráneas por los pozos de alivio del muro cortafuga, antes de su conexión con el sistema de tratamiento de aguas de contacto.
3. Operación de la CCR considerando descarga directa al río Estrecho, lo cual ocurrió en ciertos períodos entre mayo del año 2012 y diciembre del año 2013.

Para poder evaluar el efecto que puede introducir cada una de las obras y/o acciones indicadas resulta necesario separar la parte alta de la cuenca en distintas "Zonas", tal como se muestra en la Figura 13.

La Zona 1 se encuentra arriba del sistema cortafuga y queda afecta al bombeo intensivo realizado durante la construcción de dicha obra, al desvío de aguas por los canales perimetrales, al efecto de eventuales aguas de contacto generadas en el botadero de estériles Nevada, y al efecto de la construcción y operación de las zanjas y sus respectivos pozos de captación.

La Zona 2 se ubica entre el sistema cortafugas y el lugar donde se restituyen las aguas no contactadas y se encuentra la obra de descarga de aguas de contacto de la CCR. Esta zona incluye a la estación de monitoreo NE-5. En esta zona se percibe el efecto del bombeo intensivo realizado durante la construcción del sistema cortafuga, del desvío de aguas por los canales perimetrales, el de la intervención de las nacientes del río Estrecho, y el de la operación del sistema cortafuga.

La Zona 3 se ubica entre la Zona 2 y el lugar donde se descargan las aguas de contacto tratadas en la planta, e incluye al punto NE-2A. En esta zona se percibe principalmente el efecto proveniente desde la Zona 2 junto con el resultante de las descargas desde la CCR, y la descarga de las aguas no contactadas provenientes de los canales perimetrales.

La Zona 4 se ubica aguas abajo de zona 3 e incluye NE-3, NE-4 y NE-8. Esta zona queda influenciada por el funcionamiento del sistema de manejo de aguas en su totalidad, diferenciándose de la Zona 3 por el hecho de que recibe las descargas de la planta de tratamiento de aguas de contacto y todos los aportes de las quebradas laterales que contribuyen a la dilución.

A continuación se presenta un análisis conceptual de los posibles efectos derivados de las obras y acciones del proyecto individualizadas:

Tabla 4. Efectos en las aguas subterráneas y superficiales esperables de la ejecución de ciertas obras o acciones asociadas al proyecto⁹.

Zona	Obra/Acción	Efecto en aguas subterráneas	Efecto en aguas superficiales
1	<p><u>Durante construcción del sistema cortafuga:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bombeo intensivo para deprimir niveles. <p><u>Una vez operando el Sistema de Manejo de Aguas de Contacto (SMAC):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Desvío de aguas por canales perimetrales. - Captación y bombeo desde zanjas y sus respectivos pozos. - Aguas de contacto originadas en el botadero Nevada. 	<p>(i) descenso en los niveles (ii) variabilidad en la calidad del agua (posible mezcla vertical en los acuíferos)</p> <p>En adición al efecto anterior sobre la calidad del agua (que persiste durante un número indeterminado de años) se debe considerar:</p> <p>(i) descenso en los niveles (pérdida de parte de la recarga por desvío en canales perimetrales, captación en zanjas y pozos) (ii) deterioro de la calidad del agua a largo plazo (pérdida de capacidad de dilución por menor recarga, entrada de aguas de contacto originadas en el botadero de estériles Nevada).</p>	Zona sin manifestación de aguas en superficie.
2	<p><u>Durante construcción del muro cortafuga:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bombeo intensivo para deprimir niveles. - Intervención de las nacientes. 	<p>(i) descenso en los niveles (ii) variabilidad en la calidad del agua (posible mezcla vertical en los acuíferos) (iii) eventual aumento de metales por intervención de las nacientes del río Estrecho (en especial de los materiales que quedaron expuestos fruto de la excavación).</p>	<p>En esta zona el agua superficial es una manifestación del agua subterránea, por lo que los efectos se traspasan desde las aguas subterráneas hacia las superficiales. Existen también efectos que se materializan directamente en las aguas superficiales, derivados de las descargas de las aguas provenientes del bombeo intensivo y posteriormente de los pozos de alivio, y de la intervención de las nacientes. De esta forma los efectos que se esperan en las aguas superficiales son</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) reducción del caudal en NE-5 (ii) deterioro de la calidad del agua

⁹ El objetivo de esta Tabla es presentar los impactos que teóricamente podrían esperarse de la ejecución de ciertas obras/acciones del proyecto. Por lo tanto no representa necesariamente la realidad, puesto que existen ciertas obras/acciones que no se han ejecutado (por ejemplo, este es el caso de la Línea N°1 de pozos, o de la Línea N°2 que fue energizada en enero del año 2015), o bien habiéndose ejecutado no existe evidencia de la generación de impactos (este es el caso de la generación de aguas de contacto en el botadero Nevada Norte). La cuantificación de los impactos que efectivamente pudieron ser constatados se aborda en los Anexos 6, 7 y 8.

Zona	Obra/Acción	Efecto en aguas subterráneas	Efecto en aguas superficiales
	<u>Una vez operando el SMAC:</u> - Intervención de las nacientes - Desvío de aguas por canales perimetrales. - Operación del sistema cortafuga.	En adición al efecto anterior sobre la calidad del agua (que persiste durante un número indeterminado de años) se debe considerar: (i) descenso en los niveles (pérdida de parte de la recarga por desvío en canales perimetrales, interrupción del flujo subterráneo pasante por intercepción en el sistema cortafuga) (ii) deterioro de la calidad del agua a largo plazo (pérdida de capacidad de dilución por menor recarga)	En esta zona el agua superficial es una manifestación del agua subterránea, por lo que los efectos se traspasan desde las aguas subterráneas hacia las superficiales. Pueden persistir también los efectos derivados de la intervención de las nacientes. De esta forma los efectos que se esperan en las aguas superficiales son (i) reducción del caudal en NE-5 (ii) deterioro de la calidad del agua a largo plazo
3	<u>Durante construcción del muro cortafuga:</u> Efecto transmitido desde Zona 2 (a través del río Estrecho) <u>Una vez operando el SMAC:</u> - Efecto transmitido desde Zona 2 (a través del río Estrecho) - Descarga de aguas desde canales perimetrales. - Régimen de operación de la CCR.	Los efectos sobre las aguas subterráneas de la Zona 2 no se transmiten puesto que existe una barrera hidráulica natural a la altura de los pozos BT (pozos surgentes) que separa ambas zonas ¹⁰ . (ver anexo 6)	En esta zona el agua superficial es una mezcla entre el agua que proviene de la Zona 2, los afloramientos de aguas subterráneas, y los aportes de las cuencas laterales. La calidad del agua depende entonces de la mezcla resultante entre las distintas fuentes. Se espera que se refleje el comportamiento de la Zona 2, pero sujeto a cierta capacidad de dilución y atenuación natural. Al operar el SMAC se debe agregar al balance anterior los deshielos descargados por los canales perimetrales, y las eventuales descargas desde la CCR al río Estrecho (condicionadas por su cantidad y su calidad). La calidad del agua en esta Zona depende nuevamente de la mezcla resultante, considerando las nuevas fuentes. El resultado del balance queda fuertemente condicionado por la época del año (presencia o no de deshielos) y el régimen de operación de la CCR (descarga al río Estrecho o acumulación en las piscinas).
4	<u>Durante construcción del muro cortafuga:</u> Efecto transmitido desde Zona 3 (a través del río Estrecho)	No se esperan efectos sobre las aguas subterráneas, ya que en la Zona 3 no habría efectos susceptibles de transmitirse.	En esta zona el agua superficial es una mezcla entre el agua que proviene de la Zona 3, y los aportes laterales que se incorporan a lo largo del cauce. Se espera que se refleje el comportamiento de la Zona 3, pero sujeto a cierta capacidad de dilución y atenuación natural.

¹⁰ Esta condición se aborda en detalle en el Anexo 6.

Zona	Obra/Acción	Efecto en aguas subterráneas	Efecto en aguas superficiales
	<u>Una vez operando el SMAC:</u> - Efecto transmitido desde Zona 3 (a través del río Estrecho) - Descarga de aguas de contacto tratadas		Al operar el SMAC se debe agregar al balance las aguas de contacto tratadas. La calidad del agua en esta Zona depende nuevamente de la mezcla resultante, pero dado que las aguas tratadas son de buena calidad, se espera que contribuyan a la dilución de las concentraciones provenientes de la Zona 3.

FIGURAS

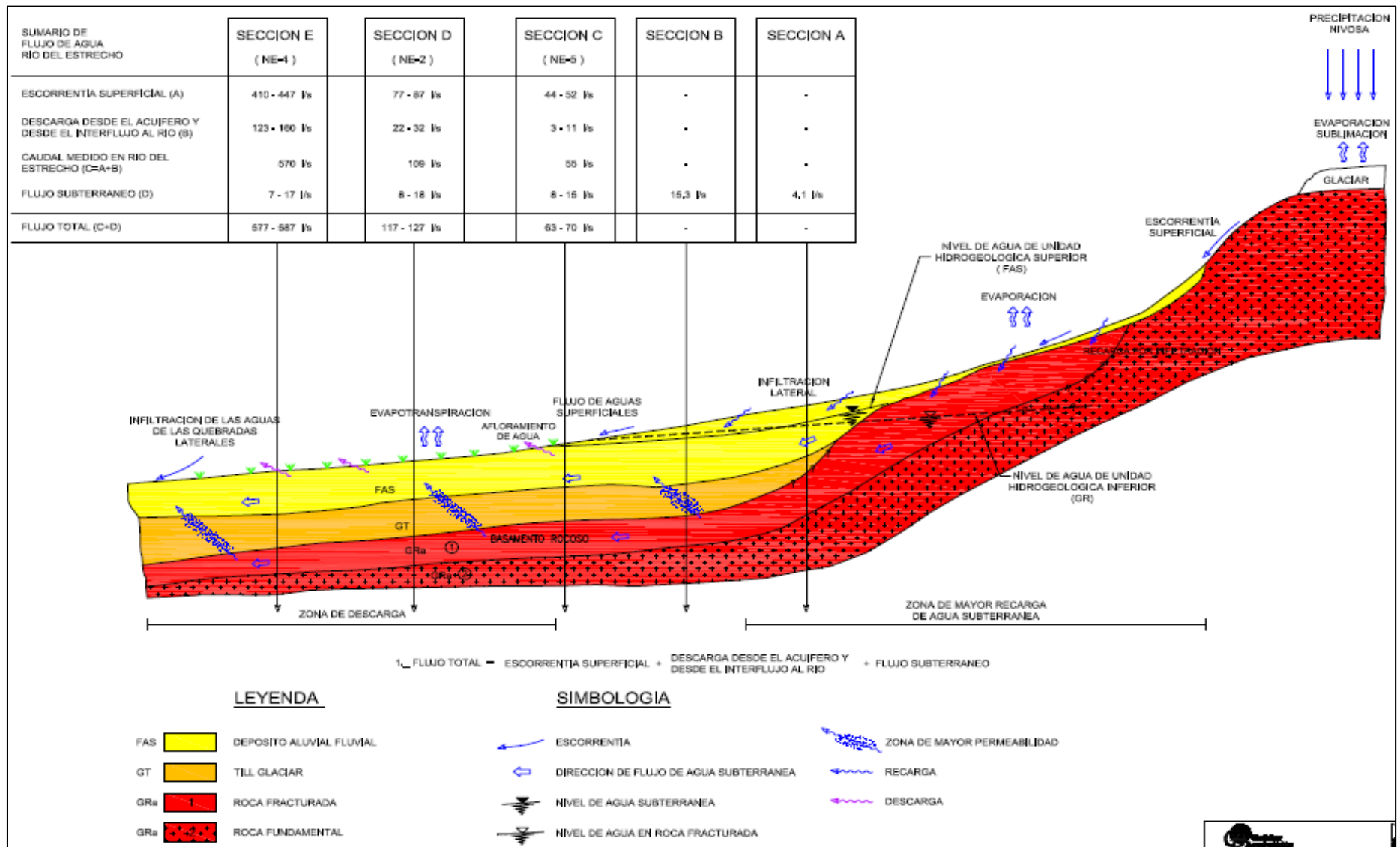


Figura 1. Perfil longitudinal de los acuíferos (Fuente: Plano 5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del EIA del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”)

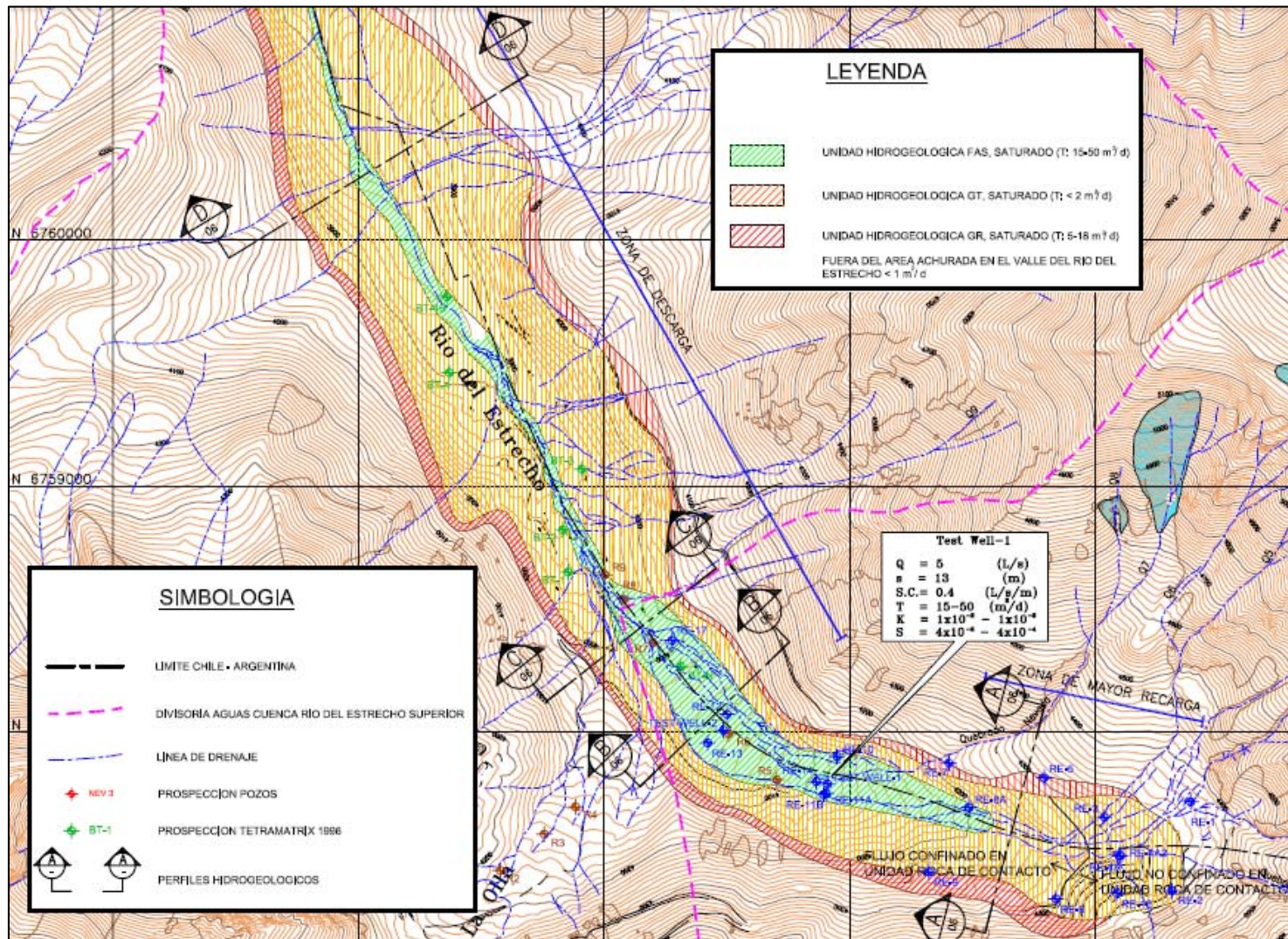


Figura 2. Vista en planta de los acuíferos (Fuente: adaptado del Plano 5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del EIA del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”)

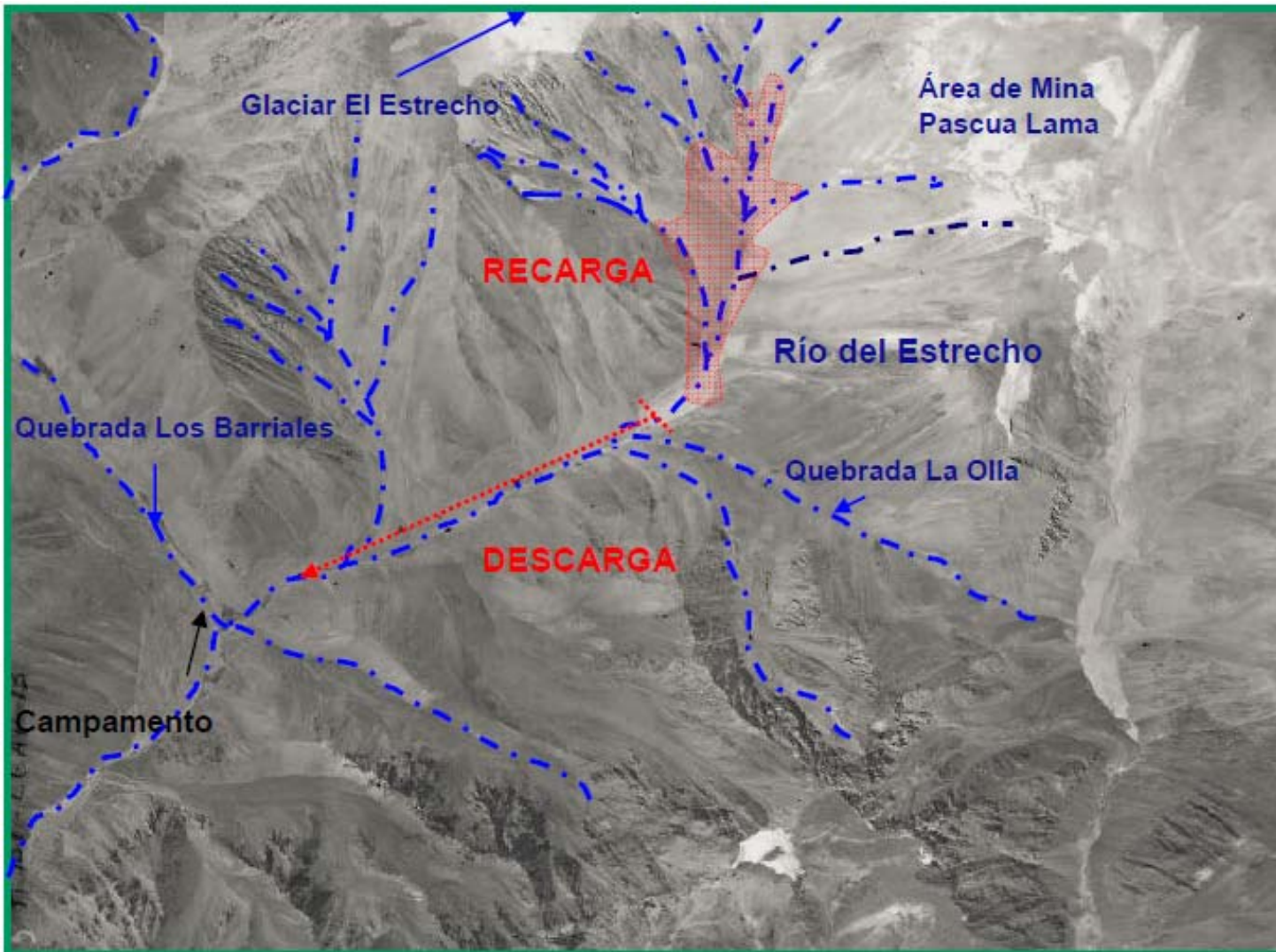
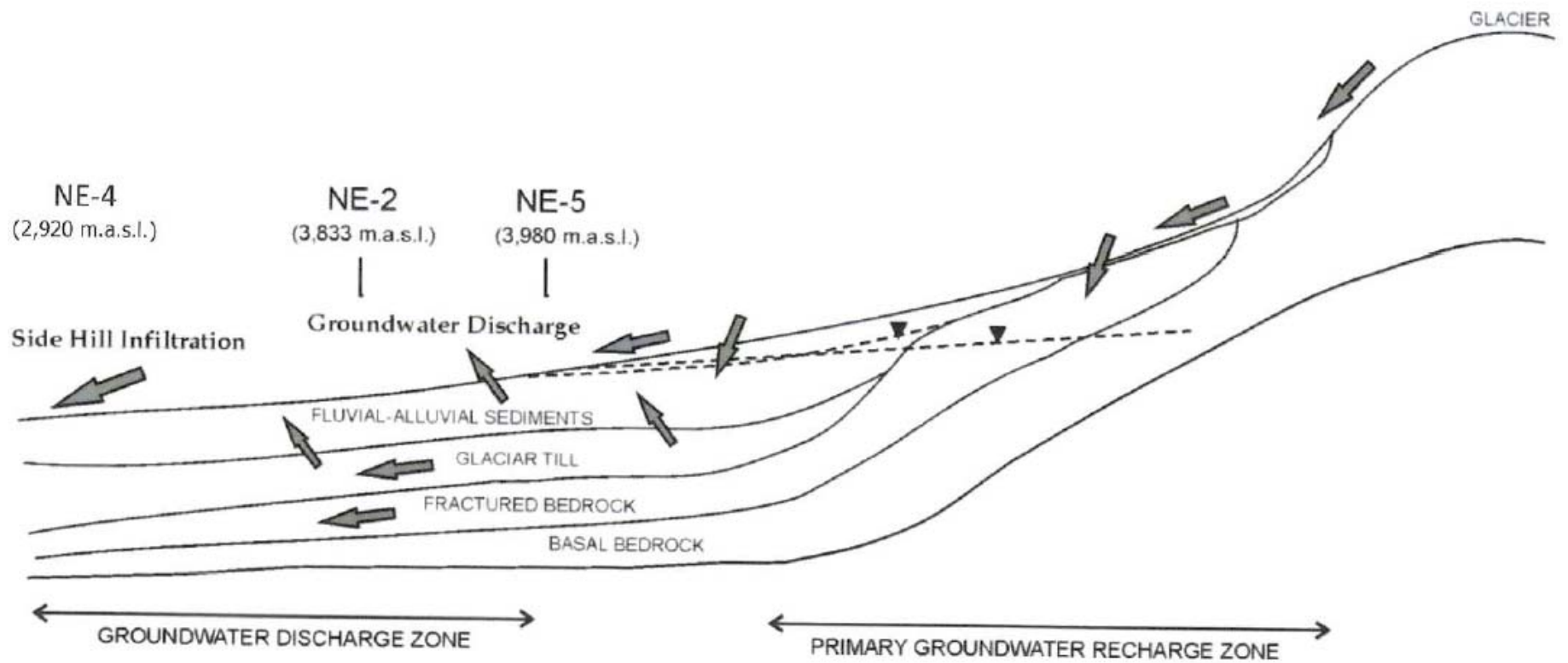


Figura 3. Áreas de recarga y descarga del acuífero del valle del río del Estrecho (Fuente: Foto 4 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del EIA del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”)



CONDICIÓN NATURAL

Figura 4. Modelo conceptual en condición natural (Fuente: presentación realizada por el Sr. Carlos Espinoza, cuyo material fue acompañado en la Carta PL-034/2016, de fecha 11 de marzo de 2016)



Figura 5. Intervención del cauce del río Estrecho durante la construcción del muro cortafuga (Imagen remitida por CMNSpA en su Carta PL-036/2017, de fecha 3 de abril de 2017, en respuesta a la solicitud emanada de la Res. Ext. D.S.C./P.S.A. N°199, del 20 de marzo de 2017).



Figura 6. Acopio de material de excavación aguas abajo del muro cortafuga (Fuente: Foto 1 del “Documento C: Zanja Cortafuga y Tubería de Conducción N° 5”, adjunto a la presentación realizada por Compañía Minera Nevada con fecha 29/04/2013. Se agregó el círculo y el texto en amarillo).

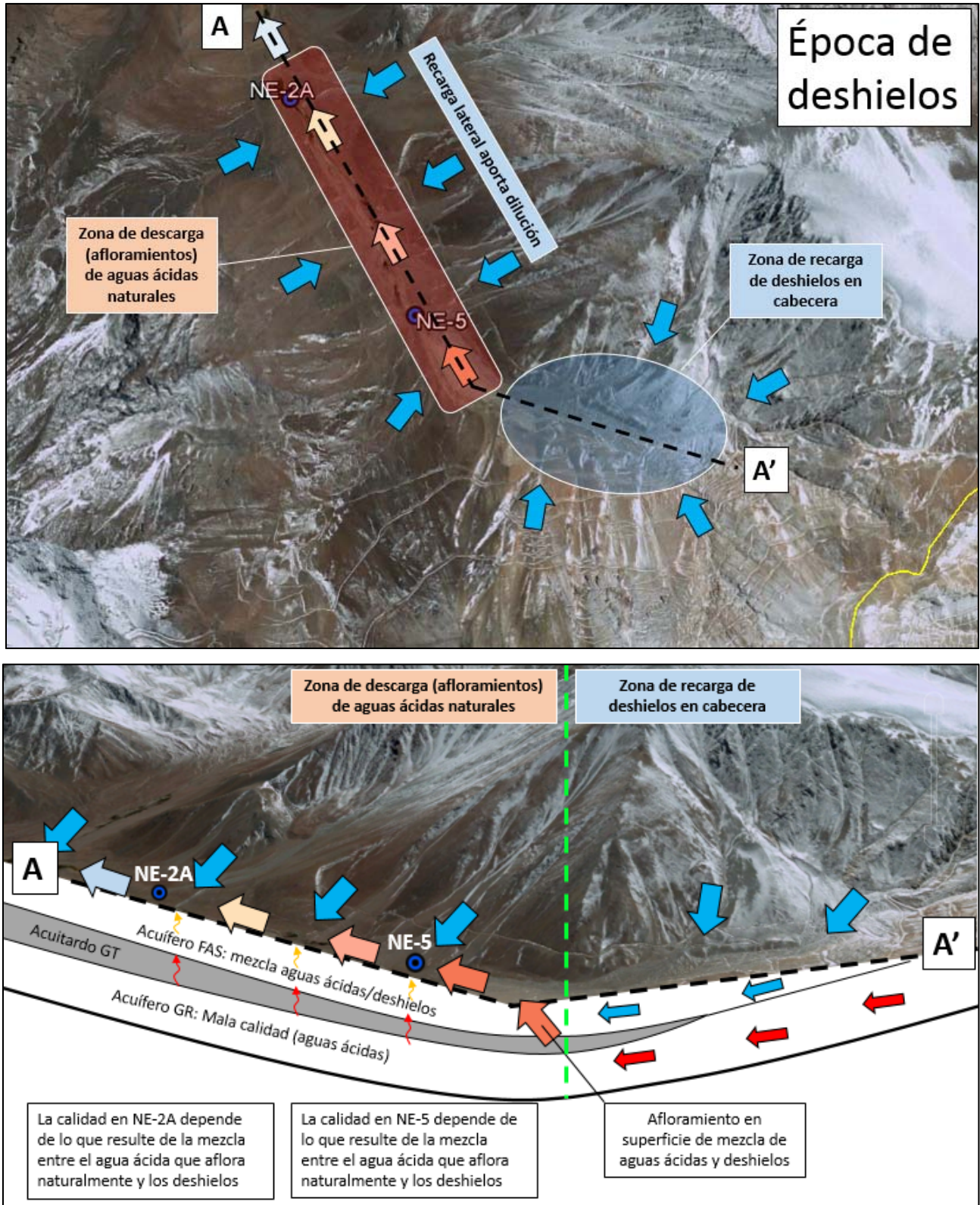


Figura 7. Modelo conceptual del funcionamiento de la cabecera del río Estrecho en época de deshielos: la imagen superior muestra una vista en planta, mientras que la imagen inferior una vista en corte (Fuente: elaboración propia en base a los antecedentes expuestos).

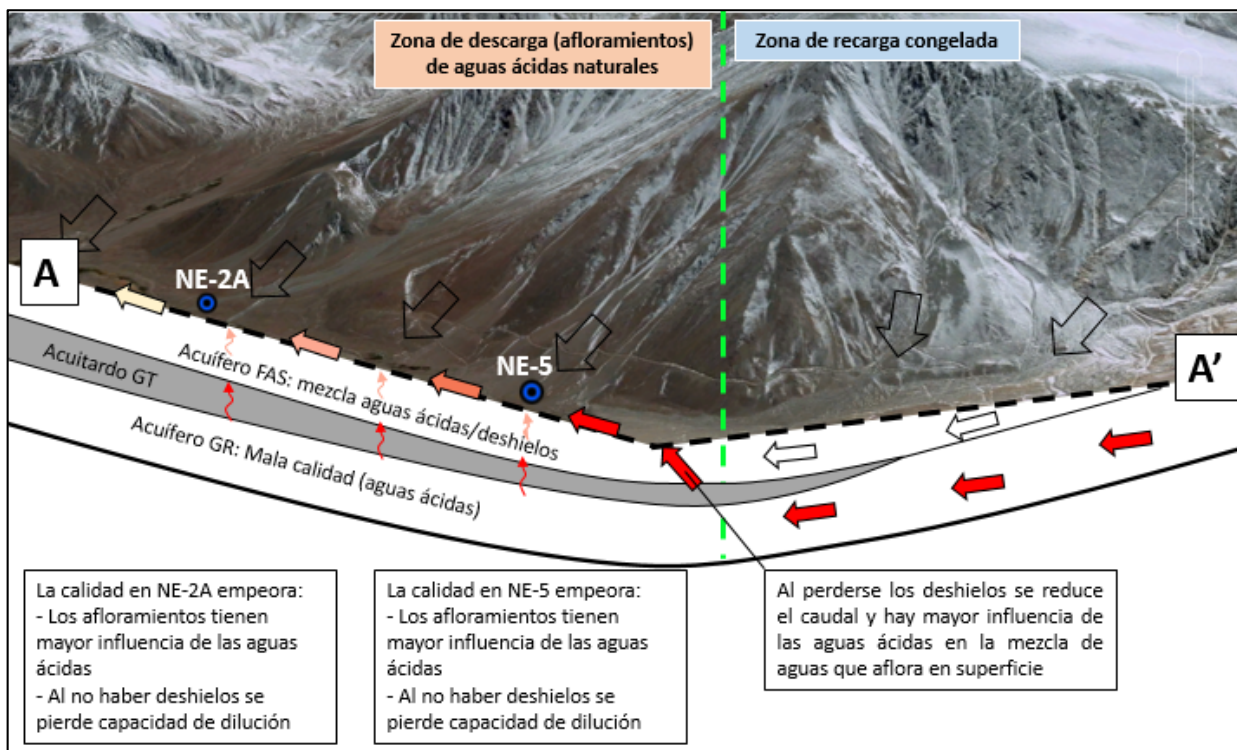
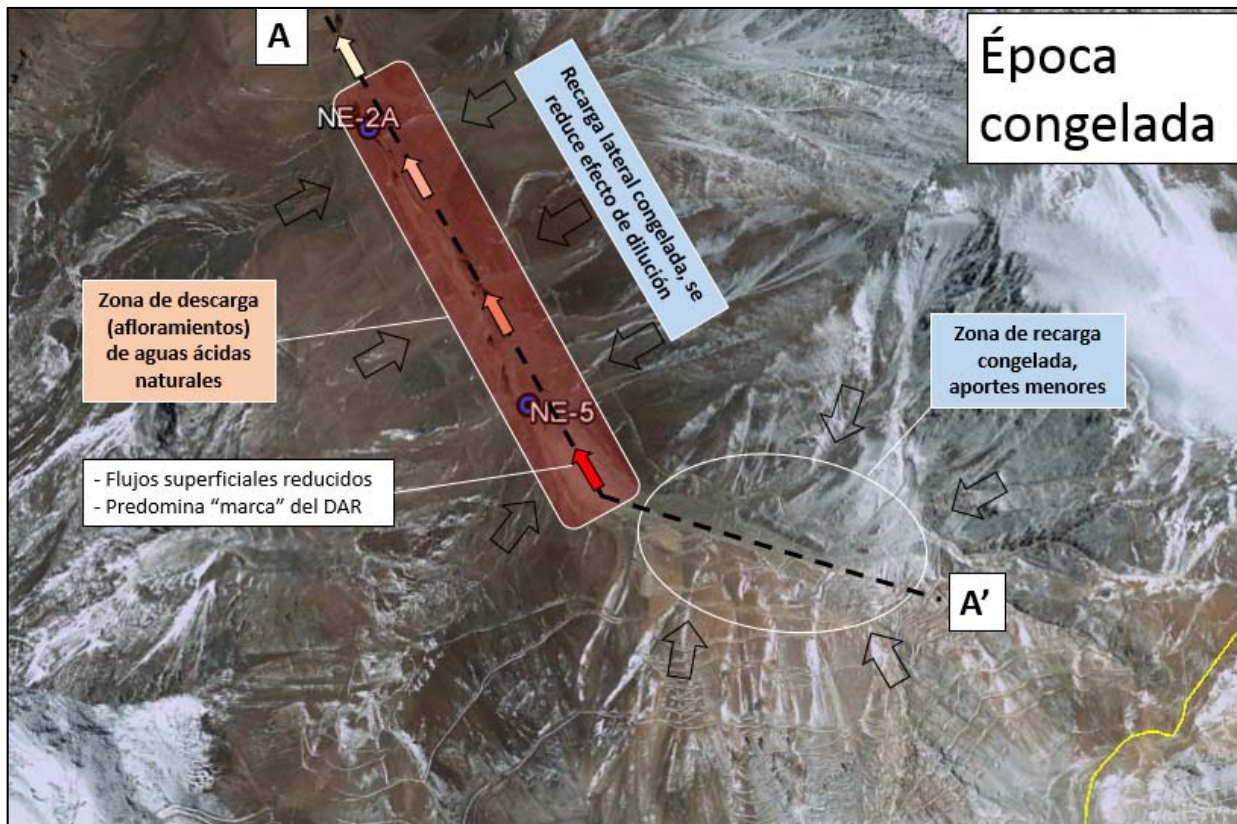


Figura 8. Modelo conceptual del funcionamiento de la cabecera del río Estrecho en época congelada: la imagen superior muestra una vista en planta, mientras que la imagen inferior una vista en corte (Fuente: elaboración propia en base a los antecedentes expuestos).

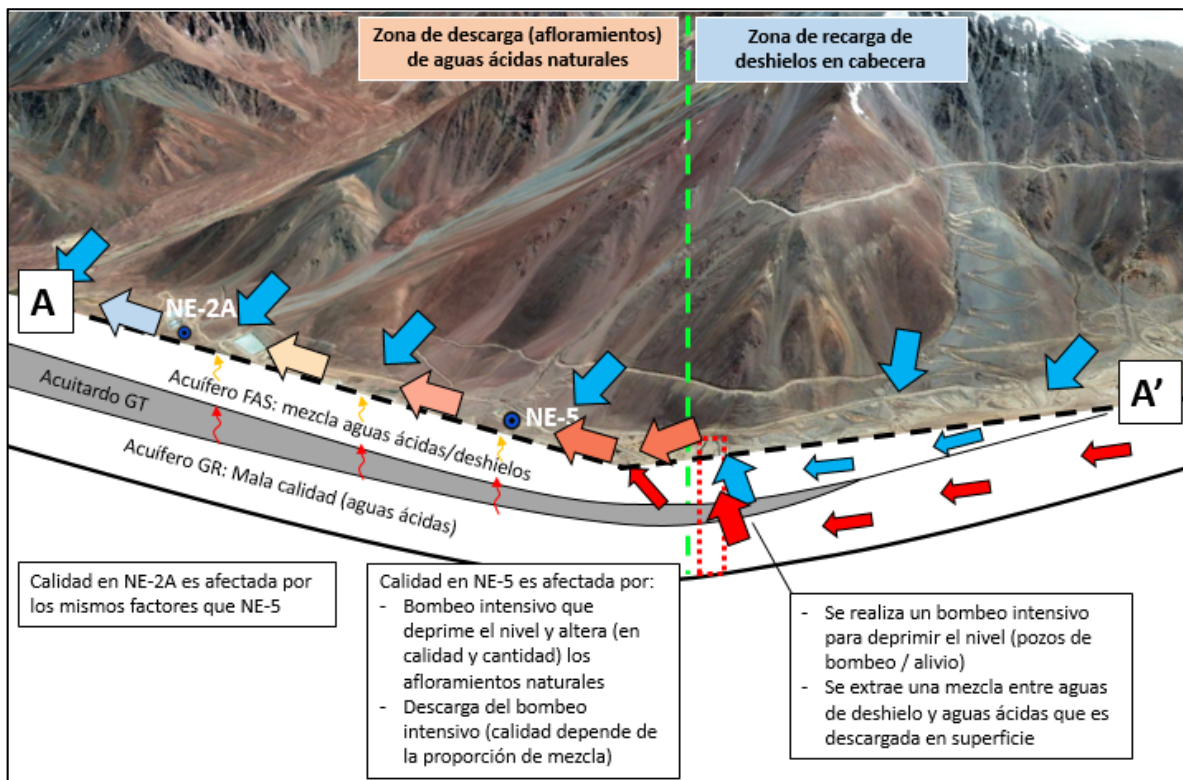
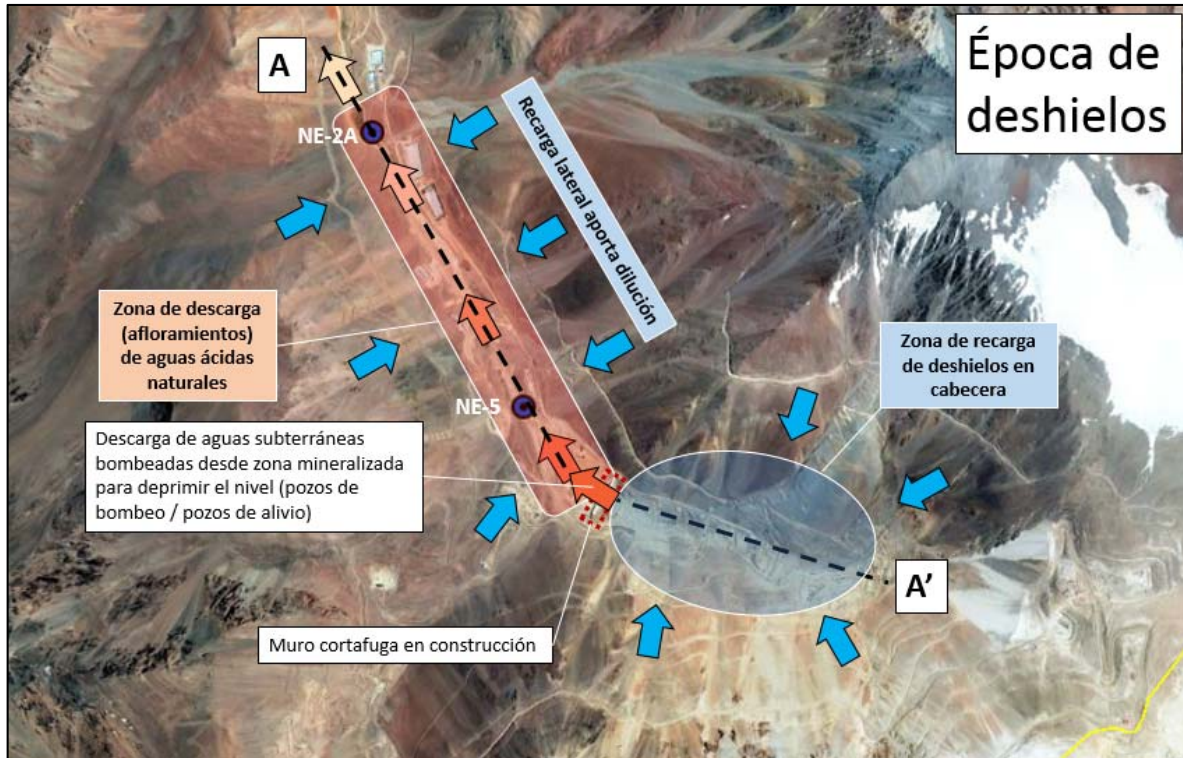


Figura 9. Modelo conceptual del funcionamiento de la cabecera del río Estrecho en época de deshielo con descarga de aguas bombeadas durante la construcción del muro cortafugas: la imagen superior muestra una vista en planta, mientras que la imagen inferior una vista en corte (Fuente: elaboración propia en base a los antecedentes expuestos).

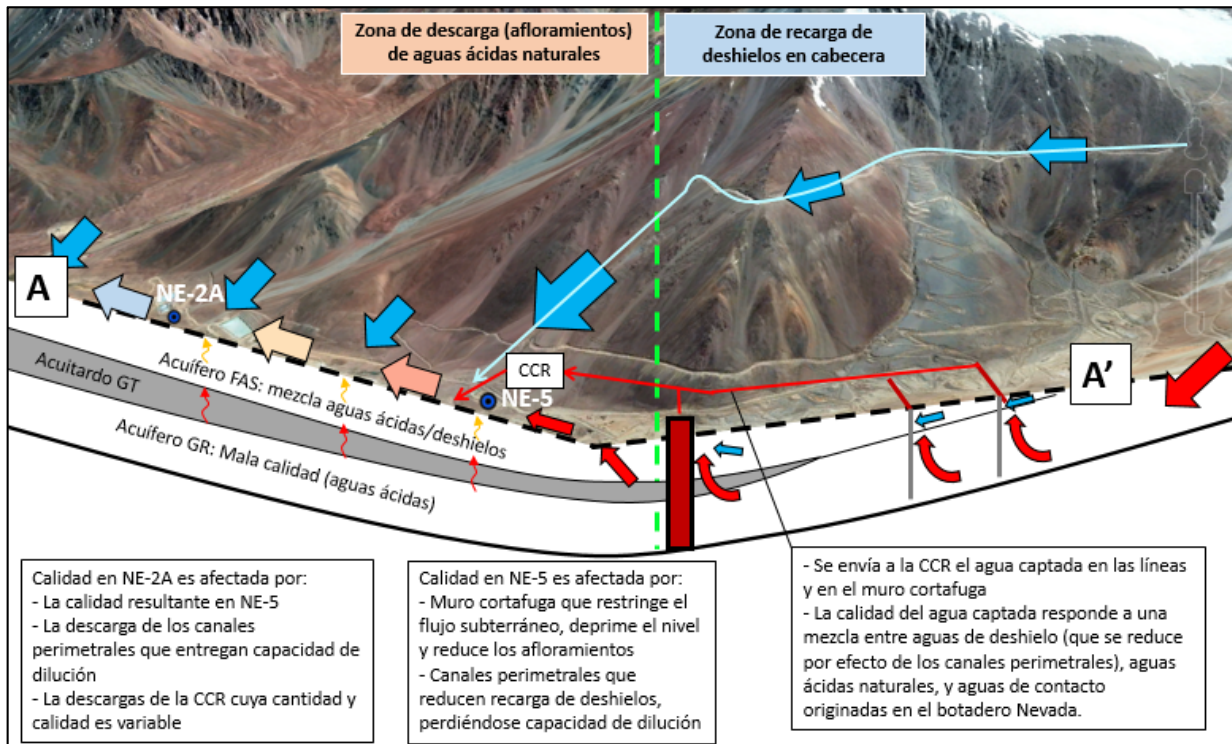
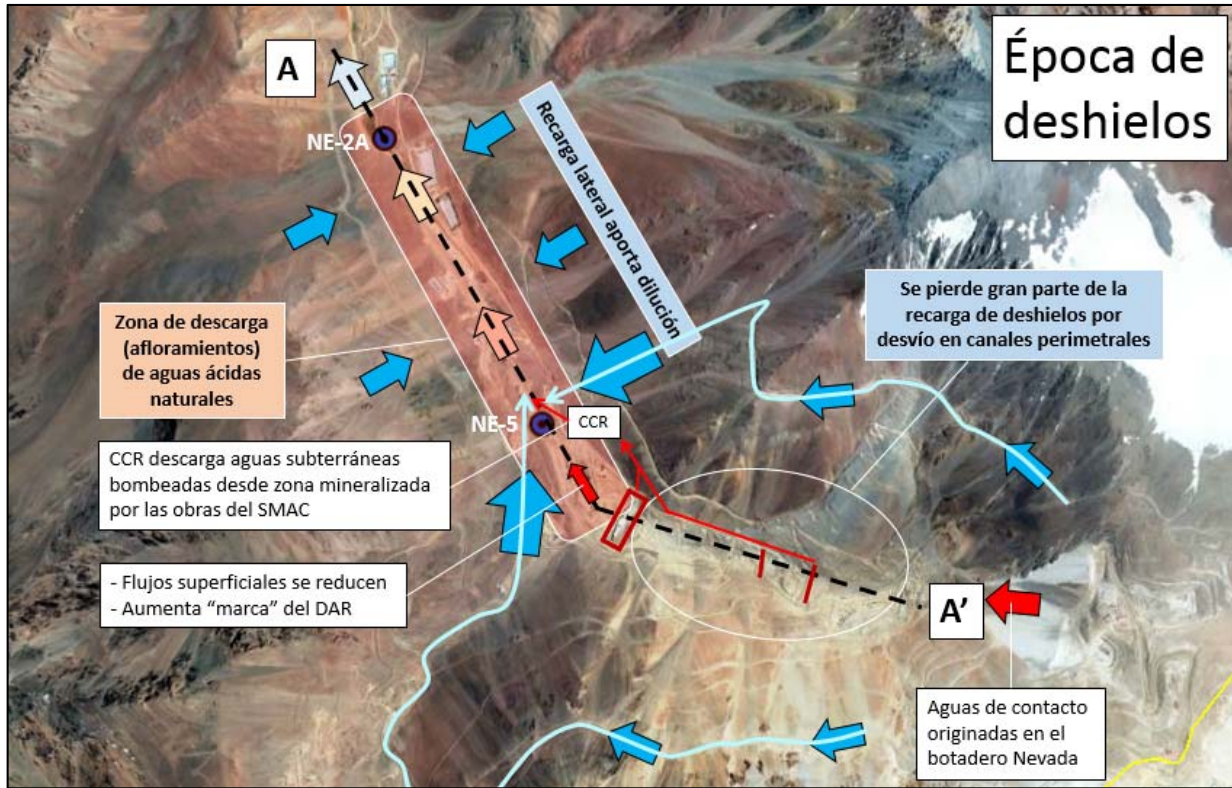


Figura 10. Modelo conceptual del funcionamiento de la cabecera del río Estrecho en época de deshielo con descargas desde la CCR: la imagen superior muestra una vista en planta, mientras que la imagen inferior una vista en corte (Fuente: elaboración propia en base a los antecedentes expuestos).

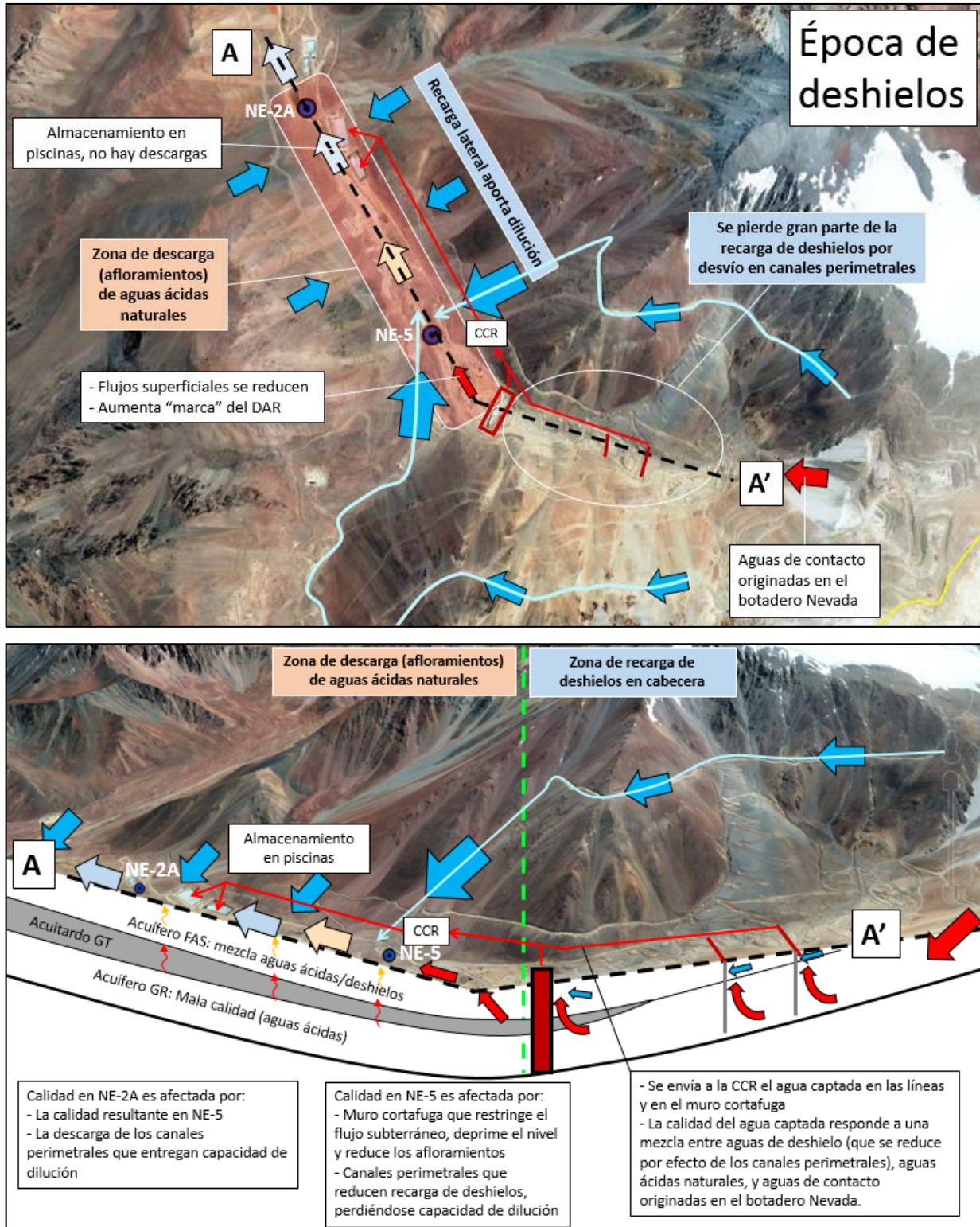


Figura 11. Modelo conceptual del funcionamiento de la cabecera del río Estrecho en época de deshielo con acumulación de aguas de contacto en piscinas: la imagen superior muestra una vista en planta, mientras que la imagen inferior una vista en corte (Fuente: elaboración propia en base a los antecedentes expuestos).

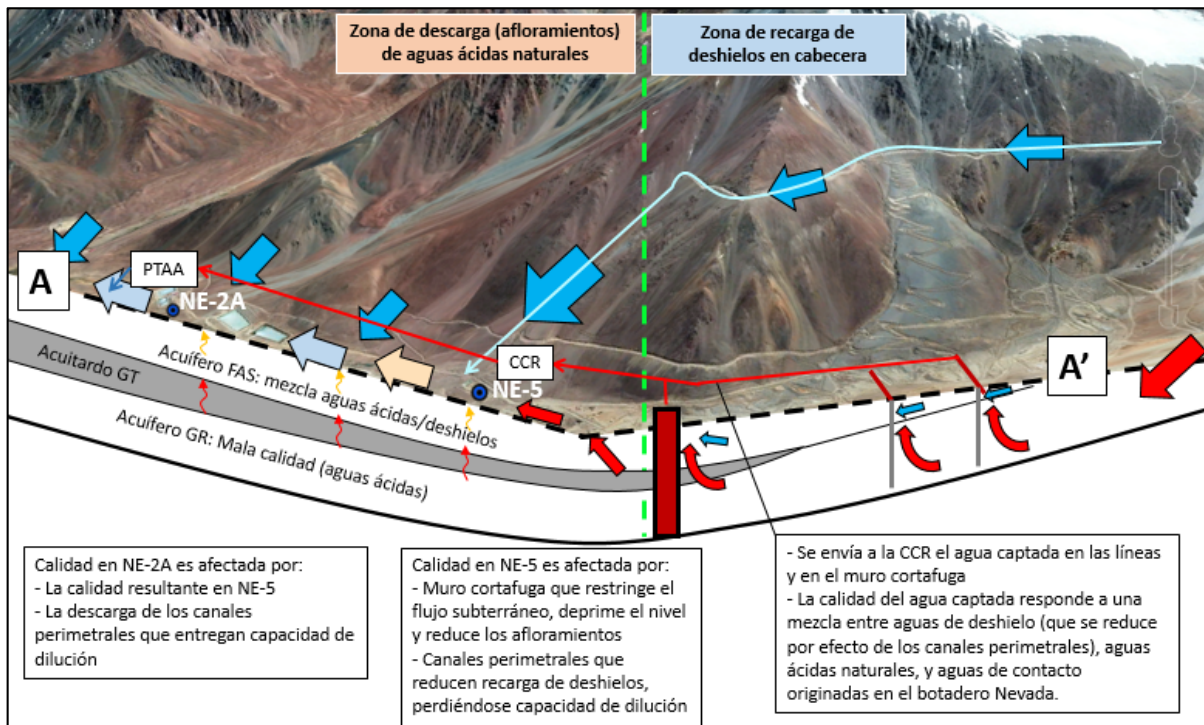
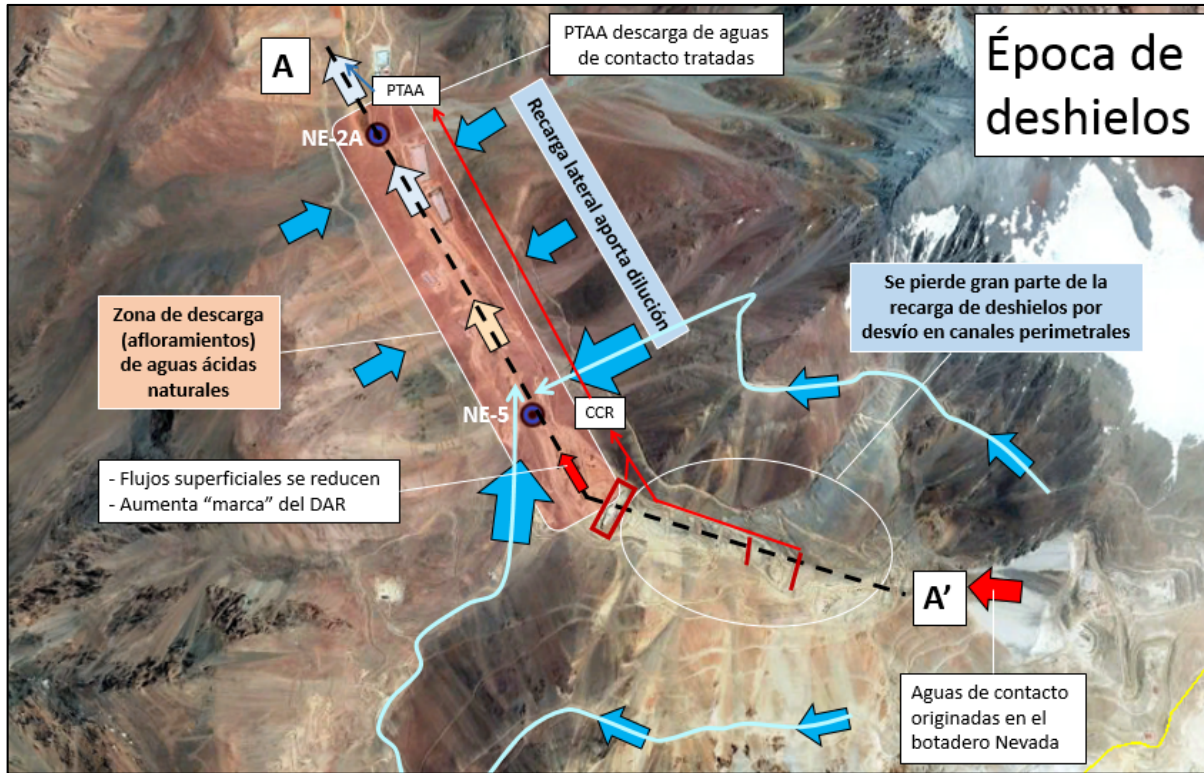


Figura 12. Modelo conceptual del funcionamiento de la cabecera del río Estrecho en época de deshielo con tratamiento de aguas de contacto en la PTAA y restitución al río Estrecho: la imagen superior muestra una vista en planta, mientras que la imagen inferior una vista en corte (Fuente: elaboración propia en base a los antecedentes expuestos).



Figura 13. Zonificación de la parte alta del río Estrecho en función del efecto introducido por las obras más importantes del sistema de manejo de aguas.

ANEXO 5: ANÁLISIS DE DILUCIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ESTRECHO

OBJETIVO: En el presente Anexo se presentan los resultados de un análisis de los registros de caudal en las estaciones DAR, con el fin de determinar la relación que existe entre ellos, y la magnitud del eventual efecto de dilución que ocurre desde la cabecera (NE-2A) hacia aguas abajo (hasta NE-8).

1. Origen de la información

Los datos de caudal fueron obtenidos de dos fuentes:

- Fuente 1: Información de línea de base (hasta abril del año 2012) entregada por el Titular en el marco de la revisión de la RCA del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama” (RCA N°024/2006) (expediente disponible en <http://www.sea.gob.cl/rca/modificaciones-proyecto-pascua-lama>).
- Fuente 2: Informes de seguimiento ambiental remitidos por el Titular conforme a las obligaciones de la RCA N°024/2006 (Informes 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 y 2014/2015).

2. Metodología

La metodología utilizada para el análisis de la información contempló lo siguiente:

- Dada la baja densidad de información disponible en los primeros años de monitoreo, se decidió realizar el análisis con los datos del año 2000 en adelante.
- La serie de datos se construyó de la siguiente forma. Los datos entre enero del año 2000 y abril del año 2012 provienen del expediente de revisión de la RCA N°024/2006, mientras que los datos desde mayo de 2012 hasta junio de 2015 fueron obtenidos de los informes de seguimiento ambiental.
- Las mediciones de caudal se realizan una vez al mes en cada estación, pero no necesariamente coincide el día de medición para todas las estaciones. De hecho, es frecuente que las mediciones se realicen durante varios días del mes para abarcarlas todas. Por otra parte, del análisis de los datos consta que pueden darse variaciones significativas en los caudales del río Estrecho en un lapso de pocos días. Esto último dificulta el análisis, puesto que los caudales medidos en distintos días corren el riesgo de no representar fielmente la relación de flujo que existe entre las distintas estaciones. Es precisamente por ello que se filtraron los datos medidos en cada uno de los meses, de tal forma de conservar para el análisis solo los datos que se midieron en las distintas estaciones durante el mismo día, o como máximo con una diferencia de un día.
- Se calculó un “Factor de dilución” (FD) que consiste en la razón entre el caudal de una estación DAR (NE-3, NE-4 o NE-8) y una estación de referencia (NE-2A). Se utilizó la estación NE-2A como referencia, puesto que los caudales en NE-5 se vieron fuertemente alterados (reducidos) luego de la intervención del proyecto, perdiendo así su representatividad. Para cada mes se calculó el FD máximo, mínimo, el promedio y la mediana. Se estima que, por la existencia de valores aislados puntualmente elevados, la mediana representa mejor el comportamiento de las series que el promedio (aunque en su mayoría resultan bastante similares).

3. Resultados

Los resultados del análisis llevan a concluir lo siguiente:

- Los caudales medidos en las estaciones DAR aumentan consistentemente hacia aguas abajo. También aumenta la dispersión de los valores.
- Respecto de NE-2A, la tendencia general muestra que en NE-3 hay caudales 3 a 4 veces superiores, en NE-4 hay caudales 3,5 a 4,5 veces superiores, y en NE-8 hay caudales del orden de 10 a 15 veces superiores (hasta 20 veces incluso). Estas magnitudes pueden interpretarse como un factor de dilución respecto de las concentraciones de parámetros de calidad del agua que se midan en NE-2A.

Tabla 1. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de enero.

ENERO	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	18-01-2000			325	373	1020
2001	18-01-2001				830	
2002	21-01-2002	22	137		656	2030
2003	08-01-2003	125,35	386,55		2001,62	
2004	07-01-2004	25,99	108,99		257,81	1660
2005	04-01-2005	7,46	43,47		214,82	978
2006	11-01-2006	153,38	287,2	1390	809,73	3490
2007	10-01-2007	102,95		280	187,83	858
2008	09-01-2008	88,89	170,93			
2009	07-01-2009			381	443	632
2010	03-01-2010	21,26	33,64	121	154,84	479
2011	05-01-2011	15,38	29,07	149	145,18	600
2012	05-01-2012		208,8		157,29	
2013	02-01-2013	2,394	41,56	163	195,78	633
2014	02-01-2014	2	186,69	383	525,93	781
2015	04-01-2015	1	24,95	83,856	107,33	314

Tabla 2. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de enero.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002		1		4,8	14,8
2003		1		5,2	
2004		1		2,4	15,2
2005		1		4,9	22,5
2006		1	4,8	2,8	12,2
2007					
2008		1			
2009					
2010		1	3,6	4,6	14,2
2011		1	5,1	5,0	20,6
2012		1		0,8	
2013		1	3,9	4,7	15,2
2014		1	2,1	2,8	4,2
2015		1	3,4	4,3	12,6

N° Datos		6,0	11,0	9,0
Mínimo		2,1	0,8	4,2
Máximo		5,1	5,2	22,5
Promedio		3,8	3,8	14,6
Mediana		3,8	4,6	14,8

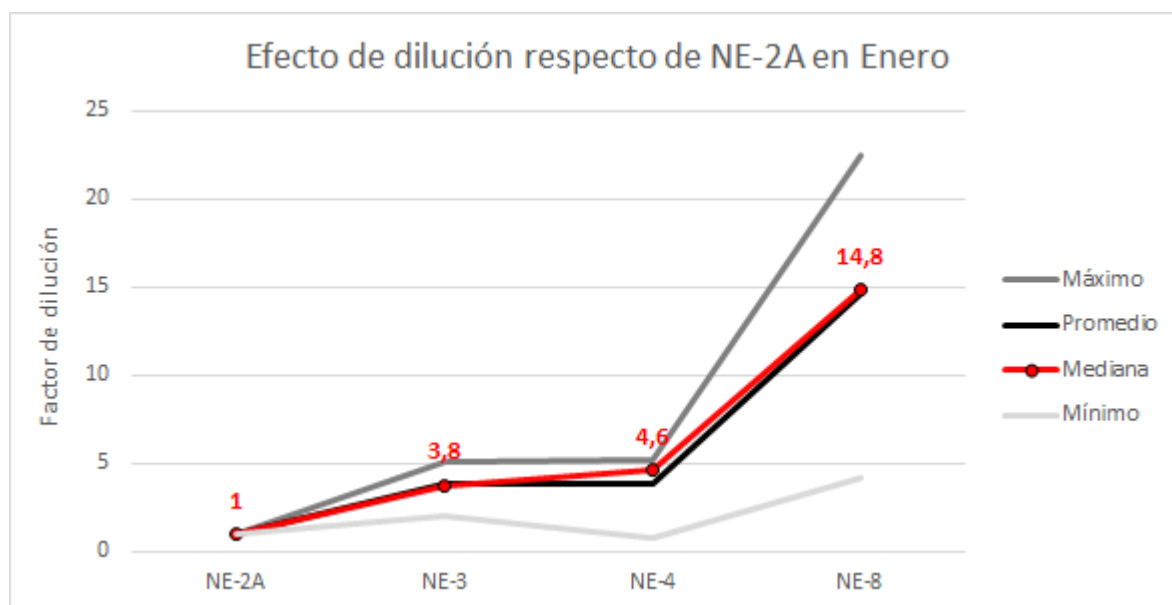


Figura 1. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de enero.

Tabla 3. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de febrero.

FEBRERO	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	08-02-2000	70		431	384	1040
2001						
2002	20-02-2002	63,045	147		534	
2003	05-02-2003	106,58	319,15		1570,093	
2004	04-02-2004	110,25	177,23		352,42	1900
2005	01-02-2005		95,95		187,83	899
2006	01-02-2006	219,79	359,05	1100	786,98	2520
2007	07-02-2007	54,18	83,51	290	257,81	791
2008	07-02-2008			531		1490
2009	03-02-2009			321	246,06	973
2010	21-02-2010	31,99	81,09		278,88	
2011	02-02-2011		209,92	251	260,79	698
2012	12-02-2012			487,1	382,9	753,4
2013	15-02-2013	1,36	127,28	251	260,79	658
2014	01-02-2014	2,7	68,927	192	220,38	711
2015	01-02-2015	0,57	181,31	123,08	161	329,07

Tabla 4. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de febrero.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002		1		3,6	
2003		1		4,9	
2004		1		2,0	10,7
2005		1		2,0	9,4
2006		1	3,1	2,2	7,0
2007		1	3,5	3,1	9,5
2008					
2009					
2010		1		3,4	
2011		1	1,2	1,2	3,3
2012					
2013		1	2,0	2,0	5,2
2014		1	2,8	3,2	10,3
2015		1	0,7	0,9	1,8

N° Datos		6,0	11,0	8,0
Mínimo		0,7	0,9	1,8
Máximo		3,5	4,9	10,7
Promedio		2,2	2,6	7,2
Mediana		2,4	2,2	8,2

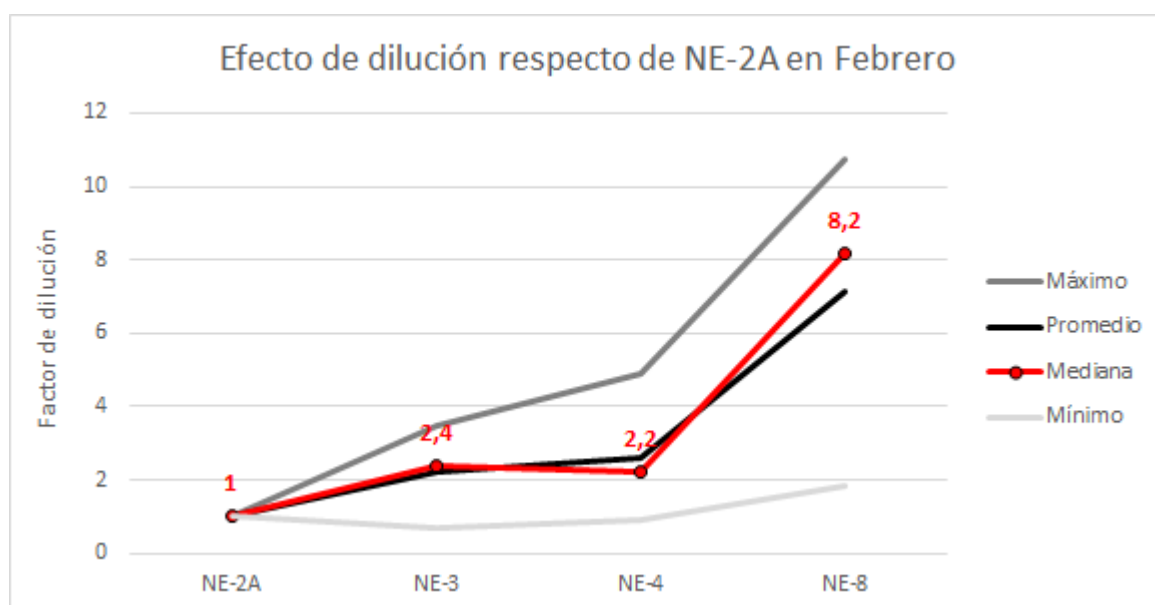


Figura 2. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de febrero.

Tabla 5. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de marzo.

MARZO	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	19-03-2000	49		254	288	874
2001	03-03-2001				755	1440
2002	31-03-2002				342	1140
2003	05-03-2003	78,84	198,8		655,73	2690
2004	03-03-2004	95,83	108,99		257,81	1340
2005	02-03-2005	82,15	100,23		195,78	931
2006	14-03-2006	43,11	127,28	467	573,35	1730
2007	08-03-2007	32,96		197	209,31	851
2008	06-03-2008	37,91	136,8	365	476,39	1530
2009	07-03-2009			177	145,18	912
2010	11-03-2010			122	223,18	589
2011	03-03-2011	71,94	38,44	156	190,47	759
2012	10-03-2012			542,48	419,5	
2013	01-03-2013	1,53	97,66	189	285,02	716
2014	01-03-2014	6,39	48,393	167,07	317,79	670
2015	01-03-2015	1,12	17	70,69	103,07	340,69

Tabla 6. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de marzo.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002					
2003		1		3,3	13,5
2004		1		2,4	12,3
2005		1		2,0	9,3
2006		1	3,7	4,5	13,6
2007					
2008		1	2,7	3,5	11,2
2009					
2010					
2011		1	4,1	5,0	19,7
2012					
2013		1	1,9	2,9	7,3
2014		1	3,5	6,6	13,8
2015		1	4,2	6,1	20,0

N° Datos		6,0	9,0	9,0
Mínimo		1,9	2,0	7,3
Máximo		4,2	6,6	20,0
Promedio		3,3	4,0	13,4
Mediana		3,6	3,5	13,5

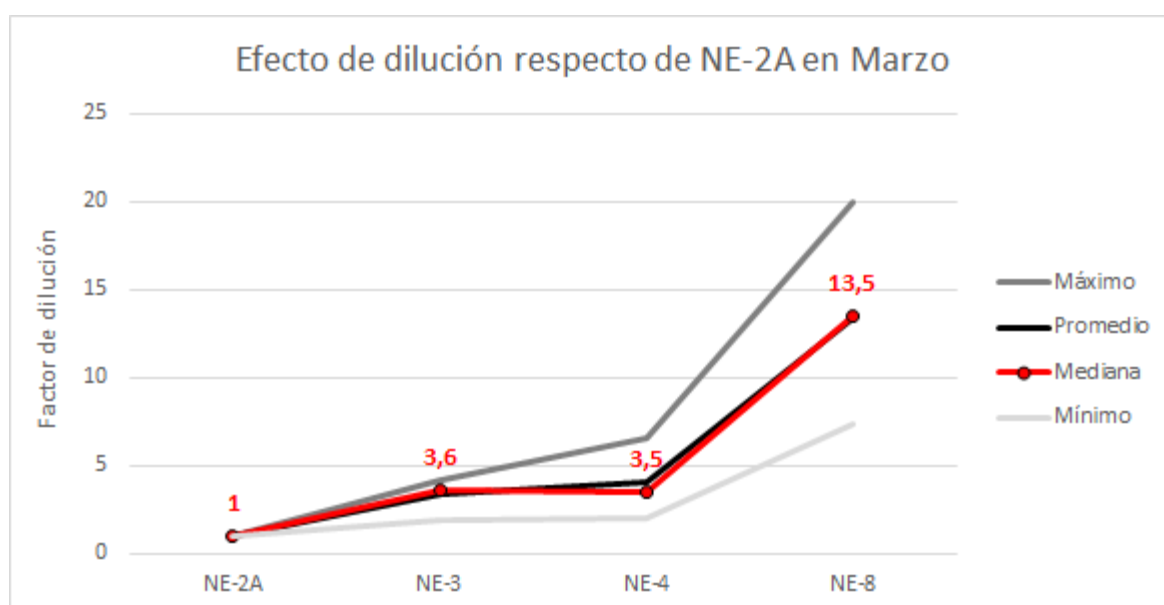


Figura 3. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de marzo.

Tabla 7. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de abril.

ABRIL	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	28-04-2000	19		209	246	854
2001						
2002	15-04-2002	40	92		352	
2003	02-04-2003	35,4	108,99		352,42	1870
2004	15-04-2004				174,86	1110
2005	12-04-2005	30,57	75,56		201,15	709
2006	15-04-2006	25,99	87,59	478	439,54	1370
2007	12-04-2007	15,75			214,82	748
2008	02-04-2008	29,63	89,24	283		1330
2009	20-04-2009	9,56	55,55			1140
2010	08-04-2010			181	138,09	548
2011	03-04-2011	7,46	9,74		174,86	515
2012	08-04-2012	66,163	97,66	152	443	671
2013	03-04-2013	6,4	76,34	298	237,38	615
2014	03-04-2014	7,68	75,56	139,05	119,86	497
2015	05-04-2015	2	20,32	146,014	179,452	884,004

Tabla 8. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de abril.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002		1		3,8	
2003		1		3,2	17,2
2004					
2005		1		2,7	9,4
2006		1	5,5	5,0	15,6
2007					
2008		1	3,2		14,9
2009		1			20,5
2010					
2011		1		18,0	52,9
2012		1	1,6	4,5	6,9
2013		1	3,9	3,1	8,1
2014		1	1,8	1,6	6,6
2015		1	7,2	8,8	43,5

N° Datos		6,0	9,0	10,0
Mínimo		1,6	1,6	6,6
Máximo		7,2	18,0	52,9
Promedio		3,9	5,6	19,5
Mediana		3,5	3,8	15,3

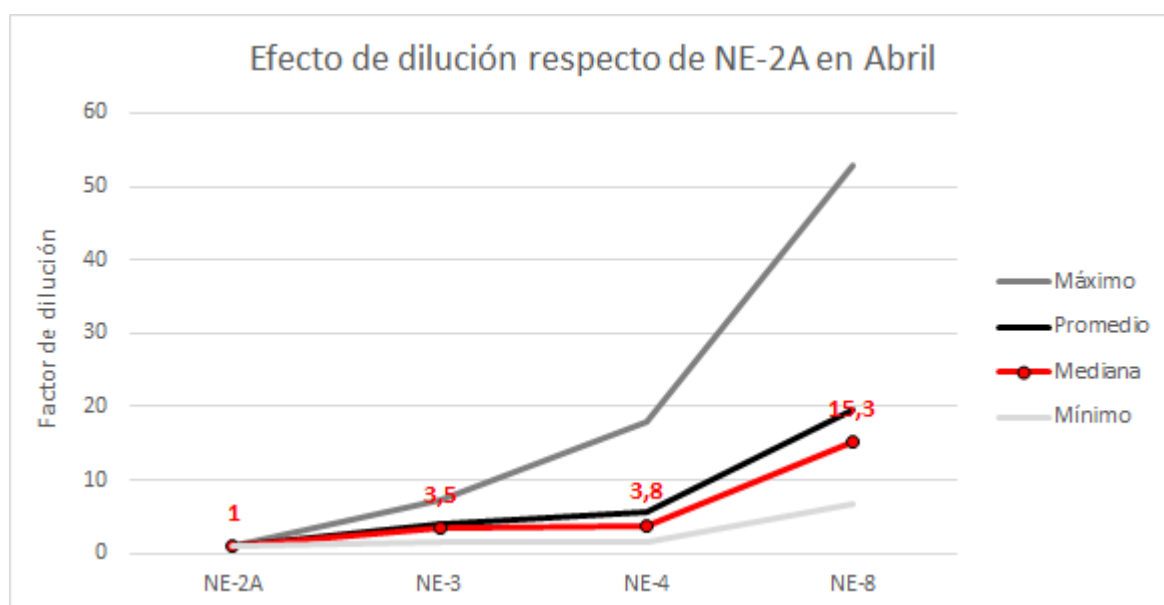


Figura 4. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de abril.

Tabla 9. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de mayo.

MAYO	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000						
2001						
2002		258,5	77		310	898
2003		28,25	113,48		386,4	1960
2004		17,65	43,47		149,98	1150
2005		17,65	64,91		162,24	908
2006		25,99	104,58	352	403,83	1070
2007				219	272,8	686
2008		11,17	70,92	302	389,86	909
2009		12,86	65,65	184	246,06	724
2010				181	237,38	558
2011					108,96	635
2012			57,852	118	142,81	556
2013		2,375	74,78	298	164,73	529
2014		3,6	62,008	132,18	209,65	446,03
2015		3,4	36,9	157,2	158,9	626,5

Tabla 10. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de mayo.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002		1		4,0	11,7
2003		1		3,4	17,3
2004		1		3,5	26,5
2005		1		2,5	14,0
2006		1	3,4	3,9	10,2
2007					
2008		1	4,3	5,5	12,8
2009		1	2,8	3,7	11,0
2010					
2011					
2012		1	2,0	2,5	9,6
2013		1	4,0	2,2	7,1
2014		1	2,1	3,4	7,2
2015		1	4,3	4,3	17,0

N° Datos		7,0	11,0	11,0
Mínimo		2,0	2,2	7,1
Máximo		4,3	5,5	26,5
Promedio		3,3	3,5	13,1
Mediana		3,4	3,5	11,7

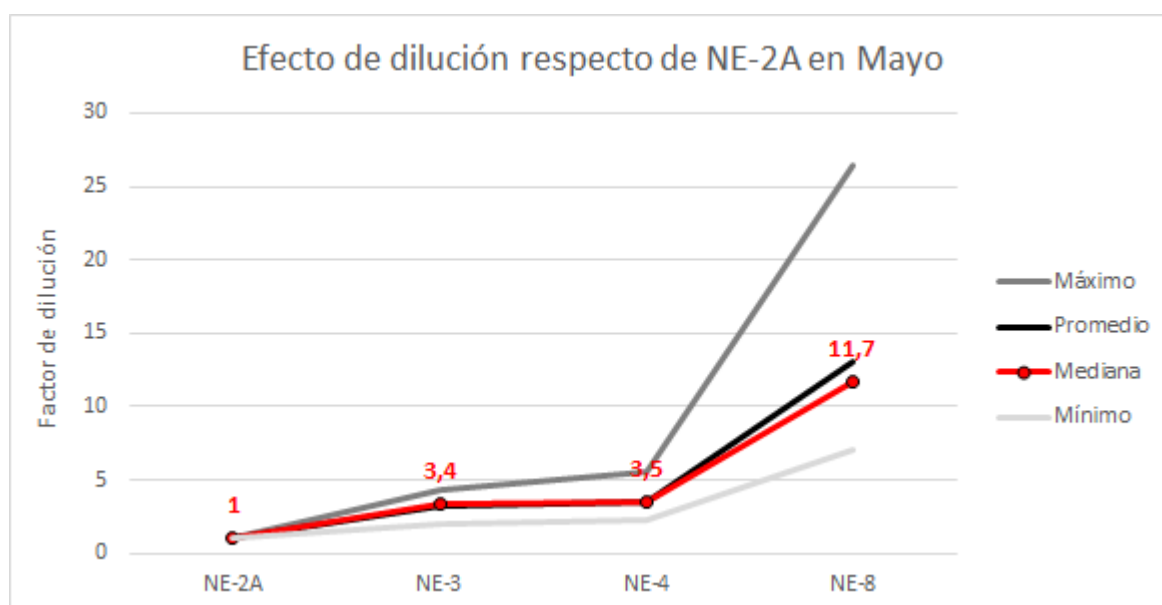


Figura 5. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de mayo.

Tabla 11. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de junio.

JUNIO	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	13-06-2000	14			255	829
2001	26-06-2001				379	1580
2002	10-06-2002				352	1350
2003	05-06-2003	13,92	91,73		319,64	1950
2004	03-06-2004	12,17	40,3		228,82	905
2005	07-06-2005	10,51	46,72		187,83	940
2006	11-06-2006			265	369,26	1020
2007	20-06-2007				243,15	948
2008	11-06-2008			245	313,24	822
2009	07-06-2009			151		609
2010	06-06-2010	11,5	14,19			
2011	09-06-2011			123		573
2012	03-06-2012		57,02	165	172,3	670
2013	02-06-2013	1,1	24,74	159	269,78	643
2014	01-06-2014	1,92	22,85	130,75	223,7	334,52
2015	01-06-2015	3,4	23	210,4	204,2	414,8

Tabla 12. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de junio.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002					
2003		1		3,5	21,3
2004		1		5,7	22,5
2005		1		4,0	20,1
2006					
2007					
2008					
2009					
2010		1			
2011					
2012		1	2,9	3,0	11,8
2013		1	6,4	10,9	26,0
2014		1	5,7	9,8	14,6
2015		1	9,1	8,9	18,0

N° Datos		4,0	7,0	7,0
Mínimo		2,9	3,0	11,8
Máximo		9,1	10,9	26,0
Promedio		6,0	6,5	19,2
Mediana		6,1	5,7	20,1

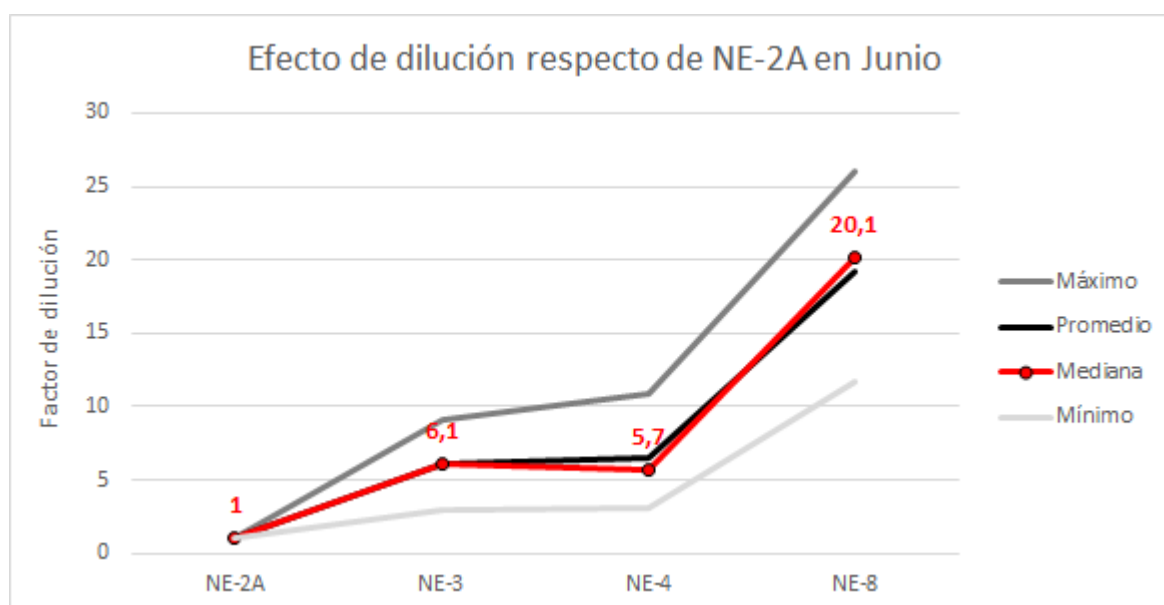


Figura 6. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de junio.

Tabla 13. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de julio.

JULIO	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	27-07-2000				268	1070
2001	11-07-2001				389	620
2002	11-07-2002				288,1	1240
2003	02-07-2003	12,17	75,55		303,72	1540
2004	07-07-2004	4,79	40,3		174,86	803
2005	12-07-2005	8,04	46,72		214,82	1200
2006	18-07-2006	14,64			248,98	764
2007	19-07-2007				193,12	792
2008	09-07-2008		65,65	213,12	396,81	724,036
2009	05-07-2009			128		659
2010	04-07-2010	10,84	24,74	76	58,97	
2011	03-07-2011			98	182,6	312
2012	01-07-2012		51,36	117	142,81	450
2013	03-07-2013	0,941	59,5	141	193,12	343
2014	02-07-2014	1,44	31,34	118,39	216,74	353
2015						

Tabla 14. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de julio.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002					
2003		1		4,0	20,4
2004		1		4,3	19,9
2005		1		4,6	25,7
2006					
2007					
2008		1	3,2	6,0	11,0
2009					
2010		1	3,1	2,4	
2011					
2012		1	2,3	2,8	8,8
2013		1	2,4	3,2	5,8
2014		1	3,8	6,9	11,3
2015					

N° Datos		5,0	8,0	7,0
Mínimo		2,3	2,4	5,8
Máximo		3,8	6,9	25,7
Promedio		2,9	4,3	14,7
Mediana		3,1	4,2	11,3

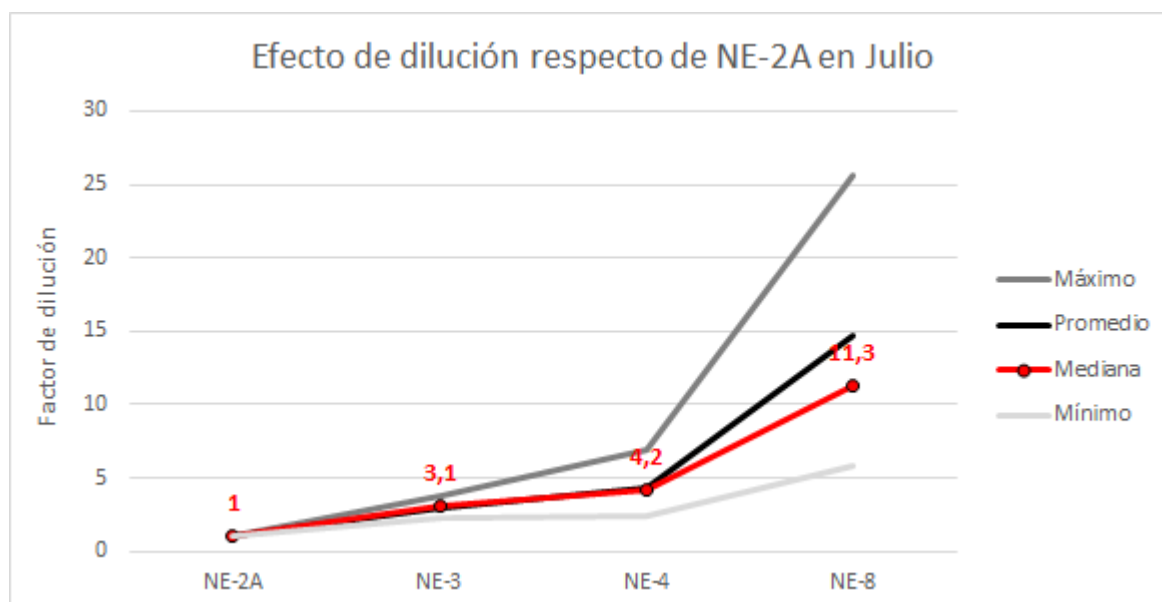


Figura 7. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de julio.

Tabla 15. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de agosto.

AGOSTO	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	11-08-2000				223	1090
2001	14-08-2001				356	634
2002	13-08-2002				345,7	1590
2003	06-08-2003	10,51	60,53		335,88	1630
2004	11-08-2004				149,98	769
2005	09-08-2005	6,89	40,3		149,98	775
2006	29-08-2006	10,51	75,56	242	257,81	832
2007	08-08-2007				362,49	626
2008	06-08-2008		73,23	212,672		615
2009	09-08-2009	6,34		132	152,4	468
2010	02-08-2010	15,75	32,48	104	80,61	474
2011	01-08-2011			101	180	
2012	01-08-2012	9,21	19,21	102	133,44	417
2013	01-08-2013		53,21	143	192,91	481
2014	03-08-2014	1,547	25,92	134,25	106,37	428
2015						

Tabla 16. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de agosto.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002					
2003		1		5,54898397	26,9287956
2004					
2005		1		3,72158809	19,2307692
2006		1	3,20275278	3,41199047	11,011117
2007					
2008		1	2,90416496		8,39819746
2009					
2010		1	3,20197044	2,48183498	14,5935961
2011					
2012		1	5,30973451	6,94638209	21,707444
2013		1	2,68746476	3,62544634	9,0396542
2014		1	5,17939815	4,10378086	16,5123457
2015					

N° Datos		6,0	7,0	8,0
Mínimo		2,7	2,5	8,4
Máximo		5,3	6,9	26,9
Promedio		3,7	4,3	15,9
Mediana		3,2	3,7	15,6

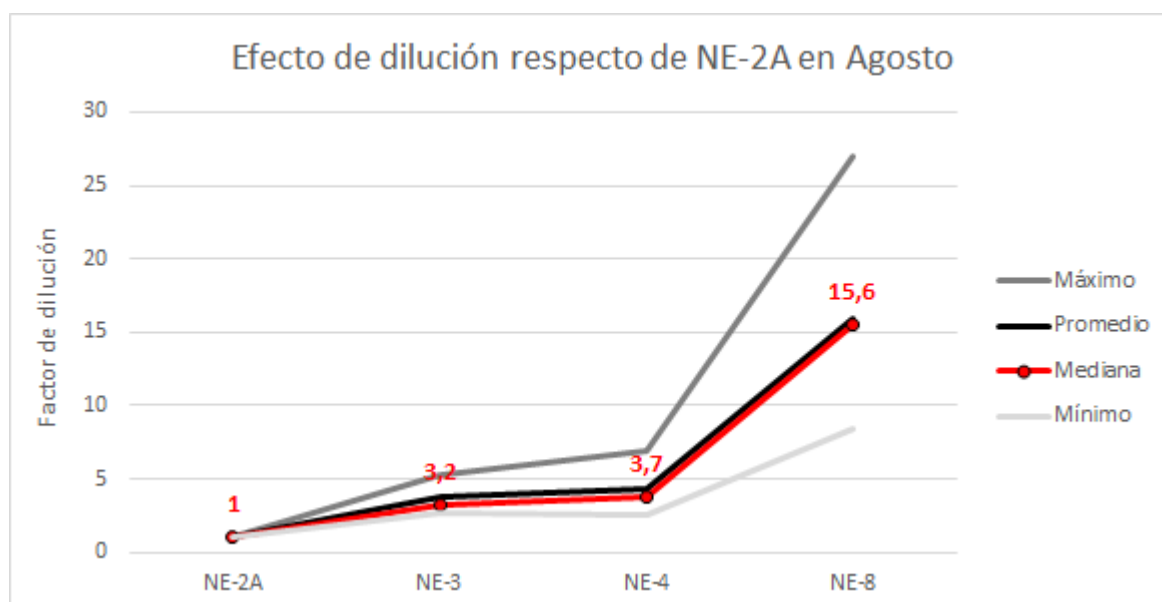


Figura 8. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de agosto.

Tabla 17. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de septiembre.

SEPTIEMBRE	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	08-09-2000	10			268	915
2001	04-09-2001				582	725
2002	10-09-2002				365,869	1450
2003	03-09-2003	10,51	67,89		257,81	1280
2004	08-09-2004				174,86	669
2005	13-09-2005	4,79	34,23		149,98	910
2006	12-09-2006	7,46	28,52	176	149,98	720
2007	05-09-2007			215	339,17	644
2008	07-09-2008			138,36	167,24	730,925
2009	06-09-2009		59,09	140		
2010	02-09-2010			122	80,61	432
2011	14-09-2011	6,34	6,89			
2012	22-09-2012	1,312	12,558	105,6	111,94	459,31
2013	04-09-2013	0,5	50,96	188	119,86	505
2014	01-09-2014	1,92	18,2	66,028	90,072	349,66
2015						

Tabla 18. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de septiembre.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002					
2003		1		3,79746649	18,8540286
2004					
2005		1		4,38153666	26,5848671
2006		1	6,17110799	5,25876578	25,2454418
2007					
2008					
2009		1	2,36926722		
2010					
2011		1			
2012		1	8,40898232	8,91383978	36,5750916
2013		1	3,68916797	2,35204082	9,90973312
2014		1	3,62791209	4,94901099	19,2120879
2015					

N° Datos		5,0	6,0	6,0
Mínimo		2,4	2,4	9,9
Máximo		8,4	8,9	36,6
Promedio		4,9	4,9	22,7
Mediana		3,7	4,7	22,2

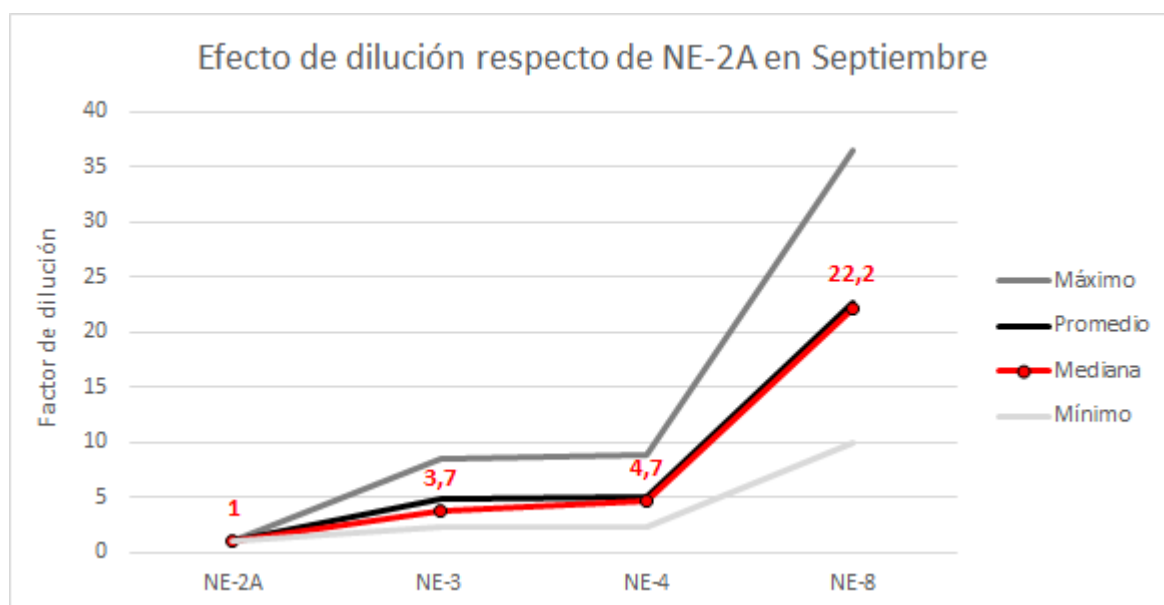


Figura 9. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de septiembre.

Tabla 19. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de octubre.

OCTUBRE	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	15-10-2000	19			359	1310
2001						
2002	10-10-2002				647,3	4890
2003	07-10-2003	13,92	60,53		174,86	1120
2004	06-10-2004	4,79	37,22		162,24	712
2005	12-10-2005	30,57	67,89		243,15	1050
2006	03-10-2006	12,17	79,5	182	187,83	738
2007	03-10-2007	10,51	34,23	172	201,15	905
2008	01-10-2008			305,536	446,82	514,682
2009	07-10-2009	5,04	50,73			
2010	14-10-2010			106	92,36	
2011	02-10-2011	11,5	77,12	147	133,44	590
2012	01-10-2012	3,44	17,32	92	124,33	468
2013	02-10-2013		35,63	98,448	145,18	455
2014	05-10-2014	0,44	41,916	103,785	132,516	365,273
2015						

Tabla 20. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de octubre.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002					
2003		1		2,88881546	18,5032215
2004		1		4,3589468	19,1295003
2005		1		3,58152894	15,4661953
2006		1	2,28930818	2,36264151	9,28301887
2007		1	5,02483202	5,87642419	26,4387964
2008					
2009		1			
2010					
2011		1	1,90612033	1,73029046	7,65041494
2012		1	5,31177829	7,17840647	27,0207852
2013		1	2,76306483	4,07465619	12,7701375
2014		1	2,47602348	3,16146579	8,714405
2015					

N° Datos		6,0	9,0	9,0
Mínimo		1,9	1,7	7,7
Máximo		5,3	7,2	27,0
Promedio		3,3	3,9	16,1
Mediana		2,6	3,6	15,5

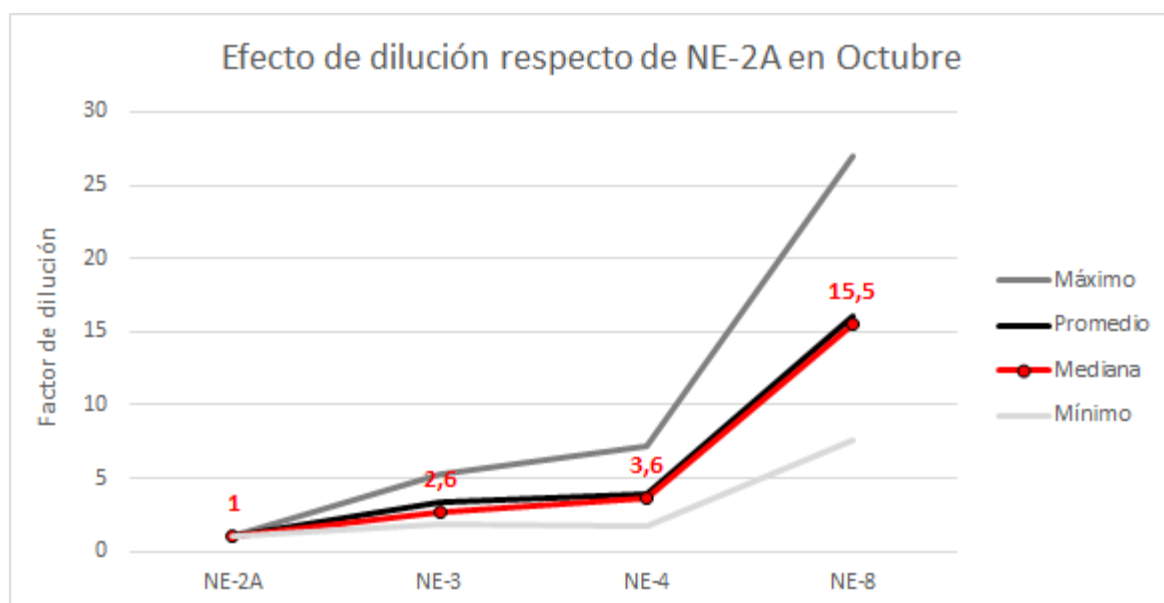


Figura 10. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de octubre.

Tabla 21. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de noviembre.

NOVIEMBRE	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	21-11-2000				366	1510
2001						
2002	06-11-2002		209,92		975,74	
2003	05-11-2003	15,75	91,73		201,15	1340
2004	03-11-2004	3,62	43,47		288,1	588
2005	10-11-2005	18,04	73,23		234,51	1450
2006	09-11-2006	11,5		172	162,24	531
2007	01-11-2007	8,33	36,02	341	248,98	1600
2008	01-11-2008			230	119,86	919
2009	02-11-2009			97	140,44	342
2010	11-11-2010	2,76	39,06	116	119,86	
2011	03-11-2011			93	106,83	
2012	10-11-2012	3,53	48,71	112	162,24	426
2013	03-11-2013	0,96	74,232	149,79	133,44	423
2014	02-11-2014	0,66	30,06	86,624	104,517	396,955
2015						

Tabla 22. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de noviembre.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002		1		4,64815168	
2003		1		2,19284858	14,608089
2004		1		6,62755924	13,52657
2005		1		3,20237608	19,8006282
2006					
2007		1	9,4669628	6,91227096	44,4197668
2008					
2009					
2010		1	2,96979007	3,06861239	
2011					
2012		1	2,29932252	3,33073291	8,74563745
2013		1	2,01786292	1,7976075	5,69835112
2014		1	2,88170326	3,47694611	13,2054225
2015					

N° Datos		5,0	9,0	7,0
Mínimo		2,0	1,8	5,7
Máximo		9,5	6,9	44,4
Promedio		3,9	3,9	17,1
Mediana		2,9	3,3	13,5

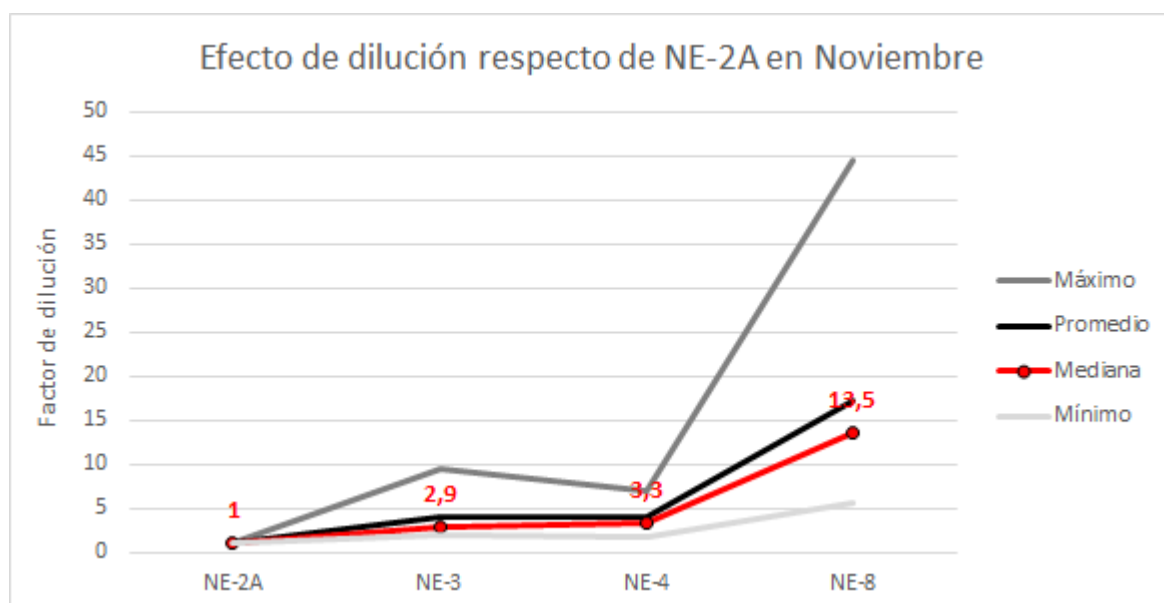


Figura 11. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de noviembre.

Tabla 23. Caudales (l/s) seleccionados para el análisis correspondiente los meses de diciembre.

DICIEMBRE	Fecha (+/- 1 día)	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000	20-12-2000	36			932	2420
2001						
2002	04-12-2002	174,58	312,67		2299,53	
2003	03-12-2003	19,63	127,28		352,42	1640
2004	07-12-2004	6,07	43,47		167,24	665
2005	14-12-2005	30,57	215,56		832,73	3000
2006	04-12-2006	6,61	29,07	176	140,44	626
2007	02-12-2007	31,52	194,42	773	818,9	2230
2008	01-12-2008			204	281	1120
2009	01-12-2009				111,11	459
2010	09-12-2010	9,25	26,34	117	147,58	
2011	09-12-2011	7,037	30,19			
2012	02-12-2012	0,85	26,55	119,65	140,44	551,57
2013	01-12-2013	1,3	52,2	144,61	119,86	556
2014	01-12-2014	0,512	26,32	55,616	133,44	331,917
2015						

Tabla 24. Factor de dilución (FD) calculado respecto de NE-2A para los meses de diciembre.

FD	NE-5	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
2000					
2001					
2002		1		7,35449515	
2003		1		2,76885607	12,884978
2004		1		3,84725098	15,2979066
2005		1		3,86310076	13,9172388
2006		1	6,05435157	4,83109735	21,5342277
2007		1	3,9759284	4,21201522	11,4700134
2008					
2009					
2010		1	4,44191344	5,60288535	
2011		1			
2012		1	4,50659134	5,28964218	20,7747646
2013		1	2,77030651	2,29616858	10,651341
2014		1	2,11306991	5,06990881	12,6108283
2015					

N° Datos		6,0	10,0	8,0
Mínimo		2,1	2,3	10,7
Máximo		6,1	7,4	21,5
Promedio		4,0	4,5	14,9
Mediana		4,2	4,5	13,4

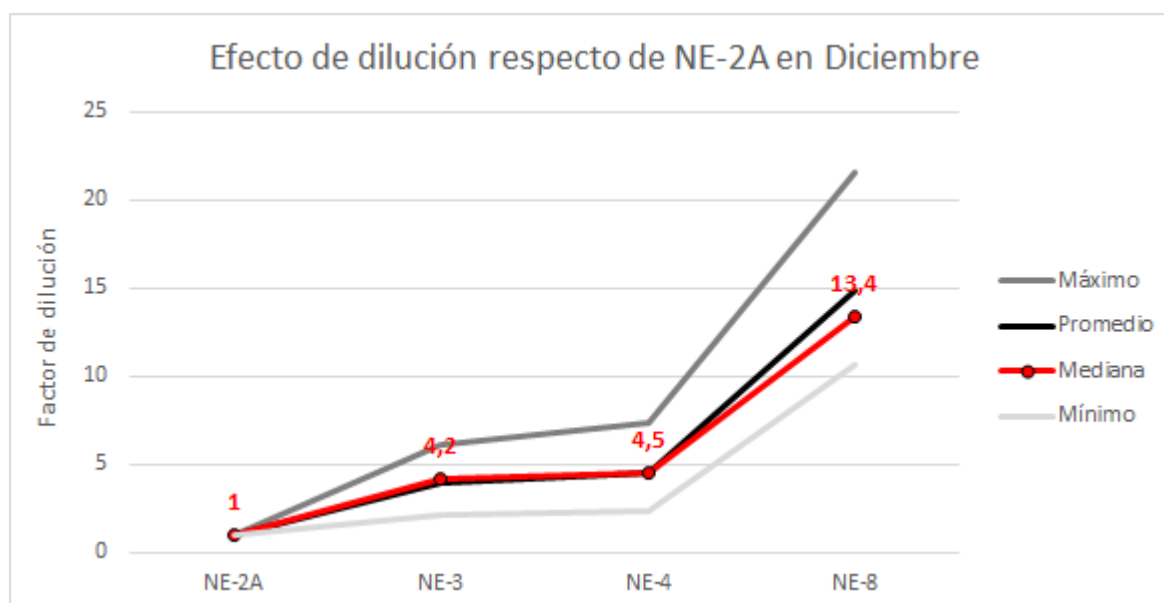


Figura 12. Efecto de dilución observado en NE-3, NE-4 y NE-8 respecto de NE-2A, durante los meses de diciembre.

ANEXO 6: EFECTOS DERIVADOS DEL PROYECTO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

OBJETIVO: En el presente Anexo se incluye un análisis de los registros históricos de monitoreo de nivel y calidad del agua realizado en aguas subterráneas, los cuales se evalúan a la luz del modelo conceptual propuesto en el Anexo N°4. En base a lo anterior, se determinan los efectos que ocurrieron producto de la ejecución del proyecto.

1. Selección de los puntos de monitoreo de aguas subterráneas

En la RCA N°024/2006 quedaron definidos ciertos puntos de monitoreo con sus respectivos indicadores de línea de base para las aguas superficiales, pero esto no resulta tan claro para el caso de las aguas subterráneas. En efecto, en la RCA N°024/2006 no quedó definida la base de comparación contra la cual se deben contrastar los monitoreos de aguas subterráneas. Esto presenta ciertamente una dificultad para el análisis, puesto que se carece de un conjunto de pozos que sea representativo de los acuíferos, junto con los respectivos umbrales que describan la situación de línea de base a cautelar.

Al respecto, cabe mencionar que existen más de 30 pozos ubicados en la cabecera del río Estrecho, cada uno de los cuales puede entregar información de uno o más niveles acuíferos, con registros a veces incompletos, y afectos a eventuales fenómenos locales producto de la compleja geología de la cual da cuenta la línea de base. Considerando esta situación, se debe realizar una cuidadosa selección de un conjunto de pozos que sea representativo de la condición de cada acuífero, y que contenga suficientes datos como para realizar un análisis de su comportamiento y tendencia. Además, y con miras a facilitar la interpretación de los resultados, se deben considerar pozos que permitan caracterizar las distintas zonas definidas en el modelo conceptual (ver Anexo 4, Figura 13).

Ahora bien, en cada zona se han construido diversos pozos que pueden estar habilitados en el acuífero profundo (GR), en el acuífero somero (FAS), en ambos en conjunto (pozo completamente ranurado que mezcla las aguas) o bien en ambos por separado (pozos anidados, uno en acuífero somero y otro en acuífero profundo). Existen incluso algunos pozos en que se desconoce su habilitación, por lo cual no resulta posible determinar a qué acuífero se asocia la información medida. Por otra parte, existen ciertos pozos que cuentan con un registro histórico y periódico, mientras que la mayoría cuenta solo con datos puntuales o esporádicos. Teniendo presente lo anterior, para la selección de los pozos más idóneos en cada sección, se realizó una extensa revisión de los antecedentes del procedimiento de evaluación ambiental, de la información reportada en el marco del seguimiento ambiental, y de los antecedentes expuestos en el procedimiento de revisión de la RCA N°024/2006, estableciéndose los siguientes requisitos para la selección de pozos idóneos:

- Se debe conocer el perfil de habilitación del pozo, de manera de tener certeza del o los niveles acuíferos que son medidos.
- El registro de información debe contener datos de calidad del agua e idealmente también de niveles.
- La información debe ser recabada periódicamente, de preferencia sin lagunas en los registros.
- La información generada debe contener datos históricos que abarquen desde antes del inicio de la construcción del proyecto (octubre del año 2009), o bien que contengan suficientes datos como para evaluar si es que existe una tendencia en su evolución temporal.

Los pozos que se encontraban perforados al momento de presentarse a evaluación ambiental el proyecto “Modificaciones proyecto Pascua Lama” se encuentran plasmados en el Plano N°5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2. Sobre la base de este mapa se determinaron los pozos existentes en cada una de las zonas previamente definidas (ver Figura 1 a la 5). En base a los pozos individualizados de esta forma se revisaron distintas fuentes de información que permitieron construir la Tabla 1, que incluye la información relevante de los pozos identificados en la evaluación ambiental.

Es del caso mencionar que también se tuvieron a la vista los pozos que fueron construidos con posterioridad a la evaluación ambiental, cuya información relevante se presenta en la Tabla 2.

Tabla 1. Información disponible de cada pozo identificado en la evaluación ambiental según zona (en verde se indican los pozos cuya habilitación es conocida y disponen de un registro histórico de datos de calidad del agua).

Zona	Pozo	Nivel acuífero según habilitación*	Disponibilidad de datos de calidad del agua**	Disponibilidad de información de seguimiento ambiental
Zona 1	RE-1	Conocido	Sin información	No
	RE-2	Conocido	Puntual	No
	RE-3	Conocido	Puntual	No
	RE-4A	Sin información	Sin información	No
	RE-4A2	Sin información	Sin información	No
	RE-5	Conocido	Puntual	No
	RE-6	Conocido	Datos desde 2003	Desde jul. de 2012
	RE-7	Conocido	Sin información	No
	RE-8A	Conocido	Datos desde 2005	Desde sept. de 2012
	RE-9	Conocido	Sin información	No
	RE-10	Conocido	Puntual	No
	RE-11A	Sin información	Sin información	No
	RE-11B	Conocido	Sin información	No
	RE-14	Conocido	Datos desde 2005	No
	RE-15 (WELL-1)	Conocido	Datos desde 2005	Desde sept. de 2012
	RE-16	Conocido	Sin información	No
R-5	Sin información	Sin información	No	
Zona 2	RE-12	Conocido	Sin información	No
	RE-13	Conocido	Puntual	No
	RE-17	Conocido	Datos desde 2005	Desde jul. de 2012
	WELL-2	Conocido	Sin información	No
	BT-N	Sin información	Puntual	No
	R6	Sin información	Sin información	No
	R7	Sin información	Sin información	No
R8	Sin información	Sin información	No	
Zona 3	BT-1	Conocido	Datos desde 1997	Desde jul. de 2012
	BT-2	Sin información	Datos desde 1997	Desde jul. de 2012
	BT-3	Conocido	Datos desde 1997	Desde jul. de 2012
	BT-4	Conocido	Puntual	No
	BT-4B	Sin información	Sin información	No
	R9	Sin información	Sin información	No
Zona 4	NEV-1	Conocido	Puntual	No
	NEV-2	Conocido	Puntual	No
	NEV-3	Conocido	Datos desde 1997	Desde jul. de 2012

*La información se obtuvo del Anexo II-C de la Adenda N°2 del proyecto "Modificaciones proyecto Pascua Lama", en particular de la Tabla 3-3 y del Apéndice 1, y de la Carta PL-20/2016 (responde al requerimiento de información realizado mediante Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N°1191/2015).

**Información proveniente de distintas fuentes, entre ellas el expediente de evaluación ambiental (Anexo II-C de la Adenda N°2, Tabla 6.1 Adenda N°3 – Sección 06), el expediente del procedimiento de modificación de la RCA N°024/2006 (Carta PL-54/2015), y la Carta PL-20/2016 (responde al requerimiento de información realizado mediante Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N°1191/2015).

Tabla 2. Información disponible de pozos identificados/construidos con posterioridad a la evaluación ambiental según zona.

Zona	Pozo	Nivel acuífero según habilitación*	Disponibilidad de datos de calidad del agua*	Disponibilidad de información de seguimiento ambiental
Zona 1	L1-CW1	Conocido	Sin información	No
	L1-CW2	Conocido	Desde octubre 2008**	No
	L1-CW3	Conocido	Desde febrero de 2009**	No
	L1-CW4	Conocido	Desde dic. de 2008 ⁺	No
	L1-CW5	Conocido	Sin información	No
	L1-CW6	Conocido	Sin información	No
	L2-CW1	Conocido	Desde enero de 2009***	No
	L2-CW2	Conocido	Desde enero de 2009***	No
	L2-CW3	Conocido	Desde marzo de 2009***	No
	L2-CW4	Conocido	Desde abril de 2009***	No
	L2-CW5	Conocido	Desde abril de 2009***	No
	L2-CW7	Conocido	Desde abril de 2009***	No
Zona 2	L4-PM1	Conocido	Desde abril 2012	No
	L4-PM2	Conocido	Desde marzo 2012	No
	L4-PM3	Conocido	Desde febrero 2012	No
	L4-PM4	Conocido	Desde marzo 2012	No
	L4-PM5	Conocido	Desde marzo 2012	No
	L4-PM6	Conocido	Desde marzo 2012	No

*La información sobre la habilitación de los pozos y calidad del agua se obtuvo del Informe “Efectos del botadero nevada en la calidad del agua subterránea” (acompañado en la Carta PL-0146/2015), y de la Carta PL-20/2016 (responde al requerimiento de información realizado mediante Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N°1191/2015).

**Esta información consta en uno de los archivos adjuntos a la Carta PL-0174/2015, entregada en el marco del procedimiento de revisión del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama” (RCA N°024/2006).

***En las Figuras 3.1 a 3.6 del Informe “Efectos del botadero nevada en la calidad del agua subterránea” (acompañado en la Carta PL-0146/2015) se indica la cantidad de datos disponibles en los pozos de la Línea 2, los cuales han sido recopilados desde antes del inicio de la construcción del proyecto, pero sin especificar exactamente desde que fecha. Estos datos no se grafican ni se acompañan en el referido Informe, que se limita a presentar los resultados de un análisis estadístico de ellos.

Con la información disponible fue posible seleccionar los pozos que son más idóneos para realizar un análisis de la calidad del agua subterránea en cada zona, con el fin de evaluar la ocurrencia de potenciales efectos que pudieran vincularse al proyecto. Estos son:

Zona 1: RE-6, RE-8A (RE-8AP y RE-8AS), RE-14 (RE-14P y RE-14S), RE-15.

Zona 2: RE-17 (RE-17P y RE-17S).

Zona 3: BT-1, BT-2, BT-3.

Zona 4: NEV-3.

Cabe destacar que los pozos de la Línea N°1 que cuentan con datos (L1-CW2, L1-CW3 y L1-CW4) no fueron considerados como idóneos para el análisis, puesto que su registro de datos incluye información limitada como para caracterizar suficientemente el comportamiento previo a la intervención del proyecto, y además se cuenta con otros pozos en la misma zona que sí disponen de un amplio registro de datos. En el caso de los pozos de la Línea N°2, no se ha tenido acceso a los datos sino solo a un análisis estadístico derivado de ellos, fruto del cual se conoce la extensión de los registros de datos (ver nota al pie *** de la Tabla 2). No obstante lo anterior, aun conociendo los datos, no podría considerarse que estos sean idóneos por la misma razón expuesta en el caso anterior. Por otra parte, se descartó también el uso de los datos de los pozos de la Línea N°4 dado que el registro no cuenta con datos previos a la intervención del proyecto.

Por otra parte, se decidió seleccionar al pozo BT-2 pese a que se desconoce su perfil de habilitación. Ello en razón de que existe poca información en la zona, y los extensos registros de los que dispone dicho pozo permitirán evaluar si es que existe alguna tendencia, pese a desconocerse el origen del o los niveles acuíferos muestreados.

2. Características de los pozos seleccionados

Tal como ya fue relevado, en la RCA N°024/2006 no quedó definida la base de comparación contra la cual se deben contrastar los monitoreos de aguas subterráneas. Habiendo ya realizado una selección de los pozos más adecuados, resulta necesario tener a la vista cuáles son sus características constructivas y **condiciones previas al inicio de la construcción del proyecto**.

Un aspecto de suma importancia que debe ser destacado es que, previo a la ejecución del proyecto, la calidad del agua daba cuenta de la existencia de drenaje ácido de origen natural en ciertos pozos. Esto queda reflejado en las conclusiones del Anexo II-D-1 de la Adenda N°2 que señalan que “[l]as aguas de la alta cuenca naciente del Río Estrecho se caracterizan por una calidad dominada por el drenaje ácido natural de roca, producto de la fuerte mineralización del área. Las aguas tienen un pH bajo con altos niveles de sulfatos, provocando una conductividad eléctrica alta e importantes cargas de metales como aluminio, manganeso, hierro, cobre, cadmio, plomo, selenio, zinc y vanadio. Esta generación de drenajes ácidos es notable en los puntos más altos de monitoreo (RE-6) aumentando notablemente aguas abajo hasta alcanzar su máxima expresión en el pozo surgente BT-3 (Ver mapa), con niveles de pH medidos entre 2.34 y 3.83, altas concentraciones de sulfatos (1891-3220 mg/l, provocando conductividades eléctricas muy altas (2560-3386 μ mhos/cm) y grandes cargas de metales”.

En la Tabla 3 se presentan las características e información de calidad del agua recopilada para los pozos seleccionados, agrupándolos según zona¹. Se destaca el hecho de que todos los pozos de la Zona 1 muestran presencia de drenaje ácido de origen natural. Lo mismo ocurre en la Zona 2 con RE-17. En la Zona 3 esta situación cambia puesto que solamente uno de los tres pozos muestra presencia de drenaje ácido de origen natural, y los otros dos muestran aguas de un origen diferente. En la Zona 4 existe un único pozo, el cual muestra aguas de buena calidad que tampoco se relacionan con la química del drenaje ácido presente en las zonas 1 y 2.

Es importante tener presente también lo indicado en el Anexo II-C de la Adenda N°2, en cuanto a que “[a]guas abajo de la confluencia con Quebrada de La Olla, el agua subterránea tiene una composición variada. Las muestras BT-1 y BT-2 y BT-4 tienen una composición del tipo Ca-HCO₃ mientras que las muestras del pozo BT-3 mantienen una composición del tipo Ca-SO₄. Los resultados sugieren una separación de aguas subterráneas aguas abajo de la confluencia de Quebrada La Olla” (énfasis agregado). Según ello existiría un desconexión del flujo subterráneo entre las zonas 2 y 3, o bien, dicho de otro modo, el escurrimiento subterráneo de la zona 2 no estaría conectado con el de las zonas inferiores (zonas 3 y 4).

¹ Se refiere a las 4 zonas definidas en el modelo conceptual (ver Anexo 4, Figura 13).

Tabla 3. Características e información de calidad del agua de los pozos seleccionados para el análisis.

Zona	Pozo	Habilitación	Tipo de relleno	Características según información contenida en el Anexo II-C de la Adenda N°2 “Condiciones hidrogeológicas de línea base sector superior del río del Estrecho”, fechado en noviembre de 2005, y en el Anexo II-D-1 de la Adenda N°2 “Línea base calidad de las aguas en la cuenca del río Estrecho”, fechado en octubre de 2005.	Características según información contenida en el Anexo N°10 “Caracterización calidad del agua subterránea sector cortafugas” de la Carta PL-054/2015 (expediente de revisión de la RCA N°024/2006), y en el Informe “Efectos del botadero Nevada en la calidad del agua subterránea”, acompañado en la Carta PL-0146/2015. Los datos analizados se extienden hasta septiembre del año 2009.
Zona 1	RE-6	Superficial (s)	Roca	Piezómetro seco o con agua solamente durante la época de verano.	
		Profunda (p)	Roca	Único punto de monitoreo en el área del futuro botadero. Muestra agua tipo Ca-SO4 y presencia de drenaje ácido. Se reportó trazos de pirita en columna geológica.	Presenta pH típicamente ácido, sulfato moderado y conductividad moderada. Tiene características de drenaje ácido.
	RE-8A	Superficial (s)	Sedimento		Presenta pH ácido, sulfato elevado y conductividad elevada. También se midieron elevadas concentraciones de Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Tiene características de drenaje ácido.
		Profunda (p)	Roca		Presenta pH ácido, sulfato elevado y conductividad elevada. También se midieron elevadas concentraciones de Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Tiene características de drenaje ácido.
	RE-14	Superficial (s)	Sedimento		Presenta pH ácido, sulfato elevado y conductividad elevada. También se midieron elevadas concentraciones de Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Tiene características de drenaje ácido.
		Profunda (p)	Sedimento y roca	Presenta pH ácido y altas concentraciones de metales que se asocia a presencia de drenaje ácido.	Presenta pH ácido, sulfato elevado y conductividad elevada. También se midieron elevadas concentraciones de Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Tiene características de drenaje ácido.
	RE-15	Única	Sedimento y roca		Presenta pH ácido, sulfato elevado y conductividad elevada. Tiene características de drenaje ácido.
Zona 2	RE-17	Superficial (s)	Sedimento		Presenta pH ácido, sulfato elevado y conductividad elevada. También se midieron elevadas concentraciones

					de Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Tiene características de drenaje ácido.
		Profunda (p)	Roca		Presenta pH ácido, sulfato elevado y conductividad elevada. También se midieron elevadas concentraciones de Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Tiene características de drenaje ácido.
Zona 3	BT-1	Única	Sedimento y roca	Pozo surgente, ubicado en quebrada La Olla. No presenta signos de drenaje ácido debido a las aguas provenientes de la quebrada La Olla. Agua tipo Ca-HCO ₃ .	
	BT-2	Única	Desconocido	Pozo surgente, ubicado en confluencia de quebrada La Olla con el río Estrecho. Agua varía entre tipo Ca-HCO ₃ y tipo Ca-SO ₄ . No presenta signos de drenaje ácido, y tiene un pH neutro, Sulfatos y Conductividad Eléctrica en niveles muy bajos, lo que distingue estas aguas claramente de las del Río Estrecho. El monitoreo de este punto genera datos sobre la calidad de los aportes de Quebrada la Olla.	
	BT-3	Única	Sedimento y roca	Pozo surgente, ubicado en cuenca del río Estrecho, aguas abajo de confluencia con quebrada La Olla. Agua tipo Ca-SO ₄ , presencia de drenaje ácido.	
Zona 4	NEV-3	Única	Sedimento	Ubicado en cuenca del río Estrecho en confluencia con quebrada Barriales. No refleja presencia de drenaje ácido en línea de base. Agua tipo Ca-HCO ₃ con pH neutro, baja Conductividad Eléctrica y Sulfatos.	

3. Relación entre la recarga y la calidad del agua subterránea

Los registros analizados dan cuenta de que el agua subterránea en la parte alta de la cuenca se ve influenciada por un importante efecto estacional. Tal como se explica en el modelo conceptual (ver Anexo 4), el comportamiento de los acuíferos está fuertemente influido por la estacionalidad asociada a la ocurrencia de deshielos, que producen un ascenso de los niveles (recarga) y una disminución en la concentración de metales (dilución por mezcla con aguas de deshielo de buena calidad). Esto resulta particularmente notorio en los pozos ubicados aguas arriba de la confluencia con quebrada La Olla, que es donde cobra mayor relevancia el efecto de dilución inducido por la recarga con aguas de deshielos.

Lo anterior se ejemplifica para el pozo RE-17S en la Figura 6, en la cual se aprecia la estrecha relación que existe entre el comportamiento de los niveles y del sulfato. En particular, se observan los ciclos anuales en que el sulfato alcanza consistentemente su mayor nivel previo al máximo nivel de los deshielos, que es donde ocurre marcadamente la dilución. Fruto del mismo efecto de dilución, el sulfato alcanza posteriormente sus menores valores, para luego aumentar y comenzar un nuevo ciclo.

Este comportamiento es especialmente relevante a la hora de analizar las consecuencias que puede tener una reducción de la recarga en la zona. Según lo anterior, es esperable que una menor recarga se traduzca en un menor efecto de dilución, por lo que se espera que se produzca un aumento en las concentraciones de los parámetros DAR. Como ya fue demostrado en el Anexo 2, la situación hídrica de la zona se caracterizó por una importante disminución del recurso a partir del año 2009, lo cual coincide con el inicio de la construcción del proyecto. De esta forma, a partir del año 2009 se superponen dos efectos: por una parte la reducción de la capacidad de dilución natural, y por otra los potenciales efectos inducidos por el proyecto. Ambos pueden tener la misma consecuencia, esto es, un aumento en la concentración de los parámetros DAR en el agua, lo cual debe tenerse en cuenta a la hora de analizar los registros de datos.

4. Criterios para evaluar la afectación de la calidad del agua subterránea

Como ya se ha señalado, en la RCA N°024/2006 no se estableció la base de comparación contra la cual se deben contrastar los monitoreos de aguas subterráneas, por lo que no existe un criterio establecido que permita verificar si el proyecto ha generado alguna alteración en la calidad del agua.

En el considerando 112° de la sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, causa Rol R-06-2013, del Ilustre Segundo Tribunal Ambiental, se abordó esta situación. En dicho considerando el Ilustre Tribunal expone la metodología utilizada para determinar si es que existió alteración en la calidad del agua de ciertos pozos. Al analizar el ejercicio realizado por el Ilustre Tribunal, se desprende que:

- El criterio está dado por el cálculo del percentil 66% (en adelante P66), sin diferenciar por estación del año.
- El P66 se calcula en base a la serie de datos históricos hasta antes del inicio de la construcción del proyecto. Este período se denominará período “pre-construcción”.
- El período objetivo para ser evaluado corresponde al año hidrológico 2012-2013 (julio de 2012 a junio de 2013).
- Los pozos analizados son BT-3, BT-1 y NEV-3.
- Un detrimento en la calidad del agua queda determinado por la ocurrencia de valores superiores al P66.

En el presente Anexo se utilizarán los elementos provistos por el Ilustre Tribunal, pero complementados de la siguiente forma:

- En el caso del pH se sustituye el P66 por el percentil 34% (en adelante P34), y un detrimento en la calidad del agua queda determinado por la ocurrencia de valores inferiores al P34. Esto se fundamenta en el hecho de que la calidad del agua medida en base al pH se ve deteriorada por valores bajos o ácidos², mientras que para el resto de los parámetros DAR ello se da cuando los valores son altos. De esta forma, cuando se hable de una **excedencia del P66 o del P34** se refiere a **valores superiores al P66 o bien inferiores al P34 para el pH.**

² Esta calificación aplica cuando el rango de pH es inferior a 7, como en el presente caso, especialmente en los pozos ubicados en la parte alta de la cuenca del río Estrecho.

- Además de los pozos identificados por el Ilustre Tribunal, se consideró a RE-6P, RE-8AP, RE-8AS, RE-14P, RE-14S, RE-15, BT-2, RE-17P y RE-17S.
- Además del período objetivo correspondiente al año hidrológico 2012-2013, se evalúa el período que va desde el inicio de la construcción del proyecto (octubre de 2009) hasta el final de los registros de datos utilizados³. Este último período se denomina período “post-construcción”.
- Para cada pozo se incluye un análisis de la profundidad del nivel de agua subterránea. Este parámetro no está asociado al cumplimiento de ningún estándar, pero es útil conocerlo para contribuir a una mejor interpretación de los resultados de calidad del agua.

El análisis anterior permite conocer si un parámetro supera o no el criterio establecido, pero no entrega información respecto de la magnitud de dicha superación. Para conocer este último aspecto se incluye un ejercicio adicional, en el cual se calcula el P66 (o P34 para el pH) de cada serie objetivo (año hidrológico 2012-2013 y período post-construcción), comparándose luego cada uno con el P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción. La diferencia existente permite evaluar la magnitud de la variación experimentada respecto de las condiciones pre-construcción.

Por último, se incluye también un análisis de la evolución temporal de cada parámetro DAR en cada pozo. Esto resulta útil, puesto que la comparación individual respecto de un umbral (en este caso el P66 o el P34) no entrega información sobre tendencias, ni de cambios que hayan ocurrido en algún período específico distinto de los evaluados. Lo anterior es esencial a la hora de interpretar los resultados, sobre todo si se coteja con el desarrollo de las obras y actividades del proyecto.

En definitiva, el análisis de los dos períodos objetivo (año hidrológico 2012-2013 y período post-construcción) se realizará en base a tres criterios complementarios, a saber (i) determinar el número de excedencias de los datos respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción, (ii) comparar el P66 (o P34 para el pH) de los períodos objetivo con los del período pre-construcción y, (iii) analizar la evolución temporal de cada parámetro DAR. El análisis se realizará en cada pozo, y agrupando por zonas, con el fin de determinar si existió una afectación a la calidad del agua subterránea relacionada con la intervención del proyecto.

5. Fuentes de información utilizadas

Para el análisis que sigue se utilizaron distintas fuentes de información que contienen datos tanto de la profundidad del nivel como de los parámetros DAR, según cada caso. A continuación se listan las distintas fuentes utilizadas y la información provista en cada una:

Tabla 4. Fuentes de información consultadas.

Documento	Expediente	Contenido
Carta PL-074/2015	Modificación de la RCA N°024/2006 del Servicio de Evaluación Ambiental ⁴	Consiste en la línea de base de calidad del agua subterránea. Incluye los datos históricos en todos los pozos que fueron muestreados hasta septiembre del año 2009.
Informes de seguimiento ambiental	Remitidos periódicamente en cumplimiento de la RCA N°024/2006	Incluye datos de calidad del agua subterránea de los pozos establecidos en el Plan de Seguimiento Ambiental de la la RCA N°024/2006.
Carta PL-034/2016	Procedimiento Sancionatorio expediente A-002-2013 ⁵	Contiene registros históricos de la profundidad del nivel en los pozos RE-6P, RE-8A, RE-14, RE-15, RE-17, NEV-3 y los pozos de la Línea N°4. Incluye también datos históricos de sulfato en los pozos RE-6P, RE-8A, RE-10, RE-13, RE-14, RE-15, RE-17 y los pozos de la Línea N°4.

³ Los datos se extienden hasta el año 2015. El mes hasta el cual llega cada registro depende de la fuente de información disponible en cada caso (informes de seguimiento ambiental reportados, Carta PL-020/2016 o Carta PL-034/2016).

⁴ SEA. [en línea] <<http://www.sea.gob.cl/rca/modificaciones-proyecto-pascua-lama>>

⁵ SMA. [en línea] <http://snifa.sma.gob.cl/v2/Sancionatorio/Ficha/1>

		Se adjuntan igualmente datos históricos de los parámetros DAR en BT-1, BT-3 y NEV-3.
Carta PL-146/2015	Procedimiento Sancionatorio expediente A-002-2013	No se incluyen datos en formato numérico, pero se hace entrega de los documentos “Minuta Calidad de Agua Subterránea Aguas Abajo Muro Cortafugas” y “Efectos del Botadero Nevada en la Calidad del Agua Subterránea-Proyecto Pascua Lama”. En los referidos documentos se presentan gráficos con información de calidad del agua y niveles en distintos pozos.
Carta PL-020/2016	Procedimiento Sancionatorio expediente A-002-2013	Contiene registros históricos de los parámetros DAR en los pozos RE-10, RE-13, RE-14, RE-17, RE-15 y pozos de la Línea N°4.
Carta PL-036/2017	Procedimiento Sancionatorio expediente A-002-2013	No se incluyen datos en formato numérico, pero se presentan gráficos con información de la profundidad del nivel en los pozos RE-14, RE-15 y pozos de la Línea N°2.

6. Análisis de la Zona 1: efectos en las aguas subterráneas aguas arriba del muro cortafuga

Esta zona posee 6 pozos adecuados para el análisis que representan distintos materiales, profundidades y ubicaciones. El emplazamiento de ellos y de otros elementos de relevancia se muestra en la Figura 7. Según se estableció en el modelo conceptual (ver Anexo 4), esta zona puede ser influenciada por ciertas obras/acciones relacionadas con el proyecto. De ellas, las más relevantes para el caso son las siguientes:

- Bombeo intensivo realizado durante la construcción del sistema cortafuga para deprimir niveles.
- Extracción de agua realizada por los pozos de alivio del sistema cortafuga una vez que entraron en operación.
- Desvío de aguas de deshielo por los canales perimetrales del sistema de manejo de aguas de no contacto.
- Aguas de contacto generadas en el botadero de estériles Nevada.

Según la disposición de los pozos, un eventual efecto debido a aguas de contacto originadas en el botadero Nevada tendría que ser evidenciado primero en los pozos RE-6 y RE-8A. Por su parte, un eventual efecto debido a la construcción/operación del sistema cortafugas tendría que ser evidenciado primero por los pozos RE-14 y RE-15. En cuanto al desvío de aguas por los canales perimetrales, se espera que afecte a todos los pozos de la zona.

Un primer aspecto que debe relevarse es la inconsistencia evidenciada en los datos de los pozos RE-8AP y RE-8AS. El comportamiento que se observa en los parámetros DAR de estos pozos difiere del resto, y también difiere de lo informado por CMNSpA para los mismos pozos en el documento “Efectos del botadero Nevada en la calidad del agua subterránea” (adjunto a la Carta PL-0146/2015). Al comparar lo reportado en ambos pozos es posible presumir que los resultados fueron informados a esta Superintendencia de forma intercambiada en el período que va de marzo del año 2012 a diciembre del año 2014. Esto se visualiza claramente en la Figura 8 para los parámetros de Conductividad Eléctrica, Manganeseo y Zinc. Esta situación podría darse en el resto de los parámetros DAR de estos mismo pozos, o bien en una parte de éstos, sin que exista información que permita tener certeza de ello. En cualquier caso, es altamente probable que estos datos fueron informados incorrectamente, por lo que se deriva también que no han sido objeto de un debido control de calidad. De esta forma, su uso no permite una interpretación fiable de los resultados, por lo que serán descartados del análisis que se sigue a continuación.

6.1. Información aportada por CMNSpA

En el Informe “Efectos del botadero Nevada en la calidad del agua subterránea” (adjunto a la Carta PL-0146/2015) se presenta un análisis espacial y temporal para los parámetros pH, Conductividad Eléctrica y Sulfato realizado en los pozos RE-6P, RE-8A, pozos de la Línea N°1 y Línea N°2, RE-14 y RE-15. El análisis realizó una comparación entre la llamada situación “Pre-proyecto” (año 2005 hasta septiembre del año 2009) y la llamada situación “Post-proyecto” (octubre del año 2009 a diciembre del año 2014).

Respecto del análisis espacial, el informe muestra que la calidad histórica del agua subterránea es mejor en los sectores localizados en la sección agua arriba del río Estrecho, inmediatamente aguas abajo del Botadero Nevada (pozos RE-6P y Línea de Pozos L1). El incremento significativo en las concentraciones se da desde la Línea de Pozos L2, específicamente en el eje central de la cuenca.

En cuanto al análisis temporal, se indica que las condiciones de calidad del agua subterránea históricas se han mantenido luego del inicio del proyecto Pascua Lama y del comienzo de la depositación de estériles en el Botadero Nevada Norte.

En función de todo lo anterior, el informe concluye que no existen variaciones significativas en el tiempo que den cuenta de una eventual pluma de aguas de drenaje que provengan desde la base del Botadero Nevada Norte.

El referido informe se encuentra respaldado por la información generada, la cual fue analizada de forma independiente por esta Superintendencia. Si bien es posible confirmar lo expuesto en el documento respecto de los pozos de esta zona, no resulta posible validar la totalidad de las conclusiones. En particular no resulta posible afirmar que se hayan mantenido inalteradas las condiciones de calidad del agua subterránea históricas, tal como se expone a continuación.

6.2. Análisis de niveles

En la Figura 9 se muestra la evolución de los niveles en distintos pozos de la Zona. De la revisión de los registros es posible percatarse de tres situaciones que pueden ser diferenciadas. En primer lugar, se aprecia en el pozo RE-6P una tendencia paulatina al descenso en los niveles que se inicia el año 2009, con anterioridad al inicio de la construcción del proyecto. Tal como se mostró en el análisis histórico de precipitaciones y caudales realizado (ver Anexo 2), existe una tendencia natural a la baja en las precipitaciones, que adquiere particular relevancia a partir del año 2009. Esto último se traduce en una reducción de la recarga en los acuíferos (y por tanto una profundización de los niveles), que podría ser responsable del comportamiento observado en RE-6P. Este pozo no muestra una respuesta frente al bombeo intensivo realizado para la construcción del sistema cortafuga, por lo que se ubica fuera del área de influencia de esta actividad. Tampoco se observa una respuesta frente a la operación de los canales perimetrales, aunque por la naturaleza de la obra resulta esperable que exista algún efecto, el cual probablemente se encuentra traslapado con el efecto de la reducción en las precipitaciones. Si se compara la diferencia entre las medianas de los registros anteriores y posteriores al inicio de la construcción, se observa que hubo un descenso de 5,9 metros en RE-6P.

En segundo lugar, se observa en los pozos más cercanos al muro cortafuga (RE-14P, RE-14S y RE-15) un claro efecto del bombeo intensivo realizado durante la construcción de dicho muro. Este efecto consiste en un descenso rápido y de magnitud importante (del orden de 40 metros en RE-15), que a su vez experimenta una rápida recuperación, luego del término del bombeo. Al respecto, consta en la Carta PL-036/2017 que los registros de niveles de los pozos de la Línea 2 CW1, CW2, CW3 y CW4 (ubicados entre RE-14/RE-15 y RE-8A), también mostraron descensos que se relacionan directamente con el referido bombeo, dando cuenta así de que descenso se propagó hacia aguas arriba, al menos, hasta esa sección de la cuenca.

En tercer lugar, la misma figura muestra que la recuperación luego del bombeo intensivo no logra alcanzar los niveles previos a la intervención en RE-14P, RE-14S y RE-15, sugiriendo que existe un efecto permanente que puede asociarse al funcionamiento del sistema de manejo de aguas. En particular, puede asociarse a la operación del sistema cortafuga⁶ y al funcionamiento de los canales perimetrales. Si se compara la diferencia entre las medianas de los registros anteriores y posteriores al inicio de la construcción, se observa que hubo un descenso de 8,4 metros en RE-14P, 4,4 metros en RE-14S y 5,9 metros en RE-15⁷.

⁶ El efecto permanente podría relacionarse con la operación de los pozos de alivio, que extraen por gravedad el agua subterránea a una profundidad aproximada de 20 metros por debajo de la superficie original del terreno. En esta zona en que el nivel de agua se encontraba naturalmente cercano a la superficie, la operación de estos pozos impone una cota de "salida" de las aguas subterráneas que es más profunda que la condición de línea de base, generando así un descenso permanente en esta zona del acuífero.

⁷ Es importante destacar que no resulta trivial comparar los descensos que ocurren entre distintos pozos, puesto que su magnitud no depende únicamente de los cambios en la cantidad de recurso hídrico disponible, sino también de las propiedades locales del acuífero en el lugar donde se emplaza cada pozo, en particular del almacenamiento específico.

6.3. Análisis de parámetros DAR

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos al evaluar las excedencias del período 2012/2013 respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción. Se destaca en rojo los porcentajes que exceden el 34%, que es el valor de excedencia característico asociado a (i) una superación del P66, o bien a (ii) valores inferiores al P34 (en el caso del pH).

Tabla 5. Comparación entre los datos del período 2012/2013 y el P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción para la Zona 1 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período 2012/2013 respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
RE-6P	81,8	81,8	90,9	18,2	9,1	90,9	36,4	81,8	72,7
RE-14P	4,8	0,0	16,7	0,0	90,0	10,0	40,0	90,0	60,0
RE-14S	1,7	0,0	40,0	30,0	50,0	0,0	20,0	40,0	30,0
RE-15	0,0	0,0	20,0	10,0	0,0	0,0	10,0	20,0	0,0

Se aprecia que en todos los pozos, salvo en RE-15, existen parámetros que superan el 34%, siendo el pozo con más excedencias RE-6P.

En la Tabla 6 se presenta, en los mismos términos, los resultados obtenidos al evaluar las excedencias del período post-construcción respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción.

Tabla 6. Comparación entre los datos del período post-construcción y el P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción para la Zona 1 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período post-construcción respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
RE-6P	47,3	58,2	85,5	29,1	5,5	85,5	29,1	68,7	65,5
RE-14P	11,9	8,5	71,2	10,2	78,0	42,4	57,6	74,6	69,5
RE-14S	28,0	10,2	59,3	30,5	62,7	33,9	42,4	57,6	59,3
RE-15	3,5	19,3	66,7	59,6	26,3	17,5	29,8	42,1	42,1

Se aprecia que en todos los pozos existen parámetros que superan el 34%, y que existen más superaciones que para el período 2012/2013.

En la Figura 10 se muestra gráficamente una comparación del P66 (o P34 para el pH) de los períodos objetivo con los del período pre-construcción. En términos espaciales la figura muestra una clara diferencia entre RE-6P y los pozos RE-14P, RE-14S y RE-15, teniendo los tres últimos una concentración significativamente mayor de metales que el primero. Esto no es más que una manifestación de la zona mineralizada descrita en la línea de base, que se desarrolla con mayor intensidad aguas abajo de RE-6P. Si bien existen cambios en la calidad del agua de RE-6P respecto de la situación pre-construcción, los parámetros DAR siguen diferenciándose notablemente de los pozos ubicados aguas abajo, sin que exista evidencia de que haya sufrido un proceso de mineralización significativo. Cabe mencionar que este pozo, que es el más cercano al depósito Nevada Norte, tiene concentraciones de metales sustancialmente inferiores a los esperables producto del drenaje ácido de mina que podría generarse en el botadero Nevada Norte⁸. Por su parte, los pozos RE-14P, RE-14S y RE-15 también muestran cambios en su calidad del agua, pero se mantienen consistentemente dentro del rango de alta mineralización, con ciertos parámetros DAR que han aumentado y otros que han disminuido, aunque fluctuando dentro del mismo orden de magnitud⁹.

En términos temporales, en el Apéndice 6-1 se incluye un análisis para cada parámetro DAR en cada uno de los pozos de la zona. En la mayoría de los parámetros se reconoce un comportamiento particular para cada pozo, que se ejemplifica con el comportamiento del sulfato (ver Figura 11), que es el parámetro que muestra más

⁸ En el Anexo II-I de la Adenda II del procedimiento de evaluación del proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama” (RCA N°024/2006), se incluye el “Modelo predictivo revisado de la geoquímica de las filtraciones para la escombrera de roca estéril Nevada Norte”. En las Tablas 6.2 y 6.3 del referido documento, se presentan los resultados del modelo bajo distintos escenarios climáticos y geoquímicos, en los cuales se proyecta la composición de las filtraciones al pie del depósito de Estériles. Si se consideran las predicciones al sexto año bajo un escenario climático seco (ya sea con o sin sorción a la ferrihidrita), los resultados de la modelación para el sulfato llegan a ser del orden de 40 veces superiores al máximo valor medido en RE-6P. Si se considera el escenario climático promedio, esta diferencia es del orden de 20 veces.

⁹ En particular, los incrementos detectados se mantienen entre una y dos veces el valor pre-construcción, salvo alguna excepción puntual y aislada (arsénico en RE-15 y hierro en RE-6P).

excedencias de su línea de base considerando las Tablas 5 y 6, y es además un indicador característico del drenaje ácido.

En el pozo RE-6P se aprecia que los niveles de sulfato se mantienen generalmente entre 200 y 300 mg/l, con una leve tendencia al aumento, salvo valores aislados puntualmente altos. No se aprecia la influencia del bombeo ni algún efecto significativo debido al sistema de manejo de aguas.

En los pozos RE-14P y RE-14S se evidencia que el bombeo tuvo un efecto de dilución importante, probablemente debido a la mezcla de aguas generada por el bombeo intensivo, con una predominancia de aguas de deshielo bajas en metales que favoreció la dilución. Luego de la entrada en funcionamiento del sistema de manejo de agua se produjo un aumento en la concentración de sulfato, que se aprecia especialmente desde el año 2013 en adelante.

Por su parte, en el pozo RE-15 no se evidencia algún comportamiento particular debido al bombeo, y tampoco resulta claro cuál es el efecto inducido por la entrada en funcionamiento del sistema de manejo de agua.

6.4. Conclusiones Zona 1

Con posterioridad al inicio de la construcción del proyecto se detectó una profundización de los niveles del agua subterránea que puede asociarse a causas naturales (disminución de las precipitaciones) y también a la intervención del proyecto, particularmente al bombeo intensivo realizado durante la construcción del sistema cortafuga y al funcionamiento del sistema de manejo de aguas (canales perimetrales y pozos de alivio).

En cuanto a la calidad del agua, no se advierte en ella una influencia producto de la depositación de estériles en el botadero Nevada Norte, por cuanto (i) no se aprecian cambios relevantes en los parámetros DAR medidos en RE-6P, y (ii) la calidad del agua en la parte alta (dada por RE-6P) es significativamente mejor que en los pozos ubicados aguas abajo, que son los que se encuentran más influenciados por la mineralización natural de la zona. Sin perjuicio de lo anterior, sí se detectó un efecto en RE-14P y RE-14S, que mostraron una respuesta asociada al sistema cortafuga y al funcionamiento del sistema de manejo de aguas. Mientras que el bombeo intensivo generó una disminución puntual en la concentración de metales (probablemente por una dilución inducida por la mezcla con aguas de deshielo), el sistema de manejo de aguas produjo posteriormente un aumento en las concentraciones debido a la reducción de los aportes de aguas limpias de deshielo (desvío de agua en canales perimetrales).

Los datos de calidad del agua del pozo RE-15, si bien muestran ciertas excedencias del P66 (P34 para el pH) pre-construcción, no son concluyentes en cuanto a evidenciar efectos asociados a la ejecución del proyecto.

En términos generales, es posible concluir que el proyecto generó un efecto tanto en la profundidad de los niveles como en la calidad del agua de la Zona 1, lo cual puede ser especialmente notorio en el entorno del muro cortafuga. Aun así, es probable que la disminución de las precipitaciones haya contribuido en parte a los efectos observados, aunque en ningún caso permite explicarlos por sí sola.

7. Análisis de la Zona 2: efectos en la zona bajo el muro cortafuga

Esta zona posee 2 pozos adecuados para el análisis que representan distintos materiales y profundidades, aunque una única ubicación. Estos son RE-17P y RE-17S, cuyo emplazamiento junto con el de otros elementos de relevancia se muestra en la Figura 7. Según se estableció en el modelo conceptual (ver Anexo 4), esta zona puede ser influenciada por ciertas obras/acciones relacionadas con el proyecto. De ellas, las más relevantes para el caso son las siguientes:

- Bombeo intensivo realizado durante la construcción del sistema cortafuga para deprimir niveles.
- Intervención de las nacientes del río Estrecho.
- Desvío de aguas de deshielo por los canales perimetrales del sistema de manejo de aguas de no contacto.
- Interrupción del flujo subterráneo pasante por intercepción en el sistema cortafuga.

7.1. Información aportada por CMNSpA

En el Informe “Minuta Calidad de Agua Subterránea Aguas Abajo Muro Cortafugas” (adjunto a la Carta PL-0146/2015) se presenta un análisis espacial y temporal para los parámetros DAR y de la profundidad del agua subterránea, realizado en los pozos de la Línea N°4, BT-1, BT-3 y NEV-3. De estos pozos, los que se ubican en la Zona 2 son los pozos de la Línea N°4 (L4).

Dado que los pozos de la Línea N°4 (PM-1 a PM-6) no cuentan con datos de línea de base, el análisis que se realizó se enfoca en establecer la variación espacial de la calidad del agua en la sección donde se emplazan los pozos, y describir la tendencia que siguen los distintos parámetros en el tiempo.

Respecto del análisis espacial, el referido informe da cuenta de diferencias significativas entre los pozos, lo que refleja la gran heterogeneidad de los materiales presentes en el sistema acuífero y el efecto que tiene en la calidad del agua subterránea. En efecto, pozos que se localizan muy cerca unos de otros presentan diferencias significativas en la calidad del agua. En concreto, los pozos ubicados en el centro del cauce (PM-2 y PM-3) muestran altas concentraciones de metales y pH ácido (drenaje ácido), en comparación con los pozos ubicados en los márgenes del cauce (PM-1 y PM-6). Esto es el reflejo de la recarga de aguas de buena calidad, que ocurren mayormente a través de los bordes del cauce durante los deshielos (corroborado por los datos de niveles).

En cuanto al análisis temporal, el informe concluye que la calidad del agua subterránea no ha cambiado luego de la construcción de los pozos de monitoreo, y que no se observan efectos de mezclas de agua entre pozos cercanos dentro de la línea L4, lo que pudiera indicar la existencia de una pluma o fuente de contaminación activa hacia sectores localizados aguas abajo en la cuenca.

En función de todo lo anterior el documento concluye que no existen flujos a través del sistema cortafuga, ya que de otra forma se habrían observado cambios temporales en la calidad del agua subterránea monitoreada desde dichos pozos.

El referido informe se encuentra respaldado por la información generada, la cual fue analizada de forma independiente por esta Superintendencia. Al respecto, debe mencionarse que el registro continuo de información en los pozos de la Línea N°4 comenzó en el año 2013, por lo que no cuenta con información previa a la ejecución del proyecto. En particular, no cuenta con información de los años 2010, 2011 y 2012¹⁰, que son los años en que se realizó una intervención intensiva en el acuífero y la red hidrológica que lo alimenta. Considerando este déficit de información, queda en evidencia que estos pozos no permiten obtener conclusiones respecto de los efectos que se derivaron desde el inicio de la depositación de estériles en el Botadero Nevada Norte y, a la construcción y entrada en funcionamiento del sistema de manejo de aguas de contacto, sino solo del estado posterior a la intervención del proyecto.

7.2. Análisis de niveles

El análisis de la evolución de los niveles en RE-17P y RE-17S se muestra en la Figura 12. Es posible apreciar que el comportamiento tiene una marcada influencia de la estacionalidad. Es así como los niveles aumentan durante el período de deshielo y luego disminuyen progresivamente hasta el siguiente período de deshielos, generando una fluctuación anual típicamente del orden de 4 a 5 metros. Al igual que en la zona anterior se observa una tendencia -aunque leve- a la profundización de los niveles a partir del año 2009, lo cual podría estar relacionado con la tendencia natural a la baja en las precipitaciones, que incide en la recarga de los acuíferos.

En cuanto a los efectos derivados del proyecto, no se observa una respuesta ante el bombeo intensivo, lo cual permite suponer que el lugar de emplazamiento de los pozos se encuentra más abajo del área de influencia de dicha actividad. Por otra parte, resulta claro que el factor más influyente en la dinámica de las aguas subterráneas es la implementación del sistema de manejo de aguas del proyecto. En la citada figura es posible observar claramente que, luego de la implementación de este sistema, se produjo una profundización progresiva de los niveles y una reducción en la magnitud de las fluctuaciones, lo cual es un reflejo de la pérdida de recarga en el sector donde se ubica el pozo. Esta pérdida puede ser atribuida principalmente al funcionamiento de los canales perimetrales, que desvían parte de la recarga originada durante los deshielos y que entra al sistema por las laderas, aunque también podría haber una influencia por la pérdida de flujo subterráneo pasante debido al funcionamiento del sistema cortafuga. Se observa también que los niveles previos a los deshielos se estabilizan rápidamente, dando cuenta de una condición de base aparentemente estable. Por el contrario, los niveles durante los períodos

¹⁰ En estos tres años existe solo un mes con datos, fruto de un muestreo realizado durante el año 2012.

de deshielos descienden progresivamente, sin que se haya alcanzado un equilibrio hasta el momento del análisis (diciembre del año 2015).

7.3. Análisis de parámetros DAR

De forma análoga a lo realizado para la Zona 1, se presenta en las Tablas 7 y 8 los resultados obtenidos al evaluar las excedencias de los períodos objetivo respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción. Se destaca en rojo los porcentajes que exceden el 34%, que es el valor de excedencia característico asociado a (i) una superación del P66, o bien a (ii) valores inferiores al P34 (en el caso del pH).

Tabla 7. Comparación entre los datos del período 2012/2013 y el P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción para la Zona 2 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período 2012/2013 respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
RE-17P	0,0	16,7	16,7	0,0	100,0	16,7	50,0	91,7	83,3
RE-17S	0,0	58,3	58,3	8,3	75,0	16,7	58,3	66,7	58,3

Tabla 8. Comparación entre los datos del período post-construcción y el P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción para la Zona 2 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período post-construcción respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
RE-17P	11,1	43,1	62,5	6,9	66,7	13,9	56,9	63,9	80,6
RE-17S	11,3	36,6	52,1	8,5	66,2	33,8	57,7	57,7	59,2

Se aprecia que para los parámetros pH, arsénico y hierro no se excede el 34%, mientras que para el resto de los parámetros DAR se excede dicho porcentaje.

En la Figura 13 se muestra gráficamente una comparación del P66 (o P34 para el pH) de los períodos objetivo con los del período pre-construcción. En términos espaciales los valores medidos en RE-17P y RE-17S se condicen con la manifestación de la zona mineralizada descrita en la línea de base, que se observa también en algunos pozos de la Zona 1. Se aprecia igualmente que los cambios detectados se mantienen consistentemente dentro del rango de alta mineralización, con un aumento en la mayoría de los parámetros DAR, aunque dentro del mismo orden de magnitud¹¹. El único caso que presenta un aumento mayor es el del cobre en el período 2012/2013, que alcanzó un valor de más de tres veces el valor pre-construcción.

En términos temporales, en el Apéndice 6-2 se incluye un análisis para cada parámetro DAR en cada uno de los pozos de la zona. En la mayoría de los parámetros se reconoce un comportamiento similar, que se ejemplifica con el comportamiento del sulfato (ver Figura 14), que es un indicador característico del drenaje ácido. Este comportamiento también puede relacionarse en cierta medida con el que se observó en los pozos RE-14P y RE-14S de la Zona 1. En este comportamiento se identifica una alteración del comportamiento cíclico estacional, que ocurre desde el año 2011. Posteriormente, se observa un aumento en las concentraciones que coincide con la entrada en funcionamiento del sistema de manejo de agua. Este aumento de concentraciones puede ser asociado a la disminución de la recarga evidenciada por la profundización de niveles ya descrita, fruto de lo cual se pierde capacidad de dilución del drenaje ácido presente naturalmente.

7.4. Conclusiones Zona 2

Con posterioridad al inicio de la construcción del proyecto se detectó una profundización de los niveles y un deterioro en la calidad del agua subterránea. Lo anterior puede asociarse en parte a causas naturales (disminución de las precipitaciones), pero por sobre todo a la intervención del proyecto, particularmente al funcionamiento del sistema de manejo de aguas, y más específicamente al desvío de aguas por los canales perimetrales. Es probable que a estos efectos contribuya también la pérdida de flujo subterráneo pasante debido al funcionamiento del sistema cortafuga, y la intervención de las nacientes del río Estrecho, sin embargo, la información disponible no permite identificar ni cuantificar por separado su eventual contribución.

Es del caso señalar que la zona donde se emplazan los pozos de la Línea N°4 debe haber sufrido la influencia de estos mismo efectos, incluso en mayor medida debido a su cercanía al muro cortafuga. Sin embargo, solo se tienen

¹¹ En particular, los incrementos detectados se mantienen entre una y dos veces el valor pre-construcción.

registros continuos en estos pozos a partir del año 2013, por lo que no resulta posible constatar estos efectos a partir de los datos disponibles, sino únicamente la situación posterior a la ocurrencia de éstos.

8. Análisis de la Zona 3: efectos en la zona bajo la restitución de los canales perimetrales

Esta zona posee 3 pozos, a saber BT-1, BT-2 y BT-3, cuyo emplazamiento junto con el de otros elementos de relevancia se muestra en la Figura 7. Según lo establecido en al línea de base del EIA, los dos primeros pozos no muestran signos de drenaje ácido y tienen una importante influencia de la quebrada La Olla (aguas de buena calidad), mientras que el tercero muestra una marcada presencia de drenaje ácido de origen natural. Estos pozos son surgentes, a diferencia del resto de los pozos en las zonas ubicadas aguas arriba, lo que permite diferenciarlos en cuanto a su comportamiento hidráulico.

Atendido lo anterior, y tal como se estableció en el modelo conceptual (ver Anexo 4), los pozos de esta zona no debieran experimentar efectos asociados a la intervención del proyecto en la zona mineralizada, puesto que no existe evidencia de una conexión subterránea entre la Zona 2 y la Zona 3.

8.1. Información aportada por CMNSpA

En el Informe “Minuta Calidad de Agua Subterránea Aguas Abajo Muro Cortafugas” (adjunto a la Carta PL-0146/2015) se presenta un análisis espacial y temporal para los parámetros DAR y de la profundidad del agua subterránea, realizado en los pozos de la Línea N°4, BT-1, BT-3 y NEV-3. De estos pozos, los que se ubican en la Zona 3 son BT-1 y BT-3. El análisis muestra la evolución histórica de los parámetros DAR de dichos pozos.

Respecto del análisis espacial, se destaca la diferencia que existe en la calidad del agua de BT-1 y BT-3. Mientras que BT-3 muestra condiciones naturalmente ácidas y cargadas en metales, la calidad del agua en BT-1 resulta notablemente mejor.

El informe releva también un aspecto de suma relevancia que tiene que ver con la conexión subterránea entre la Zona 3 y la Zona 2. Al respecto, se explica que la presencia de esta zona surgente genera condiciones de aislamiento hidráulico entre los sectores localizados arriba y abajo de los pozos BT-1 y BT-3.

En cuanto al análisis temporal, el informe concluye que la calidad del agua subterránea no ha cambiado respecto de lo que se observó en la etapa previa al inicio de la construcción, en el mes de septiembre de 2009.

El referido informe se encuentra respaldado por la información generada, la cual fue analizada de forma independiente por esta Superintendencia. Si bien es posible confirmar lo expuesto en el documento respecto de los pozos de esta zona, resulta necesario introducir ciertas precisiones en las conclusiones. En particular, se observó que varios de los parámetros DAR presentan una tendencia al alza, por lo que el comportamiento no puede ser considerado en equilibrio, sino más bien en evolución. De esta forma, al decir que la calidad del agua subterránea no ha cambiado respecto de lo que se observó en la etapa previa al inicio de la construcción, se desconoce en el informe, la tendencia al alza que han seguido ciertos parámetros, y que determina que naturalmente puedan presentar ciertos valores superiores a los medidos históricamente.

8.2. Análisis de niveles

Tal como se indica en la referida “Minuta Calidad de Agua Subterránea Aguas Abajo Muro Cortafugas”, la información de niveles de los pozos BT no se encuentra disponible ya que son pozos del tipo surgente¹². Debido a lo anterior, este aspecto no puede ser analizado.

8.3. Análisis de parámetros DAR

De forma análoga a lo realizado para las zonas anteriores, se presenta en las Tablas 9 y 10 los resultados obtenidos al evaluar las excedencias de los períodos objetivo respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-

¹² Si bien esta condición no es un impedimento para que se midan los niveles piezométricos en los pozos, en la práctica CMNSpA declara no contar con dicha información.

construcción. Se destaca en rojo los porcentajes que exceden el 34%, que es el valor de excedencia característico asociado a (i) una superación del P66, o bien a (ii) valores inferiores al P34 (en el caso del pH).

Tabla 9. Comparación entre los datos del período 2012/2013 y el P66 (o P34 para el pH) de los datos del período pre-construcción para la Zona 3 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período 2012/2013 respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
BT-1	33,3	100,0	41,7	0,0	8,3	0,0	16,7	91,7	41,7
BT-2	33,3	75,0	33,3	0,0	0,0	8,3	16,7	91,7	16,7
BT-3	0,0	66,7	66,7	0,0	41,7	33,3	83,3	100,0	63,6

Tabla 10. Comparación entre los datos del período post-construcción y el P66 (o P34 para el pH) de los datos del período pre-construcción para la Zona 3 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período post-construcción respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
BT-1	54,5	98,5	22,7	0,0	1,5	12,1	18,2	97,0	34,8
BT-2	51,7	91,4	17,2	0,0	0,0	10,3	15,5	86,2	27,6
BT-3	6,3	75,0	89,1	0,0	67,2	43,8	95,3	96,8	92,1

Se observa que BT-1 y BT-2 muestran variaciones bastante similares, mientras que BT-3 presenta un comportamiento marcadamente distinto. Esto no es más que un reflejo de los distintos orígenes que tienen las aguas de BT-3 respecto de los otros dos pozos. En cualquier caso, en todos los pozos existen varios parámetros en que se excede el 34%, aunque esta situación es más marcada en BT-3 que en el resto.

En la Figura 15 se muestra gráficamente una comparación del P66 (o P34 para el pH) de los períodos objetivo con los del período pre-construcción. En términos espaciales los valores indican que en BT-3 existe manifestación de la zona mineralizada descrita en la línea de base, que se observaba también en ciertos pozos de la Zona 1 y 2. Los pozos BT-1 y BT-2 muestran aguas muy distintas, caracterizadas por un pH neutro-alcálico, baja conductividad eléctrica (menor a 500 uS/cm) y un contenido de metales muy inferior a los detectados en la zona mineralizada. Se aprecia igualmente que los cambios detectados se mantienen consistentemente dentro del rango de alta mineralización para BT-3 y dentro del rango de baja mineralización para BT-1 y BT-2. Si bien se constata que existe cierta variabilidad en los valores de los parámetros DAR, estos se mantienen dentro del mismo orden de magnitud que previo a la intervención del proyecto¹³.

En términos temporales, en el Apéndice 6-3 se incluye un análisis para cada parámetro DAR en cada uno de los pozos de la zona. En la mayoría de los parámetros medidos en BT-1 y BT-2 no se observa alguna tendencia en la evolución de los datos, salvo en la conductividad eléctrica y el sulfato que muestran una tendencia sostenida al alza que se origina previo al inicio de la ejecución del proyecto, y el pH que registró valores más ácidos que lo usual, puntualmente durante el año 2014 (aunque superiores a 6,5 en BT-1 y superiores a 6 en BT-2). La situación en BT-3 es diferente, puesto que la mayoría de los parámetros muestra una tendencia sostenida al alza que se origina previo al inicio de la ejecución del proyecto (aluminio, manganeso, sulfato y zinc), seguido de aquellos que no muestran una tendencia reconocible (arsénico, cobre, hierro y pH), y quedando la conductividad eléctrica como un caso aparte. En este último parámetro se observa una clara tendencia al alza entre el año 2007 y fines del año 2011 en la cual el valor llega hasta los 4.000 uS/cm, para luego descender bruscamente a valores que se mantienen en torno a 3.100 uS/cm hasta el final de los registros graficados (junio de 2015). Para ejemplificar la tendencia al alza observada en algunos parámetros se muestra en la Figura 16 la evolución del sulfato en los pozos de la Zona 3.

8.4. Conclusiones Zona 3

Dada la ubicación y las características de los pozos BT-1, BT-2 y BT-3, resulta posible descartar que los impactos que se generan en las Zonas 1 y 2 puedan verse reflejados en sus registros. Esto es particularmente evidente en los pozos BT-1 y BT-2, que muestran una calidad del agua significativamente distinta (mejor) a la de los pozos ubicados en las referidas zonas, lo cual revela sus distintos orígenes (BT-1 y BT-2 están relacionados con la quebrada La Olla). En cuanto al pozo BT-3, si bien muestra una mineralización de características similares a las que se encuentran en las Zonas 1 y 2, su comportamiento en el tiempo difiere significativamente de los pozos ubicados en dichas zonas, lo cual confirma la desconexión existente entre la Zona 3 y las zonas ubicadas aguas arriba.

¹³ En particular, los incrementos detectados se mantienen entre una y dos veces el valor pre-construcción.

Sin perjuicio de lo anterior, en todos los pozos existen varios parámetros en que se excede el P66 (P34 para el pH). Esta situación da cuenta de que la utilización de este estadístico no permite por si solo una adecuada diferenciación entre los impactos derivados del proyecto en las Zonas 1 y 2 y el comportamiento natural, que ha mostrado una tendencia al alza en el tiempo para ciertos parámetros, sobre todo en BT-3.

9. Análisis de la Zona 4: efectos en la zona bajo la descarga de aguas de contacto tratadas

Esta zona cuenta únicamente con suficiente información del pozo NEV-3, cuyo emplazamiento junto con el de otros elementos de relevancia se muestra en la Figura 7. Según lo establecido en la línea de base del EIA, este pozo no tiene características de mineralización, sino que por el contrario, presenta una buena calidad del agua.

La característica anterior contrasta con las aguas mineralizadas que se encuentran en las partes más altas de la cuenca (Zona 1 y Zona 2), a unos 4 km de distancia hacia aguas arriba. Atendido lo anterior, y tal como se estableció en el modelo conceptual (ver Anexo 4), esta zona no debiera experimentar efectos asociados a la intervención del proyecto en la zona mineralizada, puesto que no existe evidencia de una conexión entre ambas.

9.1. Información aportada por CMNSpA

En el Informe “Minuta Calidad de Agua Subterránea Aguas Abajo Muro Cortafugas” (adjunto a la Carta PL-0146/2015) se presenta un análisis espacial y temporal para los parámetros DAR y de la profundidad del agua subterránea, realizado en los pozos de la Línea N°4, BT-1, BT-3 y NEV-3. De estos pozos, el único que se ubica en la Zona 4 es NEV-3.

El análisis realizado en ese informe muestra la evolución histórica de los parámetros DAR de NEV-3, fruto de lo cual se concluye que no hay cambios de ningún tipo con respecto a las condiciones previas al inicio del proyecto.

El referido informe se encuentra respaldado por la información generada, la cual fue analizada de forma independiente por esta Superintendencia. Si bien es posible confirmar lo expuesto en el documento respecto del pozo NEV-3, resulta necesario introducir ciertas precisiones en las conclusiones. En particular, se observó que algunos de los parámetros DAR presentan una tendencia al alza, por lo que el comportamiento no puede ser considerado en equilibrio, sino más bien en evolución. De esta forma, al decir que la calidad del agua subterránea no ha mostrado cambios “de ningún tipo” respecto de lo que se observó en la etapa previa al inicio de la construcción, el informe desconoce la tendencia al alza que han seguido ciertos parámetros, y que determina que naturalmente puedan presentar ciertos valores superiores a los medidos históricamente.

9.2. Análisis de niveles

El análisis de la evolución de los niveles en NEV-3 se muestra en la Figura 17. Es posible apreciar que el comportamiento se ha mantenido estable en el tiempo, típicamente dentro del rango de 1,5 a 2 m de profundidad. Se observan ciertos valores de están por sobre o bajo este rango durante la línea de base, lo cual responde probablemente a ciclos interanuales de mayor o menor recarga. Posterior al inicio de la construcción, los valores se mantienen dentro del mismo rango, pero la magnitud de las fluctuaciones interanuales observada es menor, salvo durante el período 2014/2015. En este último período se observa una profundización en los niveles que, no obstante, es seguida de una rápida recuperación a los niveles normales, sin que exista información que permita asociar este comportamiento a alguna circunstancia en particular (vinculada o no con el proyecto).

Dado el comportamiento observado, no resulta posible establecer la ocurrencia de impactos derivados del proyecto en los niveles en NEV-3. Por lo demás, y dadas las características del emplazamiento de NEV-3, resulta probable que el agua del pozo esté asociado a una recarga de carácter local, desconectada de lo que ocurre en la zona mineralizada ubicada aguas arriba en la cuenca del río Estrecho.

9.3. Análisis de parámetros DAR

De forma análoga a lo realizado para las zonas anteriores, se presenta en las Tablas 11 y 12 los resultados obtenidos al evaluar las excedencias de los períodos objetivo respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-

construcción. Se destaca en rojo los porcentajes que exceden el 34%, que es el valor de excedencia característico asociado a (i) una superación del P66, o bien a (ii) valores inferiores al P34 (en el caso del pH).

Tabla 11. Comparación entre los datos del período 2012/2013 y el P66 (o P34 para el pH) de los datos del período pre-construcción para la Zona 4 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período 2012/2013 respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
NEV-3	58,3	91,7	16,7	0,0	8,3	8,3	25,0	100,0	33,3

Tabla 12. Comparación entre los datos del período post-construcción y el P66 (o P34 para el pH) de los datos del período pre-construcción para la Zona 4 (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período post-construcción respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción								
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn
NEV-3	79,7	93,2	32,2	10,2	3,4	16,9	35,6	86,2	33,9

Se aprecia que en NEV-3 se excede el 34% en los parámetros pH, Conductividad Eléctrica y Sulfato.

En la Figura 18 se muestra gráficamente una comparación del P66 (o P34 para el pH) de los períodos objetivo con los del período pre-construcción. En términos espaciales los valores indican que en NEV-3 se registra un pH en torno a neutro, baja conductividad eléctrica (menor a 250 uS/cm) y un contenido de metales muy inferior a los detectados en la zona mineralizada. Se aprecia igualmente que los cambios detectados se mantienen consistentemente dentro del rango de baja mineralización. Si bien se constata que existe cierta variabilidad en los valores de los parámetros DAR, estos se mantienen dentro del mismo orden de magnitud que previo a la intervención del proyecto¹⁴.

En términos temporales, en el Apéndice 6-4 se incluye un análisis para cada parámetro DAR en NEV-3. En la mayoría de los parámetros no se observa una tendencia clara (aluminio, arsénico, cobre, hierro, manganeso), pero en la conductividad eléctrica y el sulfato se reconoce una tendencia al alza desde el año 2009¹⁵ (ver Figura 19), mientras que en el pH se observa una disminución (aunque se mantiene cercano al neutro, con valores típicamente superiores a 6).

9.4. Conclusiones Zona 4

Por la ubicación del pozo NEV-3 y las características que muestra la calidad del agua, resulta posible descartar que los impactos que se generan en las Zonas 1 y 2 puedan ser detectados en dicho pozo.

Sin perjuicio de lo anterior, existen ciertos parámetros en que se excede el P66 (P34 para el pH). Esta situación da cuenta de que la utilización de este estadístico no permite por sí solo una adecuada diferenciación entre los impactos derivados del proyecto en las Zonas 1 y 2 y el comportamiento natural, que ha mostrado una tendencia al alza en el tiempo para ciertos parámetros.

10. Análisis integrado considerando todas las Zonas

A continuación se analiza la situación general considerando toda la información expuesta anteriormente.

10.1. Análisis de niveles

Para el análisis integrado de niveles se consideró como referencia el pozo NEV-3, que es el único pozo con datos que está fuera del área de influencia, tanto del bombeo intensivo, como del sistema de manejo de aguas. Se seleccionó también al pozo RE-17S, que se encuentra fuera del área de influencia del bombeo intensivo, pero dentro del área de influencia del sistema de manejo de aguas. Por último, se consideró el pozo RE-14S que se encuentra dentro el área de influencia del bombeo intensivo y del sistema de manejo de aguas. En la Figura 20 se

¹⁴ En particular, los incrementos detectados se mantienen entre una y dos veces el valor pre-construcción.

¹⁵ En el caso de la conductividad eléctrica, esta tendencia se interrumpe el año 2014, mismo año en que se observa una profundización anormal del nivel de agua en el pozo. Esta relación puede ser indicadora de la ocurrencia de alguna situación particular (natural o de origen antrópica), respecto de lo cual no se tienen mayores antecedentes.

comparan los niveles de los mencionados pozos, fruto de lo cual es posible aislar las causas que explican los diferentes efectos observados. De lo anterior se desprende lo siguiente:

- Los niveles en la Zona 1 fueron afectados por la ejecución del proyecto debido a (i) el bombeo intensivo realizado durante la construcción del sistema cortafuga y (ii) al funcionamiento del sistema de manejo de agua. Respecto de lo último, los efectos pueden derivarse especialmente del funcionamiento de los canales perimetrales y de los pozos de alivio.
- Al igual que en la Zona 1, los niveles en la Zona 2 fueron afectados por la ejecución del proyecto. Sin embargo, solo se cuenta con información de los pozos RE-17S y RE-17P, que están fuera del área de influencia del bombeo intensivo realizado, por lo cual solo se puede evidenciar el efecto derivado del funcionamiento del sistema de manejo de agua. Ello no quita que se haya manifestado un efecto causado por el bombeo intensivo, o por la pérdida de flujo subterráneo pasante, en el sector más cercano al muro cortafuga, aunque no se cuenta con información para corroborarlo.
- Los niveles en la Zona 3 corresponden a pozos surgentes en los cuales no se cuenta con información, por lo cual nada puede concluirse respecto de esta materia.
- En la Zona 4 los niveles no muestran un descenso, salvo puntualmente en el período que va entre julio del año 2014 y marzo del año 2015. Excluyendo este episodio, lo que se observa desde el año 2009 es más bien una reducción en la variabilidad de los niveles, que se mantienen más estables entre 1,5 y 2 m de profundidad. Este comportamiento daría cuenta de la condición natural en el entorno de NEV-3.

Debe tenerse en cuenta que existe una respuesta del sistema subterráneo a la reducción natural de las precipitaciones ya descrita, y que se traduce también en una profundización de los niveles y/o en una reducción de las fluctuaciones estacionales.

10.2. Análisis de parámetros DAR

En las Tablas 13 y 14 se presentan los resultados obtenidos al evaluar las excedencias de los períodos objetivo respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción. Se destaca en rojo los porcentajes que exceden el 34%, que es el valor de excedencia característico asociado a (i) una superación del P66, o bien a (ii) valores inferiores al P34 (en el caso del pH). Al comparar los distintos pozos no se observan diferencias muy marcadas, sino que por el contrario, los pozos en distintas zonas presentan varias excedencias, muchas de las cuales tienen parámetros en común. Llama la atención especialmente que en los pozos de la Zona 3 y 4, que no son susceptibles de reflejar los impactos de la construcción del proyecto y la puesta en marcha del sistema de manejo de aguas, ocurren excedencias en varios parámetros. Es más, en el caso del sulfato, el mayor nivel de excedencia se da precisamente en estas zonas. Esto último demuestra que, el ejercicio de comparación de los datos con el P66 pre-construcción, no permite necesariamente identificar por sí solo los efectos derivados del proyecto.

Tabla 13. Comparación entre los datos del período 2012/2013 y el P66 (o P34 para el pH) de los datos del período pre-construcción para todos los pozos (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período 2012/2013 respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción										Total de datos de parámetros DAR por pozo		
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn	N° Excedencias			
										N° Excedencias	N° Registros	% Excedencia	
RE-6P	81,8	81,8	90,9	18,2	9,1	90,9	36,4	81,8	72,7	62	99	62,6	
RE-14P	4,8	0,0	16,7	0,0	90,0	10,0	40,0	90,0	60,0	38	90	42,2	
RE-14S	1,7	0,0	40,0	30,0	50,0	0,0	20,0	40,0	30,0	22	90	24,4	
RE-15	0,0	0,0	20,0	10,0	0,0	0,0	10,0	20,0	0,0	6	91	6,6	
RE-17P	0,0	16,7	16,7	0,0	100,0	16,7	50,0	91,7	83,3	45	108	41,7	
RE-17S	0,0	58,3	58,3	8,3	75,0	16,7	58,3	66,7	58,3	48	108	44,4	
BT-1	33,3	100,0	41,7	0,0	8,3	0,0	16,7	91,7	41,7	40	108	37,0	
BT-2	33,3	75,0	33,3	0,0	0,0	8,3	16,7	91,7	16,7	33	108	30,6	
BT-3	0,0	66,7	66,7	0,0	41,7	33,3	83,3	100,0	63,6	53	106	50,0	
NEV-3	58,3	91,7	16,7	0,0	8,3	8,3	25,0	100,0	33,3	41	108	38,0	
										TOTAL	388	1016	38,2

Tabla 14. Comparación entre los datos del período post-construcción y el P66 (o P34 para el pH) de los datos del período pre-construcción para todos los pozos (Fuente: elaboración propia).

	Excedencia (%) de los datos del período post-construcción respecto del P66 (o P34 para el pH) del período pre-construcción										Total de datos de parámetros DAR por pozo		
	pH	C.E.	Al	As	Cu	Fe	Mn	SO4	Zn	Total de datos de parámetros DAR por pozo			
										N° Excedencias	N° Registros	% Excedencia	
RE-6P	47,3	58,2	85,5	29,1	5,5	85,5	29,1	68,7	65,5	269	507	53,1	
RE-14P	11,9	8,5	71,2	10,2	78,0	42,4	57,6	74,6	69,5	250	531	47,1	
RE-14S	28,0	10,2	59,3	30,5	62,7	33,9	42,4	57,6	59,3	217	531	40,9	
RE-15	3,5	19,3	66,7	59,6	26,3	17,5	29,8	42,1	42,1	175	513	34,1	
RE-17P	11,1	43,1	62,5	6,9	66,7	13,9	56,9	63,9	80,6	292	648	45,1	
RE-17S	11,3	36,6	52,1	8,5	66,2	33,8	57,7	57,7	59,2	272	639	42,6	
BT-1	54,5	98,5	22,7	0,0	1,5	12,1	18,2	97,0	34,8	224	594	37,7	
BT-2	51,7	91,4	17,2	0,0	0,0	10,3	15,5	86,2	27,6	174	522	33,3	
BT-3	6,3	75,0	89,1	0,0	67,2	43,8	95,3	96,8	92,1	360	574	62,7	
NEV-3	79,7	93,2	32,2	10,2	3,4	16,9	35,6	86,2	33,9	230	530	43,4	
										TOTAL	2463	5589	44,1

En la Figura 21 y la Figura 22 se muestra gráficamente una comparación del P66 (o P34 para el pH) de los períodos objetivo con los del período pre-construcción. Allí se distinguen claramente los pozos que presentan mineralización (altos contenidos de metales) de los que no, y se observa que dicha condición no sufrió cambios. Es decir, los pozos que originalmente presentaban mineralización siguen presentándola en términos similares, y aquellos que no presentaban mineralización no se han mineralizado significativamente. En términos relativos, los cambios observados muestran variaciones porcentuales que se mantienen en el mismo rango si se comparan los pozos afectados por el proyecto (Zona 1 y Zona 2) y los que no han sido afectados (Zona 3 y Zona 4), salvo excepciones puntuales. Dentro de estas excepciones se cuenta un aumento del cobre en los pozos RE-17P y RE-17S durante el período 2012/2013, cuyo P66 alcanzó un valor de más de tres veces el P66 pre-construcción.

Si se analiza la evolución temporal de los parámetros DAR en los distintos pozos es posible advertir dos situaciones de relevancia:

- Existe una tendencia al alza en algunos parámetros que se manifiesta con anterioridad al inicio de la construcción del proyecto. En los pozos de la Zona 3 y 4, que no son susceptibles de ser afectados por la intervención del proyecto, se aprecia que esta tendencia se mantiene hasta al menos el año 2015. A modo de ejemplo, se muestra el comportamiento del sulfato en la Figura 23. De ello se deriva que esta tendencia al alza no puede ser relacionada con la intervención del proyecto en las Zonas 1 y 2, siendo probable que sea de origen natural. Este comportamiento es responsable de que se generen excedencias al P66 pre-construcción, sin que necesariamente puedan ser vinculadas al proyecto.
- Al analizar la evolución temporal de los parámetros DAR en distintos pozos de la Zona 1 y Zona 2 es posible apreciar que existen efectos derivados del proyecto, tal como se indicó en los numerales 6.3 y 7.3 de este Anexo. Para ilustrar esta situación se han seleccionado algunos casos en que ello es particularmente claro, y que se muestran en la Figura 24. Por ejemplo, en el caso del manganeso y del zinc en el pozo RE-14P se observa una tendencia natural al alza, tal como en los pozos de la Zona 3, la cual se ve alterada desde el momento en que comienza el bombeo intensivo realizado durante la construcción del sistema cortafuga. Este comportamiento se replica para siete de los nueve parámetros DAR de ese pozo. Asimismo, en la referida Figura se muestra también el caso del cobre y del hierro en el pozo RE-17P, donde se observa una clara alteración de ambos parámetros que se traduce en un alza para el cobre, y una disminución para el hierro.

11. Conclusiones

Se analizaron los datos de nivel y de los parámetros DAR en todos los pozos del sector alto de la cuenca del río Estrecho que contienen suficiente información. Los resultados llevan a concluir que:

- La construcción del proyecto generó un impacto en la calidad del agua subterránea derivado, en primera instancia, de la construcción del sistema cortafuga, y posteriormente debido a la entrada en funcionamiento del sistema de manejo de aguas.
- Los impactos se manifestaron tanto en la Zona 1 (aguas arriba del muro cortafuga) como en la Zona 2 (aguas abajo del muro cortafuga), ya que ambas se encuentran dentro del área de influencia del sistema cortafuga y del sistema de manejo de agua. Estos impactos se traducen en un comportamiento de los parámetros DAR distinto al natural, en el cual se observa una mayor variabilidad, sin que esta sea uniforme. Se observa así un aumento en ciertos parámetros, una disminución en otros, algunos que no muestran una variación evidente, y otros que presentan un comportamiento mixto en el tiempo.
- Las zonas 3 y 4 se encuentran fuera del área de influencia de las referidas obras, y se emplazan en un sector de características hidrogeológicas distintas a las zonas impactadas. Es por ello que se descarta la ocurrencia de impactos, lo cual se corrobora al analizar los registros correspondientes.

- Al analizar el comportamiento de los distintos pozos **durante el período 2012/2013**, se observa que no hubo un cambio en el estado de mineralización característico de cada pozo, y que las variaciones experimentadas por los pozos impactados fueron similares a las de los pozos no impactados, en términos relativos (variación porcentual), salvo para el cobre en RE-17P y RE-17S.
- Se detectó también una tendencia natural al alza de ciertos parámetros, evidenciada por el comportamiento de las zonas que no fueron impactadas. Si bien las zonas impactadas también se encuentran afectas a este fenómeno, ello en ningún caso puede explicar el comportamiento observado, que responde claramente a la influencia del proyecto, que se superpone a las variaciones de origen natural.
- En base a todo lo expuesto se concluye que el proyecto generó un impacto en la calidad del agua subterránea acotado específicamente a las zonas 1 y 2, el cual tuvo su origen inicialmente en las actividades de construcción del sistema cortafuga, y posteriormente asociado al funcionamiento del sistema de manejo de aguas. Si bien se espera que el impacto asociado a lo último sea de carácter permanente, por sus características (ubicación, extensión y magnitud) se estima que no reúne las condiciones para ser calificado como significativo.

FIGURAS

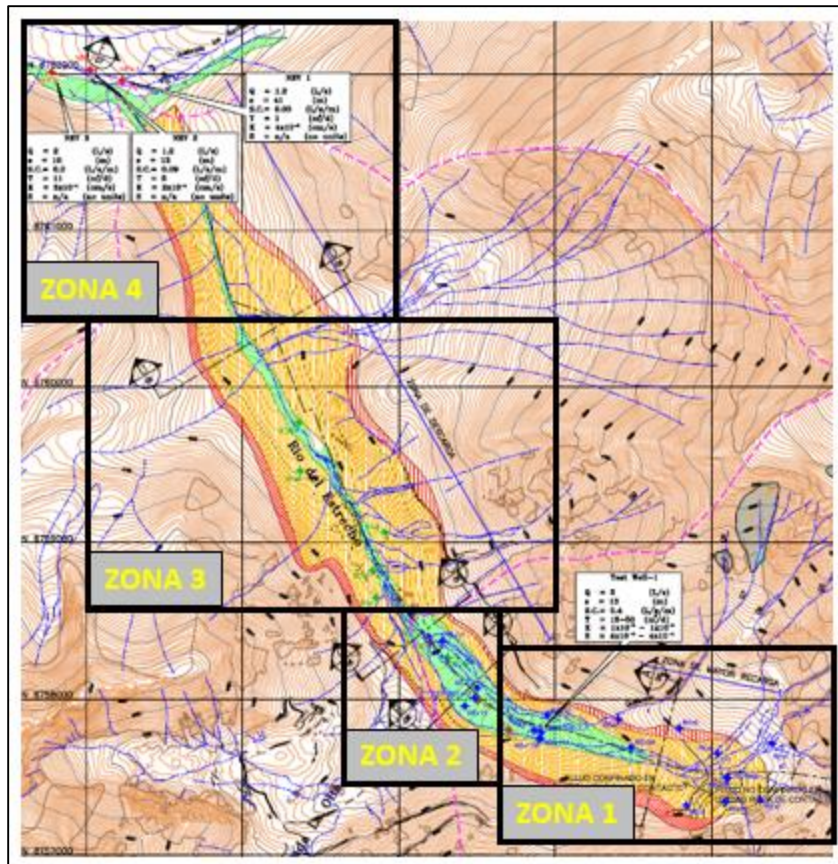


Figura 1. Zonas definidas para el análisis según mapa de línea de base (Fuente: mapa de fondo corresponde al Plano N°5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental de la RCA N°024/2006).

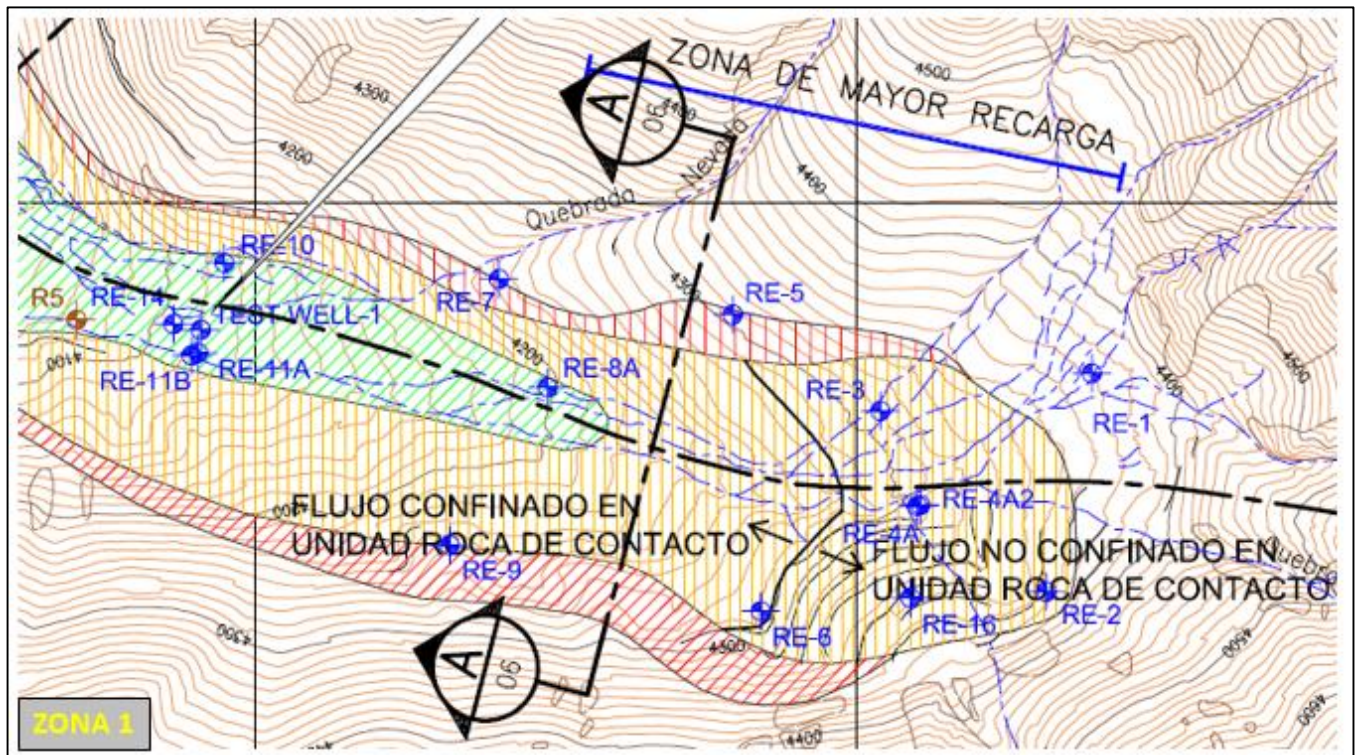


Figura 2. Zona 1 según mapa de línea de base (Fuente: mapa de fondo corresponde al Plano N°5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental de la RCA N°024/2006).

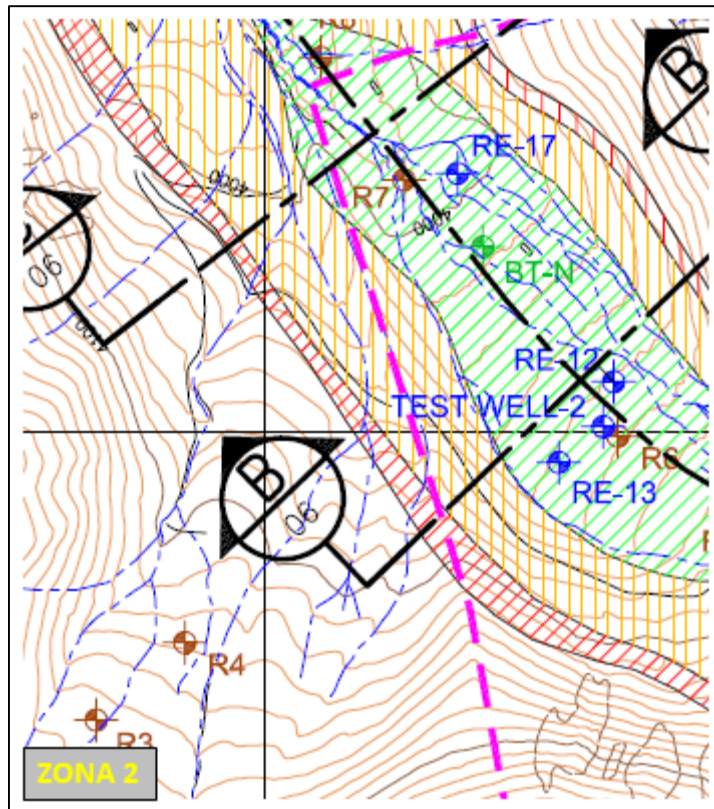


Figura 3. Zona 2 según mapa de línea de base (Fuente: mapa de fondo corresponde al Plano N°5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental de la RCA N°024/2006).

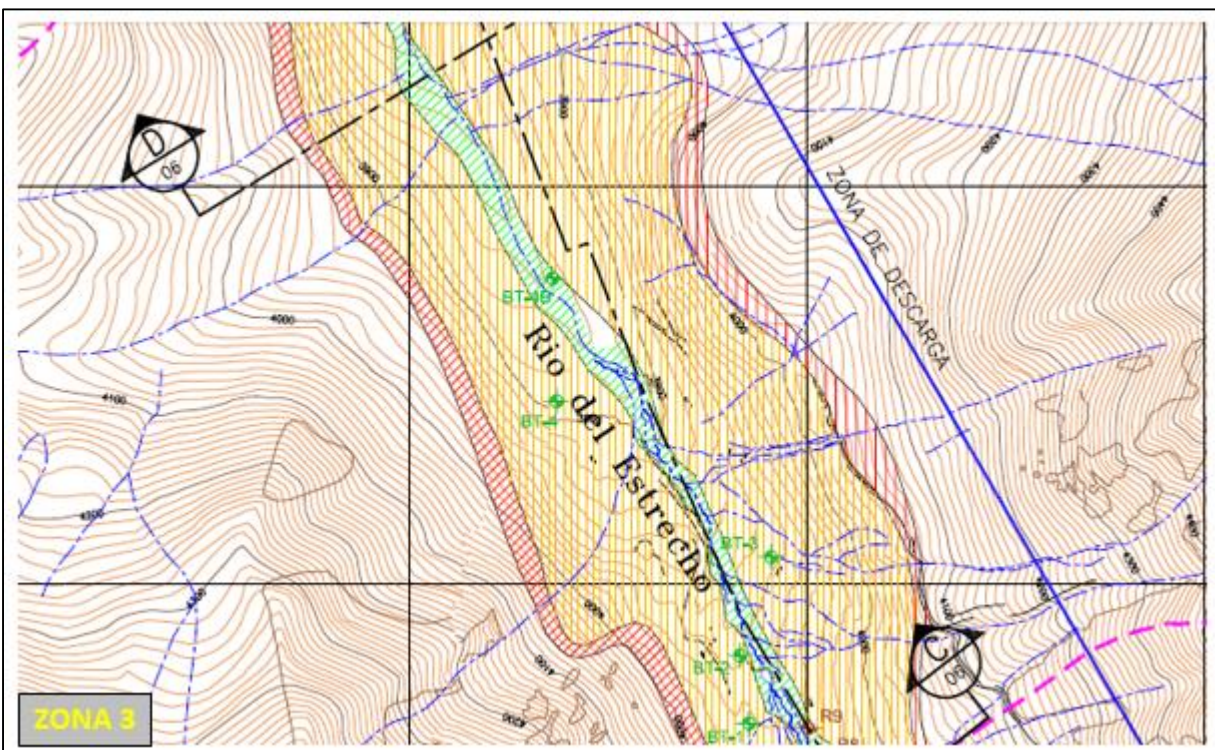


Figura 4. Zona 3 según mapa de línea de base (Fuente: mapa de fondo corresponde al Plano N°5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental de la RCA N°024/2006).

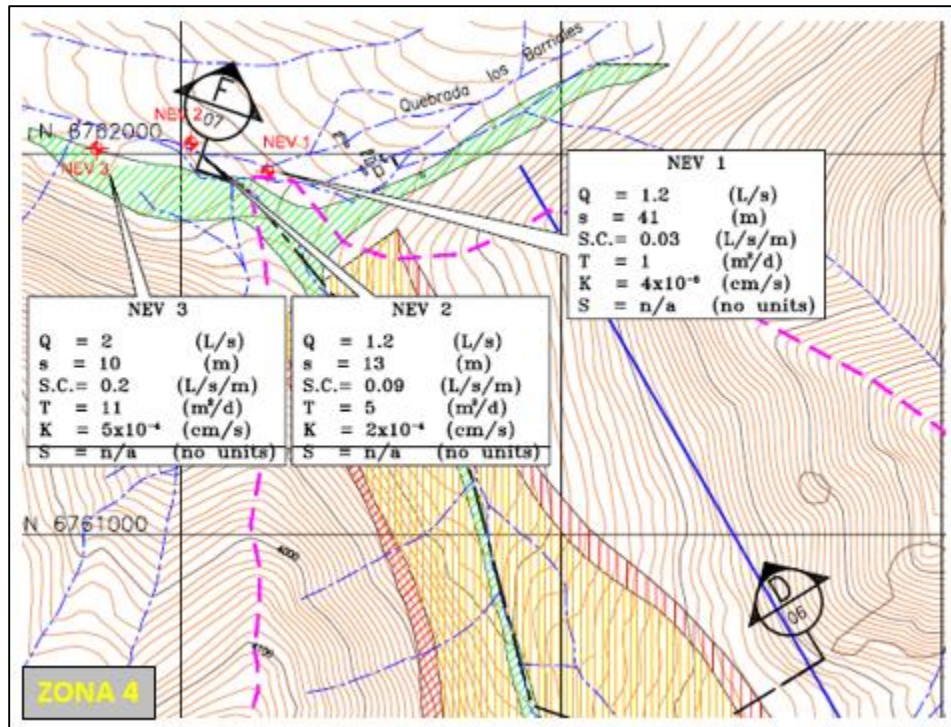


Figura 5. Zona 4 según mapa de línea de base (Fuente: mapa de fondo corresponde al Plano N°5-1 del Anexo II-C de la Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental de la RCA N°024/2006).

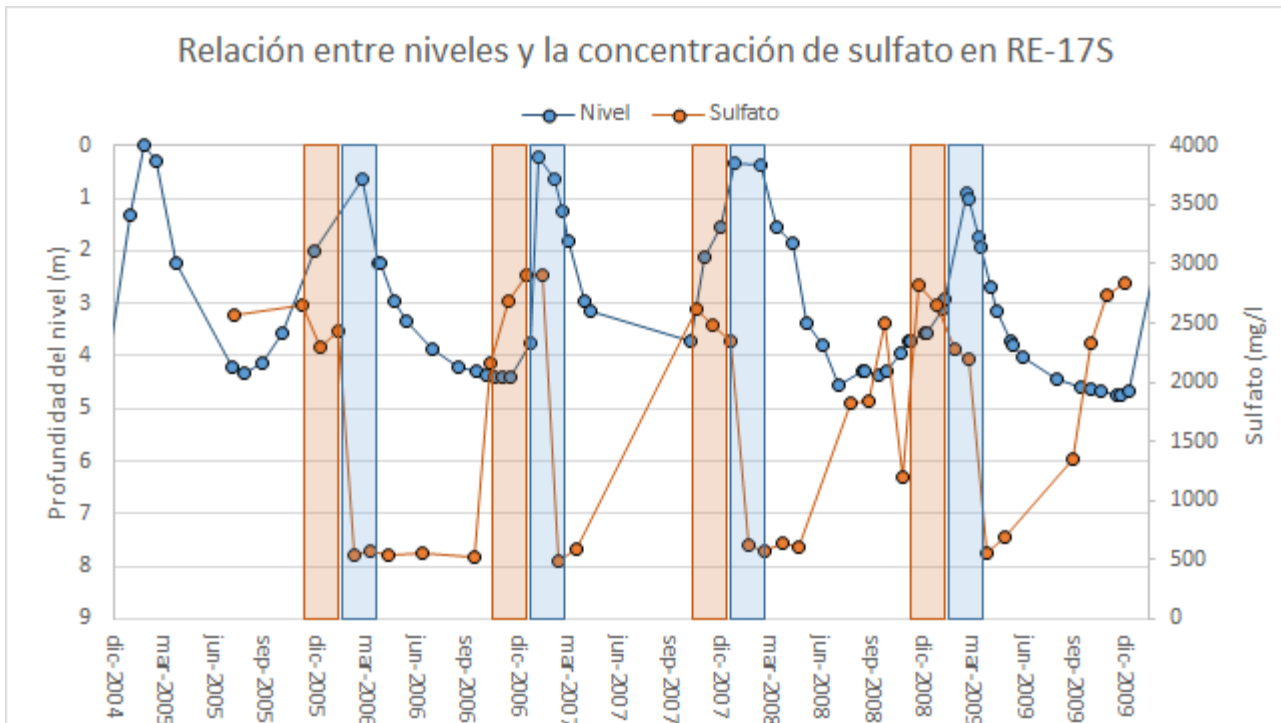


Figura 6: Efecto de la recarga en la calidad del agua ejemplificado mediante la relación entre niveles y sulfato. En los recuadros naranjos y azules se muestran los “peaks” de cada ciclo para el sulfato y los niveles respectivamente, los cuales se observan claramente vinculados (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



Figura 7: Emplazamiento de los pozos analizados por zonas (Fuente: elaboración propia).

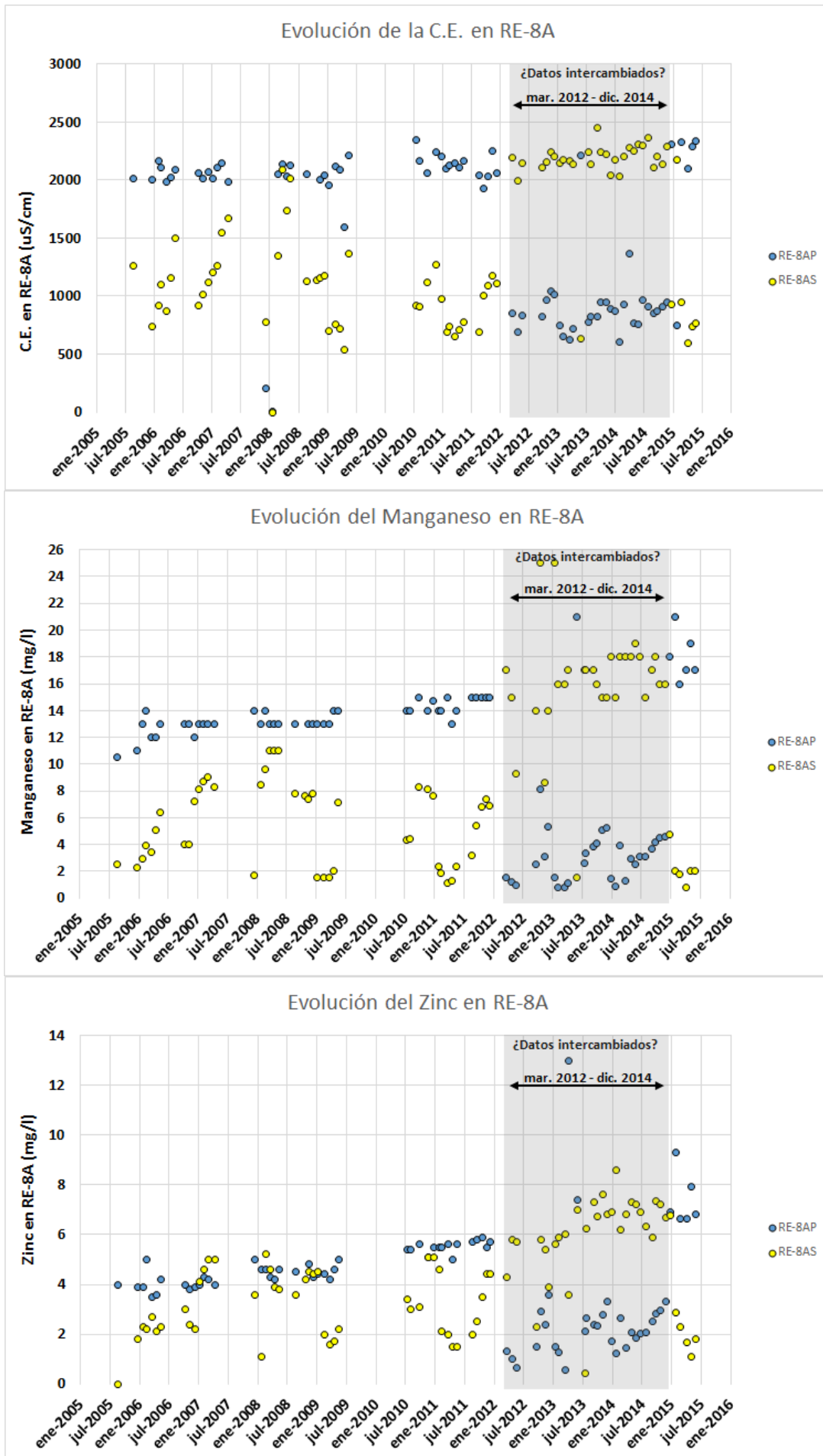


Figura 8. Comparación entre los datos de los pozos RE-8AP y RE-8AS para los parámetros Conductividad Eléctrica (C.E.), Manganeso y Zinc (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

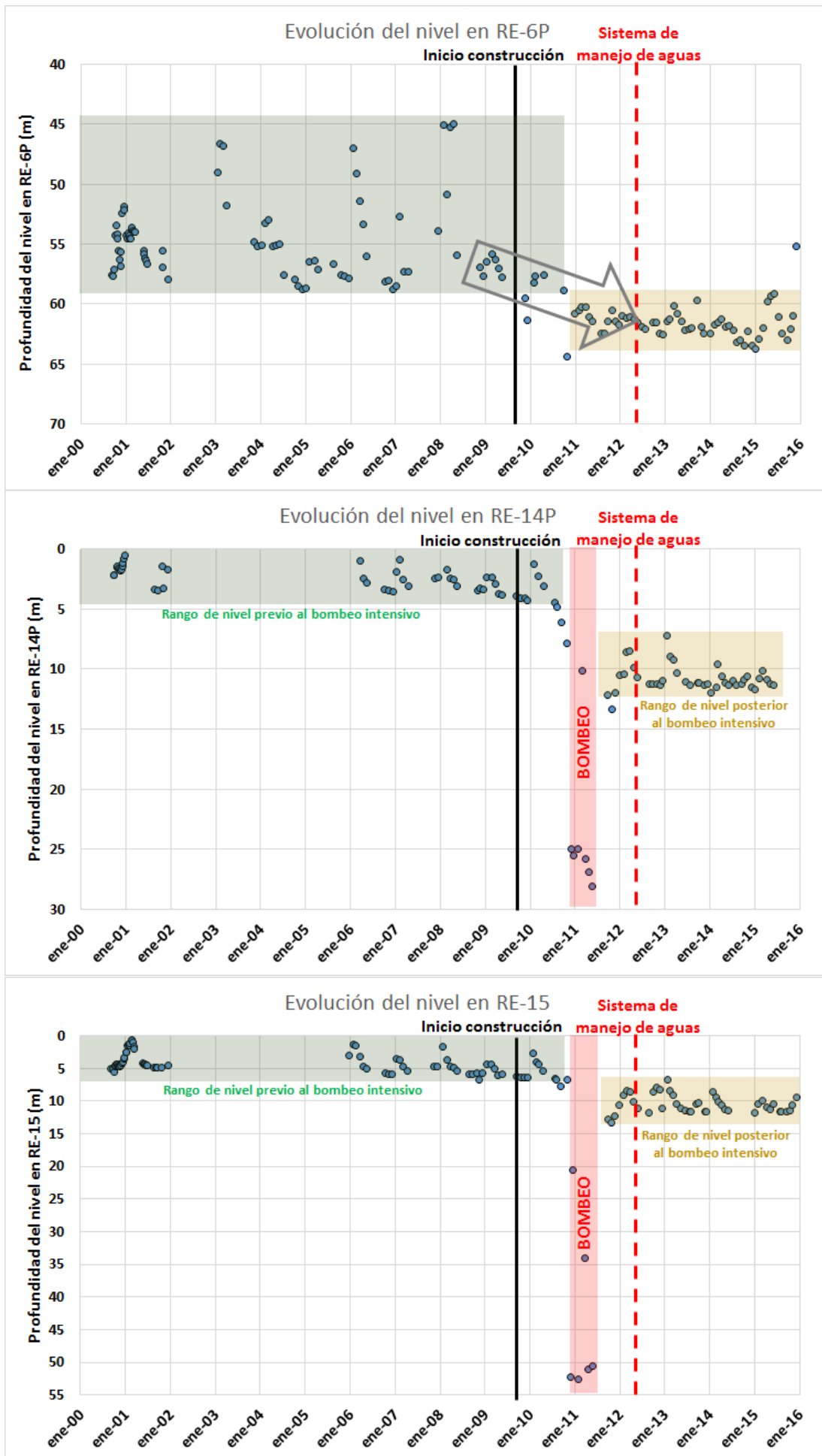


Figura 9. Evolución de la profundidad del nivel en la Zona 1 y su relación con el bombeo intensivo realizado durante la construcción del sistema cortafuga, y con la operación del sistema de manejo de aguas (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



Figura 10. P66 (o P34 para el pH) en los pozos de la Zona 1 distinguiendo entre el período pre-construcción, el período post-construcción y el período 2012/2013. Se indica la variación porcentual de los dos últimos respecto del primero (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

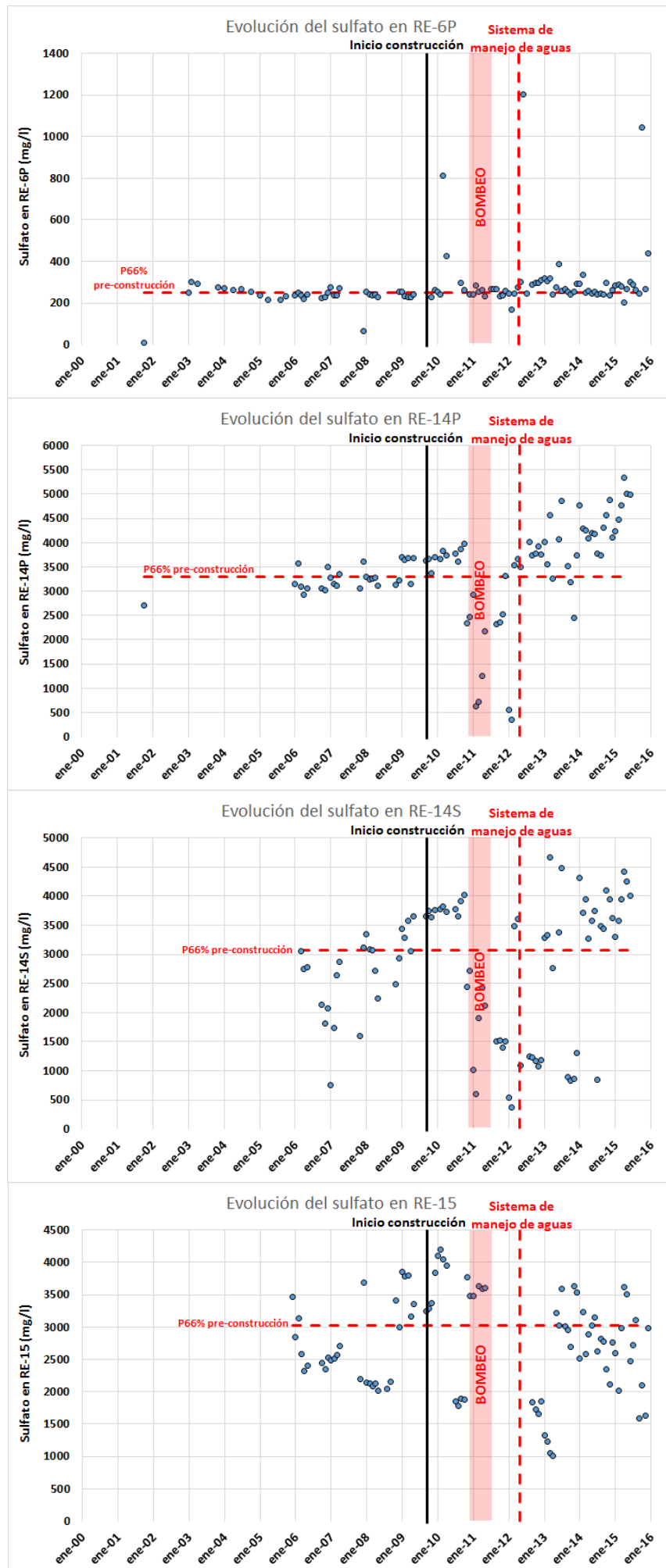


Figura 11. Evolución del sulfato en la Zona 1 y su relación con ciertas obras/acciones del proyecto (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

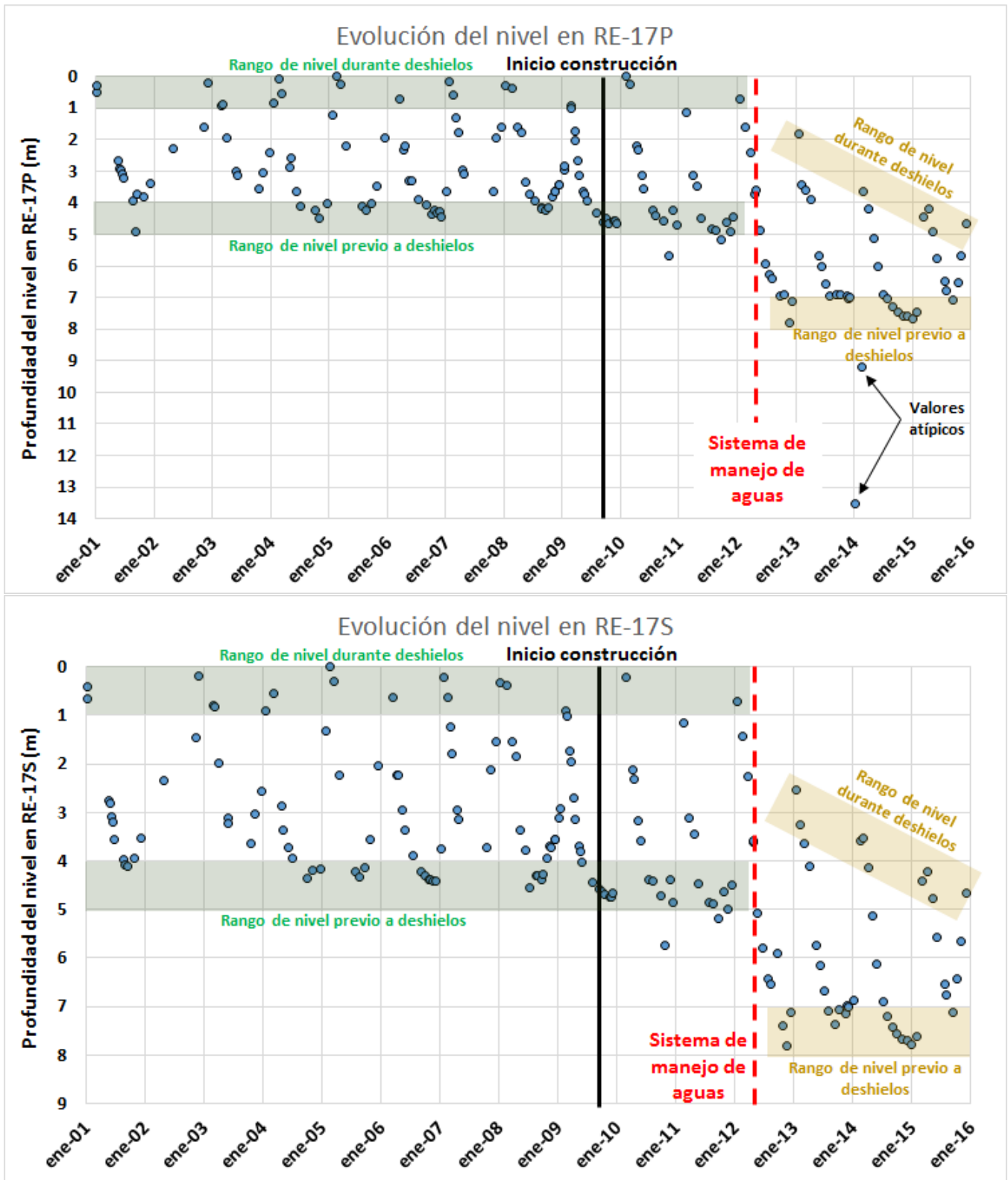


Figura 12. Evolución de la profundidad del nivel en la Zona 2 y su relación con la operación del sistema de manejo de aguas (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

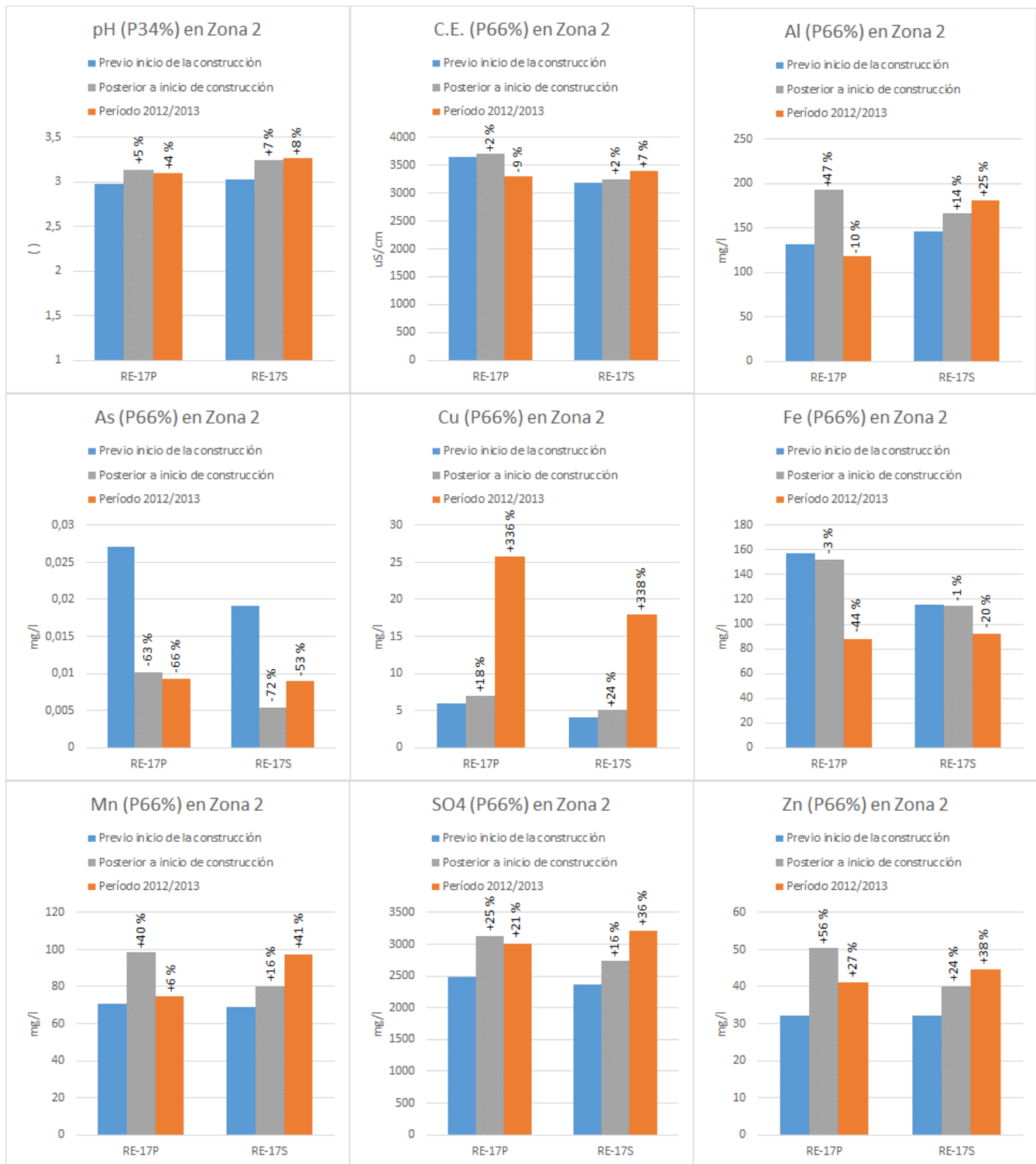


Figura 13. P66 (o P34 para el pH) en los pozos de la Zona 2 distinguiendo entre el período pre-construcción, el período post-construcción y el período 2012/2013. Se indica la variación porcentual de los dos últimos respecto del primero (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



Figura 14. Evolución del sulfato en la Zona 2 y su relación con ciertas obras/acciones del proyecto (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



Figura 15. P66 (o P34 para el pH) en los pozos de la Zona 3 distinguiendo entre el período pre-construcción, el período post-construcción y el período 2012/2013. Se indica la variación porcentual de los dos últimos respecto del primero (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

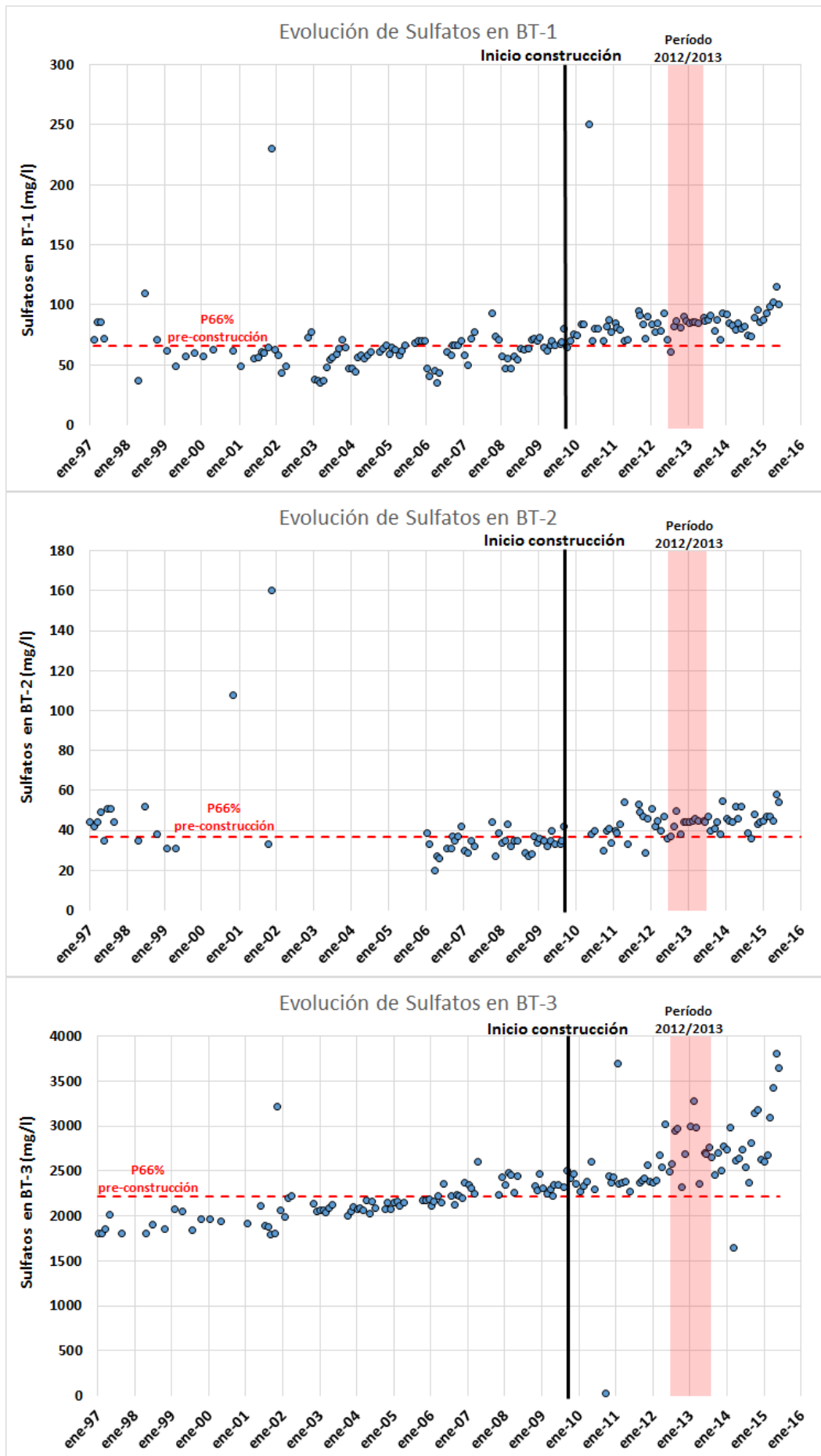


Figura 16. Evolución del sulfato en la Zona 3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

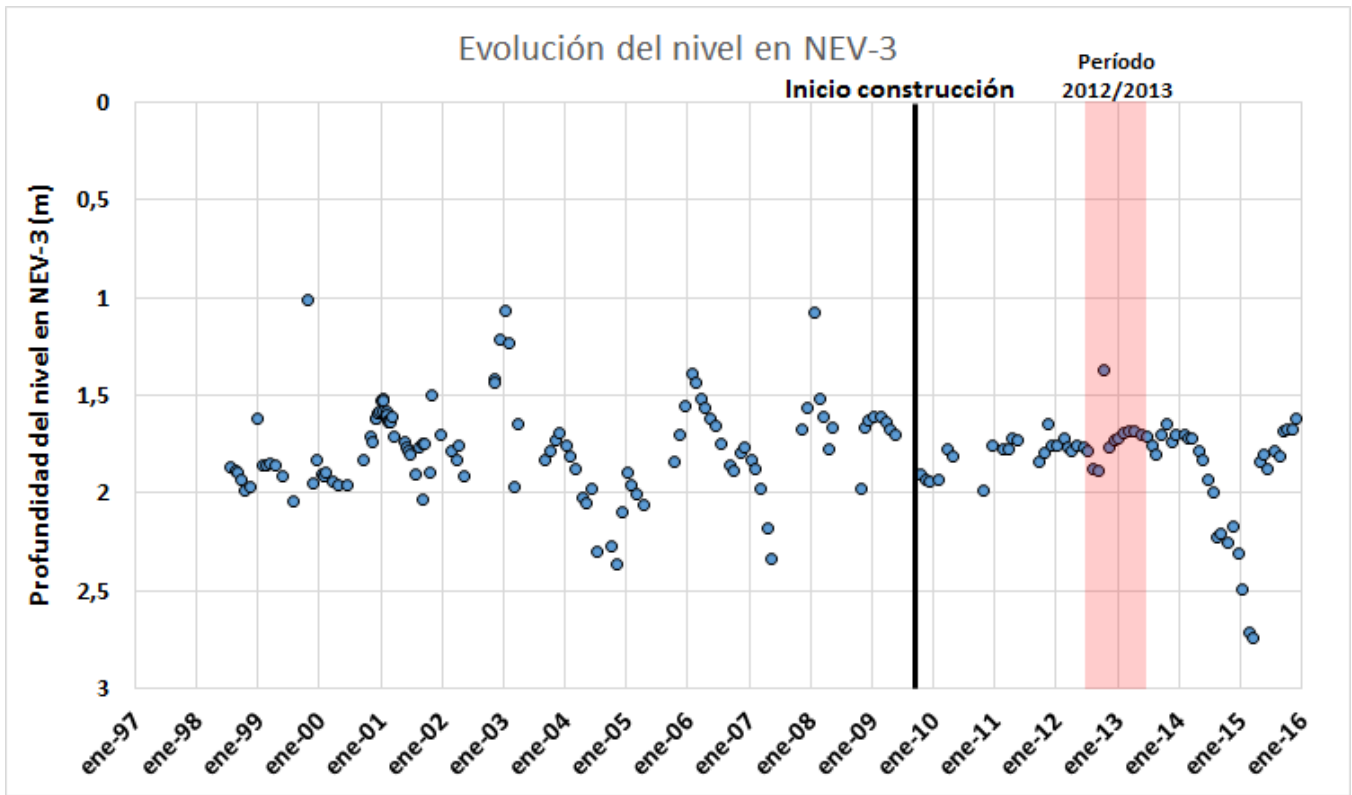


Figura 17. Evolución de la profundidad del nivel en la Zona 4 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



Figura 18. P66 (o P34 para el pH) en los pozos de la Zona 4 distinguiendo entre el período pre-construcción, el período post-construcción y el período 2012/2013. Se indica la variación porcentual de los dos últimos respecto del primero (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



Figura 19. Evolución de la conductividad eléctrica y el sulfato en la Zona 4 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

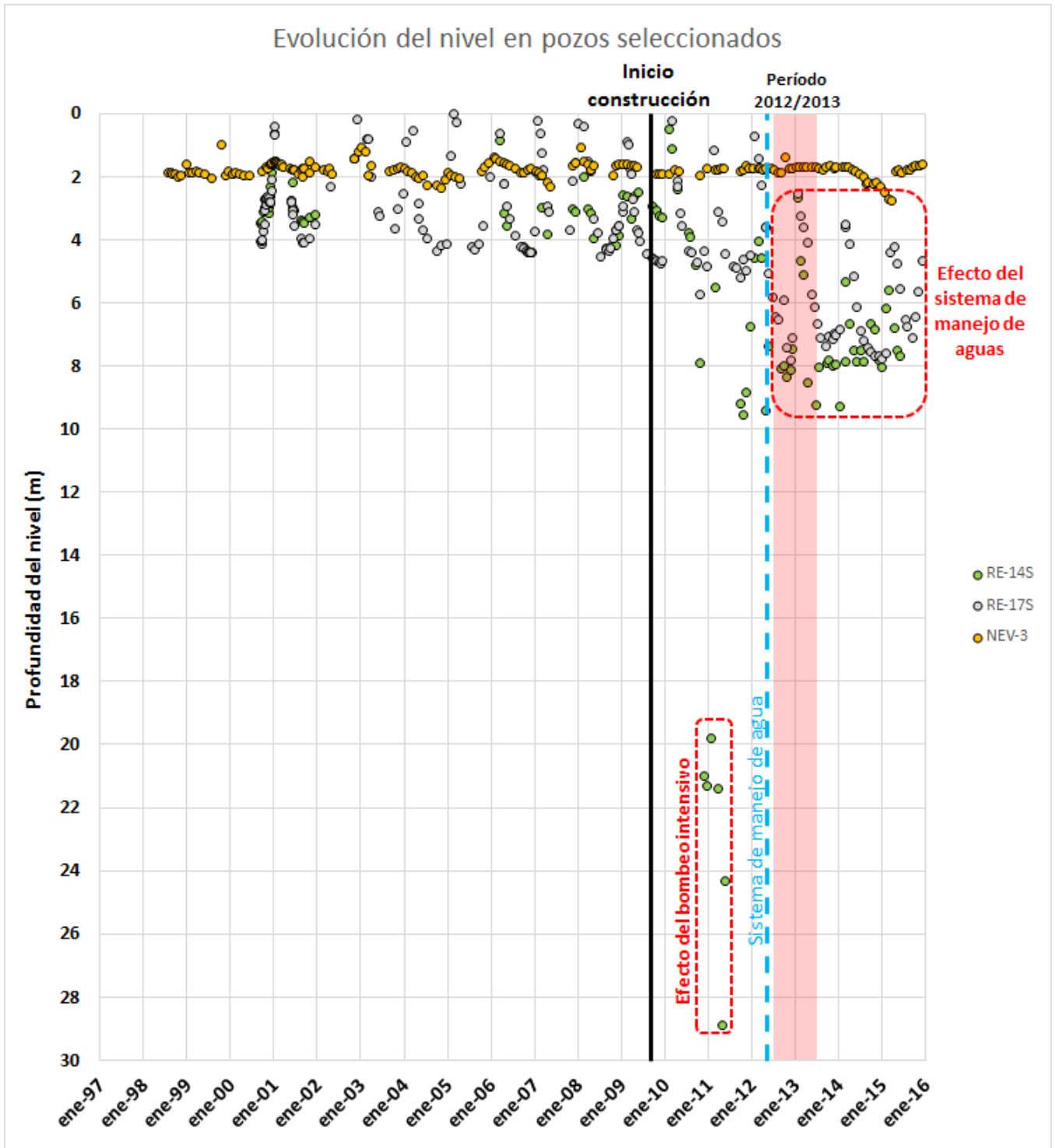


Figura 20. Comparación de niveles en pozos de la Zona 1, 2 y 4, indicando los efectos constatados (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



Figura 21. P66 (o P34 para el pH) en los pozos de todas las zonas analizadas, distinguiendo entre el período pre-construcción y el período 2012/2013. La línea negra indica la variación porcentual en cada pozo, utilizando un eje estandarizado para facilitar la comparación entre los distintos cuadros. (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

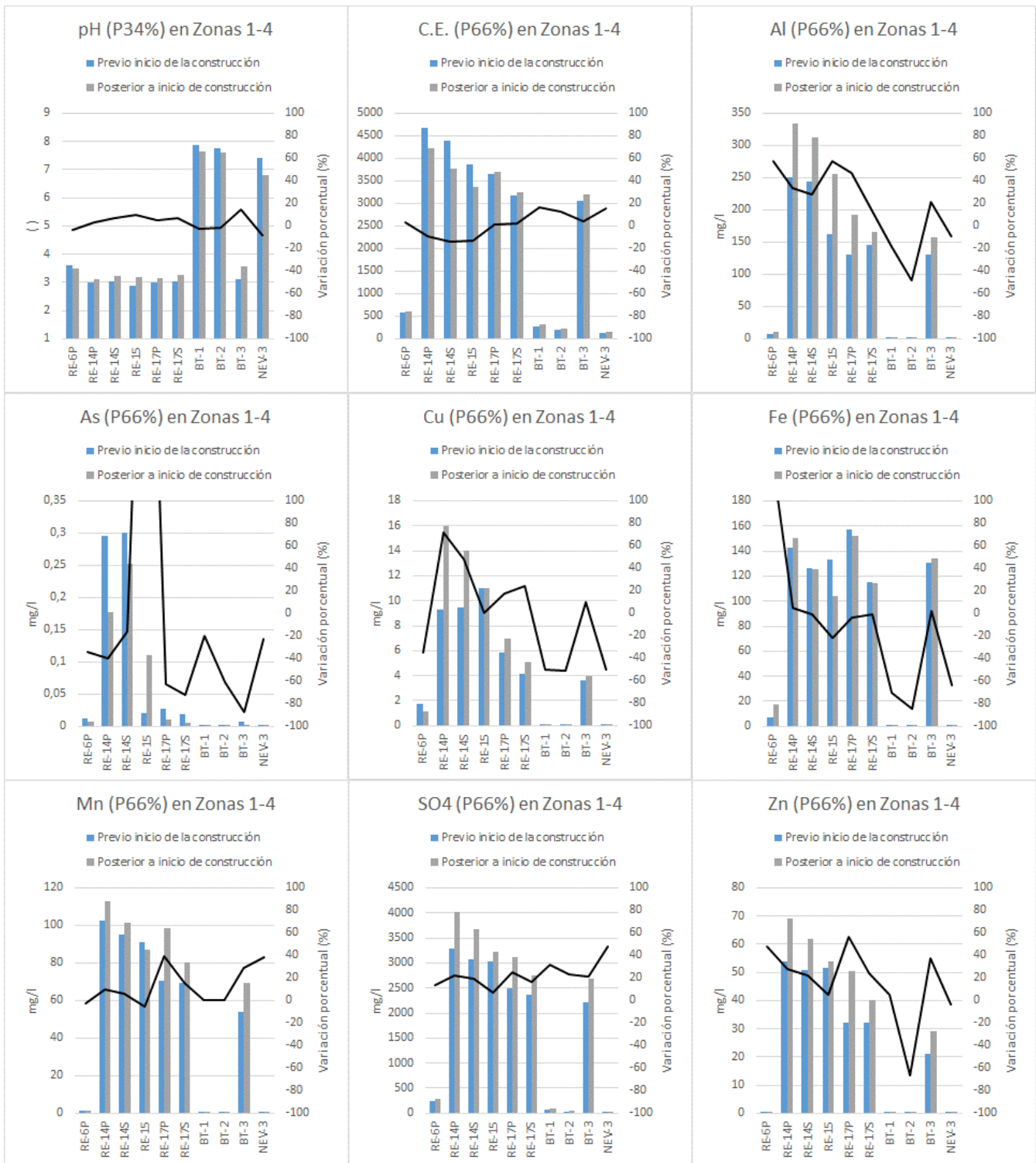


Figura 22. P66 (o P34 para el pH) en los pozos de todas las zonas analizadas, distinguiendo entre el período pre-construcción y el período post-construcción. La línea negra indica la variación porcentual en cada pozo, utilizando un eje estandarizado para facilitar la comparación entre los distintos cuadros. (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

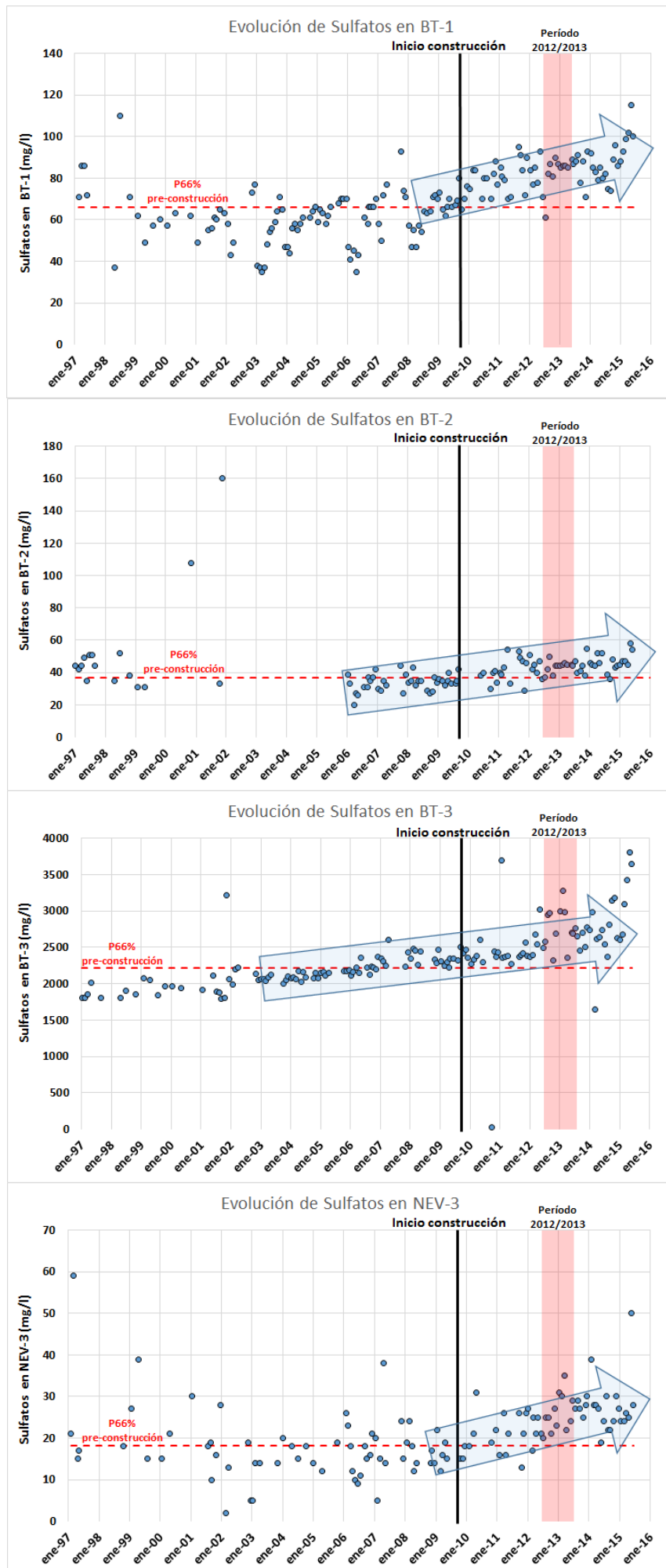


Figura 23. Evolución del sulfato en pozos de la Zona 3 y 4 donde no se verifican impactos (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).

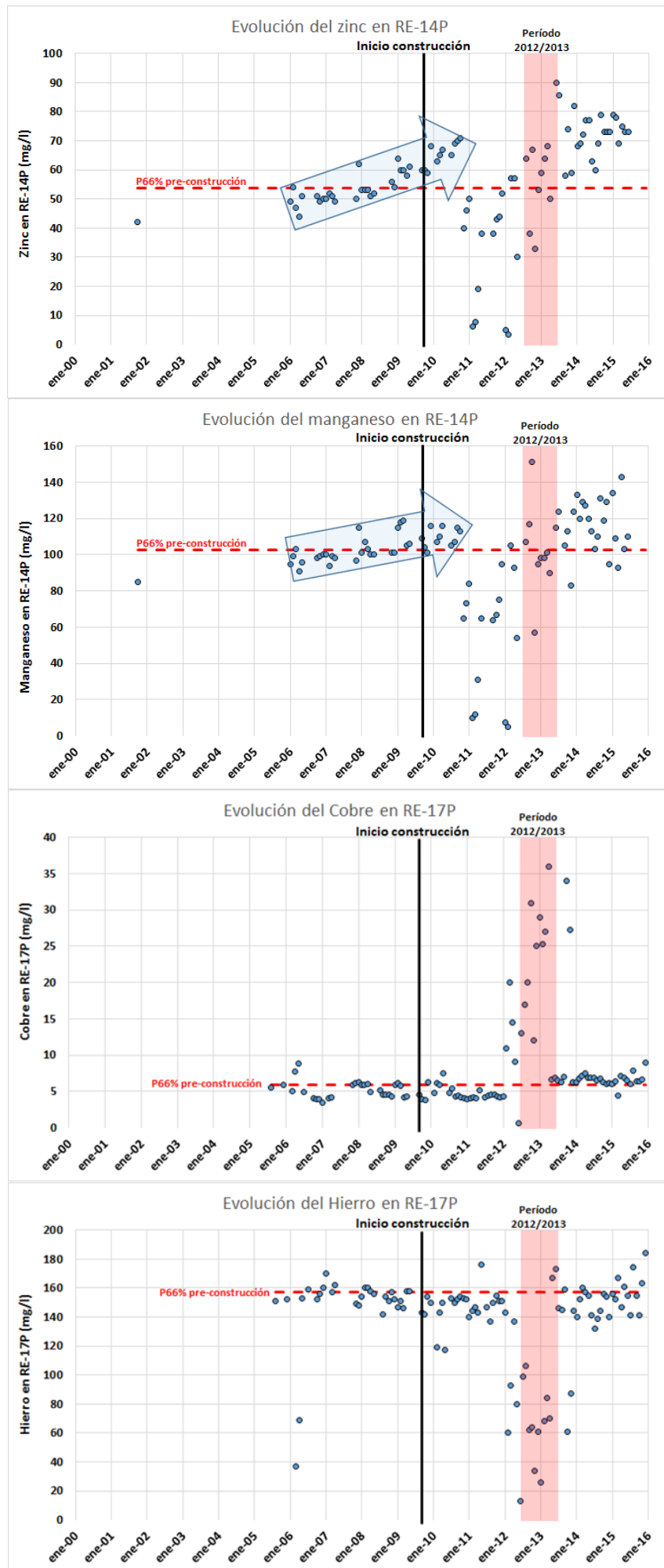


Figura 24. Evolución de algunos parámetros DAR en pozos de la Zona 1 y 2 afectados por el proyecto (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del presente Anexo).



APÉNDICE 6-1: EVOLUCIÓN DE NIVEL Y PARÁMETROS DAR EN ZONA 1

OBJETIVO: En el presente Apéndice se entrega un análisis que muestra la evolución de la profundidad del nivel y de los parámetros DAR en cada pozo de la Zona 1. Junto con el respectivo gráfico de concentración vs tiempo, se incluye un diagrama de caja que compara la situación pre-proyecto y post-proyecto, y una tabla con los principales estadísticos de cada serie de datos bajo estudio.

1. Evolución del nivel y de los parámetros DAR en RE-6P

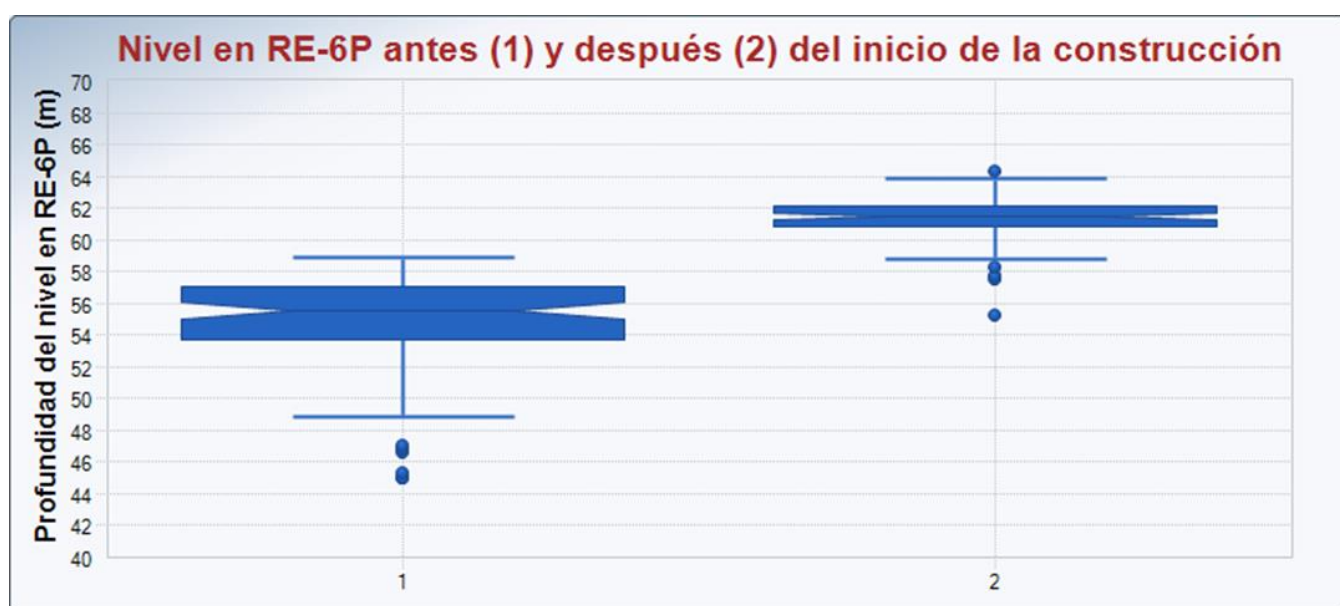
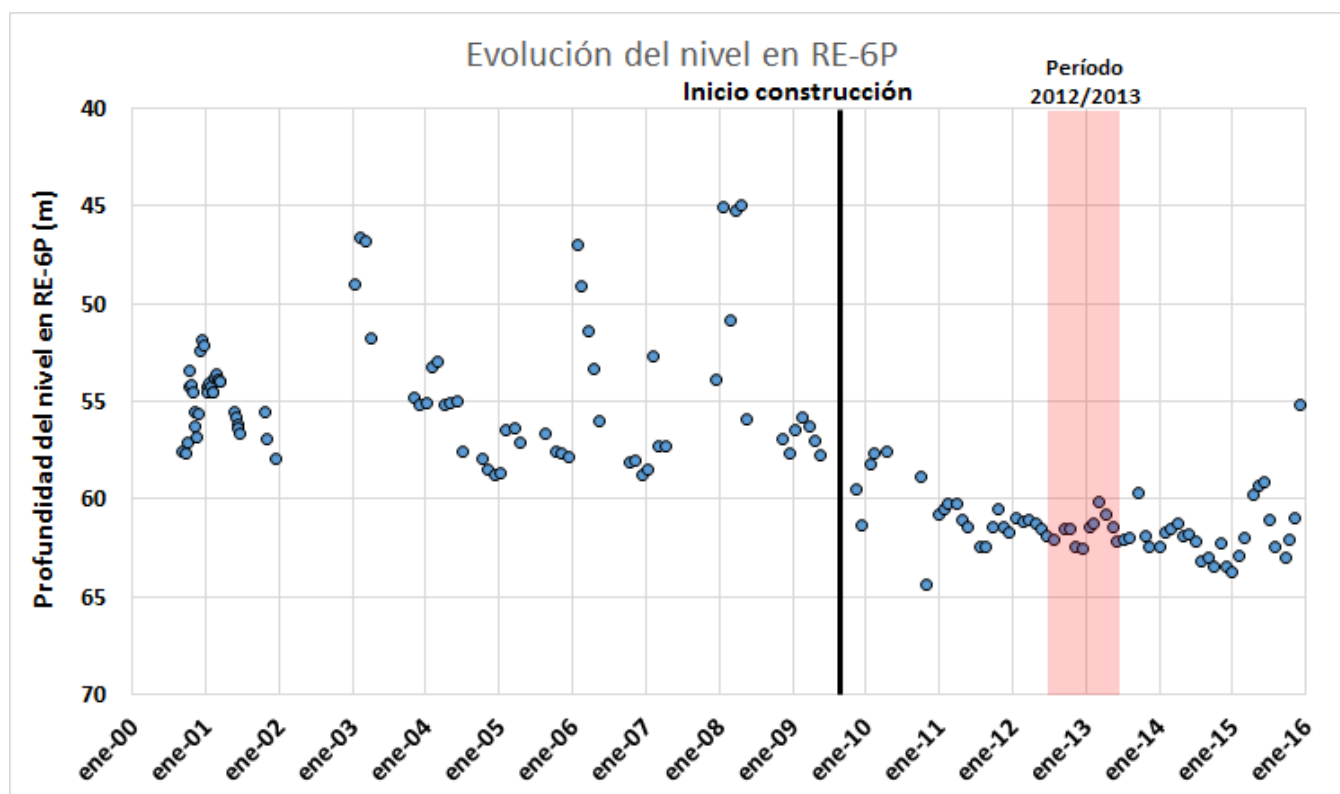


Figura 1. Evolución de la profundidad del nivel en RE-6P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 1. Análisis estadístico de los datos de nivel en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	82	54,7	53,8	55,6	56,4	57,1
Post construcción	65	61,3	60,8	61,5	62,0	62,2
Período 2012/2013	11	61,6	61,3	61,5	61,9	62,1

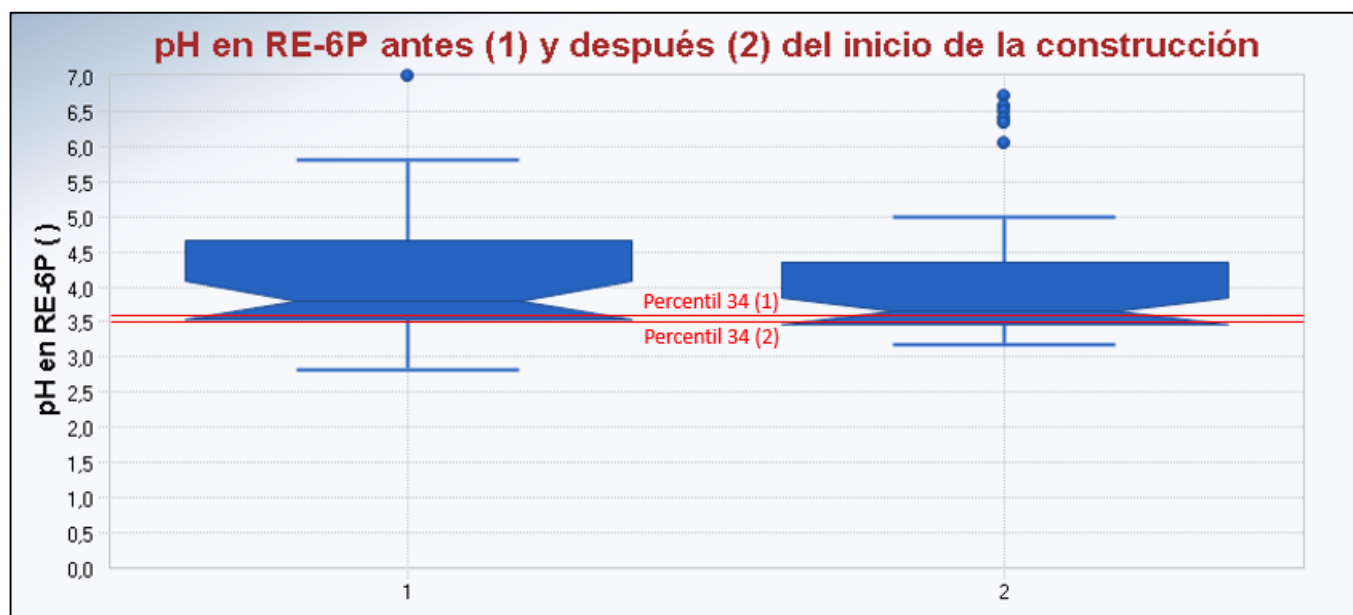
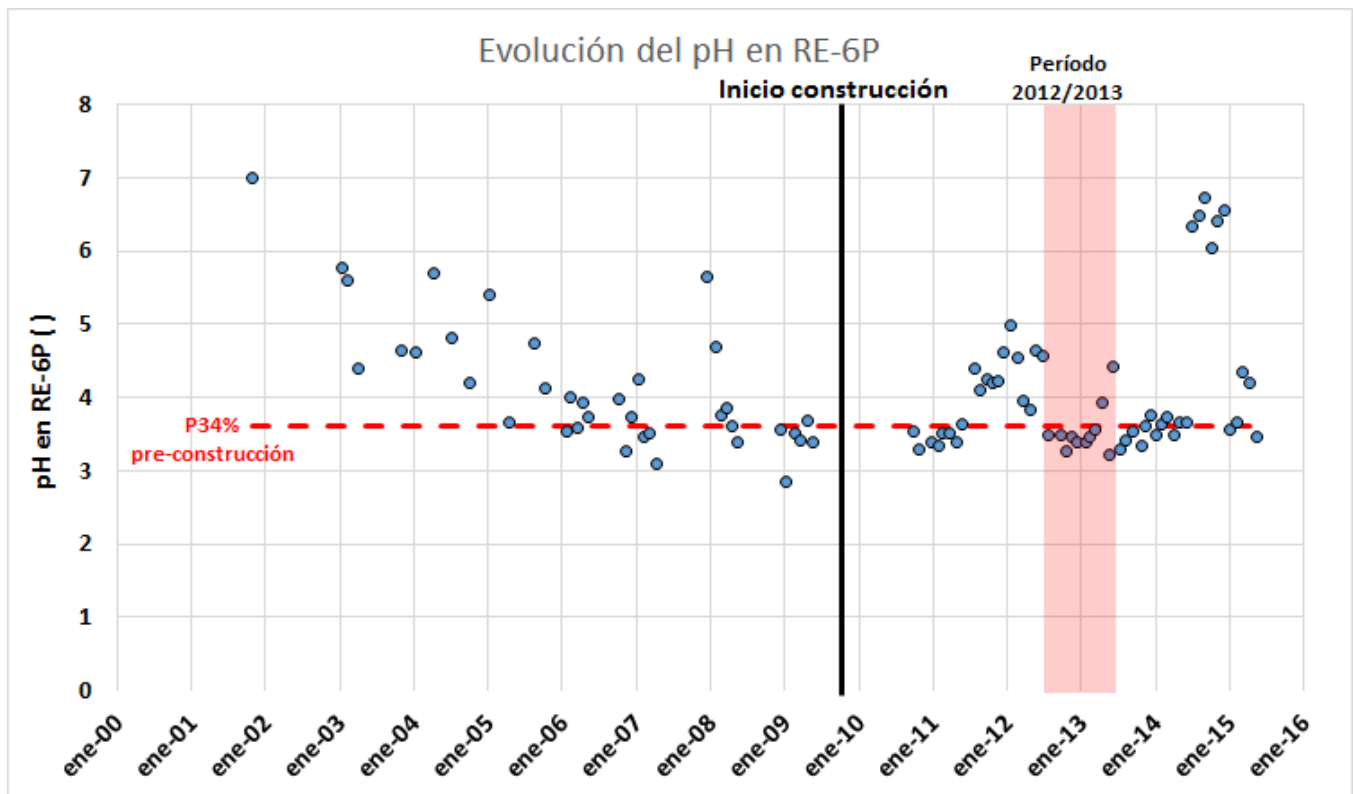


Figura 2. Evolución del pH en RE-6P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 2. Análisis estadístico de los datos de pH en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	37	4,2	3,5	3,9	3,6	4,7
Post construcción	55	4,1	3,5	3,6	3,5	4,3
Período 2012/2013	11	3,6	3,4	3,5	3,4	3,5

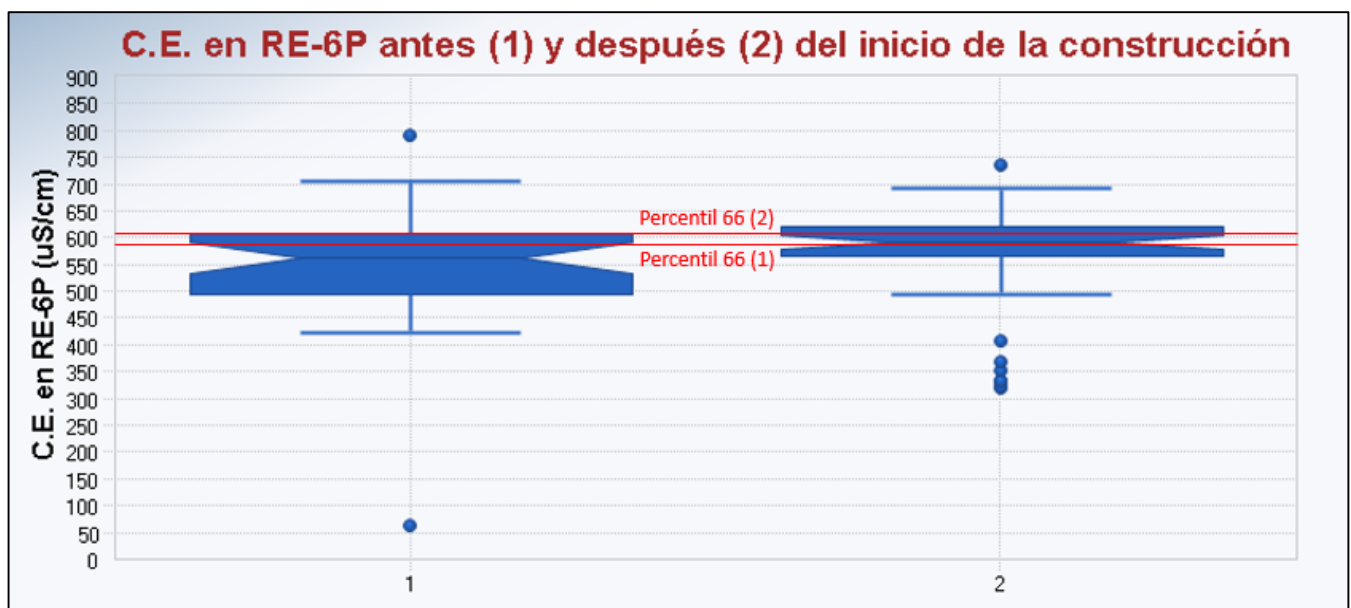
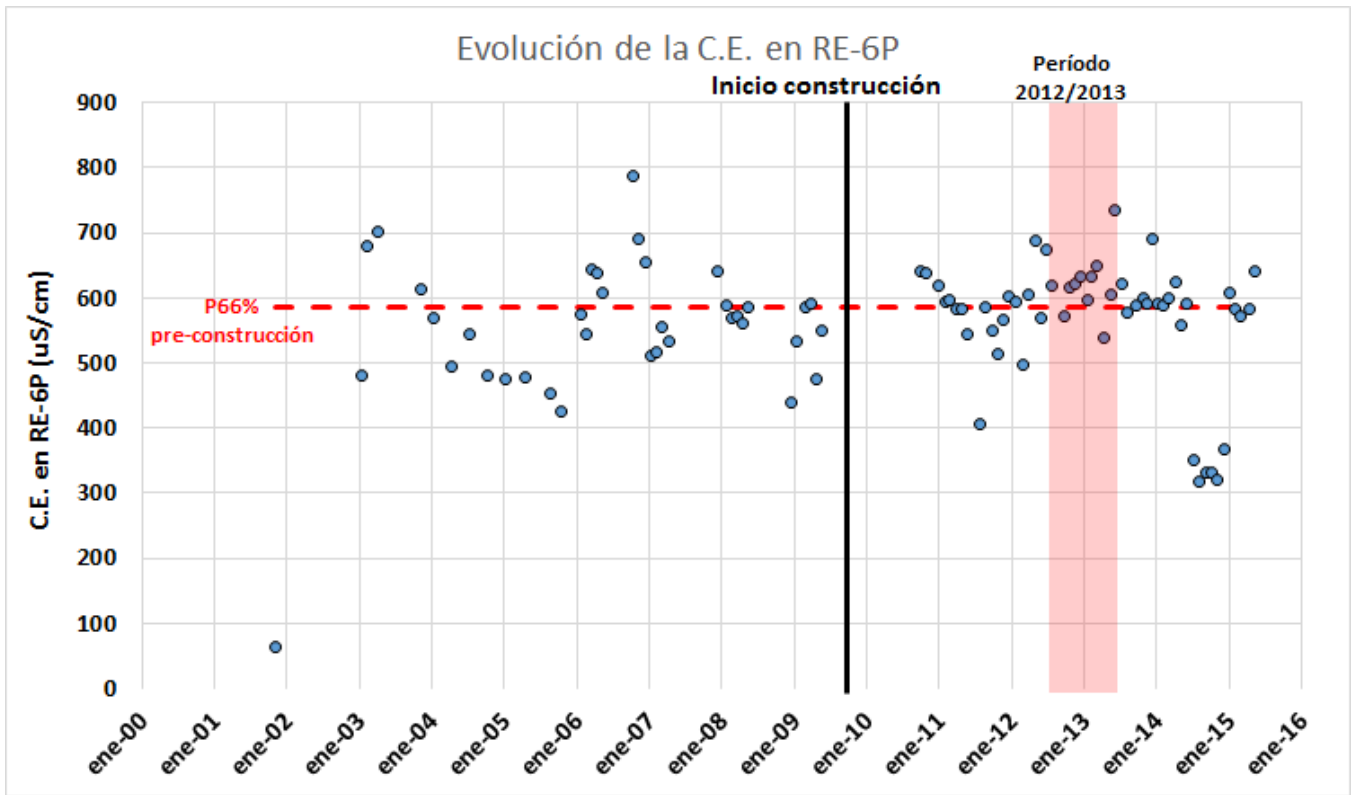


Figura 3. Evolución de la Conductividad Eléctrica (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 3. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	551,7	495,0	561,0	586,5	609,0
Post construcción	55	570,3	567,5	592,0	604,6	620,5
Período 2012/2013	11	619,7	601,0	619,0	628,0	632,0

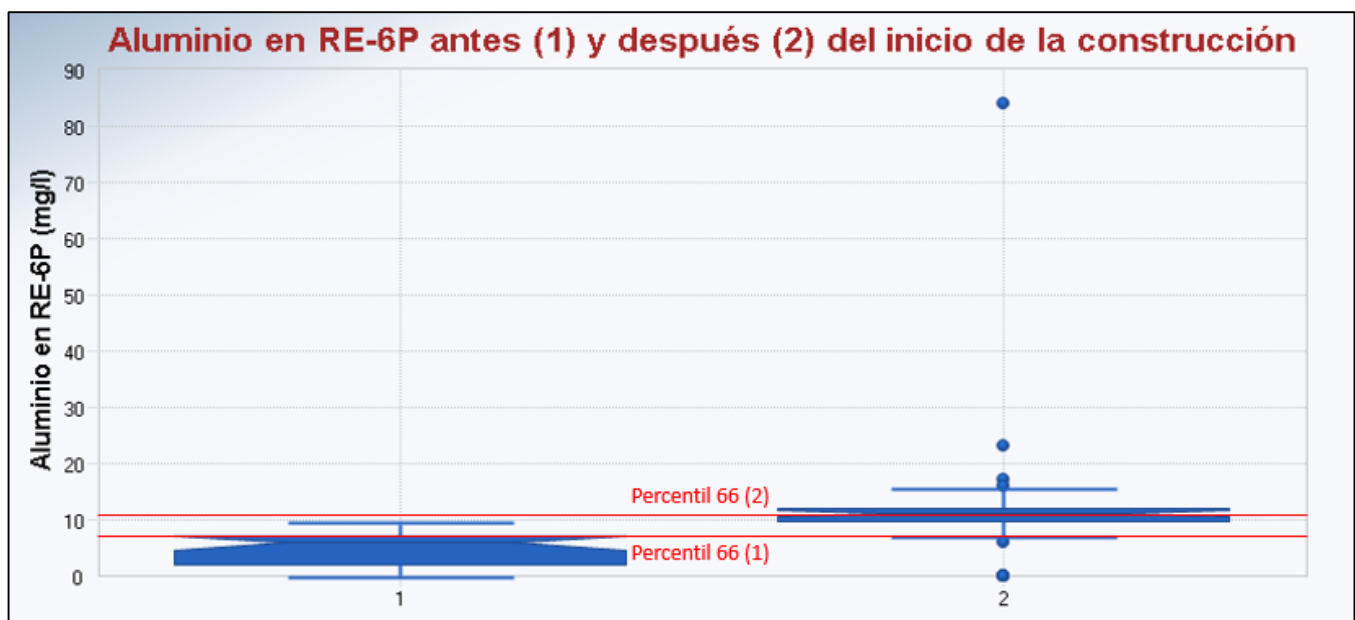
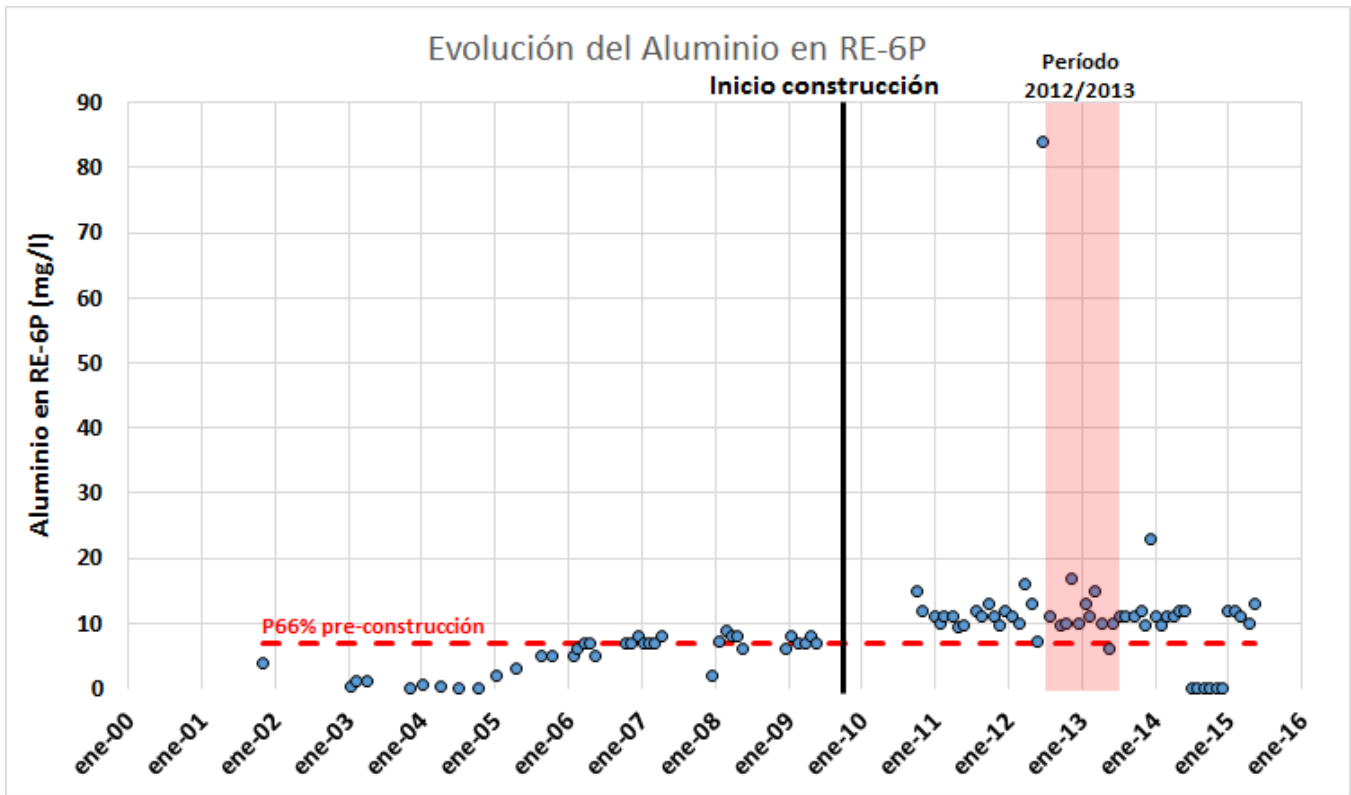


Figura 4. Evolución del Aluminio (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 4. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	5,1	2,0	6,0	7,0	7,0
Post construcción	55	11,5	9,8	11,0	11,0	12,0
Período 2012/2013	11	11,1	10,0	10,0	11,0	12,0

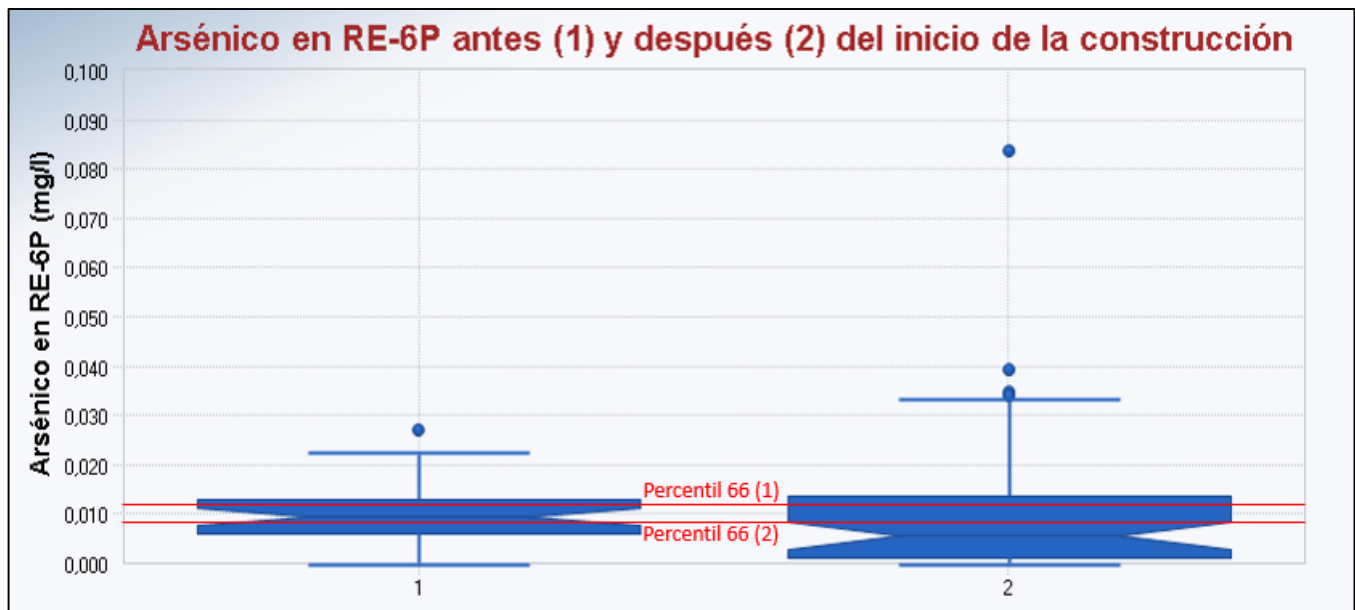
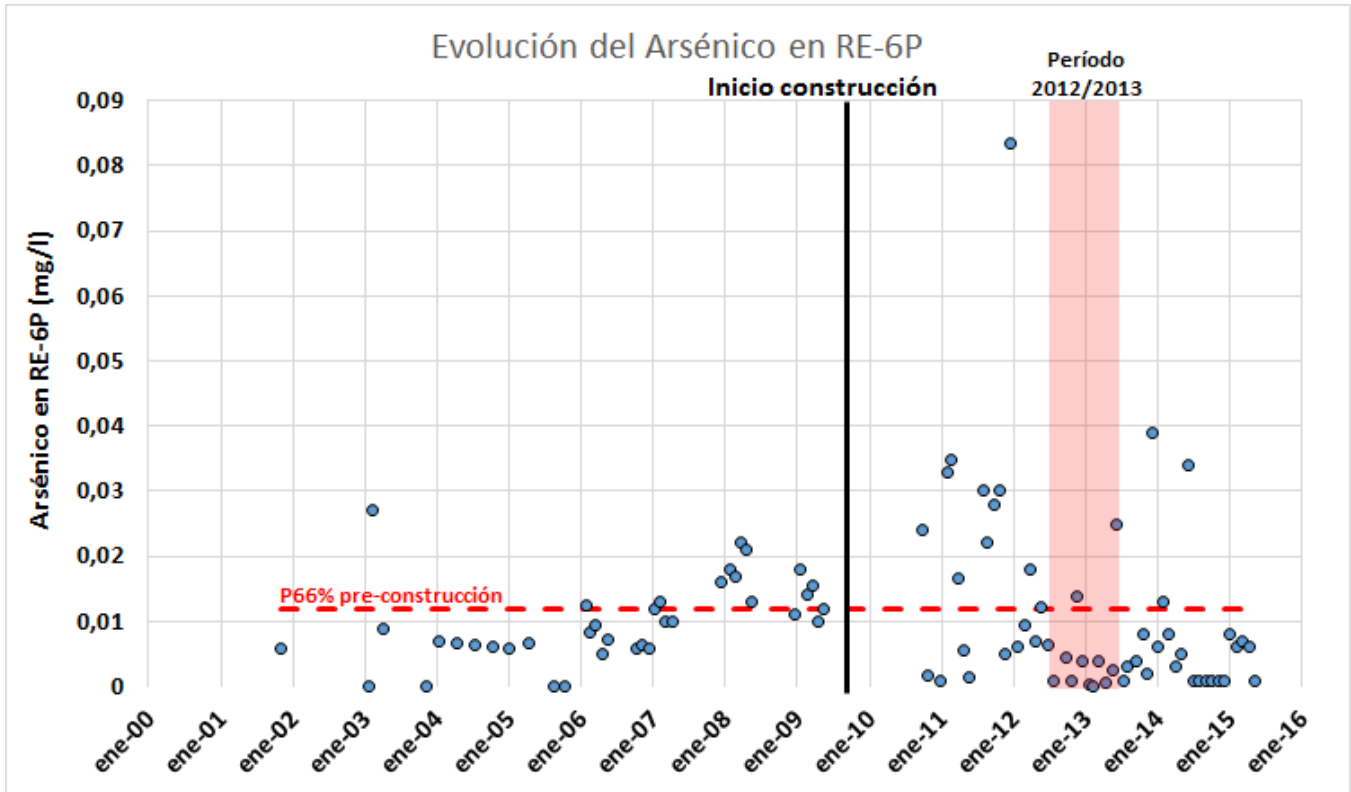


Figura 5. Evolución del Arsénico (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 5. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	0,010	0,006	0,010	0,012	0,013
Post construcción	55	0,011	0,001	0,006	0,008	0,013
Período 2012/2013	11	0,005	0,001	0,002	0,004	0,004

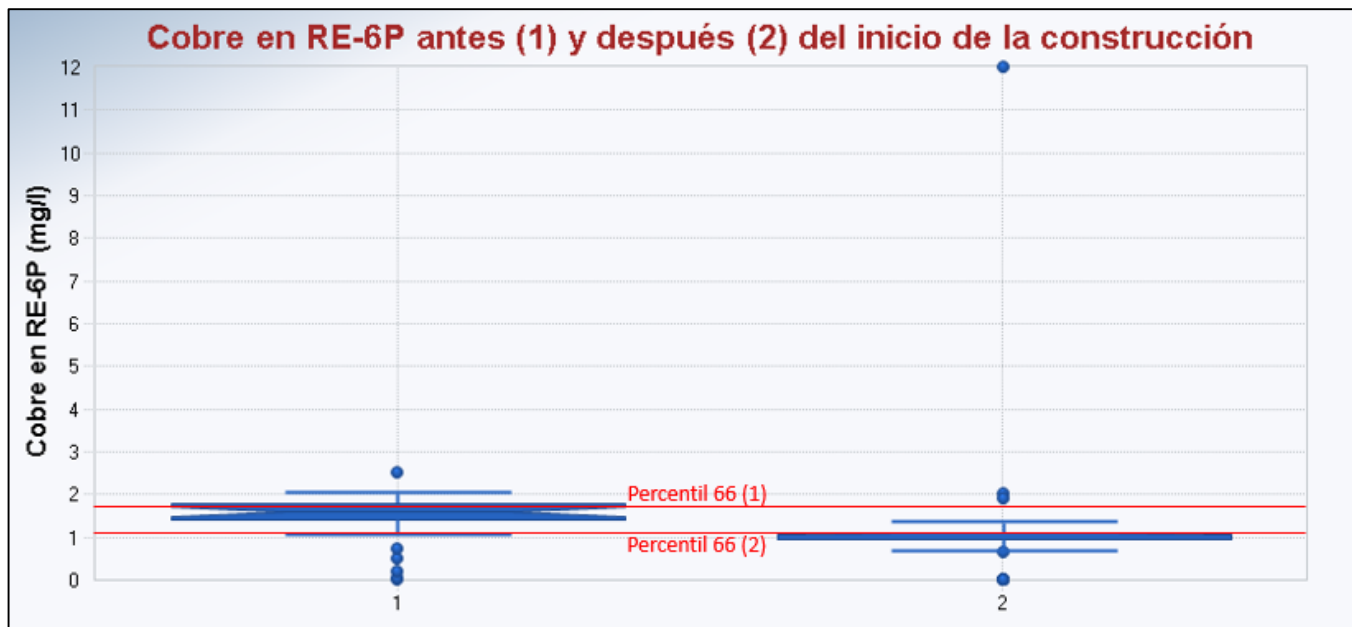
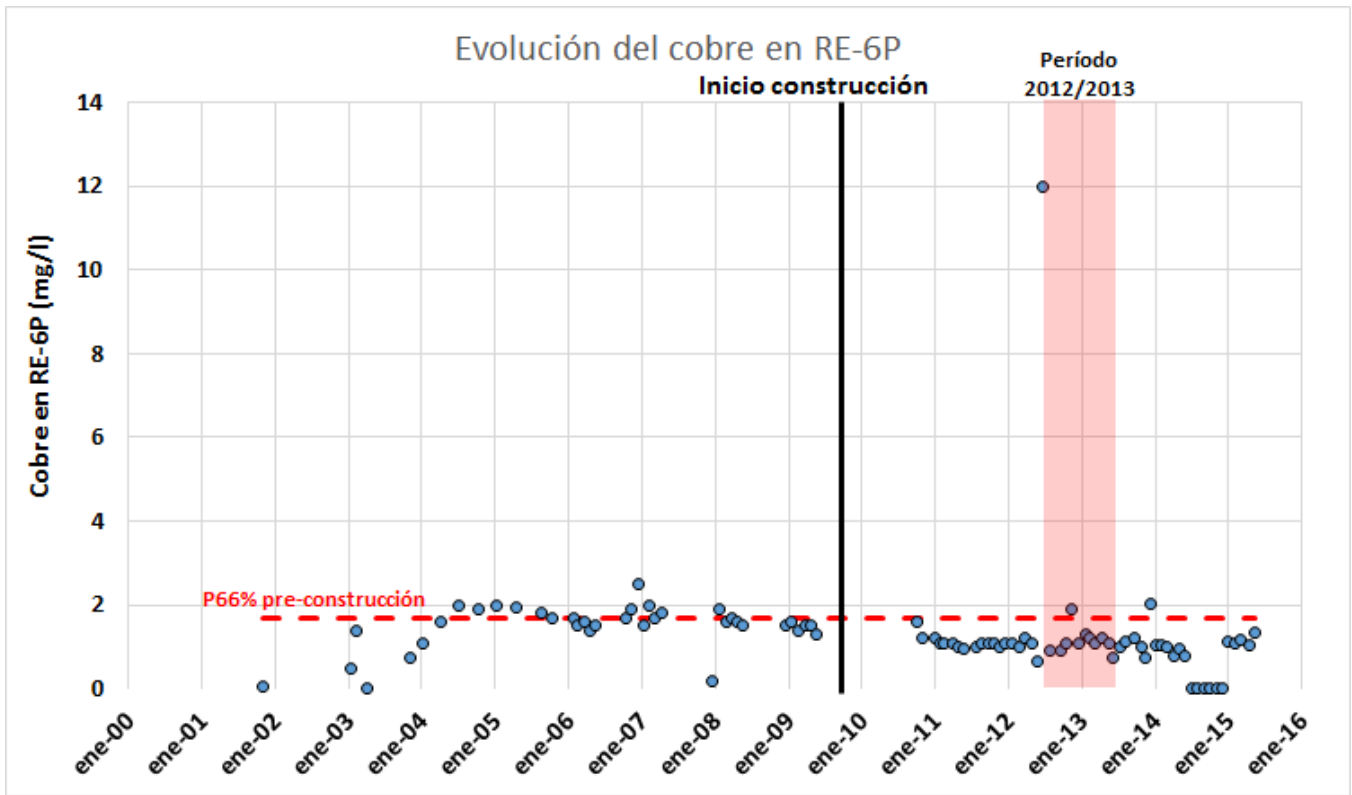


Figura 6. Evolución del Cobre (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 6. Análisis estadístico de los datos de Cobre en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	1,481	1,400	1,600	1,700	1,800
Post construcción	55	1,178	0,965	1,100	1,100	1,125
Período 2012/2013	11	1,142	1,005	1,100	1,160	1,200

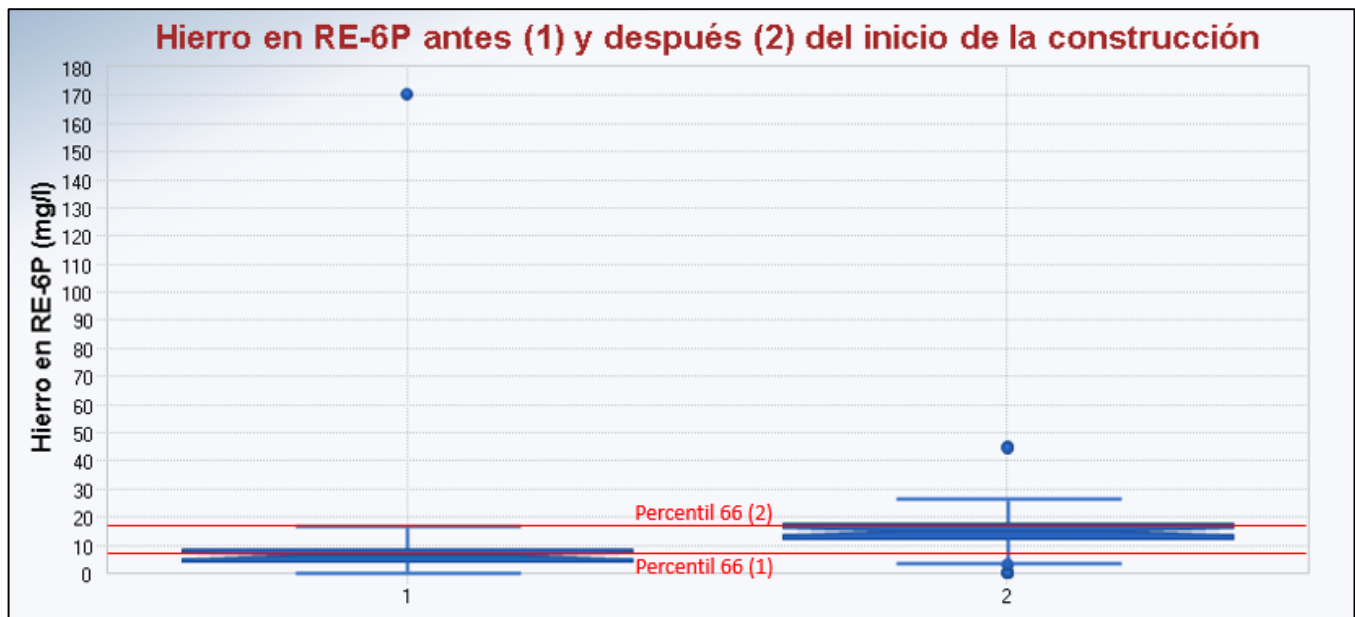
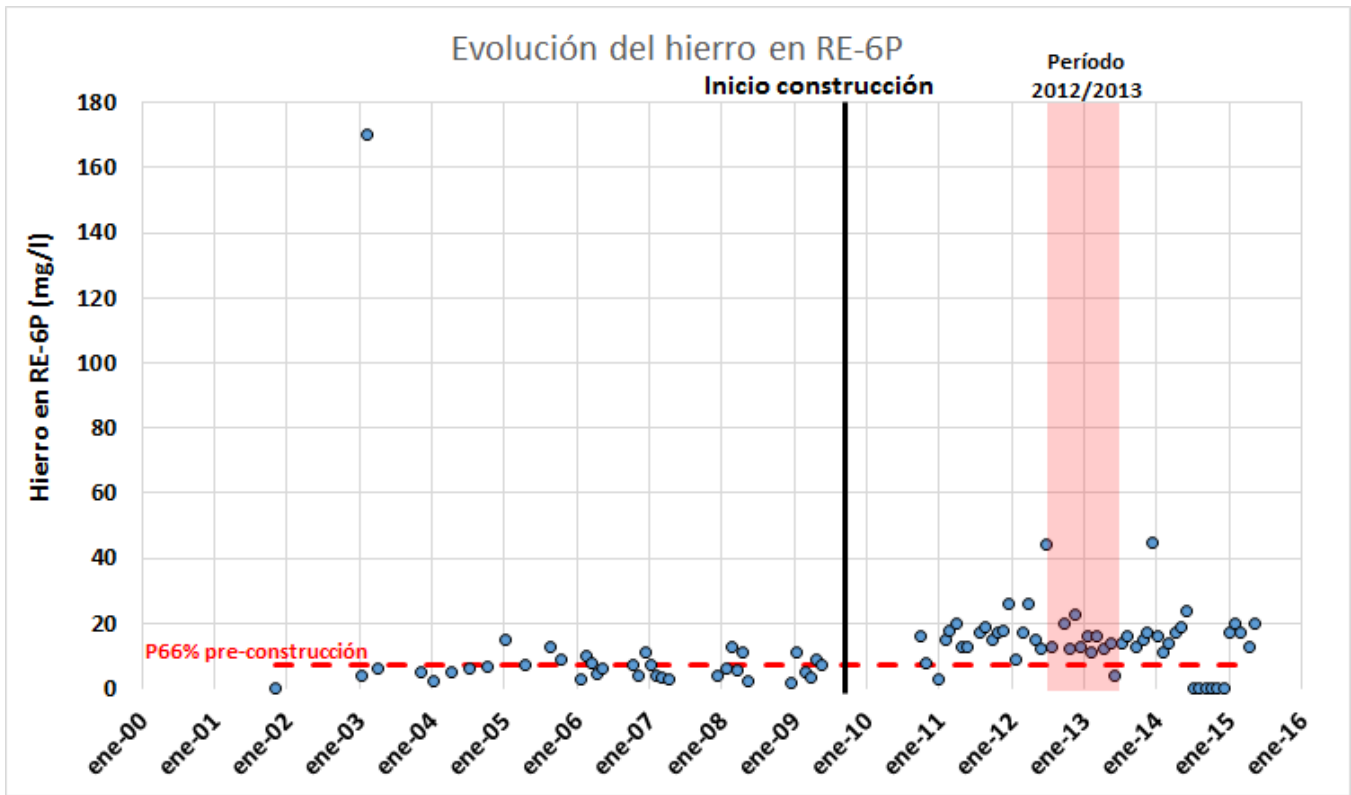


Figura 7. Evolución del Hierro (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 7. Análisis estadístico de los datos de Hierro en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	10,8	3,8	5,9	7,3	8,7
Post construcción	55	14,8	12,0	15,0	17,0	17,5
Período 2012/2013	11	14,0	12,0	13,0	15,2	16,0

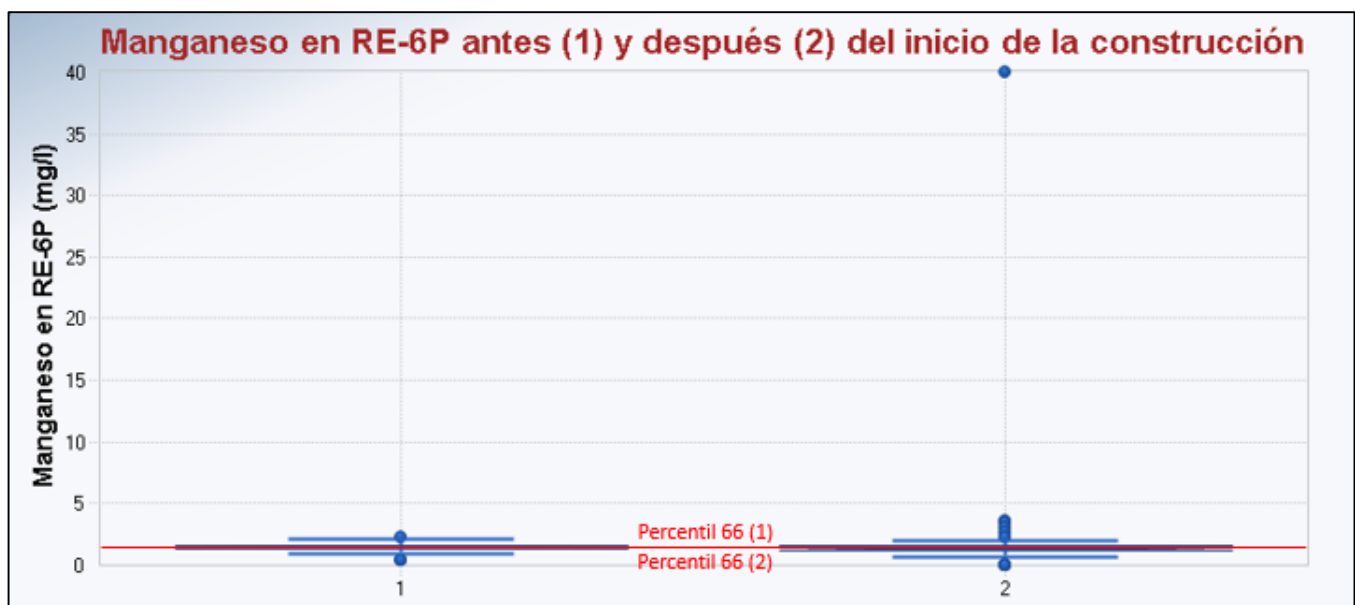
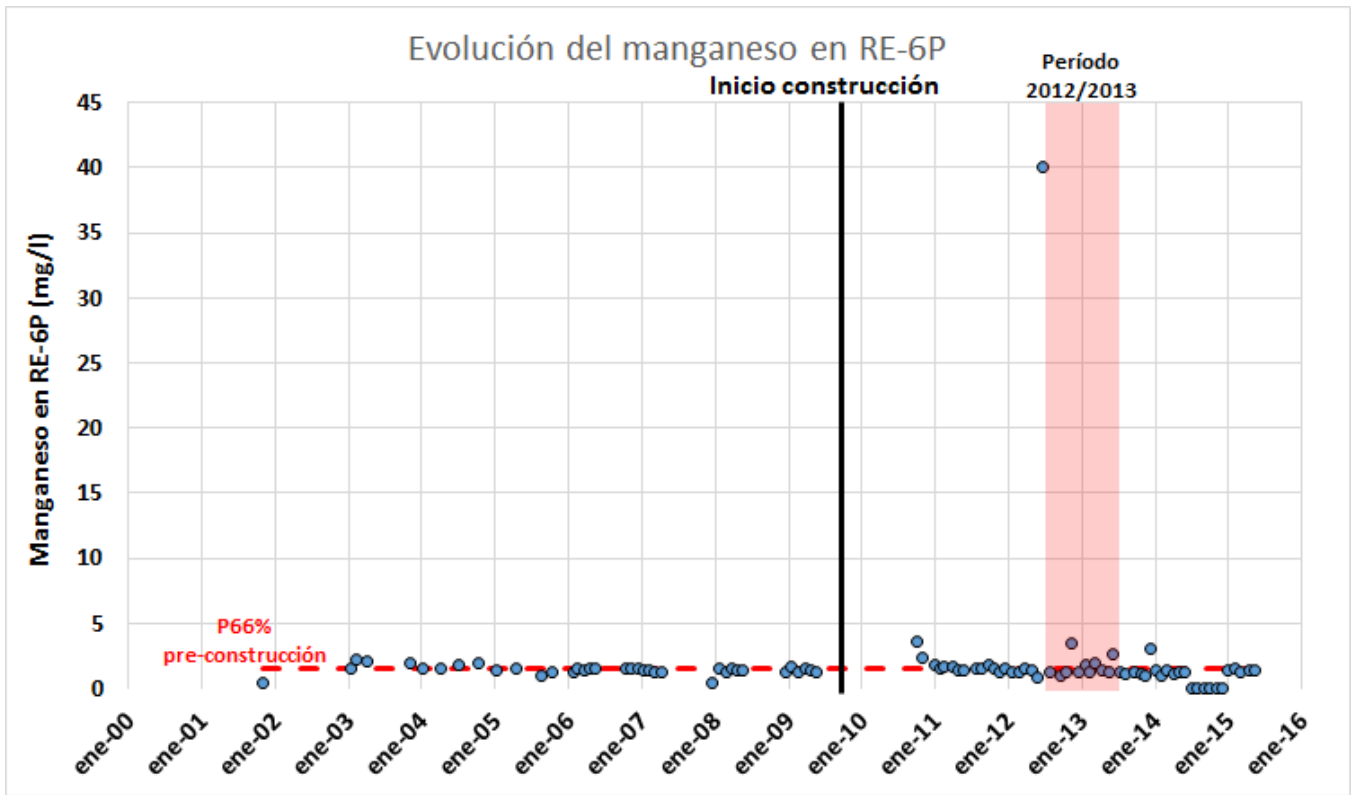


Figura 8. Evolución del Manganeso (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 8. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	1,447	1,300	1,500	1,500	1,600
Post construcción	55	2,080	1,200	1,340	1,469	1,600
Período 2012/2013	11	1,700	1,300	1,300	1,640	1,850

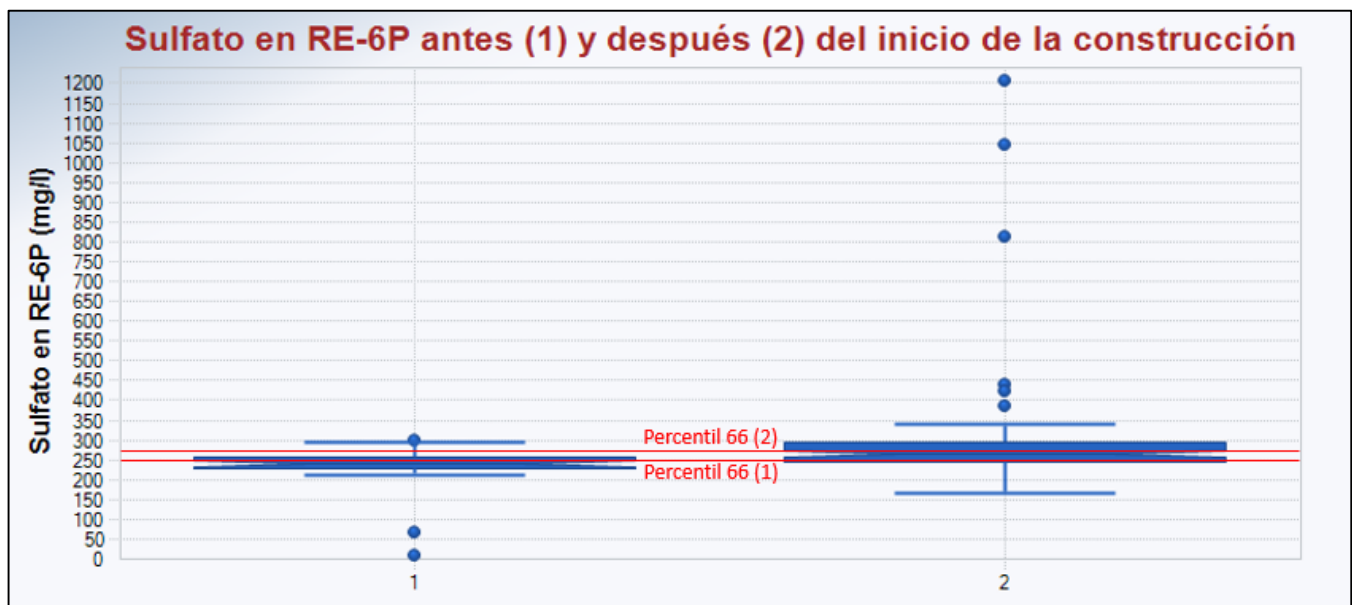
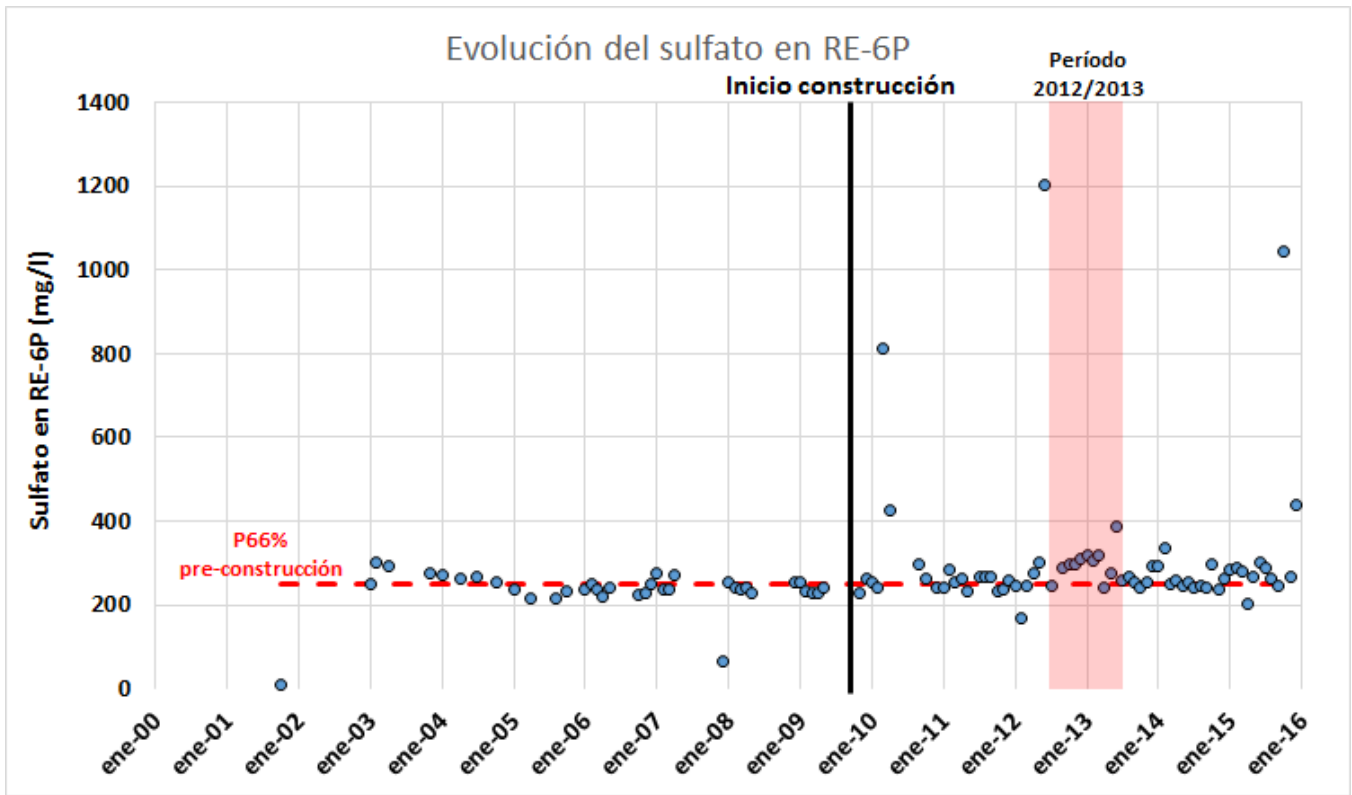


Figura 9. Evolución del sulfato en RE-6P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 9. Análisis estadístico de los datos de sulfato en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	235,3	230,0	240,0	251,0	255,0
Post construcción	67	305,3	245,0	264,0	285,6	294,5
Período 2012/2013	11	298,5	281,5	296,0	308,6	314,0

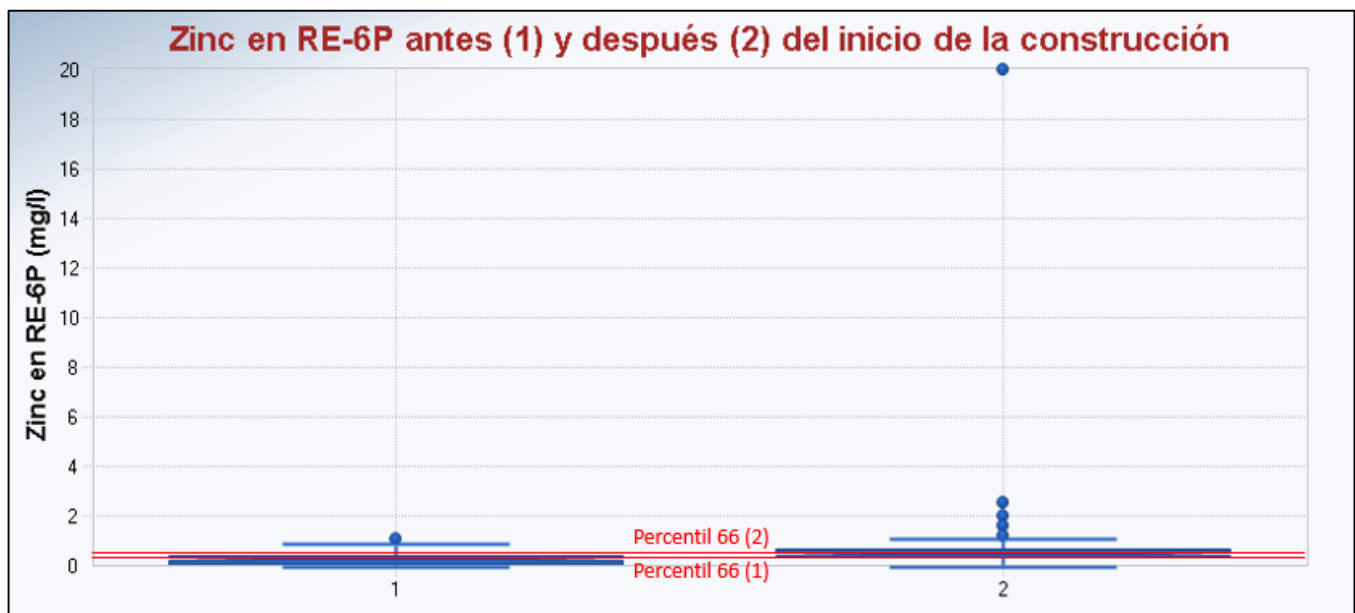
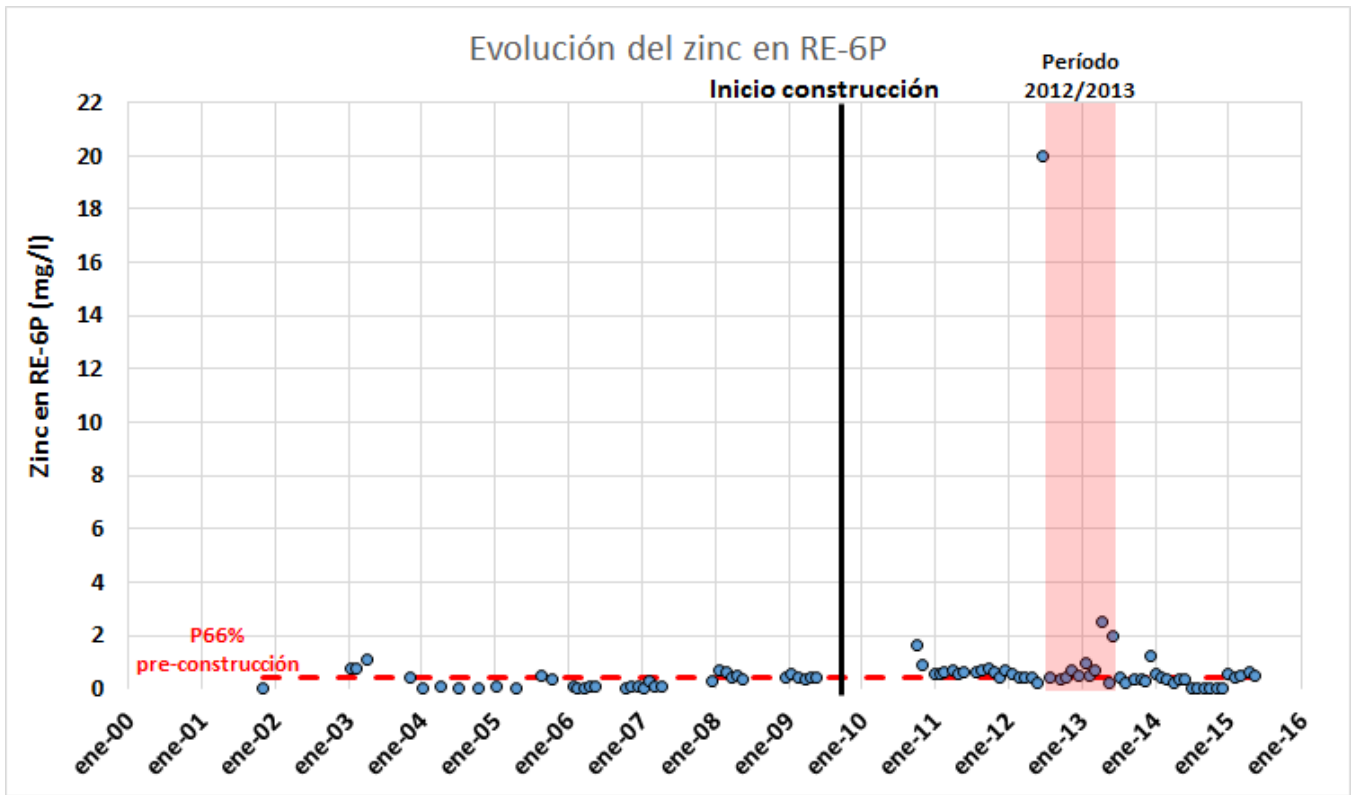


Figura 10. Evolución del Zinc en RE-6P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 10. Análisis estadístico de los datos de Zinc en RE-6P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	37	0,277	0,046	0,248	0,390	0,430
Post construcción	55	0,893	0,340	0,450	0,579	0,630
Período 2012/2013	11	0,837	0,413	0,500	0,662	0,826

2. Evolución de algunos parámetros DAR seleccionados en RE-8AP y RE-8AS



Figura 11. Evolución de la conductividad eléctrica en RE-8AP (arriba) y RE-8AS (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

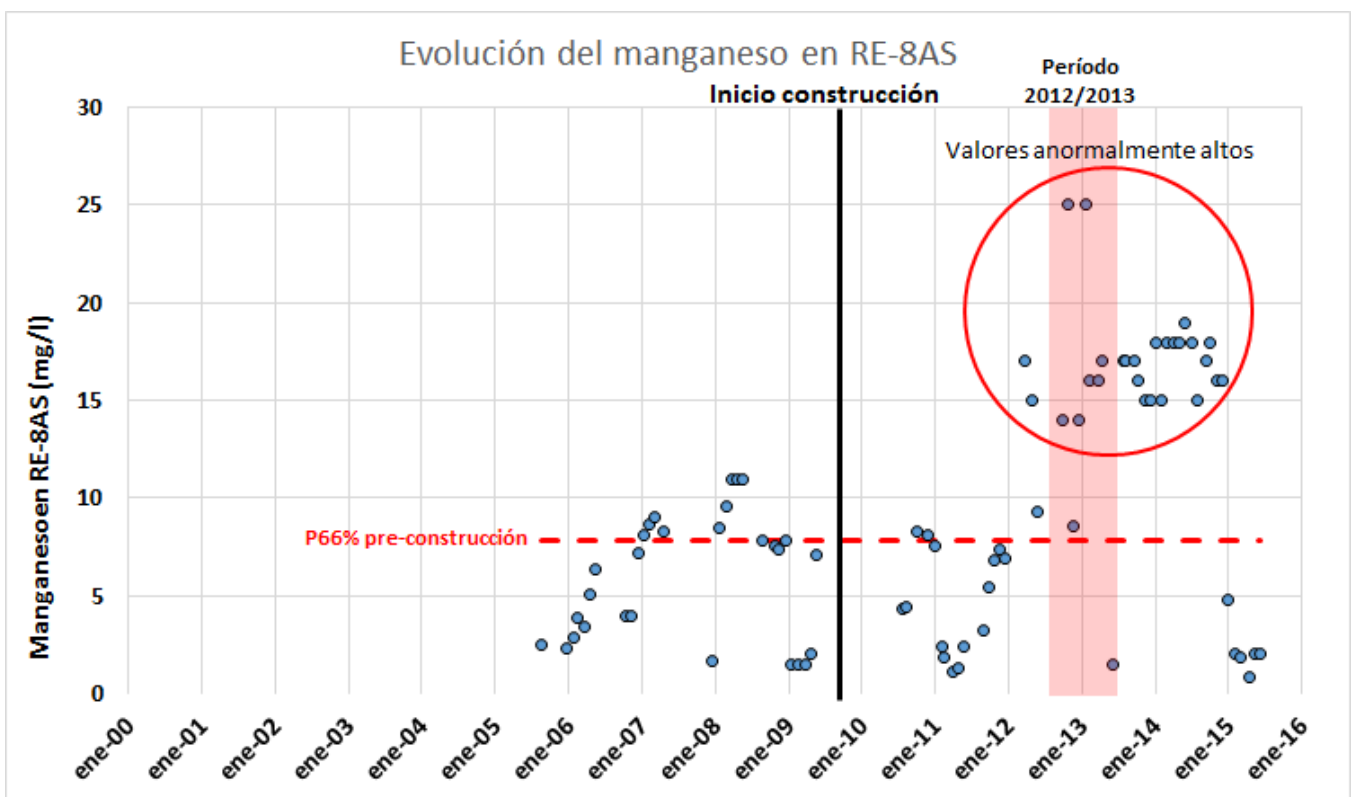
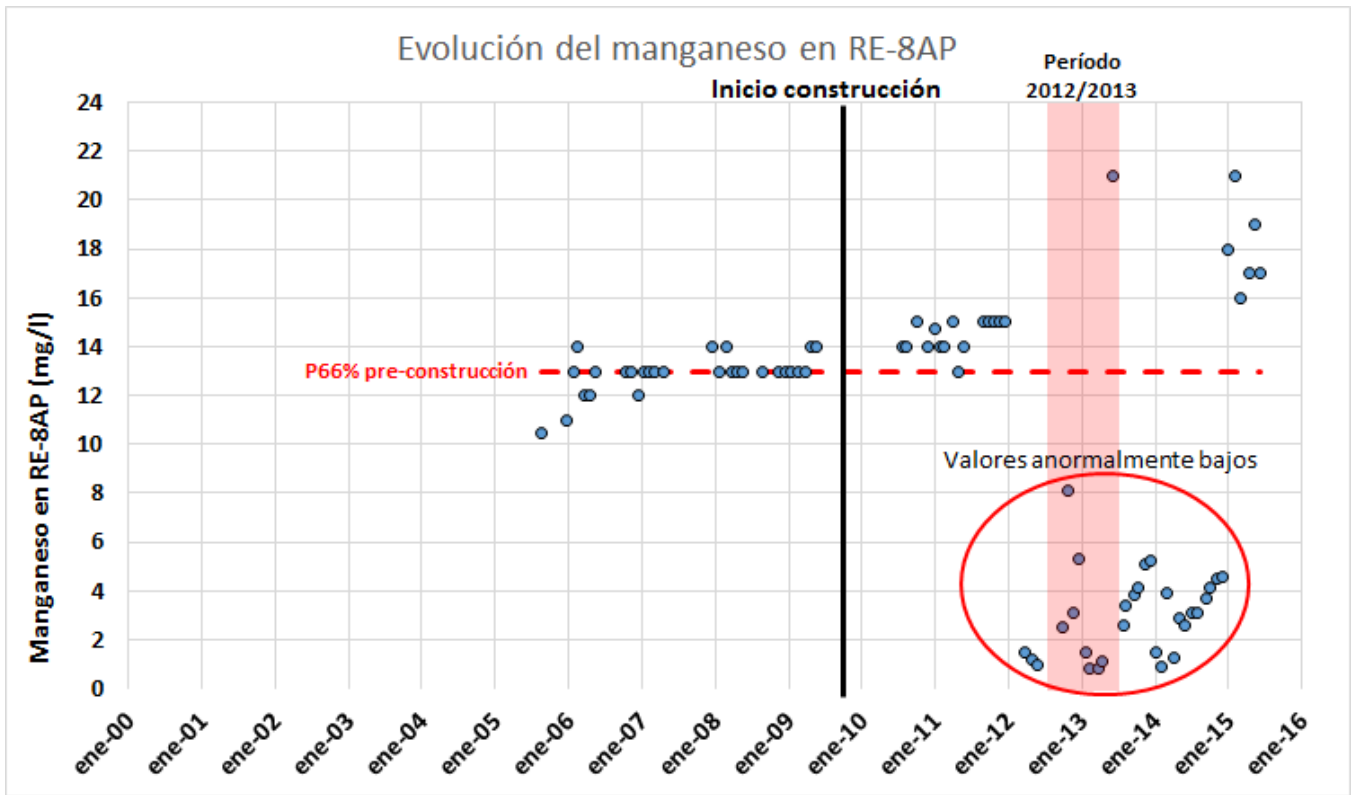


Figura 12. Evolución del manganeso en RE-8AP (arriba) y RE-8AS (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

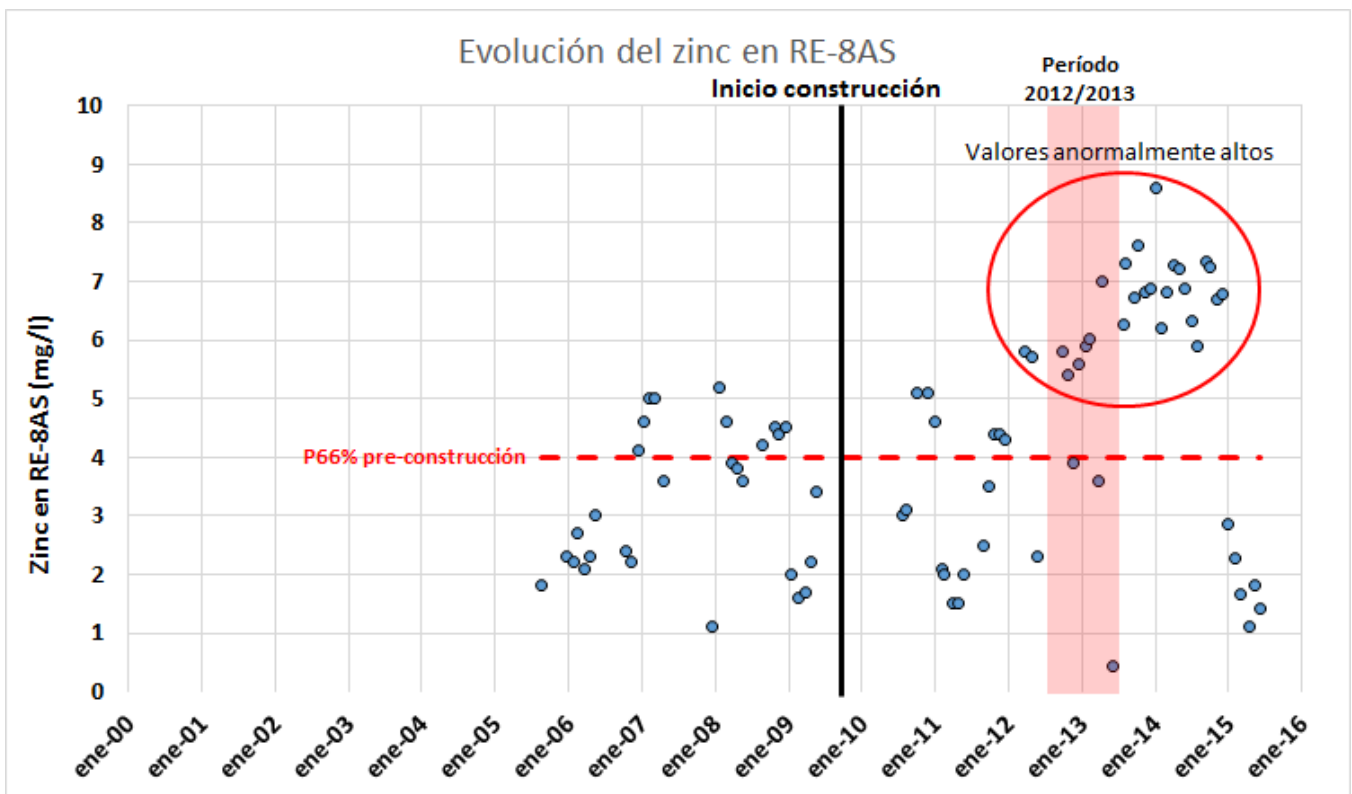
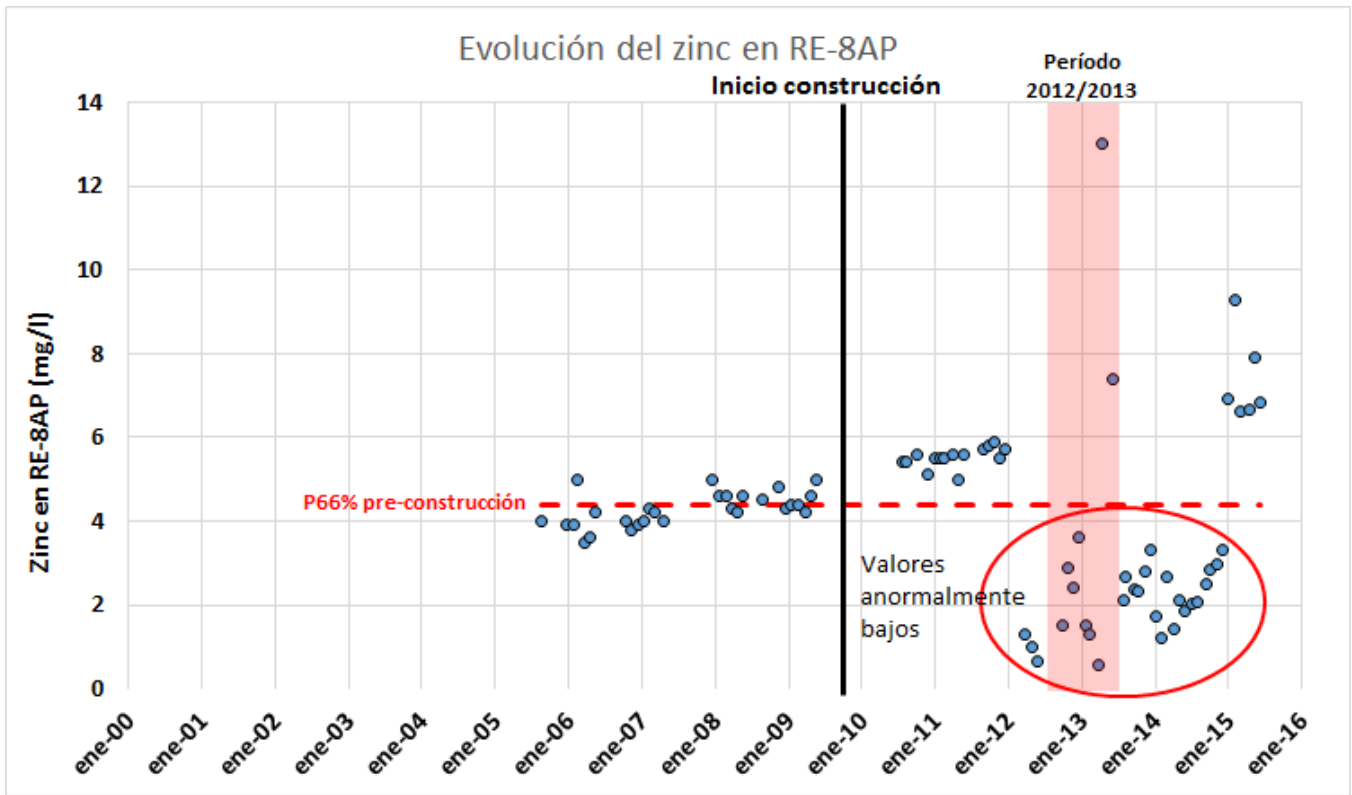


Figura 13. Evolución del zinc en RE-8AP (arriba) y RE-8AS (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

3. Evolución del nivel y de los parámetros DAR en RE-14P

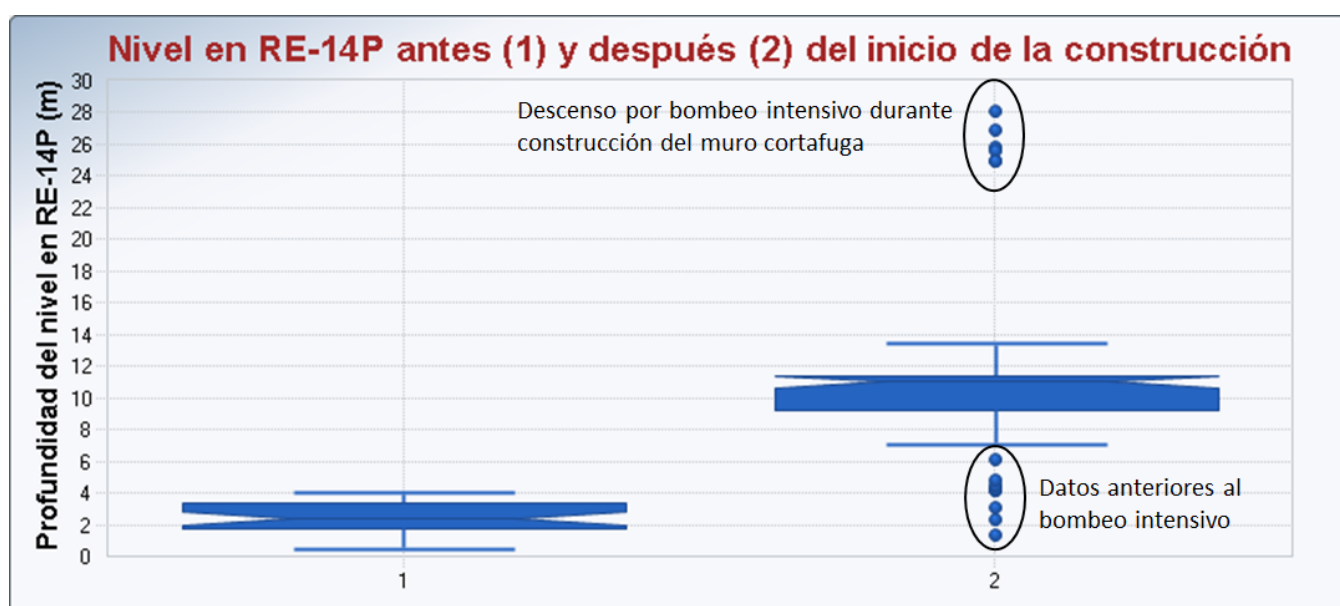
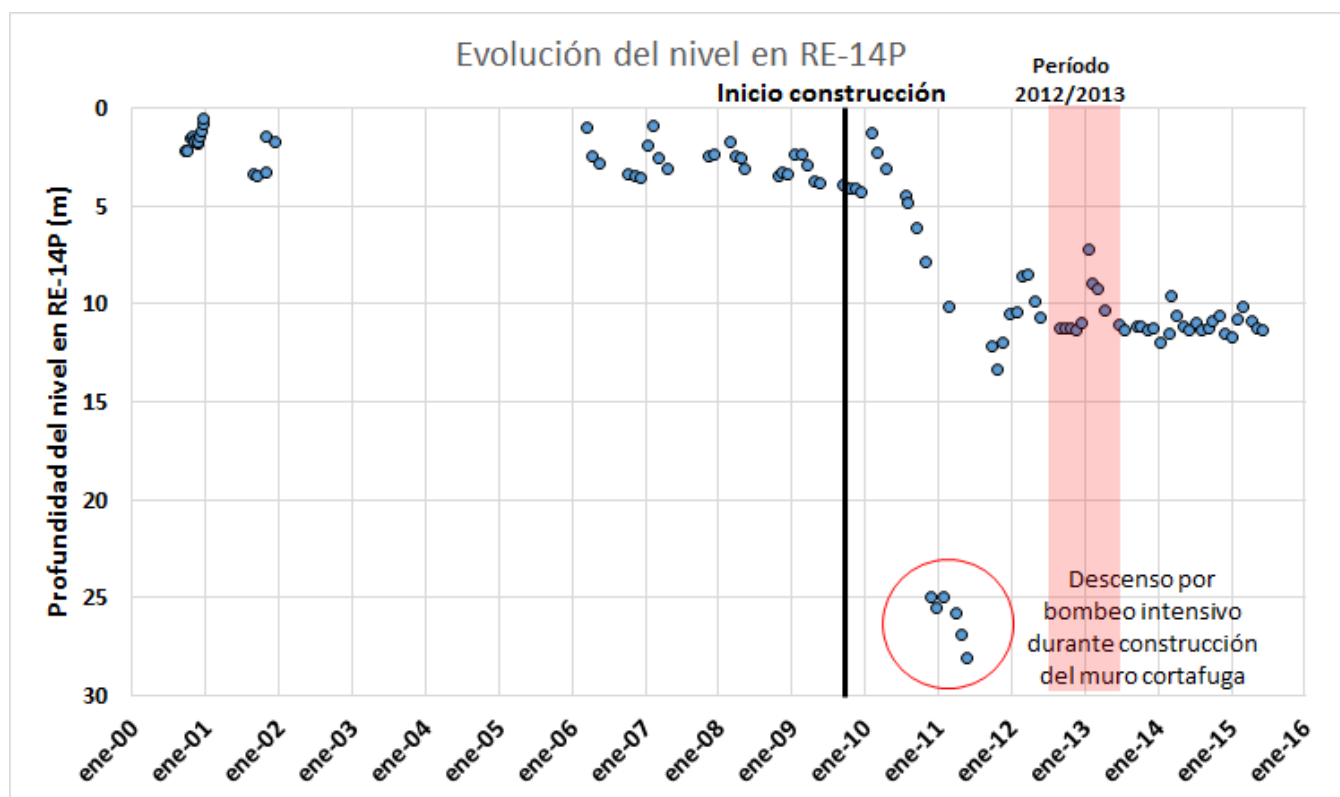


Figura 14. Evolución de la profundidad del nivel en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 11. Análisis estadístico de los datos de nivel en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	42	2,4	1,7	2,4	2,9	3,3
Post construcción	59	11,2	9,4	11,0	11,3	11,3
Período 2012/2013	10	10,3	9,5	11,0	11,2	11,2

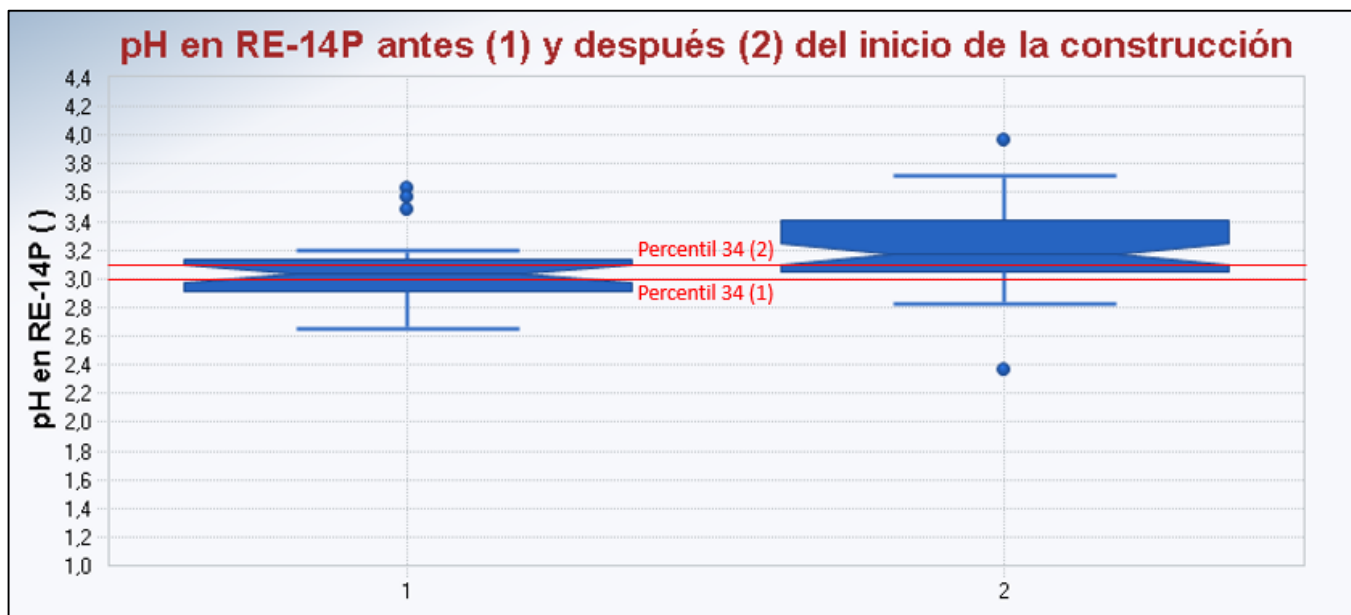
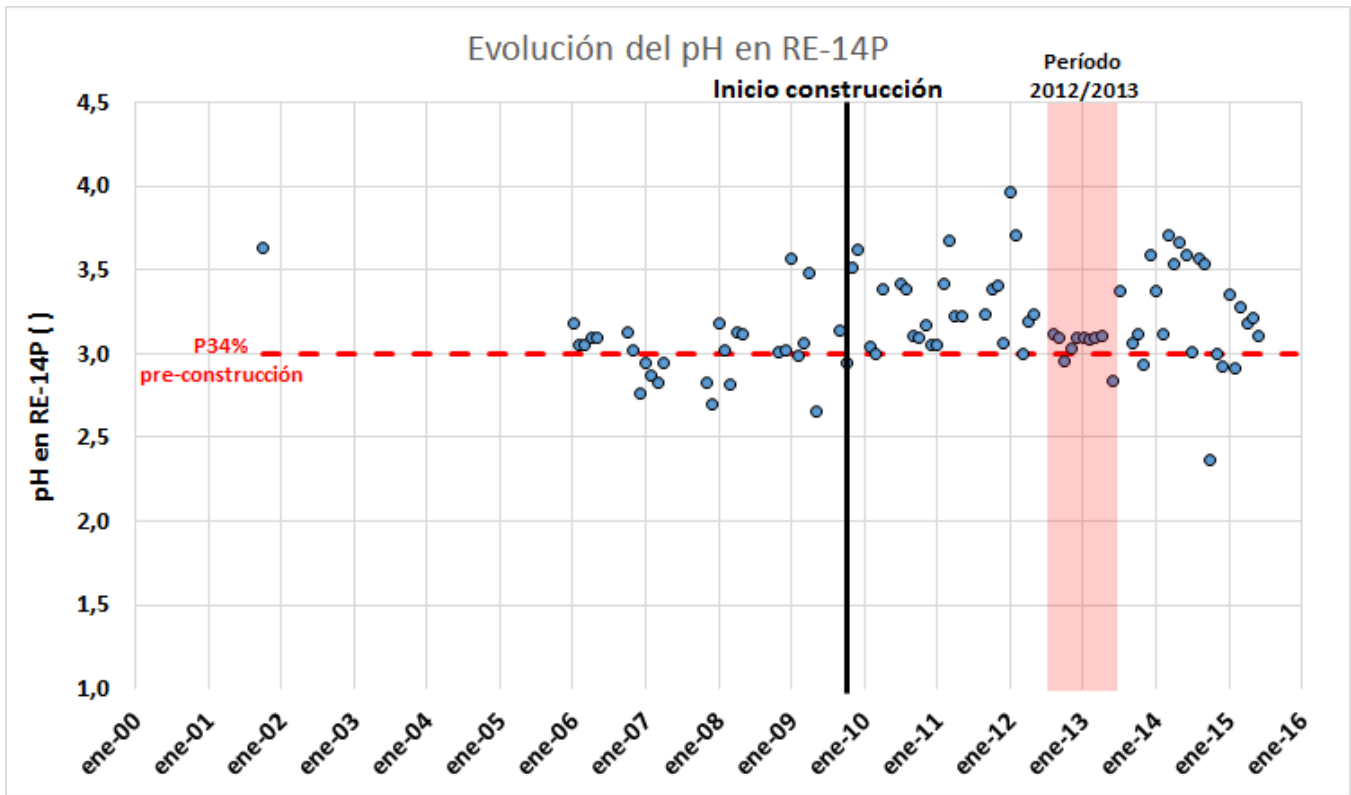


Figura 15. Evolución del pH en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 12. Análisis estadístico de los datos de pH en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	3,0	2,9	3,0	3,0	3,1
Post construcción	59	3,2	3,1	3,2	3,1	3,4
Período 2012/2013	10	3,1	3,0	3,1	3,1	3,1

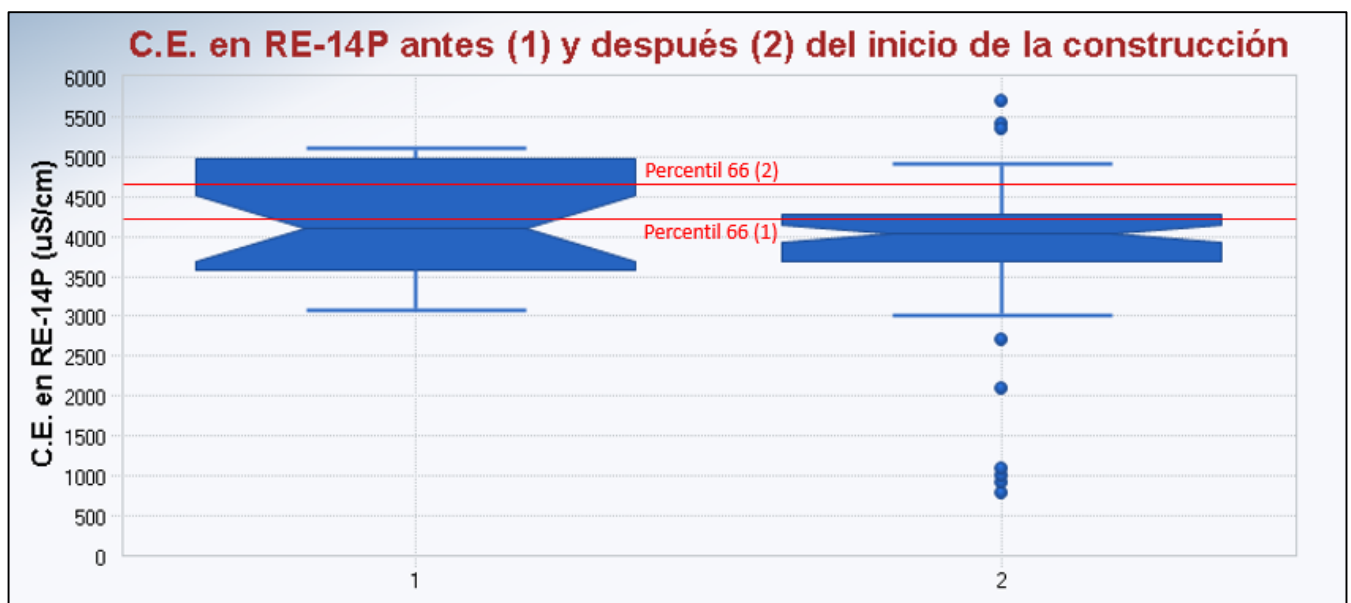
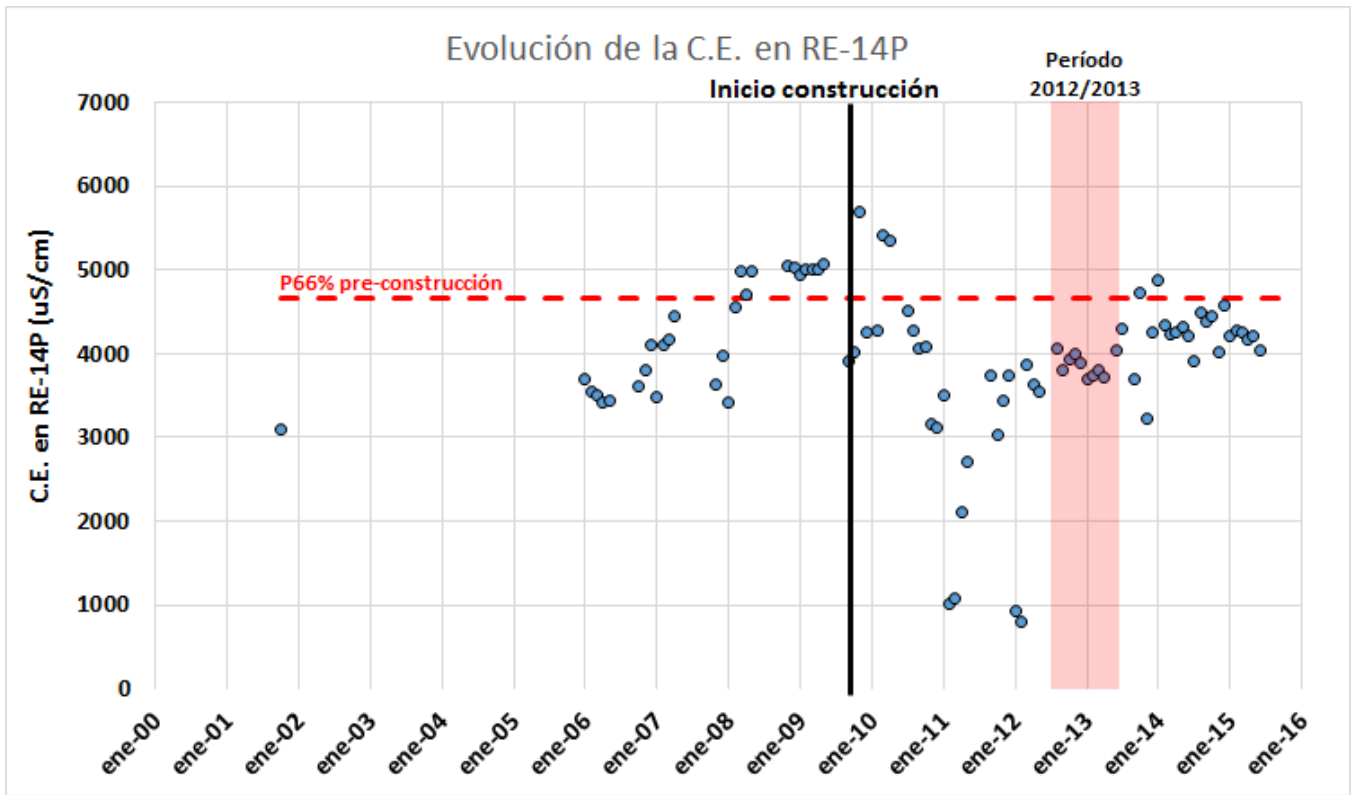


Figura 16. Evolución de la Conductividad Eléctrica en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 13. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	4204,2	3594,0	4105,0	4673,0	4982,5
Post construcción	59	3819,9	3690,0	4030,0	4235,6	4268,5
Período 2012/2013	10	3869,0	3762,5	3855,0	3937,6	3985,0

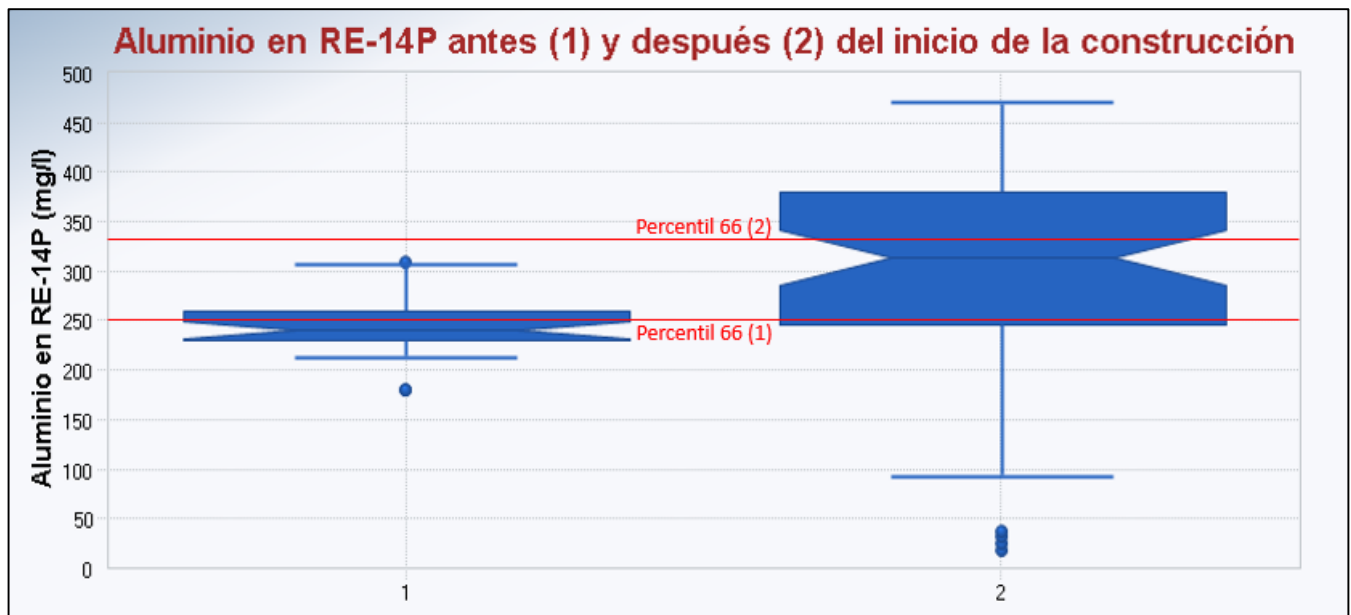
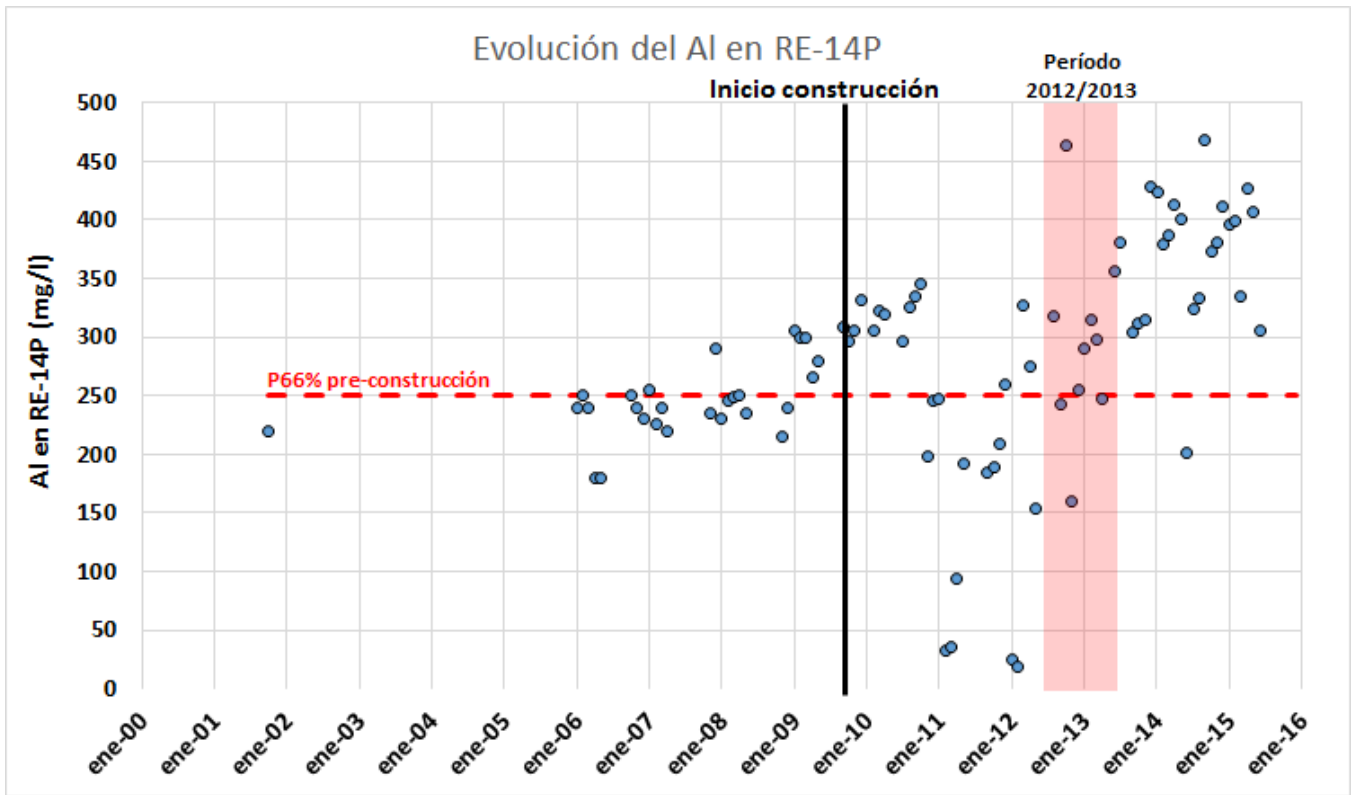


Figura 17. Evolución del Aluminio en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 14. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	247,0	230,0	240,0	250,0	257,5
Post construcción	59	293,3	246,0	314,0	333,3	376,0
Período 2012/2013	10	294,2	249,0	294,0	313,0	316,3

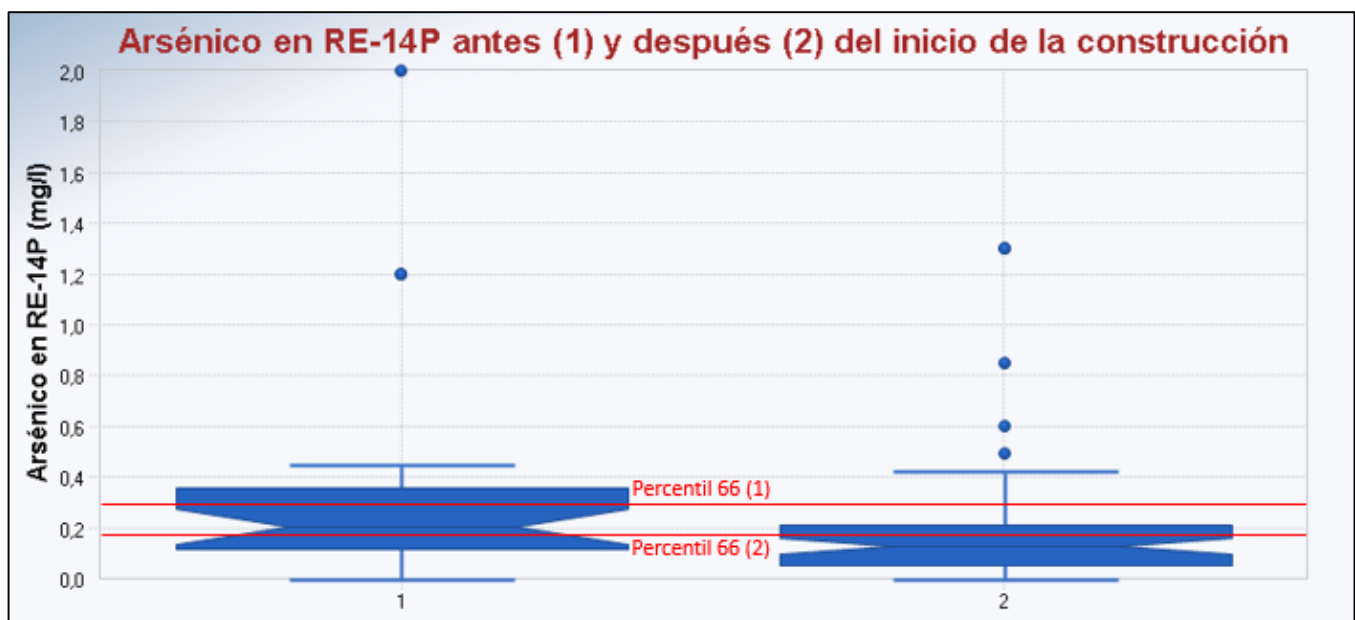
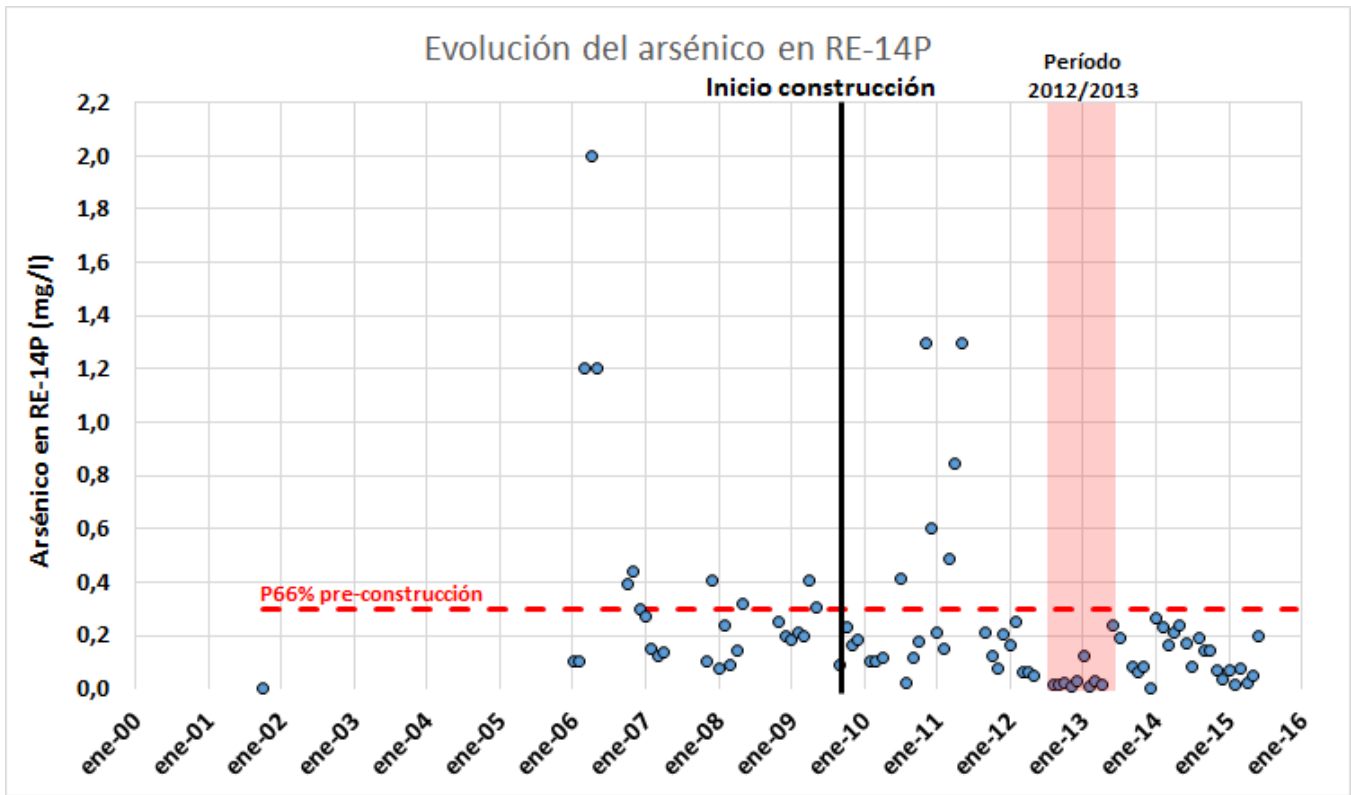


Figura 18. Evolución del Arsénico en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 15. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	0,34	0,12	0,21	0,30	0,34
Post construcción	59	0,19	0,06	0,12	0,18	0,21
Período 2012/2013	10	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03

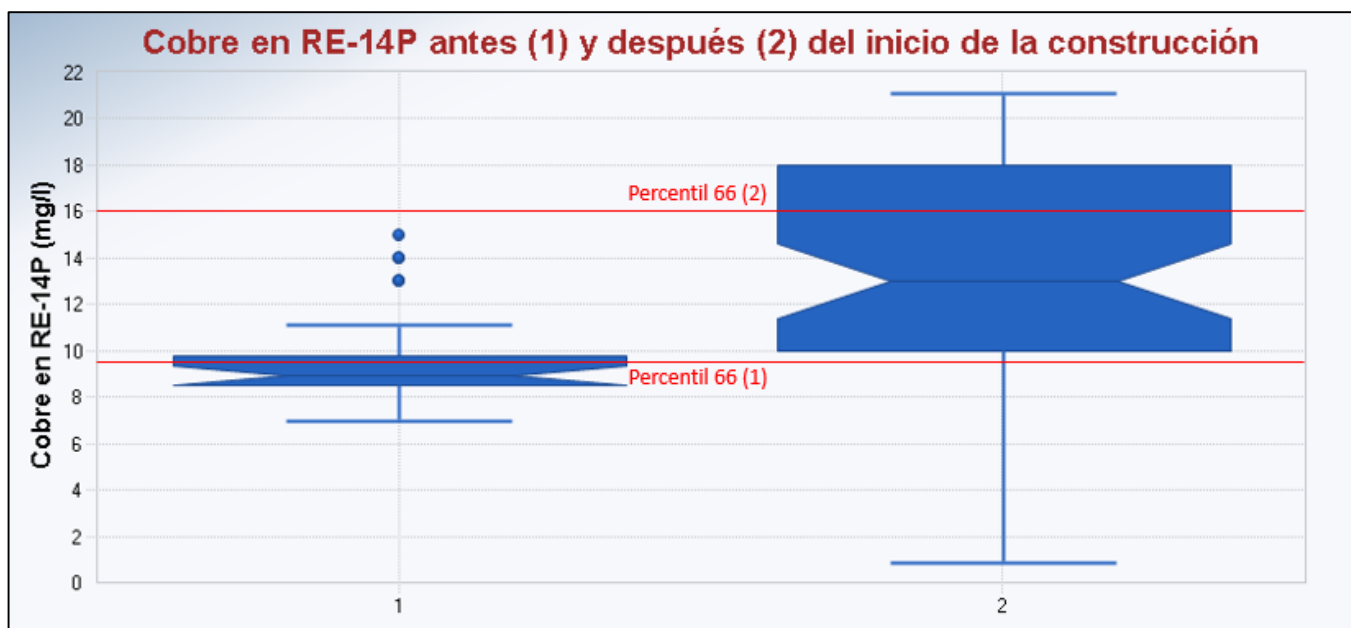
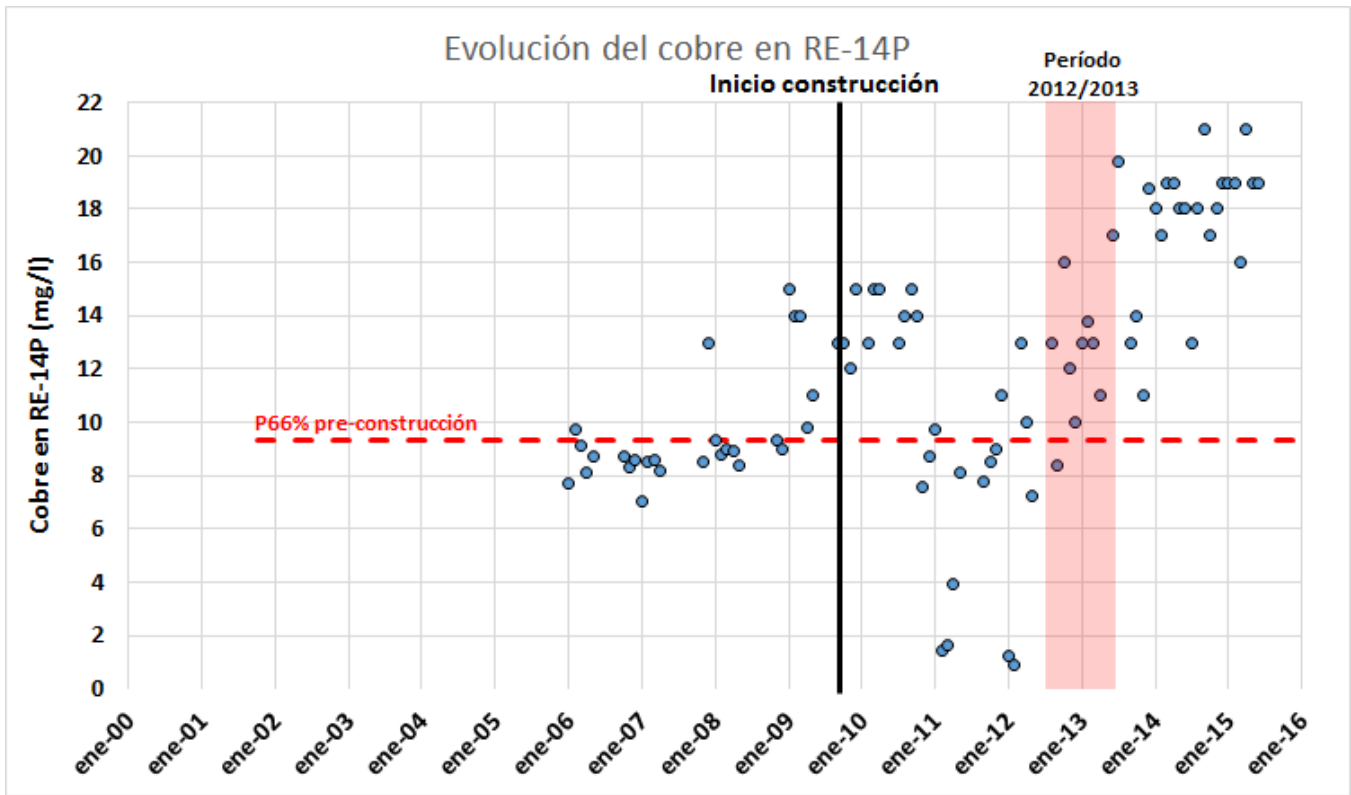


Figura 19. Evolución del Cobre en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 16. Análisis estadístico de los datos de Cobre en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	27	9,7	8,5	8,9	9,3	9,8
Post construcción	59	13,2	10,0	13,0	16,0	18,0
Período 2012/2013	10	12,7	11,3	13,0	13,0	13,6

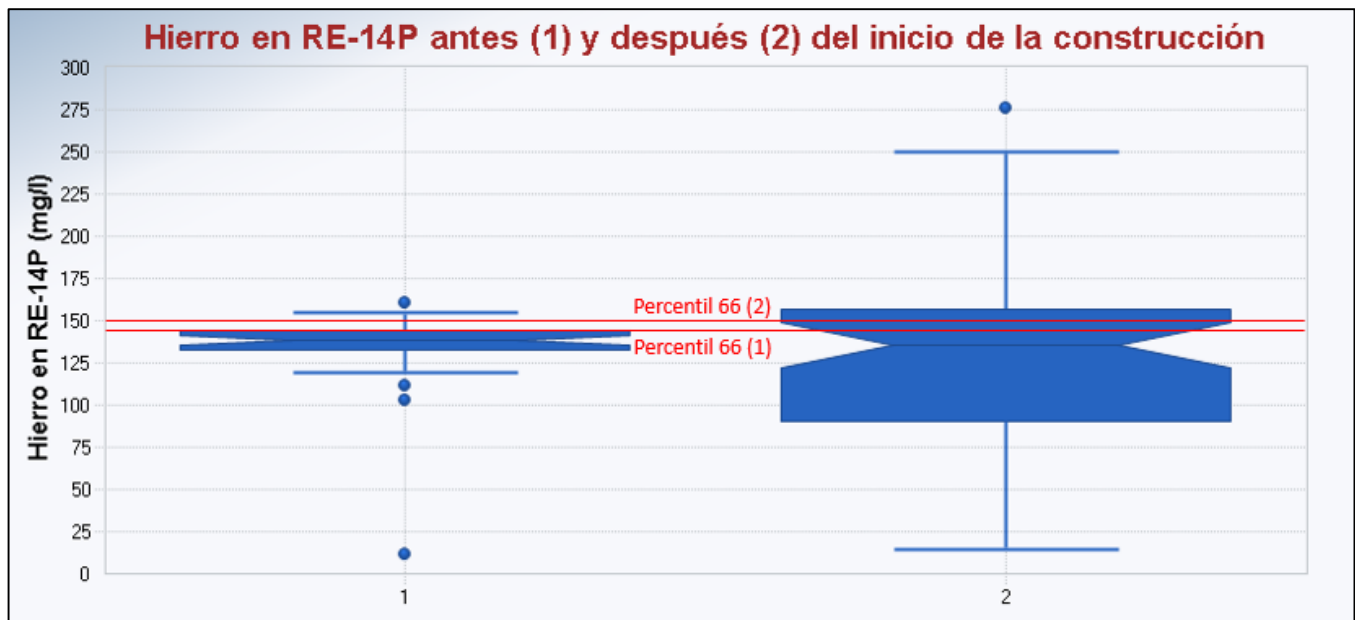
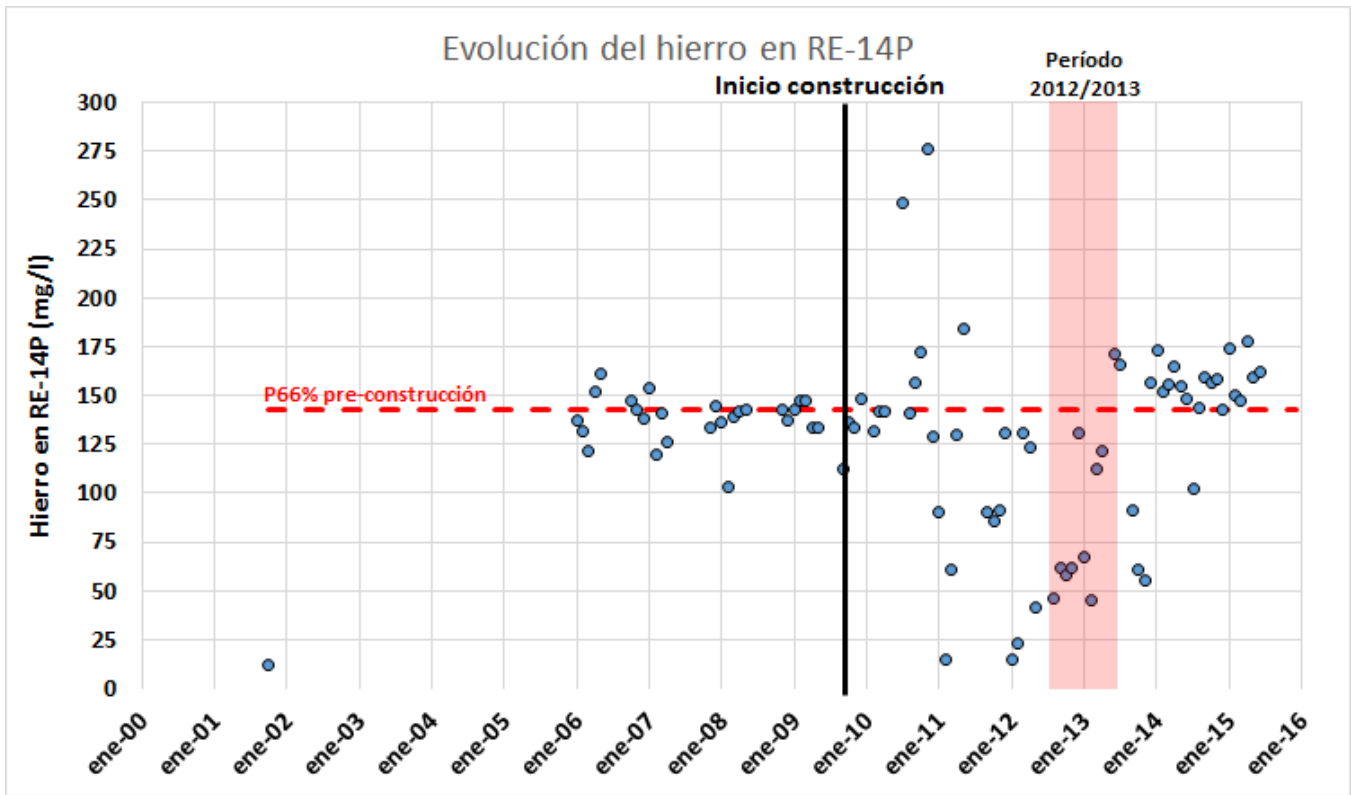


Figura 20. Evolución del Hierro en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 17. Análisis estadístico de los datos de Hierro en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	133,0	133,5	138,5	143,0	143,5
Post construcción	59	124,7	90,0	136,0	150,6	157,0
Período 2012/2013	10	87,7	59,0	64,5	109,3	119,5

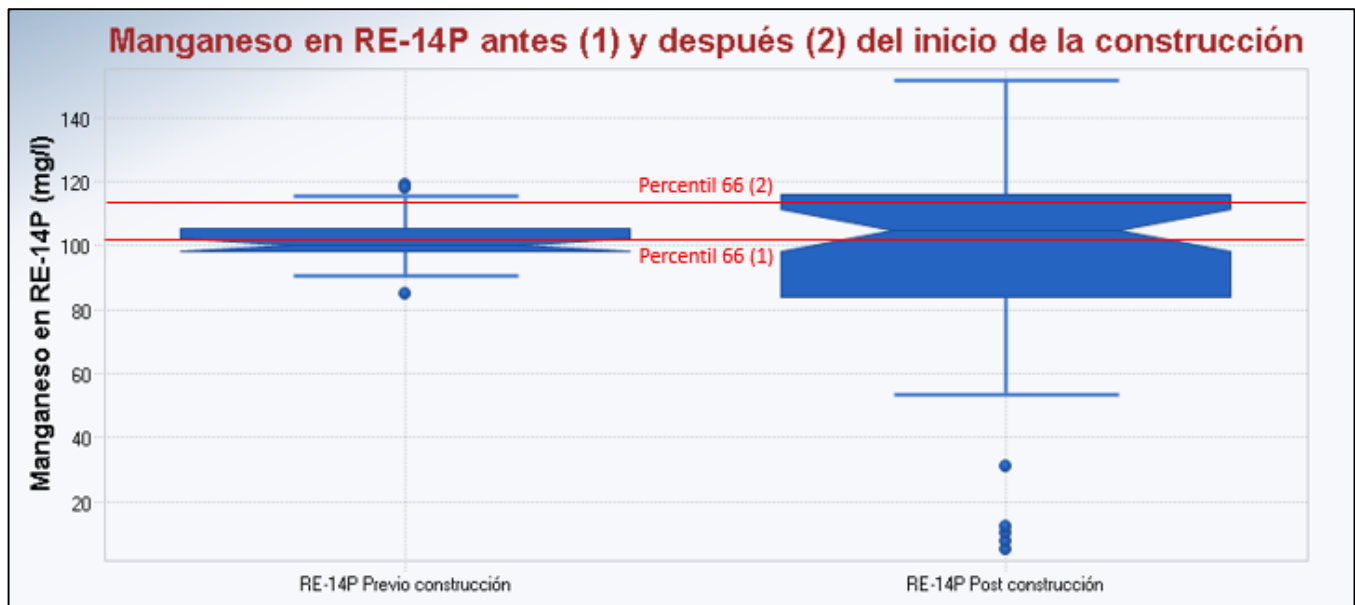
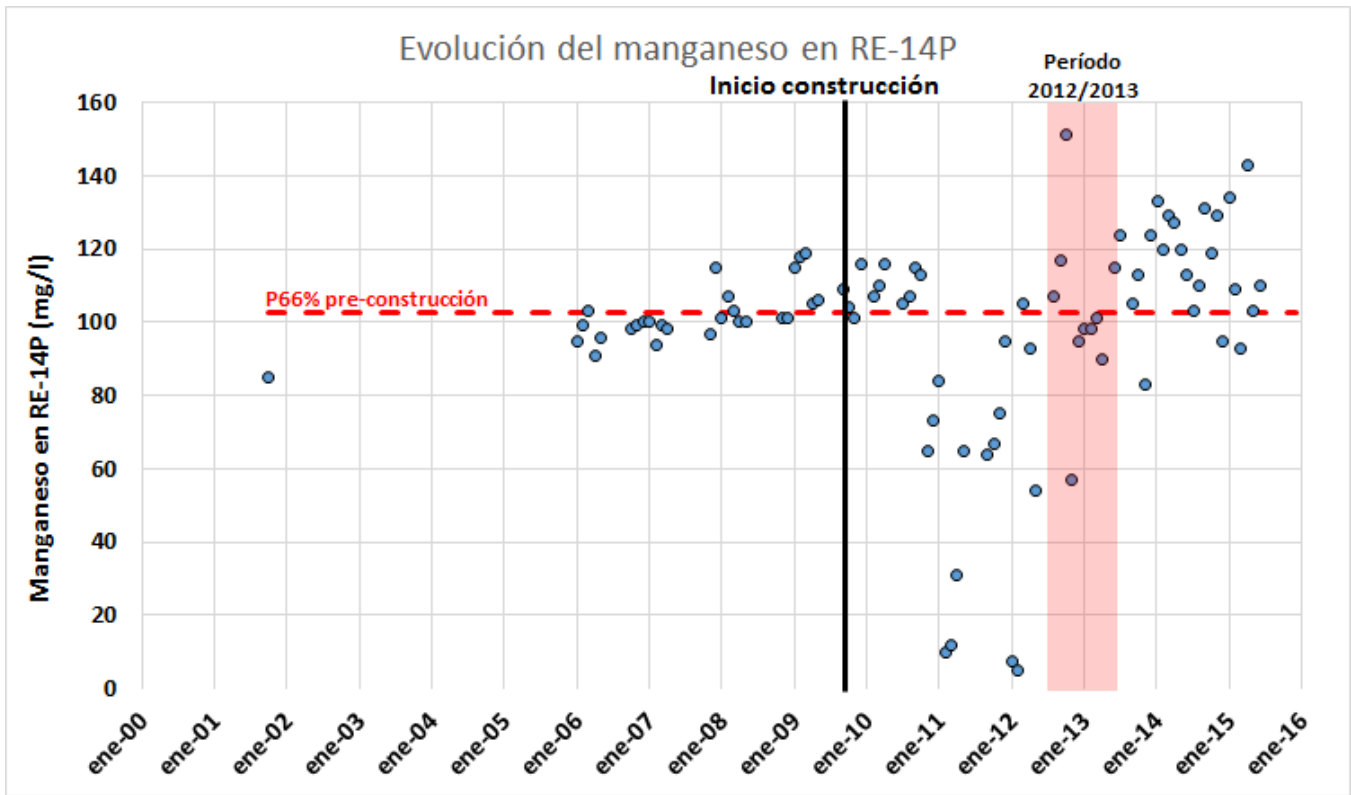


Figura 21. Evolución del Manganeso en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 18. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	101,9	98,0	100,0	102,6	105,3
Post construcción	59	96,6	87,0	105,0	113,0	116,0
Período 2012/2013	10	102,9	95,8	99,7	106,6	113,0

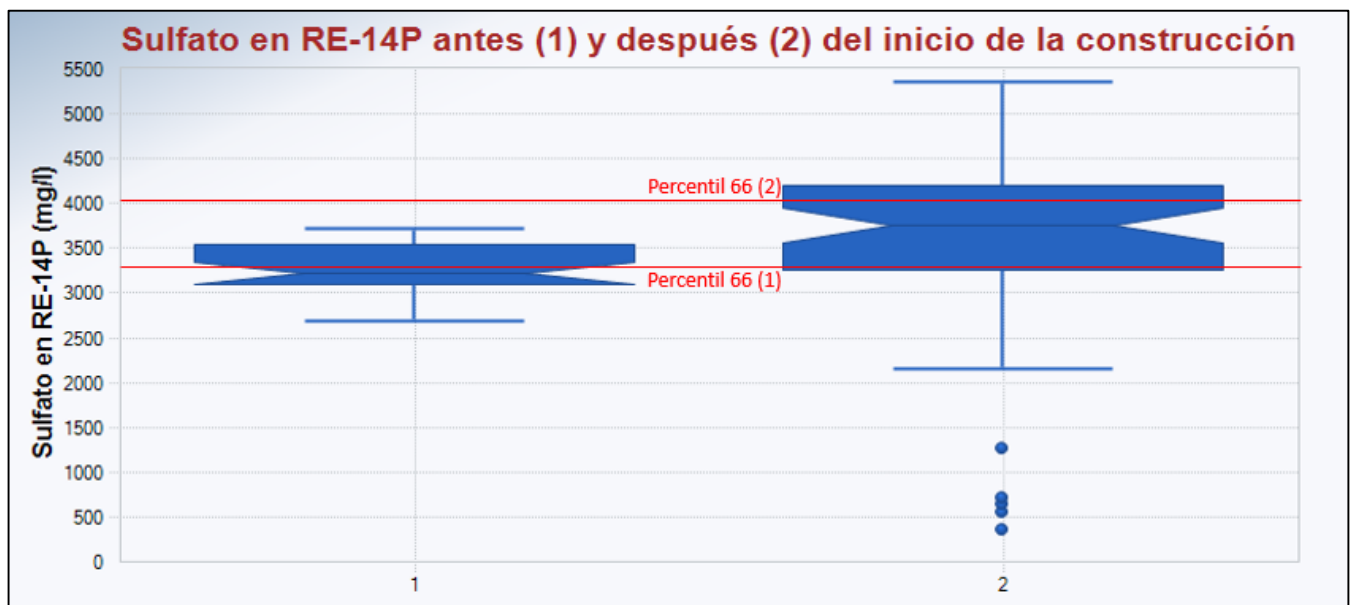
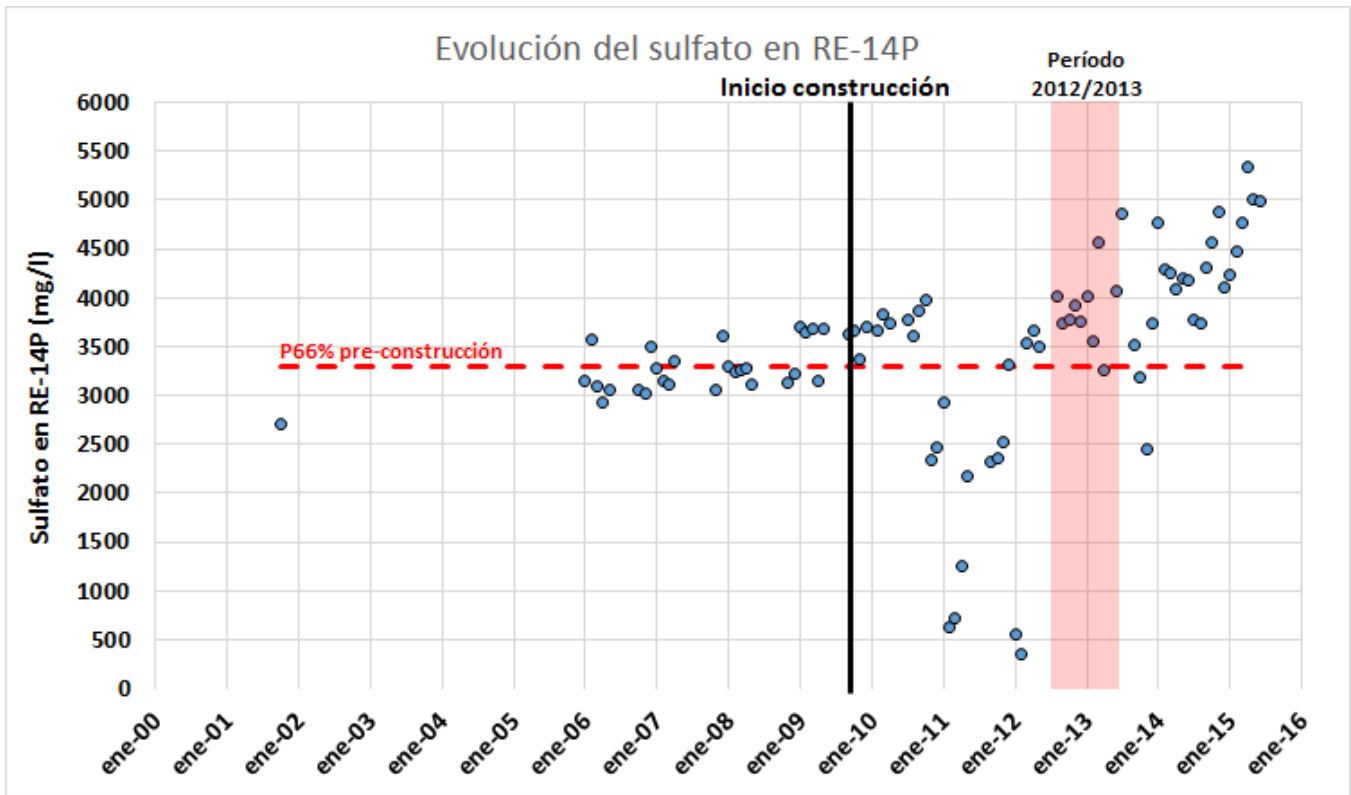


Figura 22. Evolución del sulfato en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 19. Análisis estadístico de los datos de sulfato en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	3272,9	3105,3	3225,0	3294,6	3520,3
Post construcción	59	3530,7	3288,0	3748,0	4014,5	4191,0
Período 2012/2013	10	3864,5	3735,5	3845,0	4006,2	4018,8

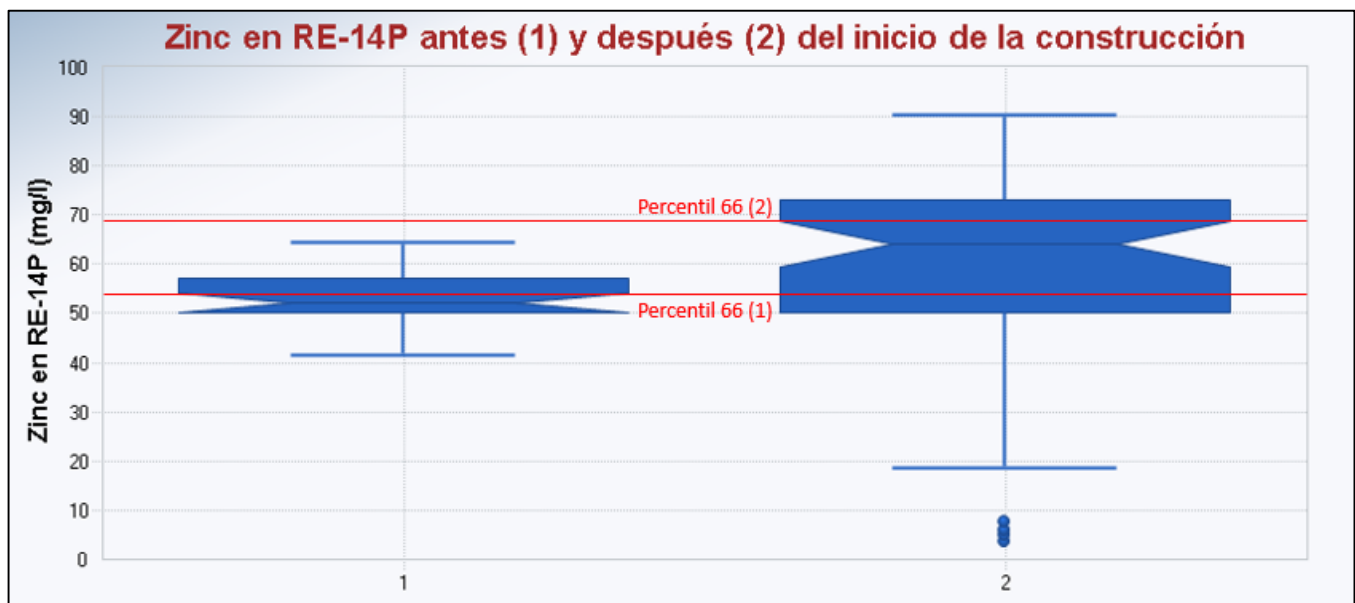
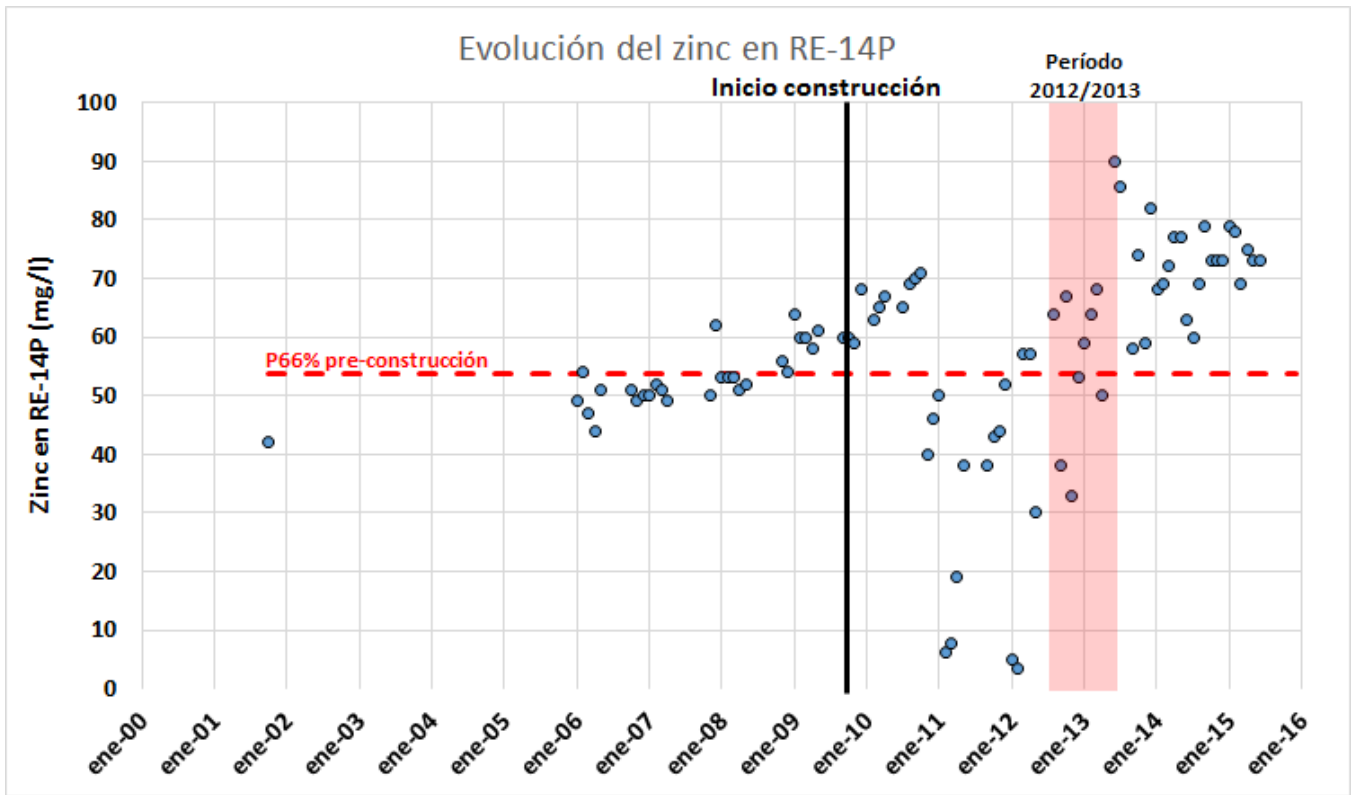


Figura 23. Evolución del Zinc en RE-14P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 20. Análisis estadístico de los datos de Zinc en RE-14P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	28	53,1	50,0	52,0	53,8	56,5
Post construcción	59	58,3	50,0	64,0	69,0	72,5
Período 2012/2013	10	58,6	50,8	61,4	64,0	66,3

4. Evolución del nivel y de los parámetros DAR en RE-14S

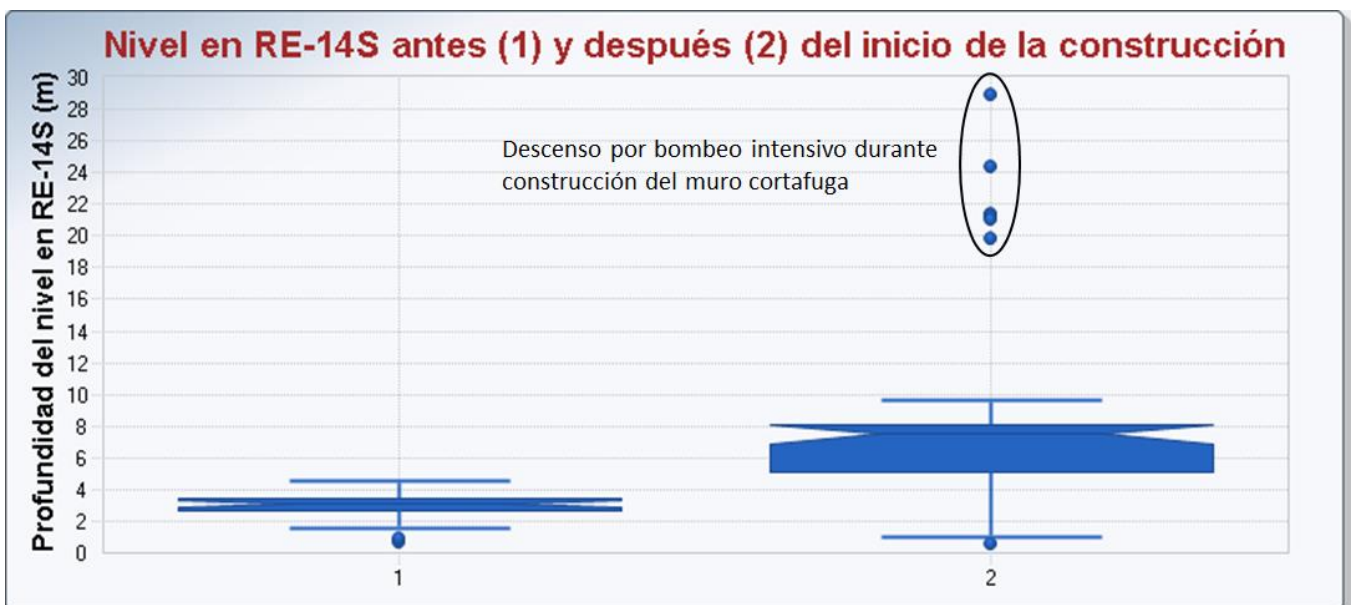
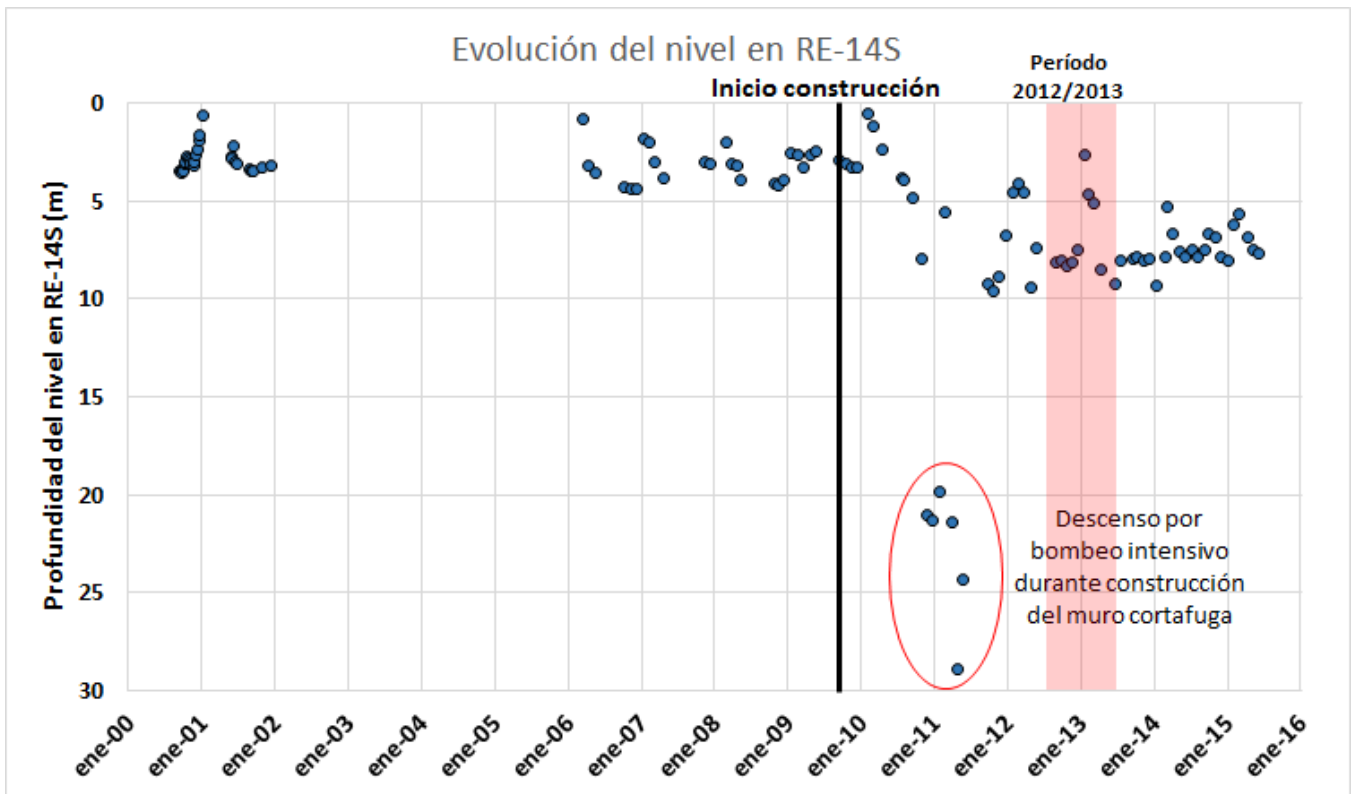


Figura 24. Evolución de la profundidad del nivel en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 21. Análisis estadístico de los datos de nivel en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	52	3,0	2,6	3,1	3,3	3,5
Post construcción	59	8,2	5,2	7,5	8,0	8,1
Período 2012/2013	10	7,0	5,7	8,0	8,1	8,3

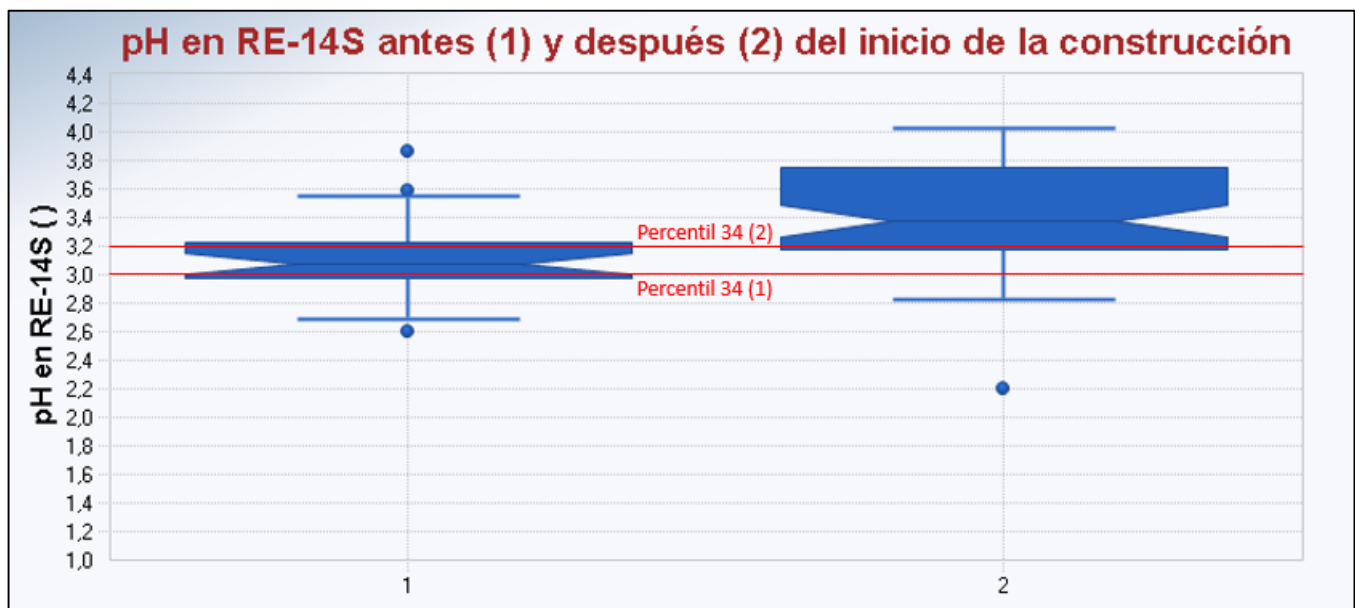
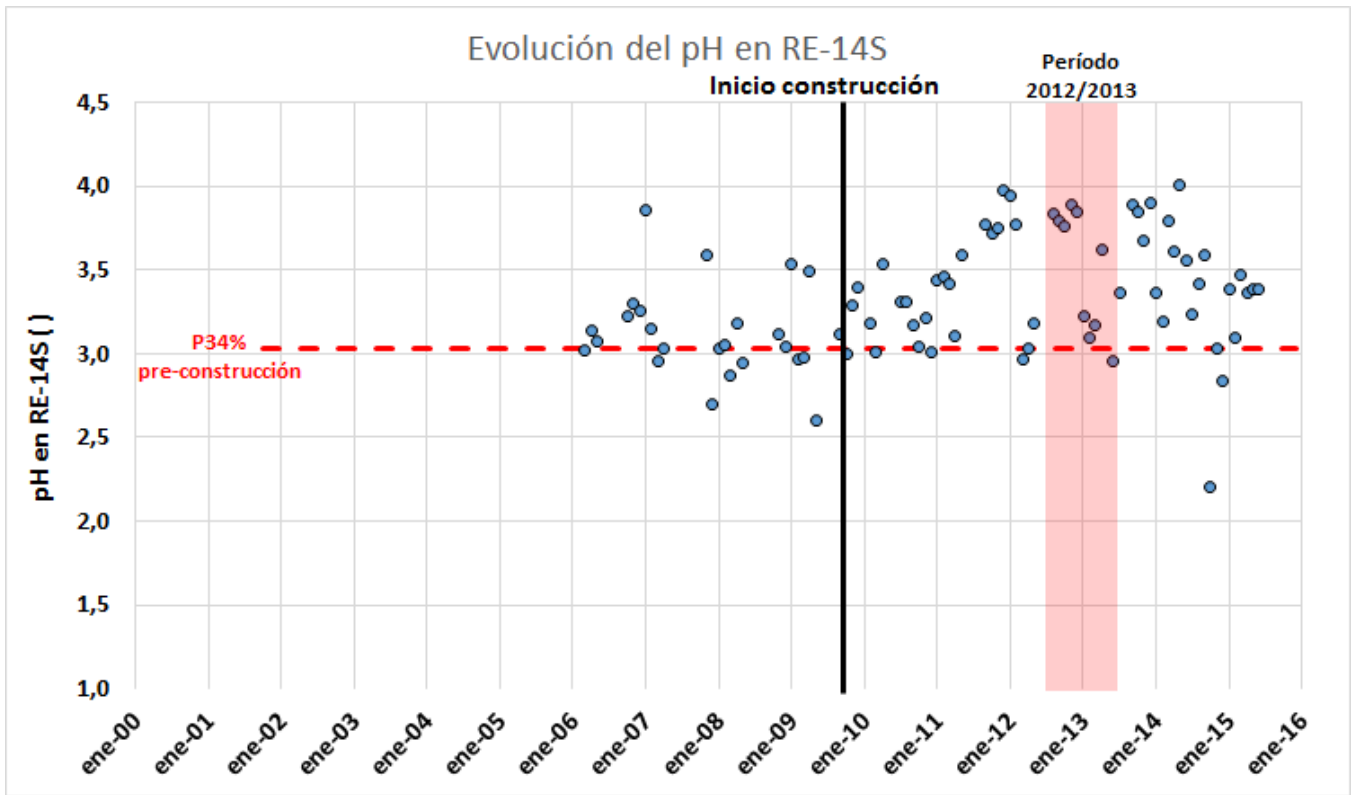


Figura 25. Evolución del pH en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 22. Análisis estadístico de los datos de pH en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	3,1	3,0	3,1	3,0	3,2
Post construcción	59	3,4	3,2	3,4	3,2	3,7
Período 2012/2013	10	3,5	3,2	3,7	3,2	3,8

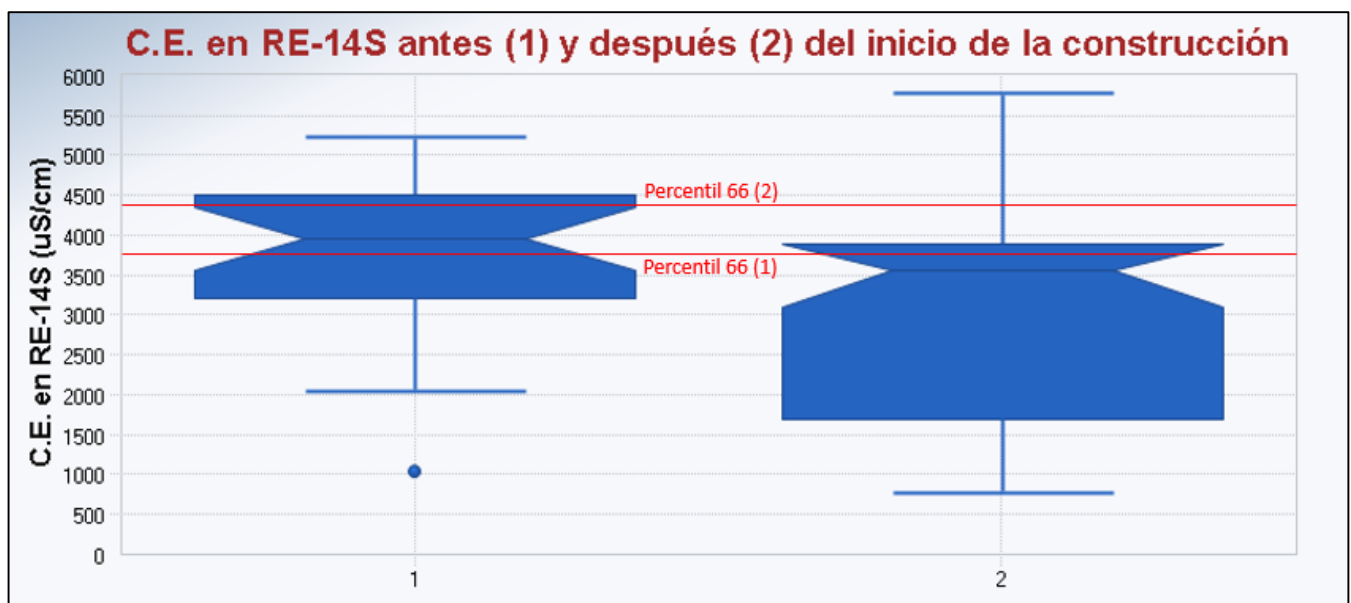
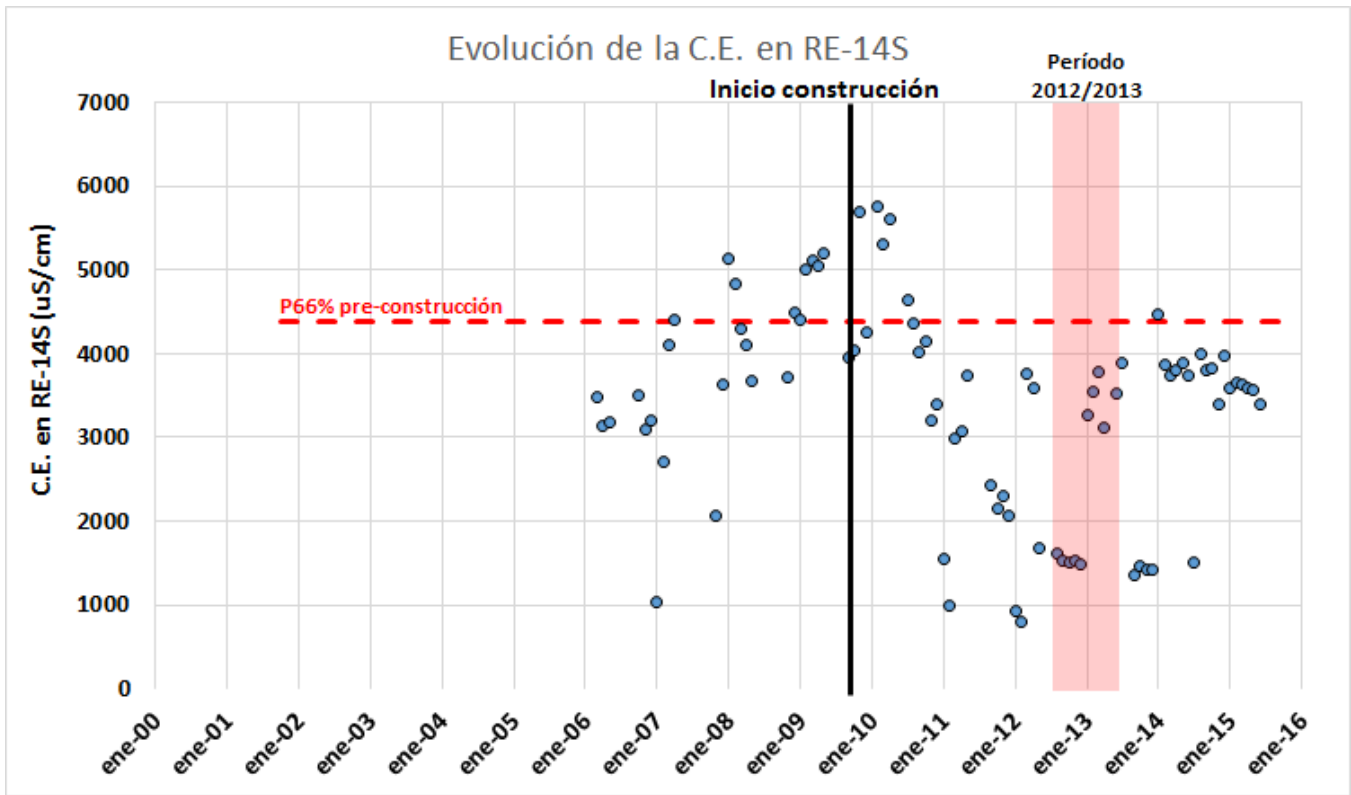


Figura 26. Evolución de la Conductividad Eléctrica en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 23. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	3861,4	3210,0	3950,0	4384,0	4500,0
Post construcción	59	3158,3	1873,5	3560,0	3765,6	3875,0
Período 2012/2013	10	2485,7	1521,3	2358,0	3260,4	3457,5

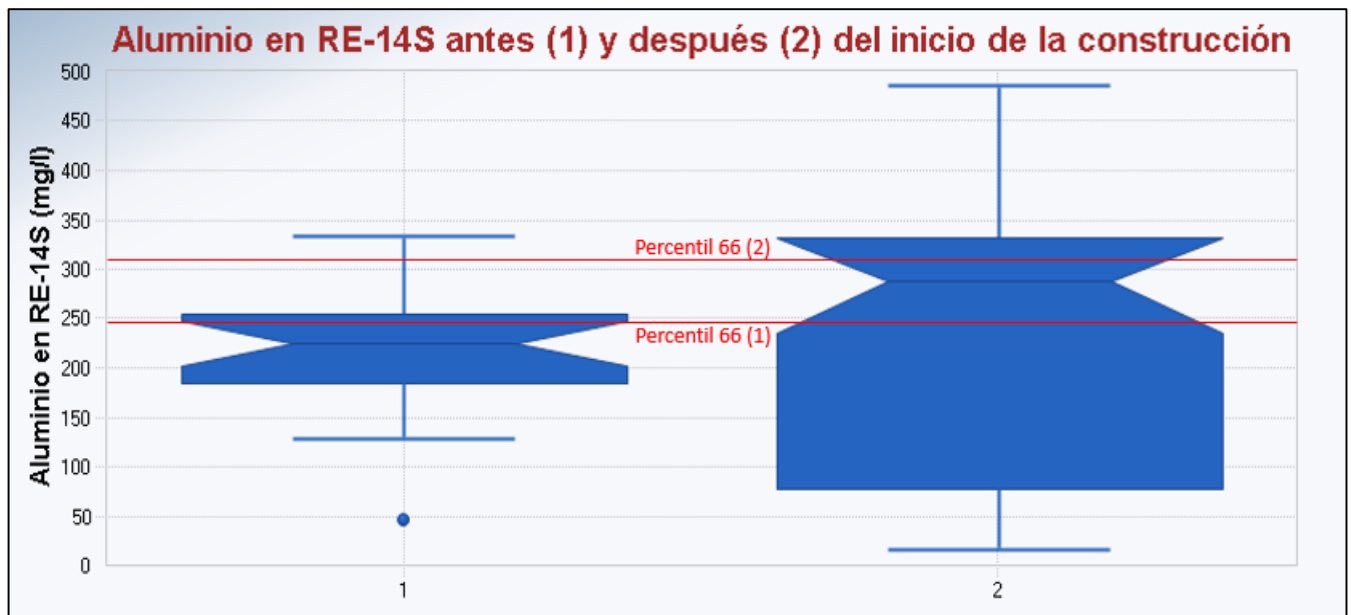
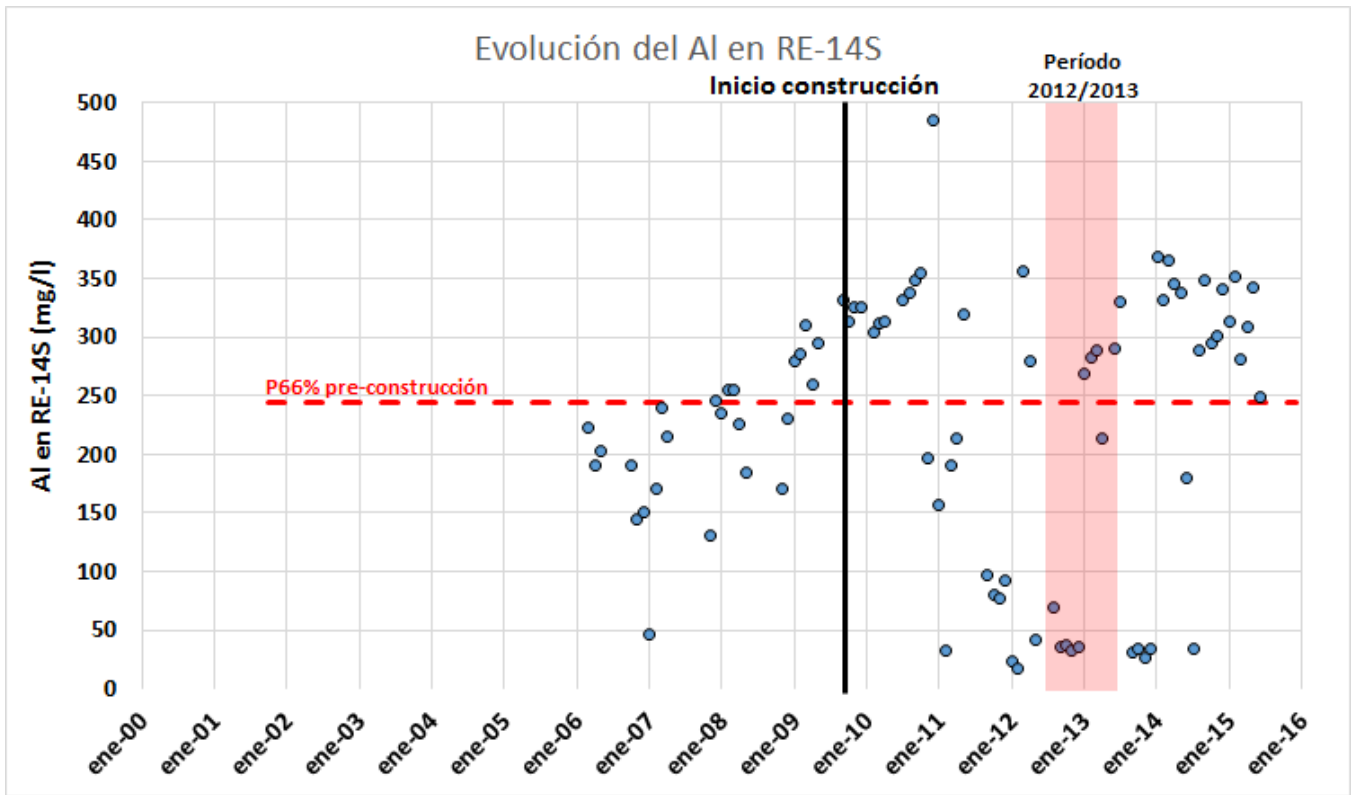


Figura 27. Evolución del Aluminio en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 24. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	218,6	185,0	225,0	244,2	255,0
Post construcción	59	225,7	78,5	288,0	313,0	331,0
Período 2012/2013	10	155,7	36,3	142,0	265,7	279,5

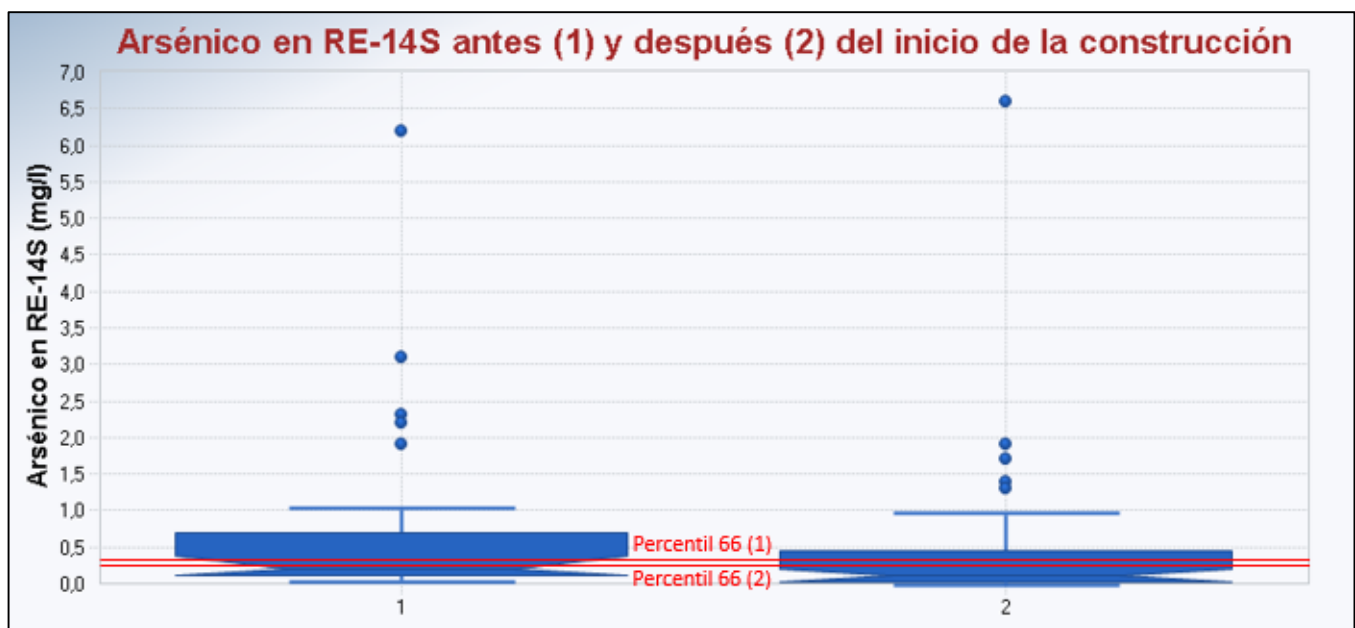
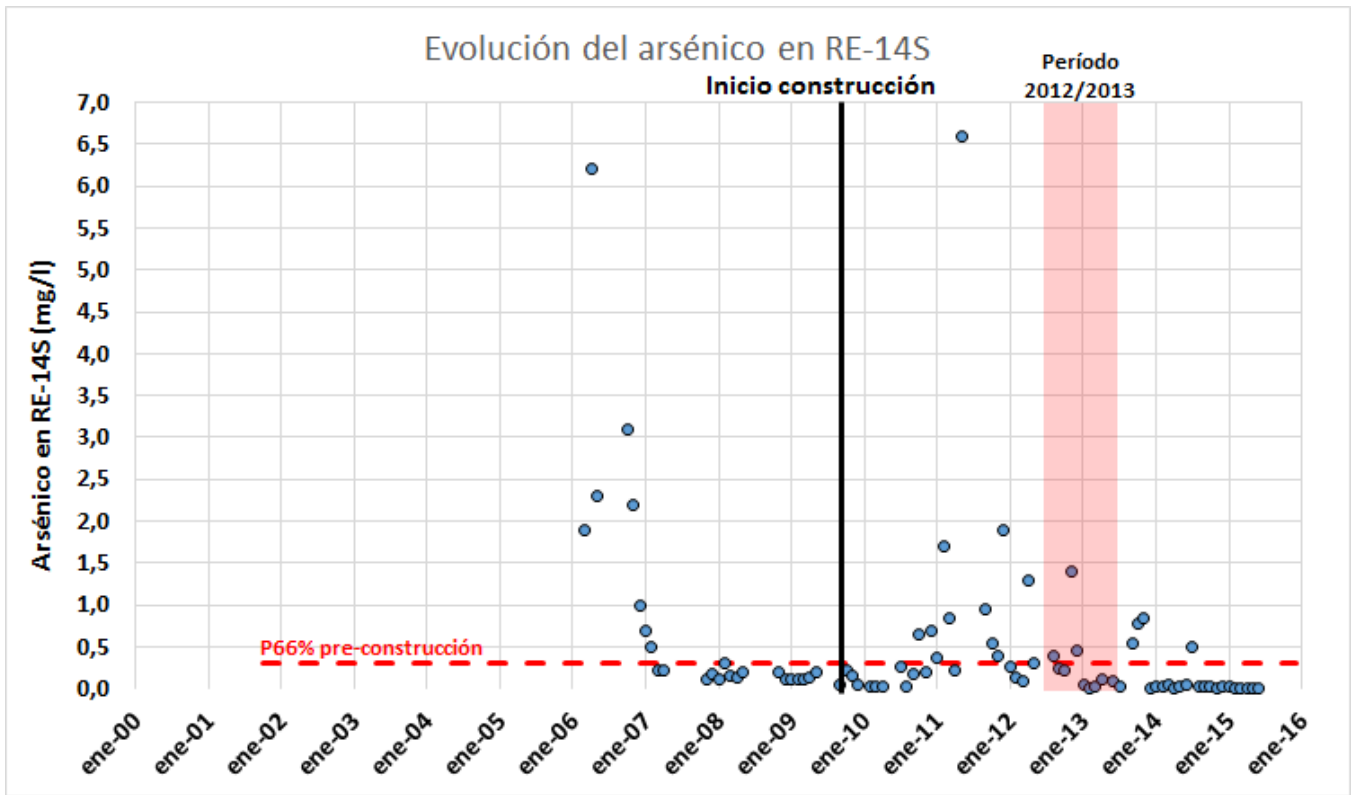


Figura 28. Evolución del Arsénico en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 25. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	0,82	0,12	0,20	0,30	0,70
Post construcción	59	0,41	0,02	0,10	0,25	0,42
Período 2012/2013	10	0,30	0,05	0,16	0,24	0,35

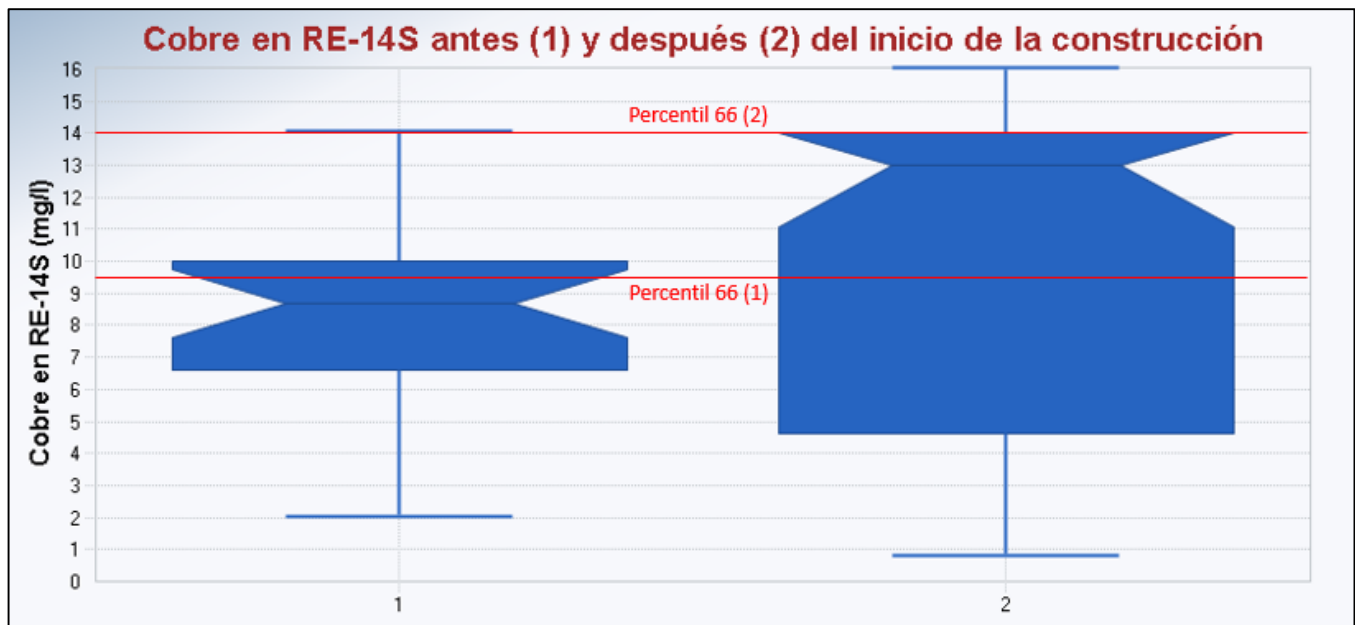
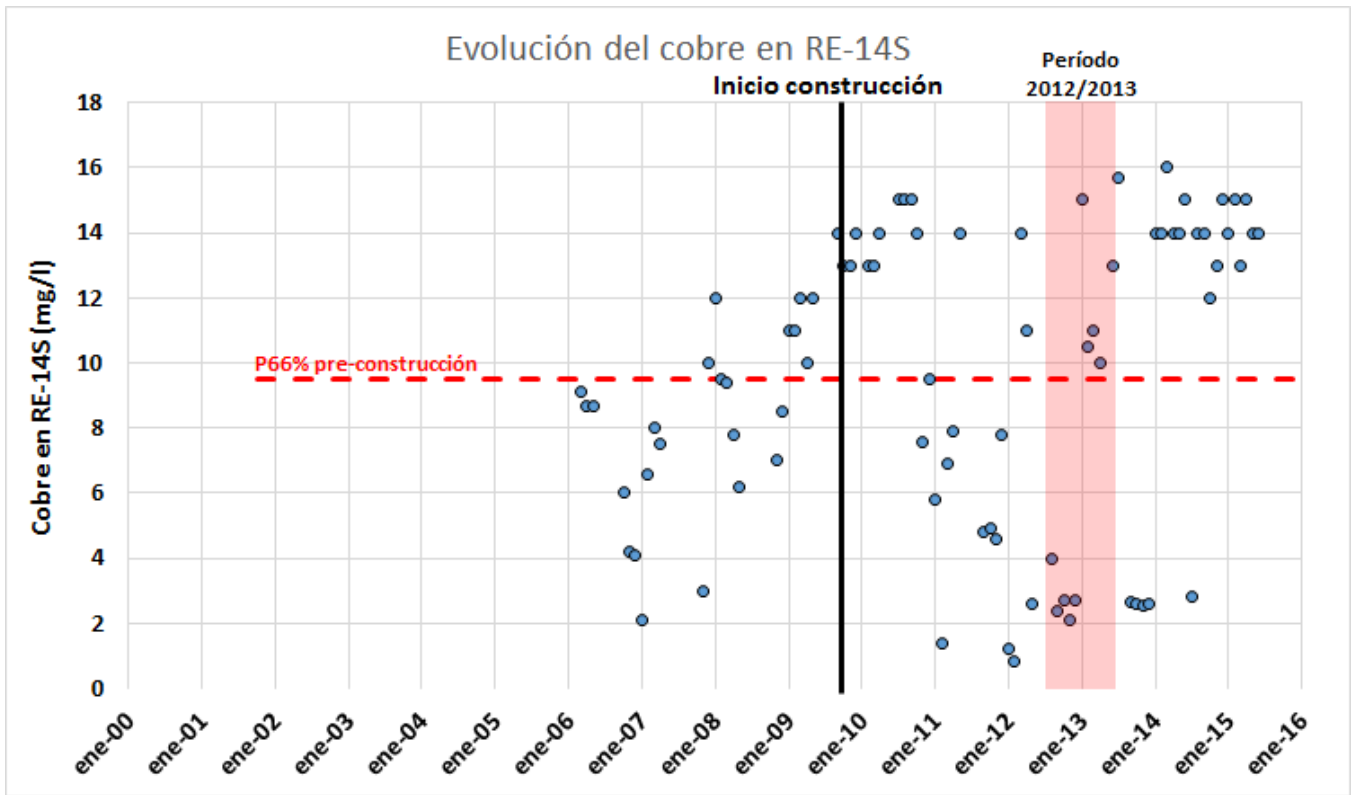


Figura 29. Evolución del Cobre en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 26. Análisis estadístico de los datos de Cobre en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	8,3	6,6	8,7	9,5	10,0
Post construcción	59	9,9	4,7	13,0	14,0	14,0
Período 2012/2013	10	7,3	2,7	7,0	10,5	10,9

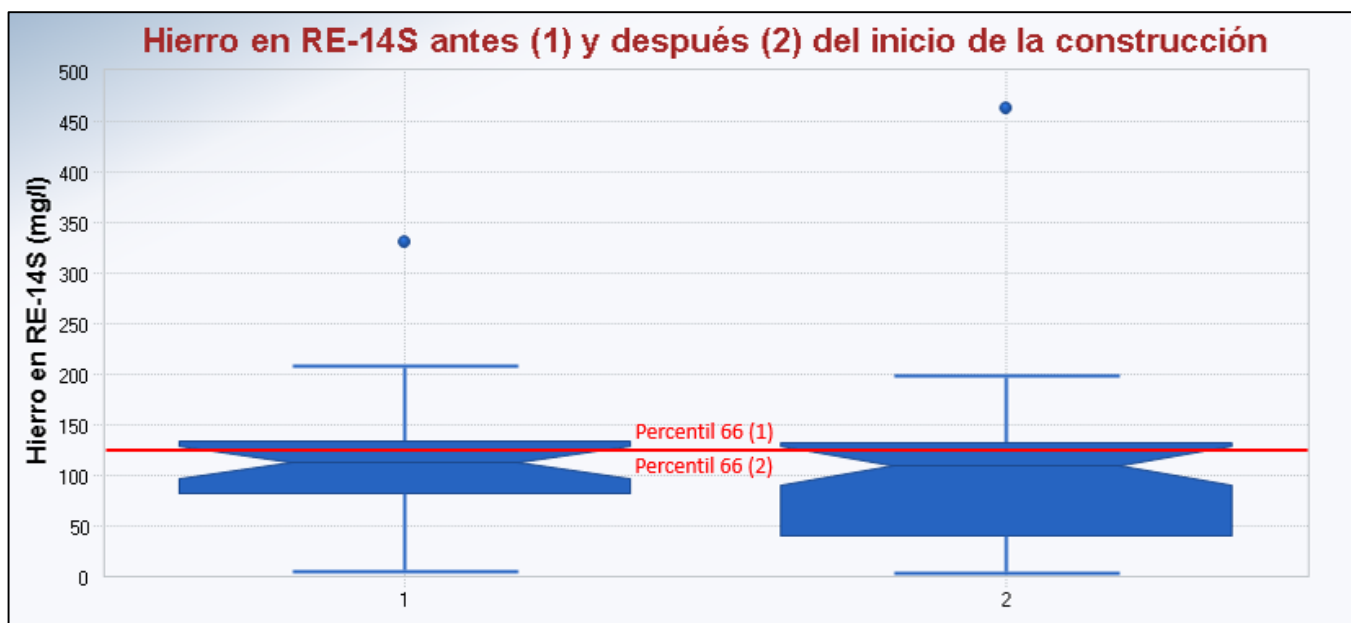
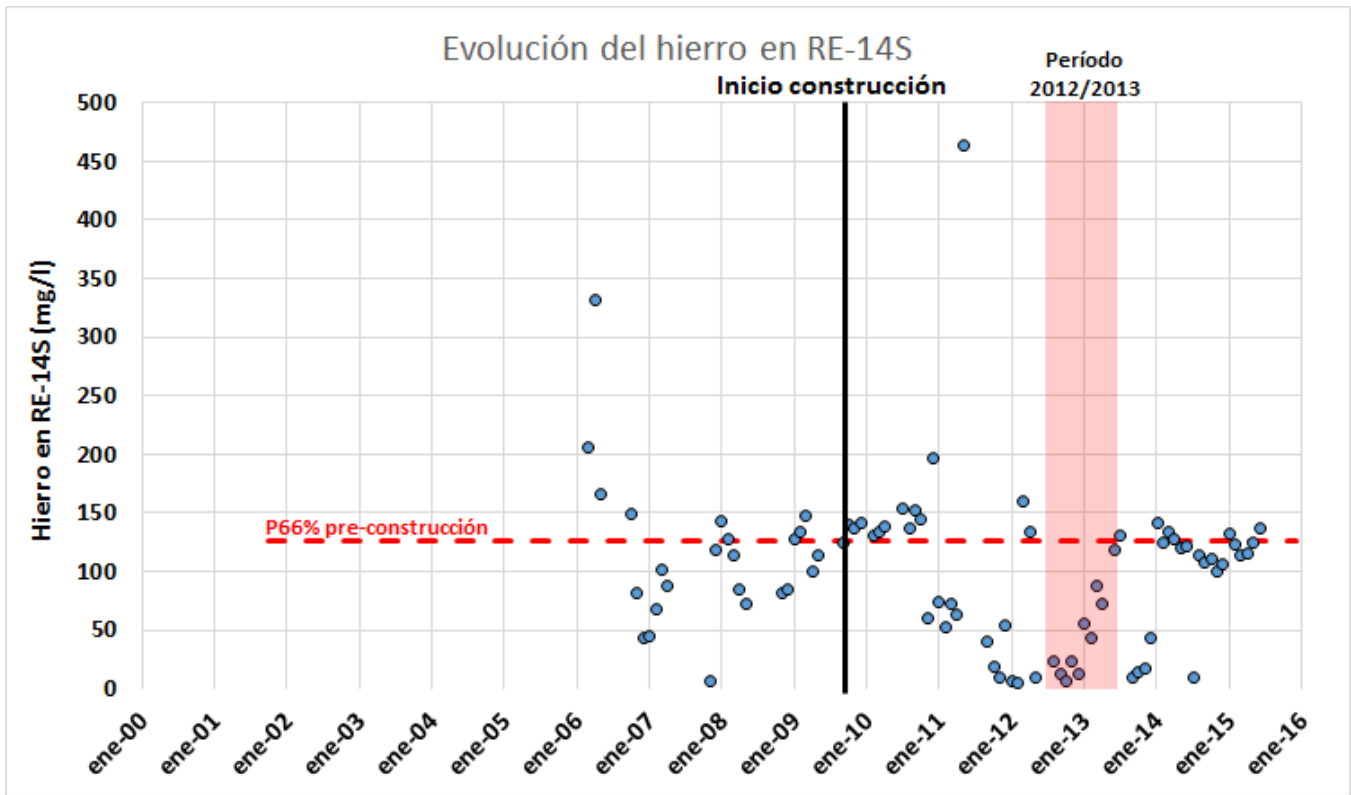


Figura 30. Evolución del Hierro en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 27. Análisis estadístico de los datos de Hierro en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	114,2	82,0	113,0	126,5	134,0
Post construcción	59	94,1	41,7	110,0	125,6	133,0
Período 2012/2013	10	45,5	15,0	33,7	55,2	68,0

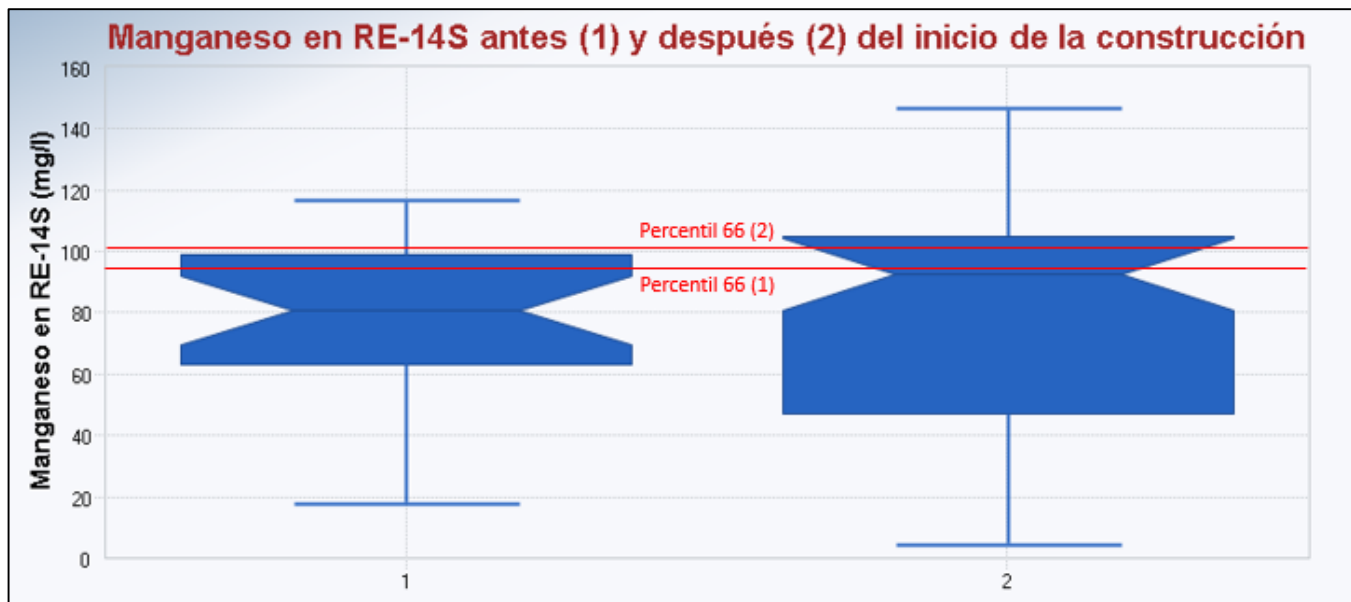
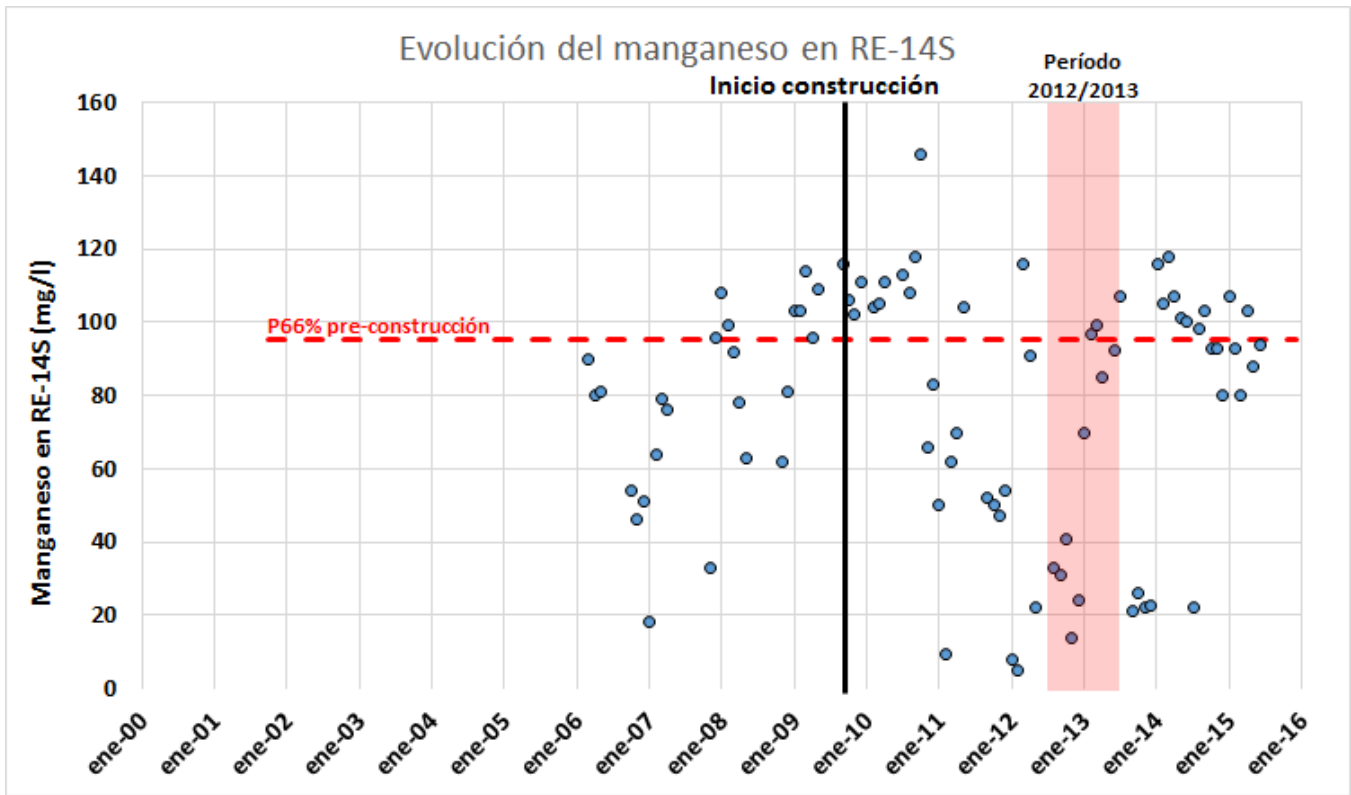


Figura 31. Evolución del Manganeso en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 28. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	79,7	63,0	81,0	95,4	99,0
Post construcción	59	76,3	48,5	92,5	101,3	104,5
Período 2012/2013	10	58,6	31,5	55,5	84,1	90,6

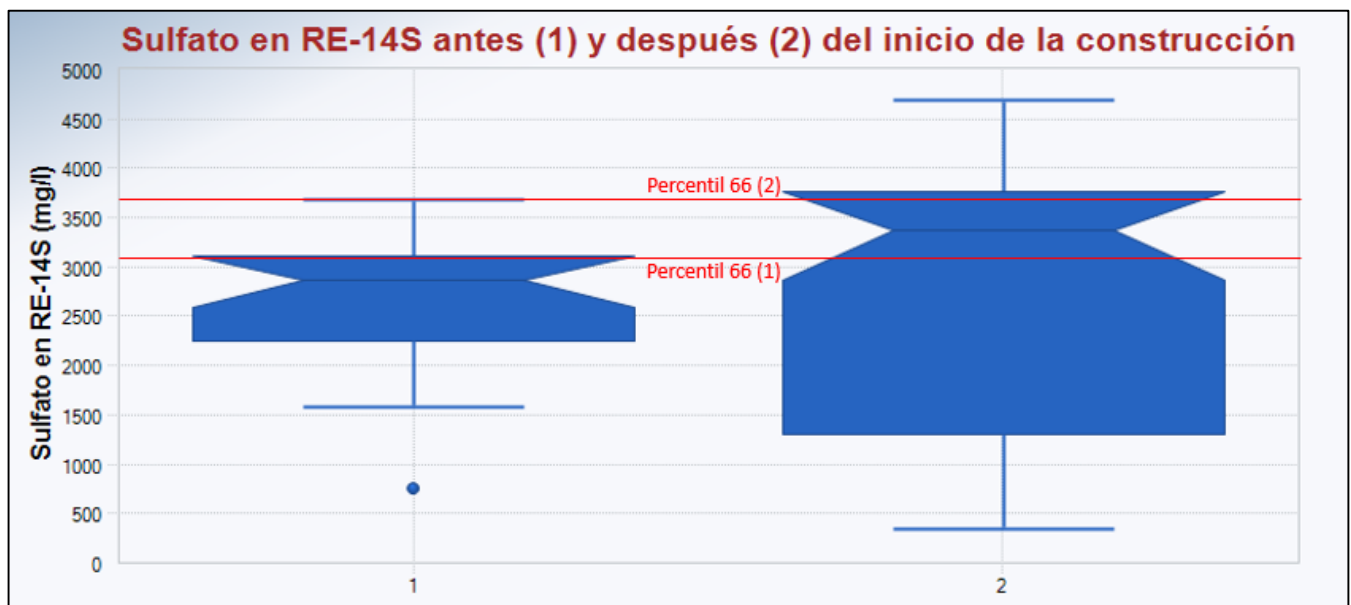
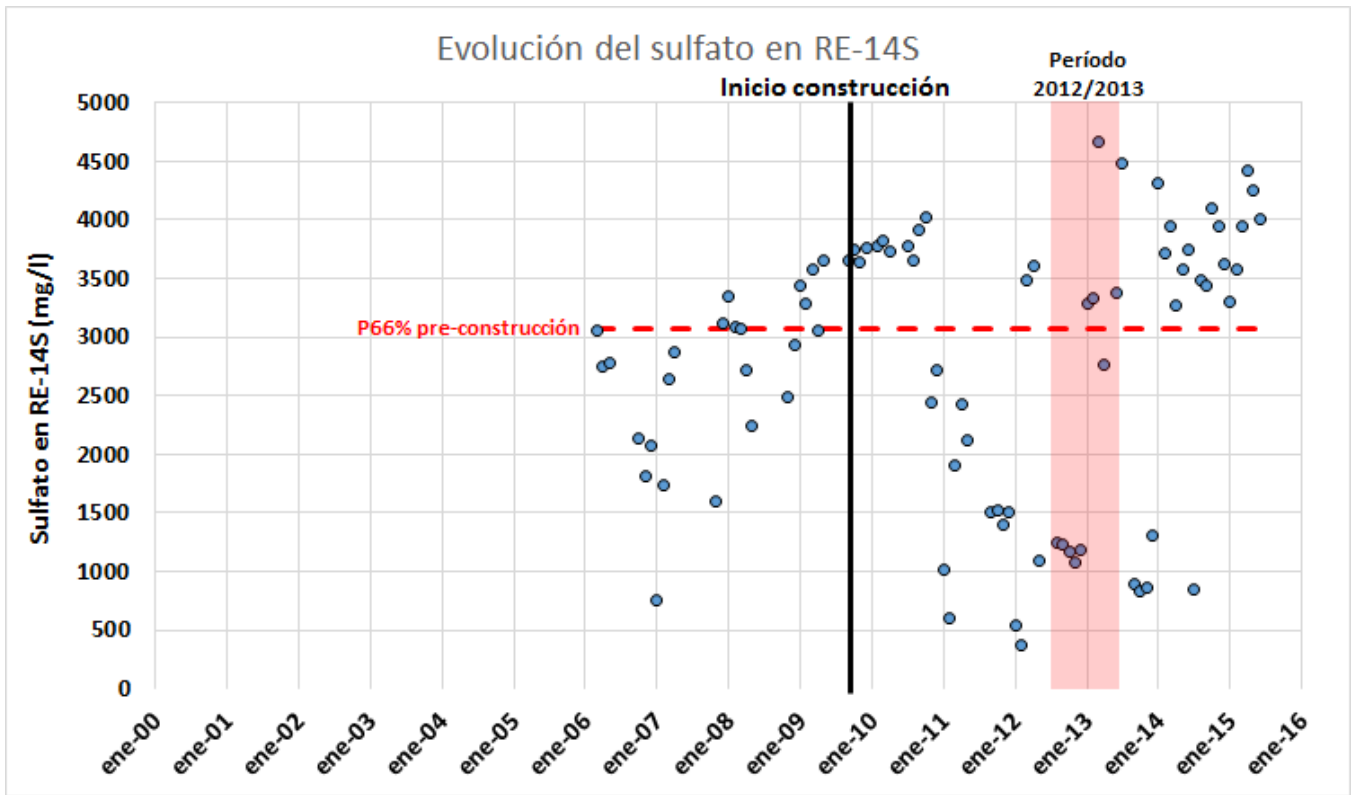


Figura 32. Evolución del sulfato en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 29. Análisis estadístico de los datos de sulfato en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	2713,6	2245,0	2864,0	3070,4	3118,0
Post construcción	59	2767,6	1352,5	3371,0	3671,5	3766,5
Período 2012/2013	10	2331,4	1190,0	2000,0	3259,1	3321,8

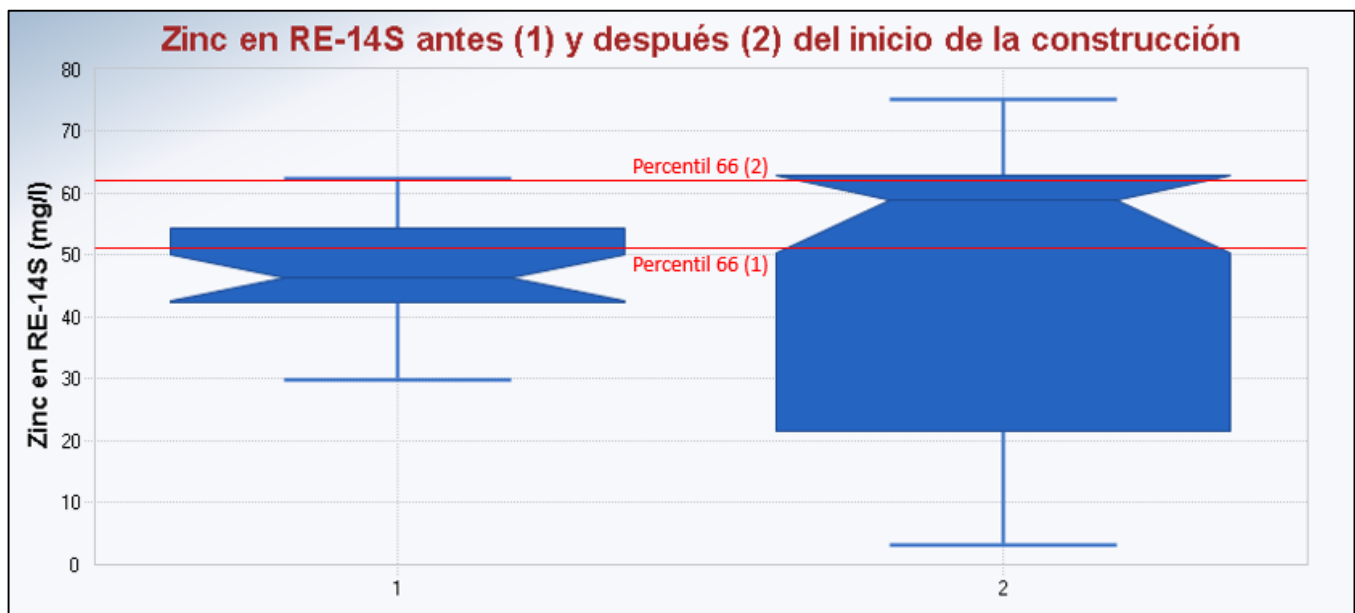
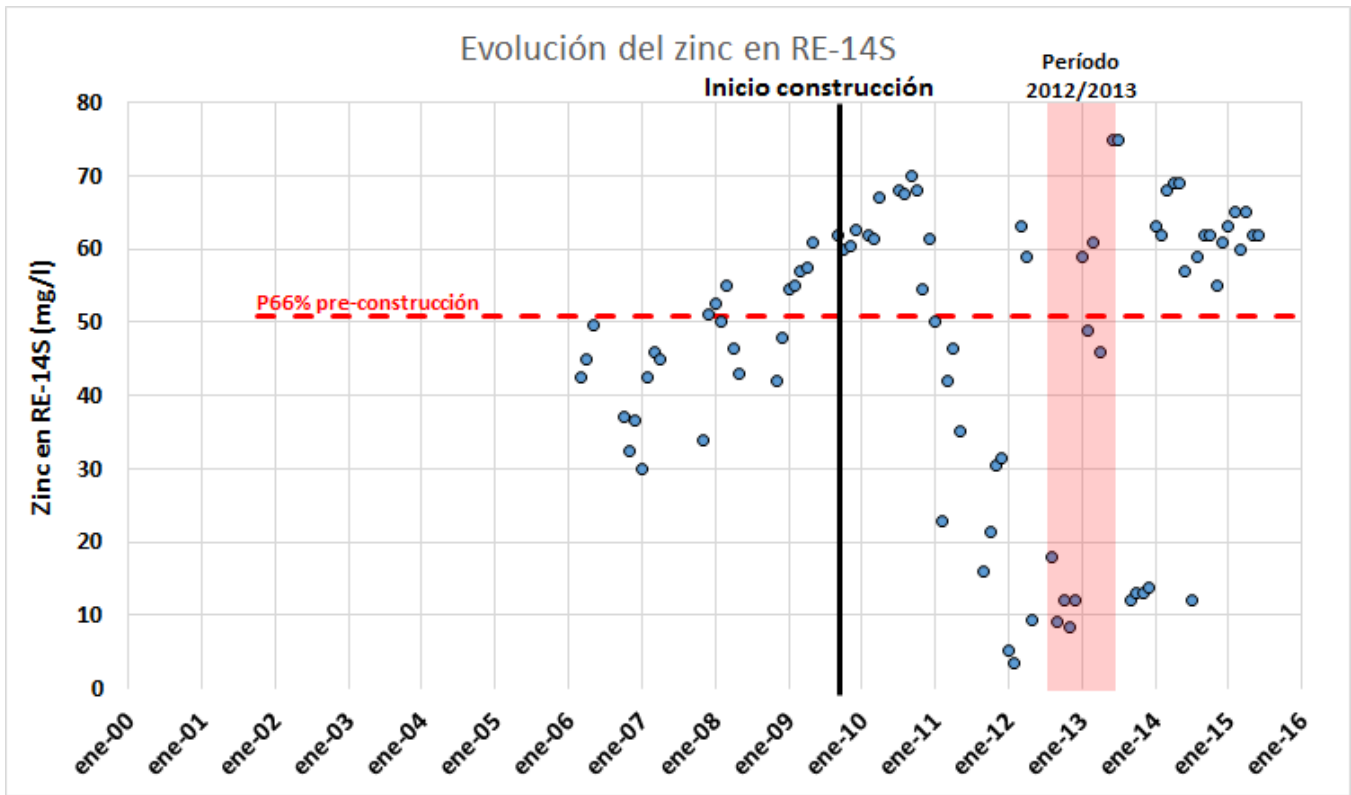


Figura 33. Evolución del Zinc en RE-14S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 30. Análisis estadístico de los datos de Zinc en RE-14S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	25	47,0	42,5	46,5	50,8	54,5
Post construcción	59	46,6	22,2	59,0	62,0	62,8
Período 2012/2013	10	34,9	12,0	32,0	48,6	56,5

5. Evolución del nivel y de los parámetros DAR en RE-15

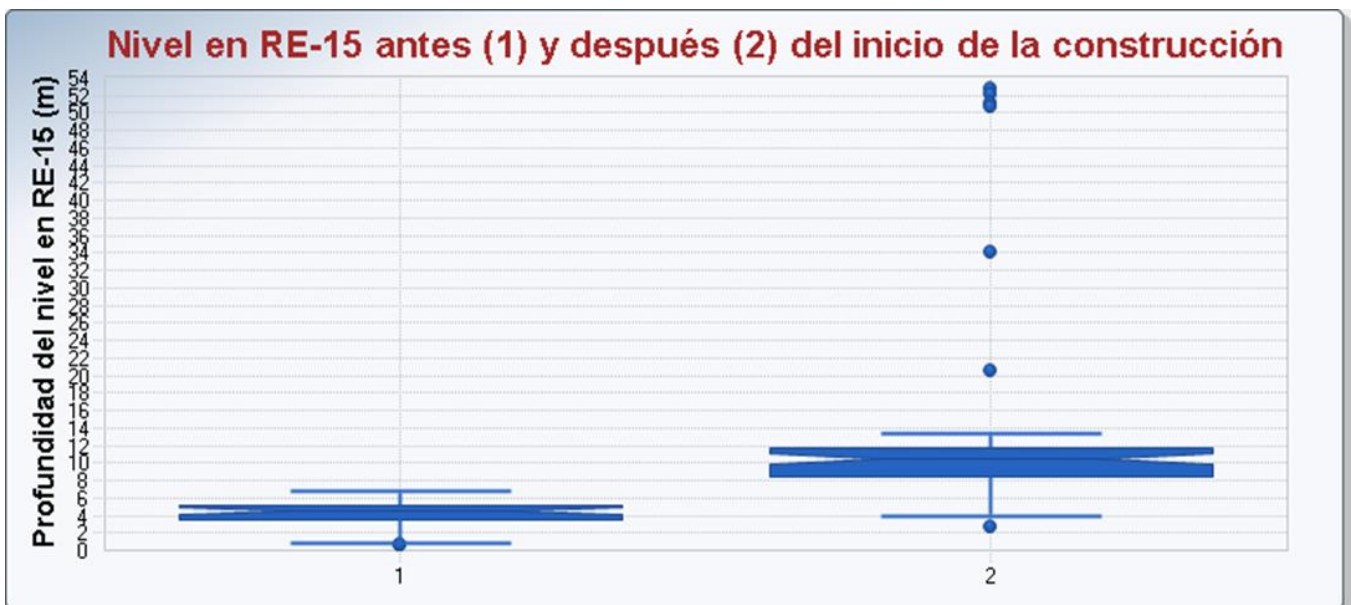
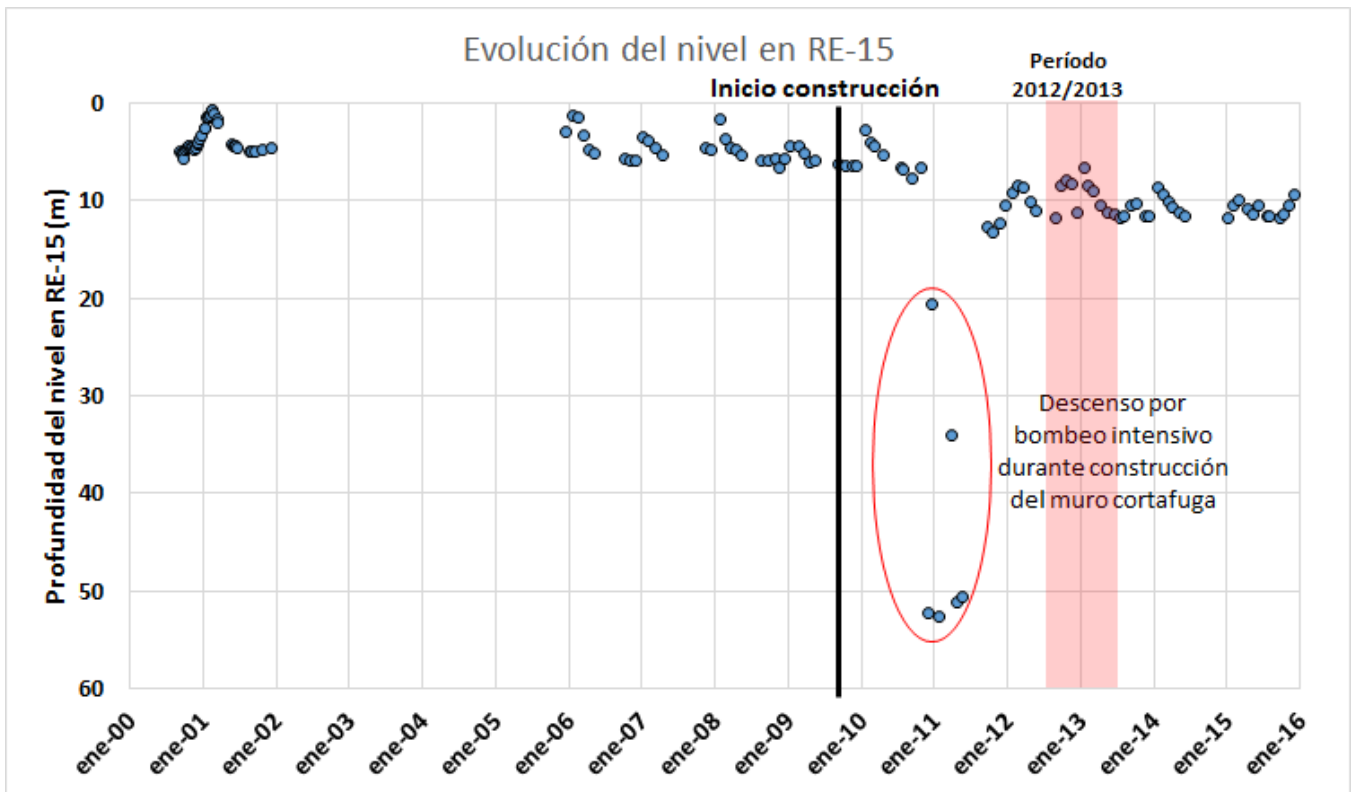


Figura 34. Evolución de la profundidad del nivel en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 31. Análisis estadístico de los datos de nivel en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	68	4,1	3,4	4,6	4,8	5,1
Post construcción	61	12,9	8,4	10,5	11,4	11,6
Período 2012/2013	11	9,5	8,3	9,1	10,9	11,1

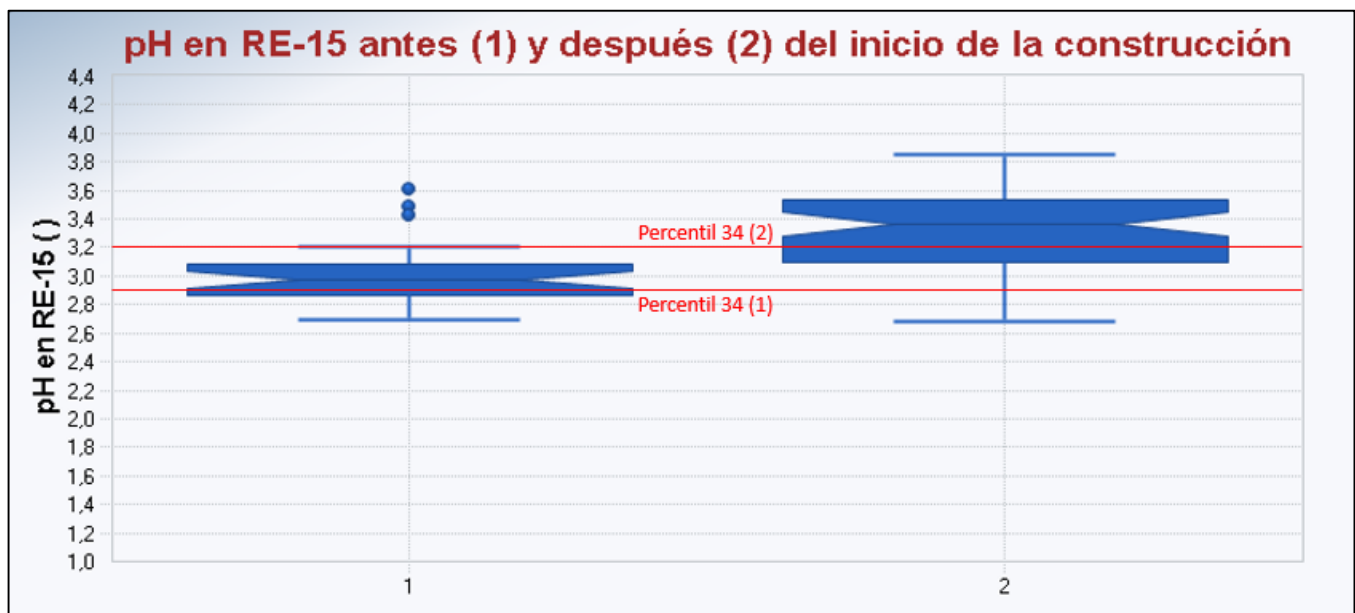
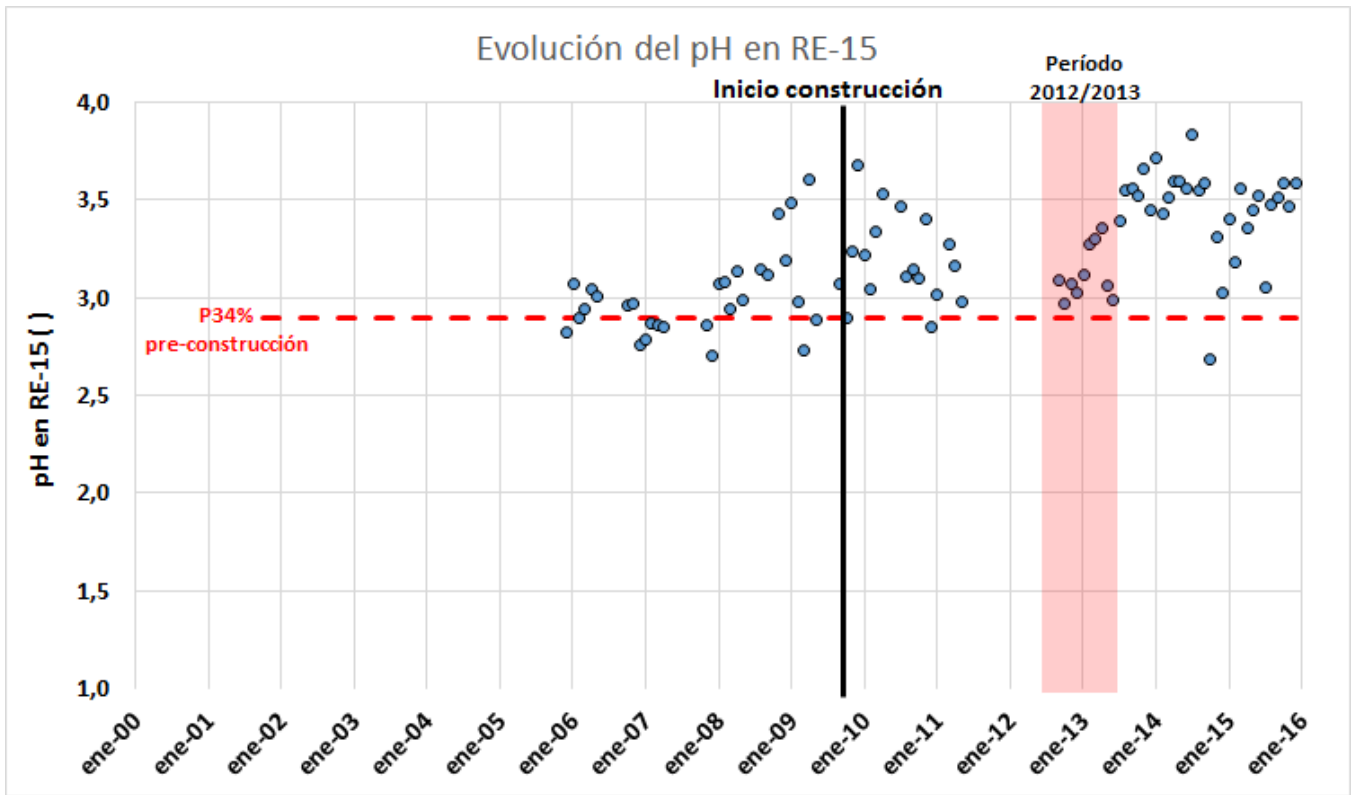


Figura 35. Evolución del pH en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 32. Análisis estadístico de los datos de pH en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	3,0	2,9	3,0	2,9	3,1
Post construcción	57	3,3	3,1	3,4	3,2	3,5
Período 2012/2013	11	3,2	3,0	3,1	3,1	3,3

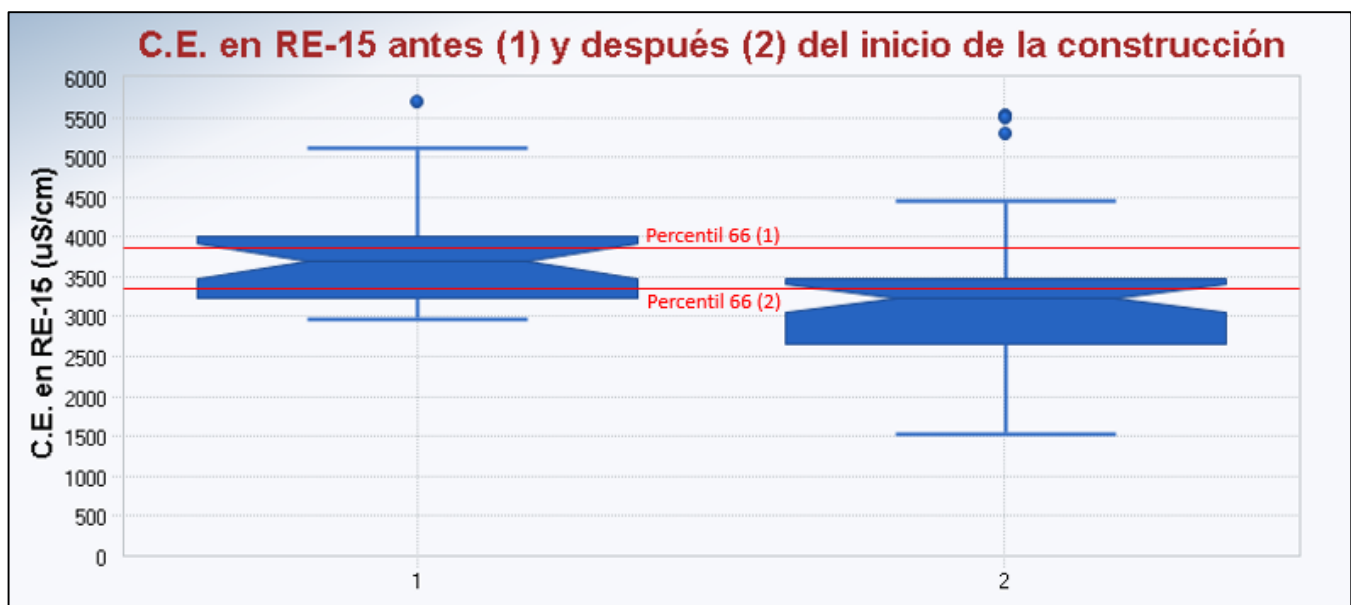
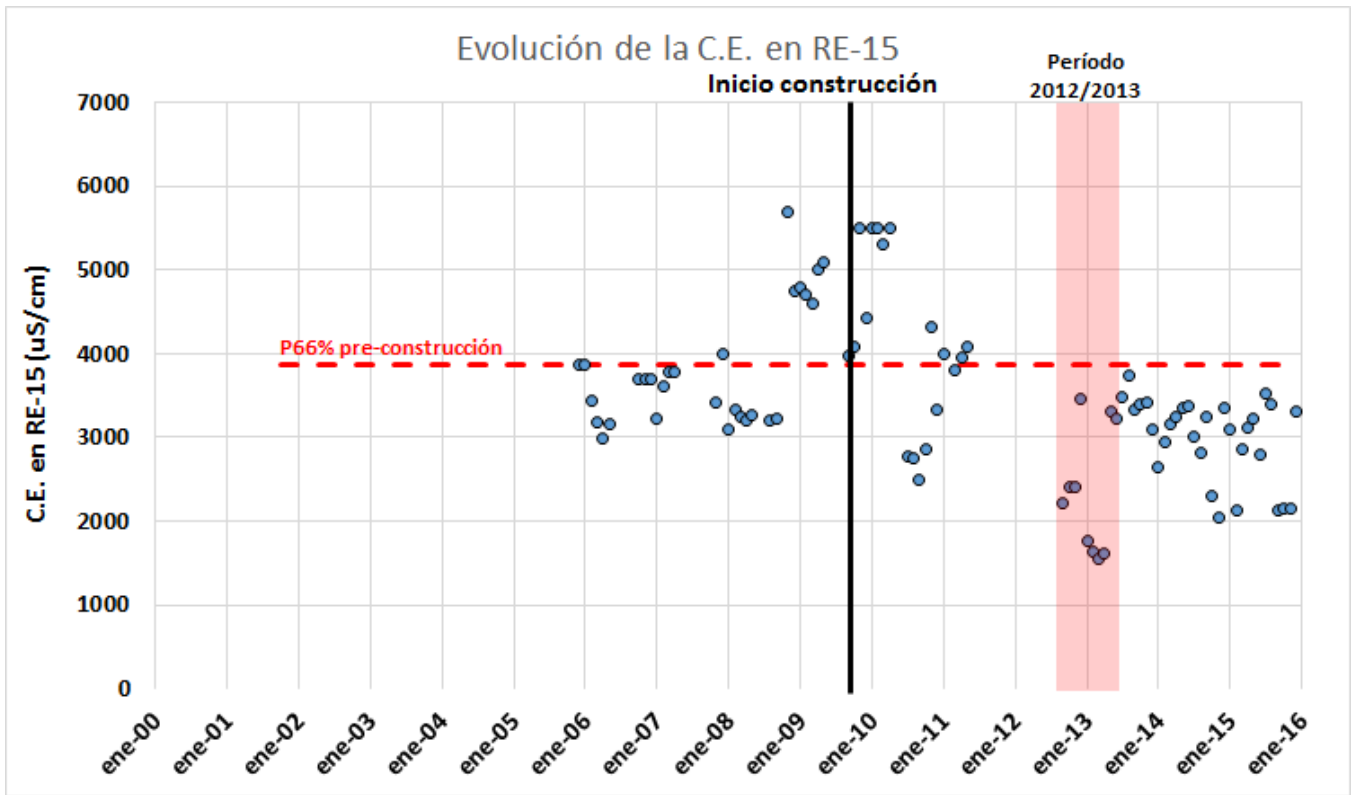


Figura 36. Evolución de la Conductividad Eléctrica en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 33. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	3820,2	3234,0	3696,0	3863,4	3993,5
Post construcción	57	3221,5	2650,0	3230,0	3369,2	3480,0
Período 2012/2013	10	2359,6	1668,8	2309,5	2401,9	3023,0

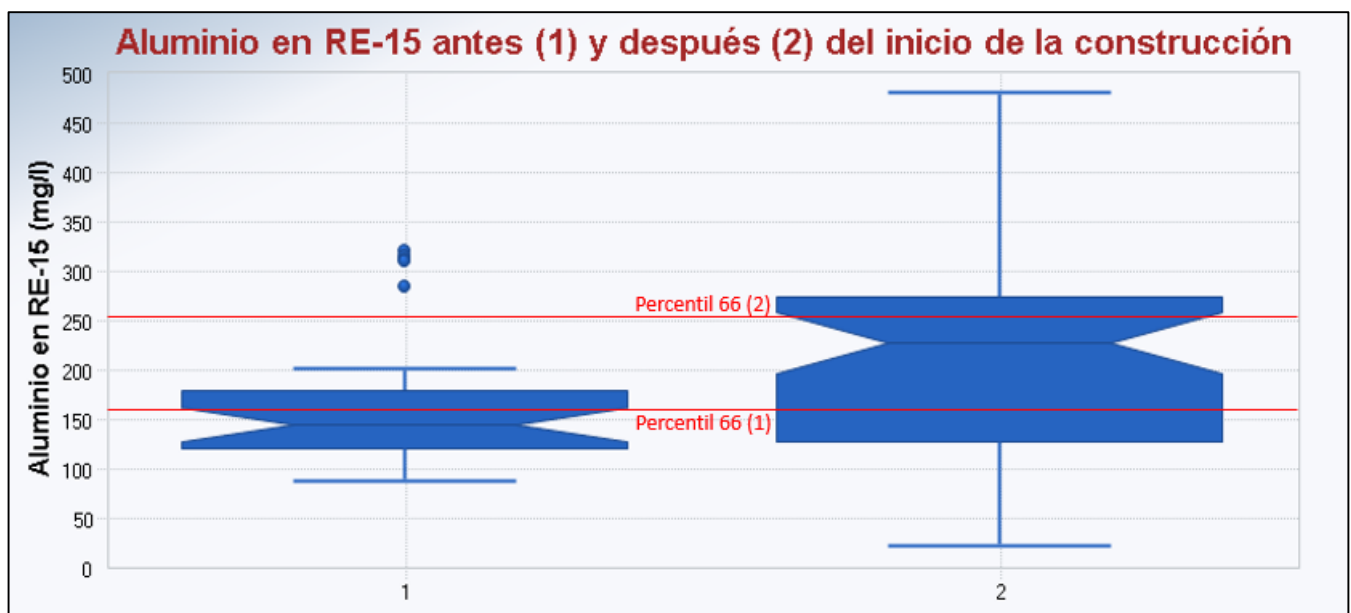
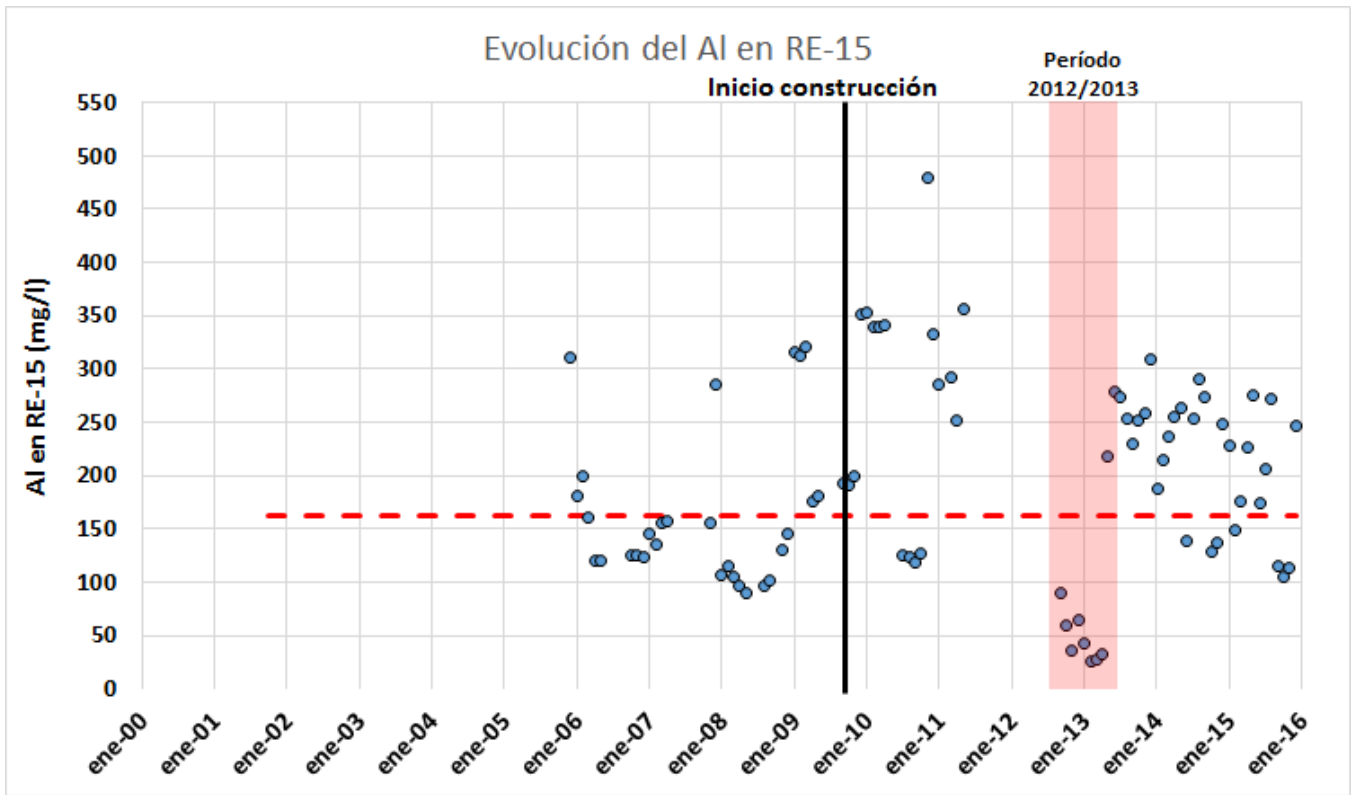


Figura 37. Evolución del Aluminio en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 34. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	165,8	120,0	145,0	162,1	180,0
Post construcción	57	209,9	127,0	228,0	255,0	274,0
Período 2012/2013	10	87,5	33,0	51,0	64,7	83,8

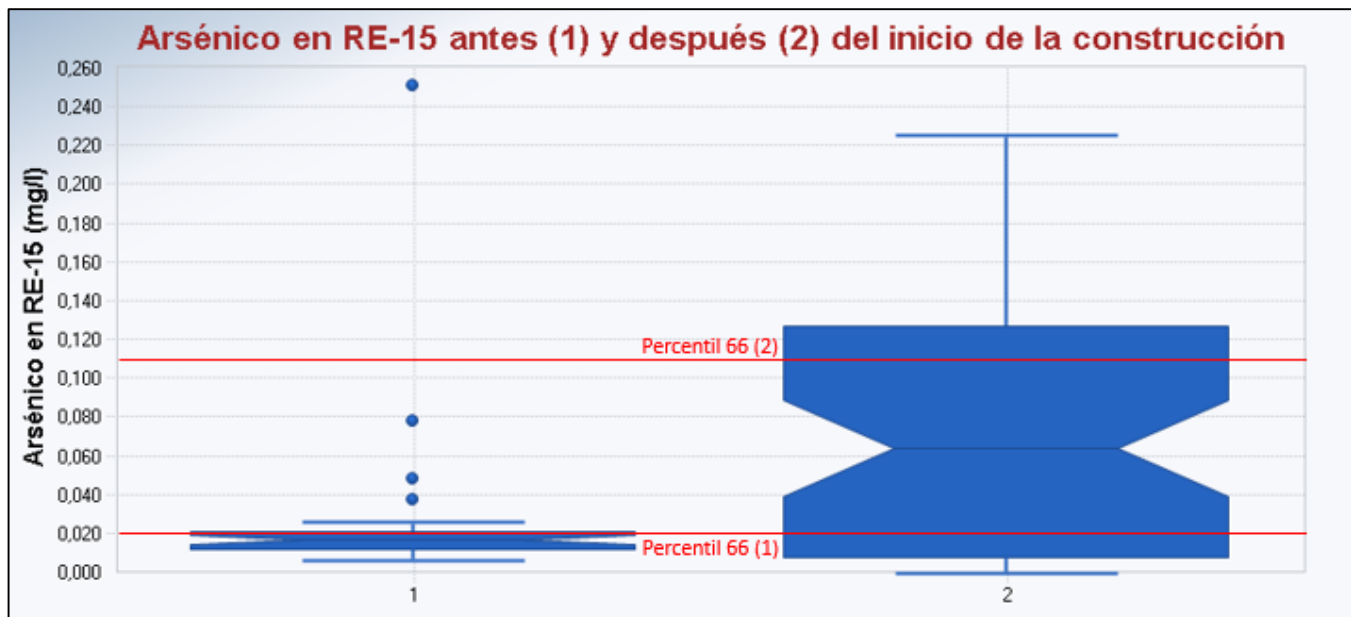
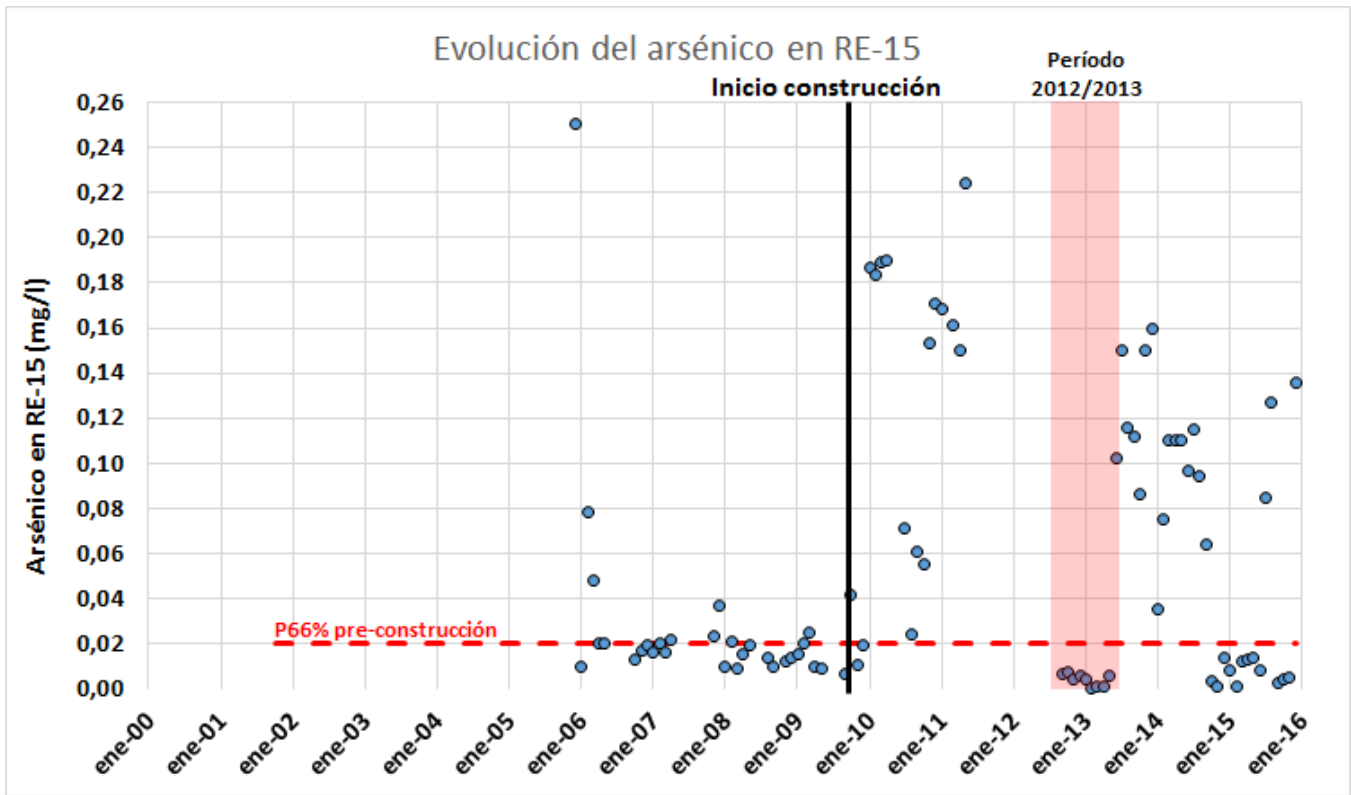


Figura 38. Evolución del Arsénico en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 35. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
Post construcción	57	0,07	0,01	0,06	0,11	0,13
Período 2012/2013	10	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01

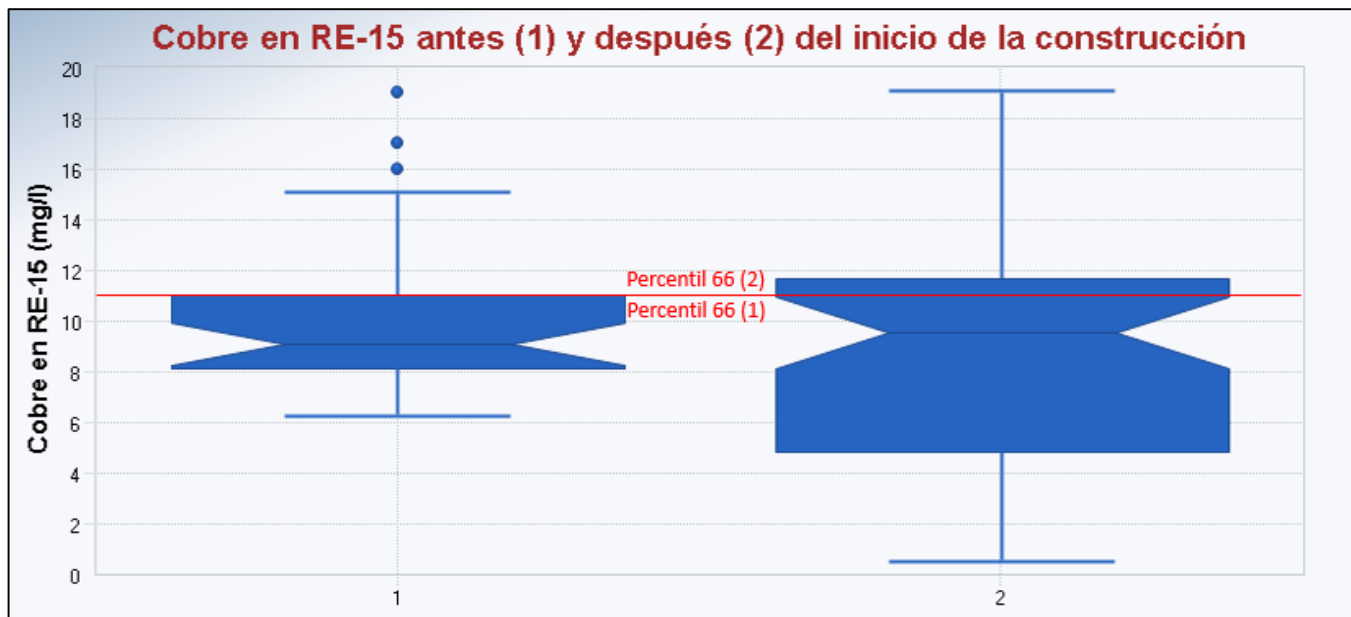
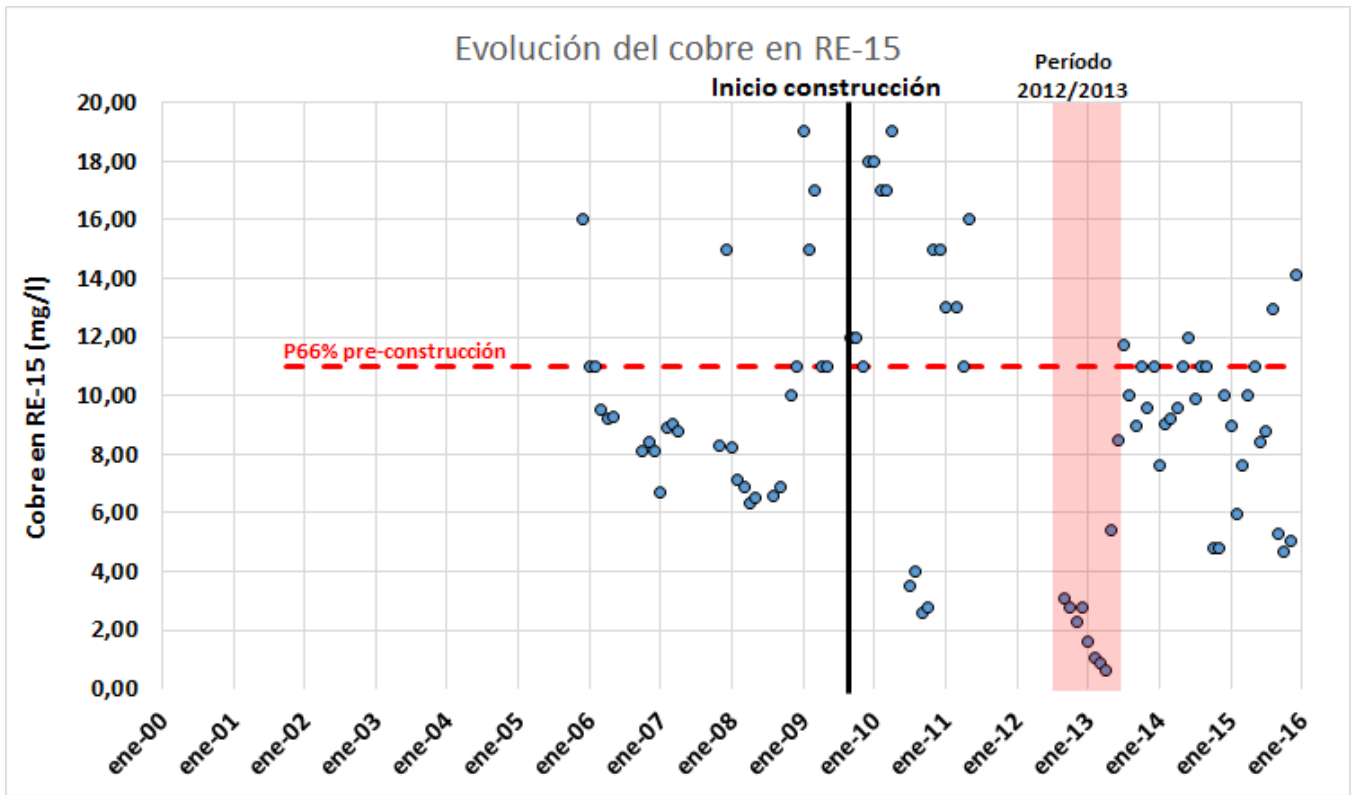


Figura 39. Evolución del Cobre en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 36. Análisis estadístico de los datos de Cobre en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	10,1	8,1	9,1	11,0	11,0
Post construcción	57	9,0	4,8	9,6	11,0	11,7
Período 2012/2013	10	2,9	1,2	2,6	2,8	3,0

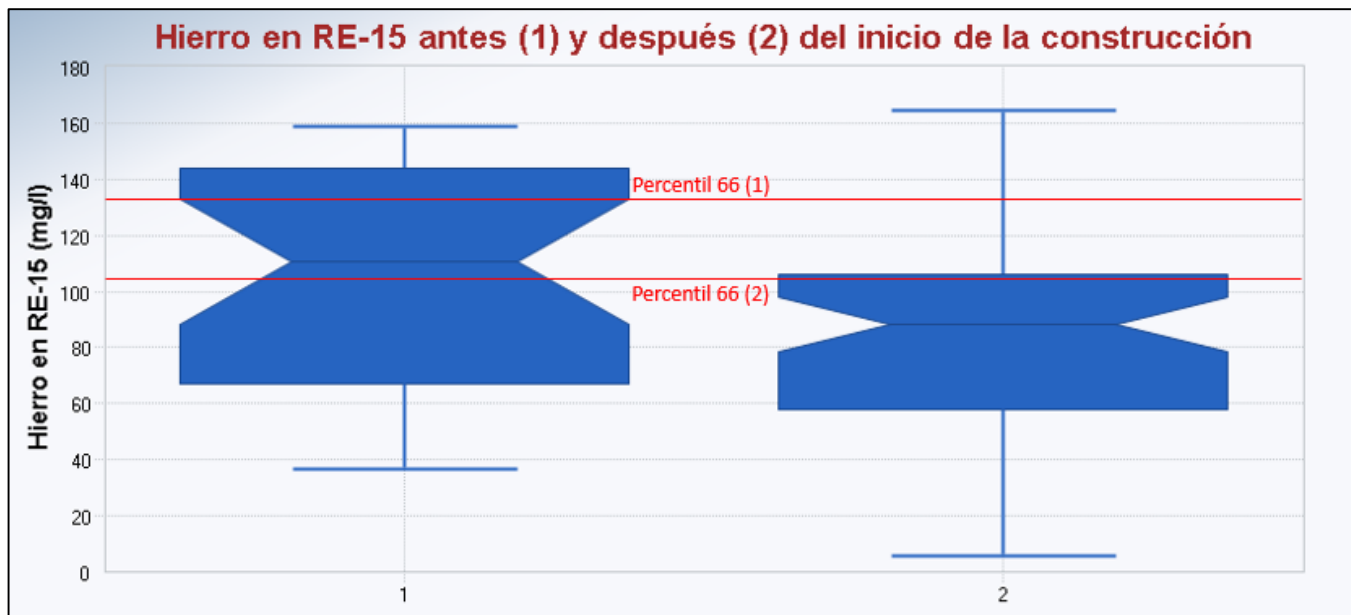
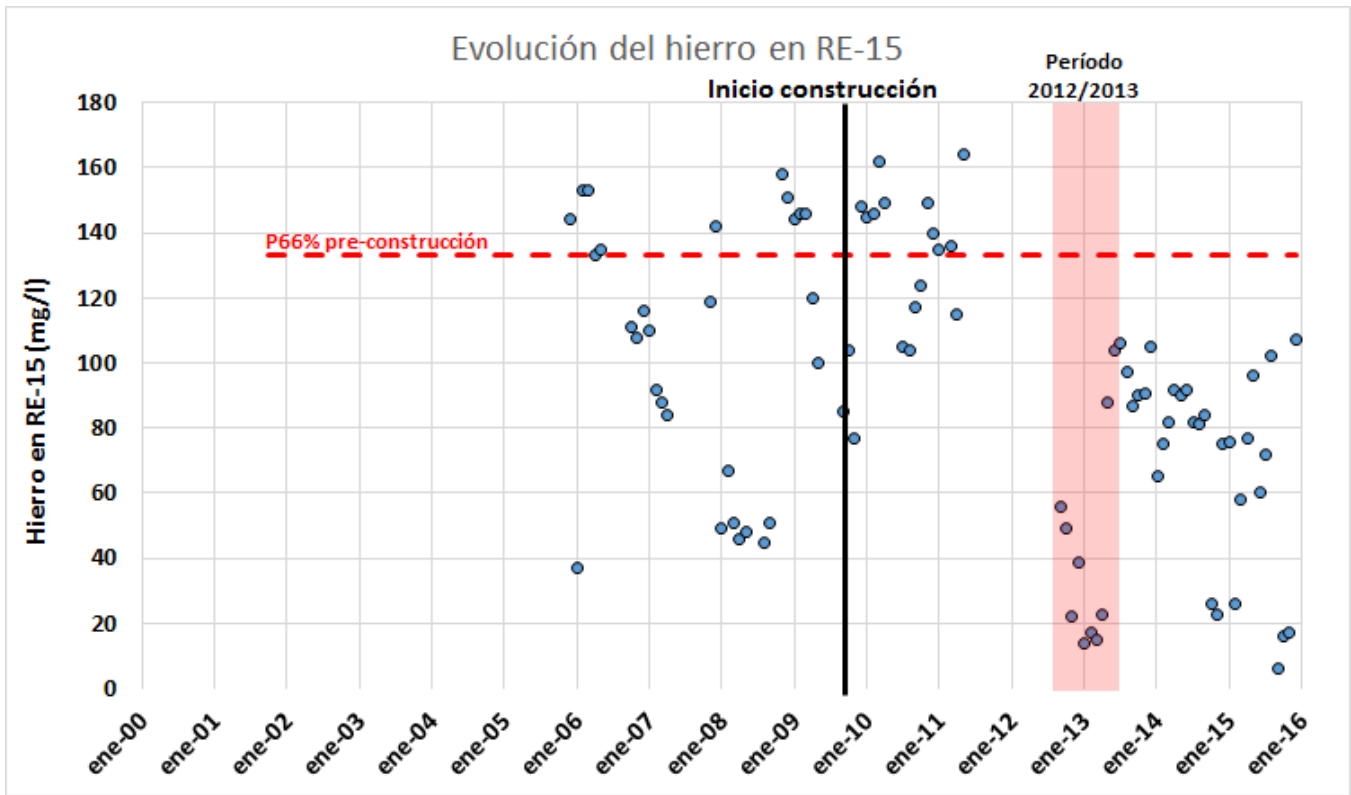


Figura 40. Evolución del Hierro en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 37. Análisis estadístico de los datos de Hierro en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	104,4	71,3	110,5	133,3	143,5
Post construcción	57	84,3	58,0	88,0	103,9	106,0
Período 2012/2013	10	42,7	18,3	31,0	48,4	54,3

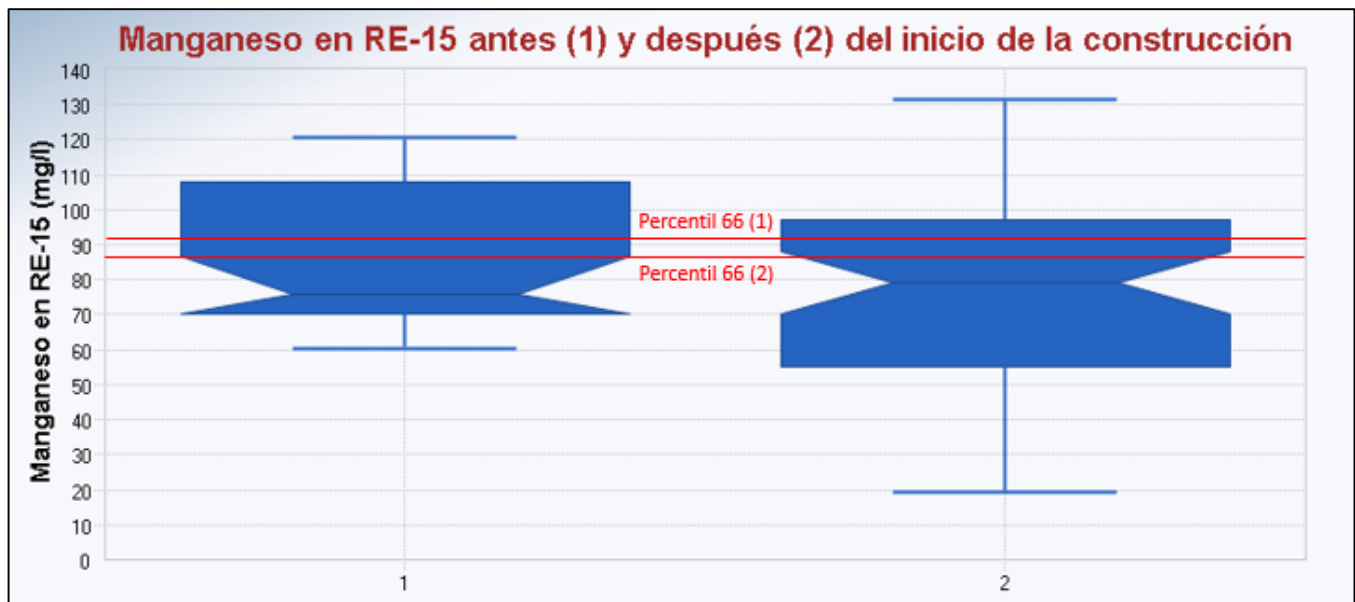
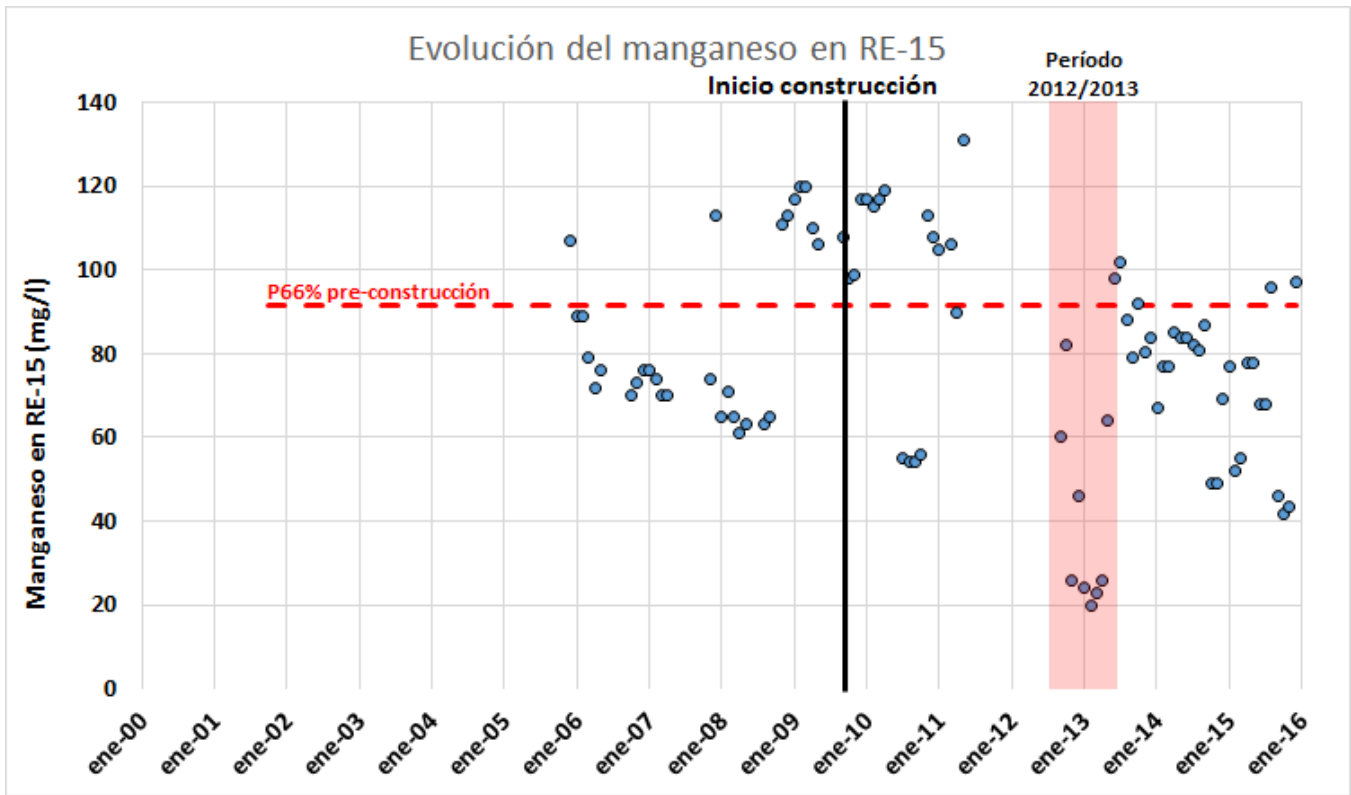


Figura 41. Evolución del Manganeso en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 38. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	85,5	70,0	76,0	91,4	107,8
Post construcción	57	76,1	55,0	79,0	86,9	97,0
Período 2012/2013	10	46,9	24,5	36,0	59,2	63,0

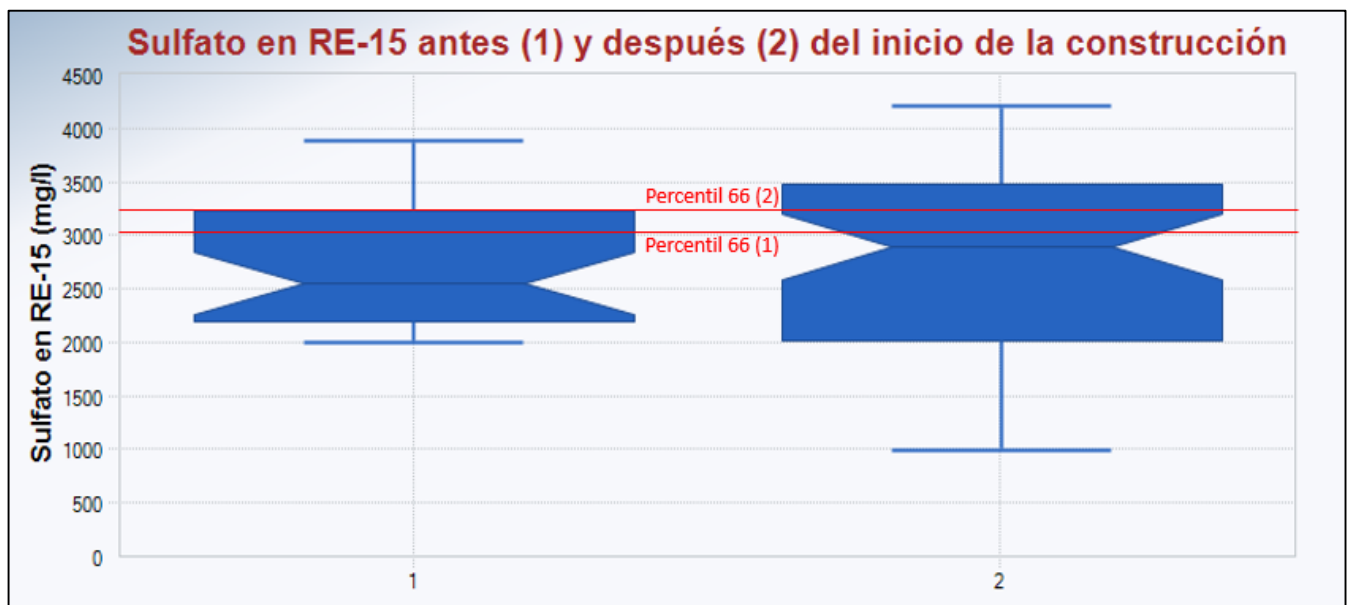
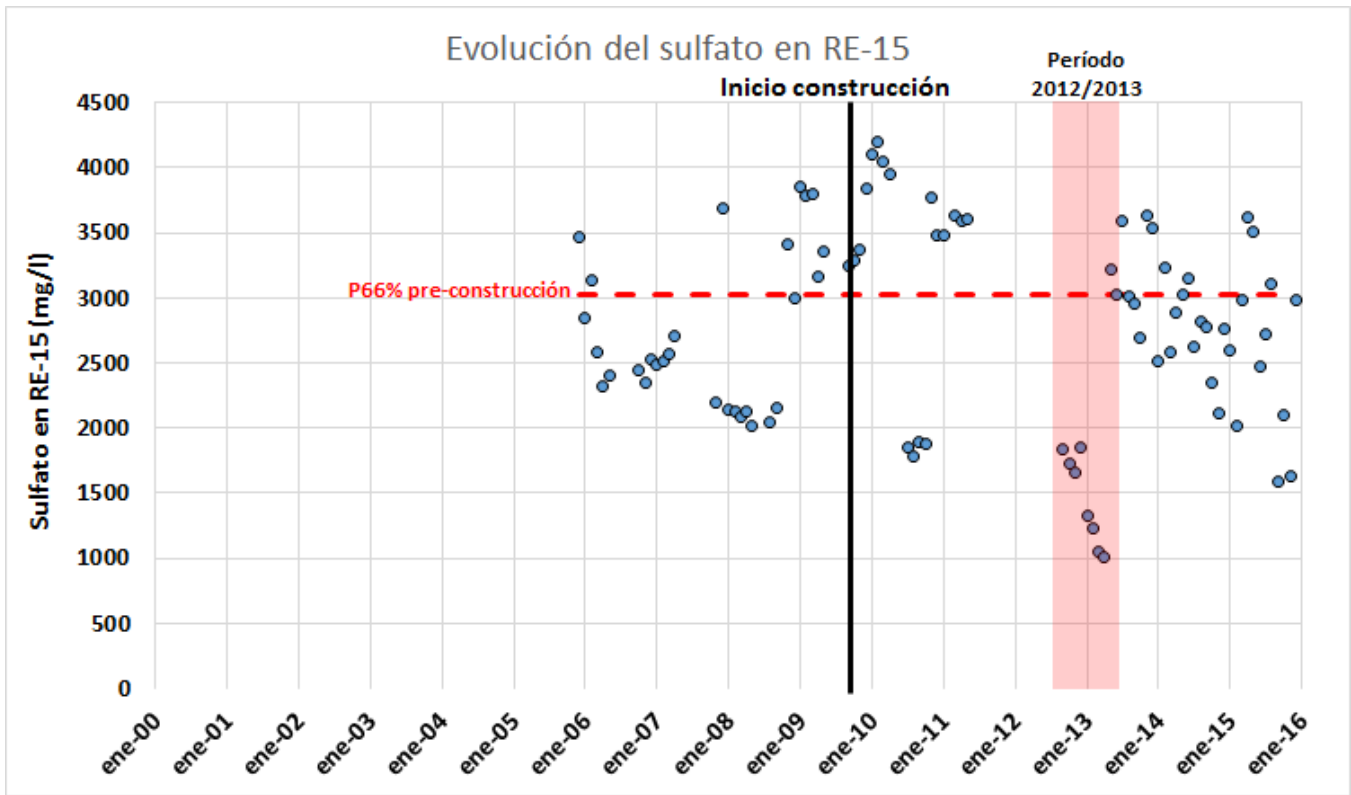


Figura 42. Evolución del sulfato en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 39. Análisis estadístico de los datos de sulfato en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	2752,1	2226,8	2549,5	3020,5	3222,5
Post construcción	57	2759,6	2022,0	2892,0	3220,3	3482,0
Período 2012/2013	10	1793,7	1249,5	1693,0	1836,2	1849,0

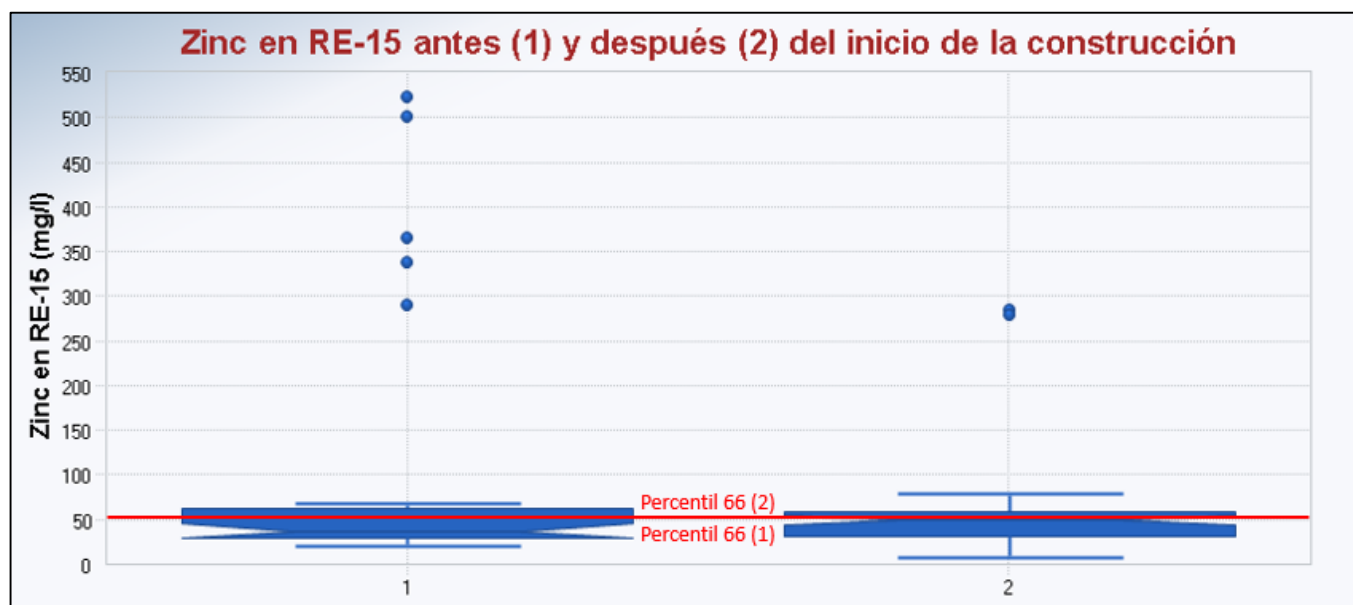
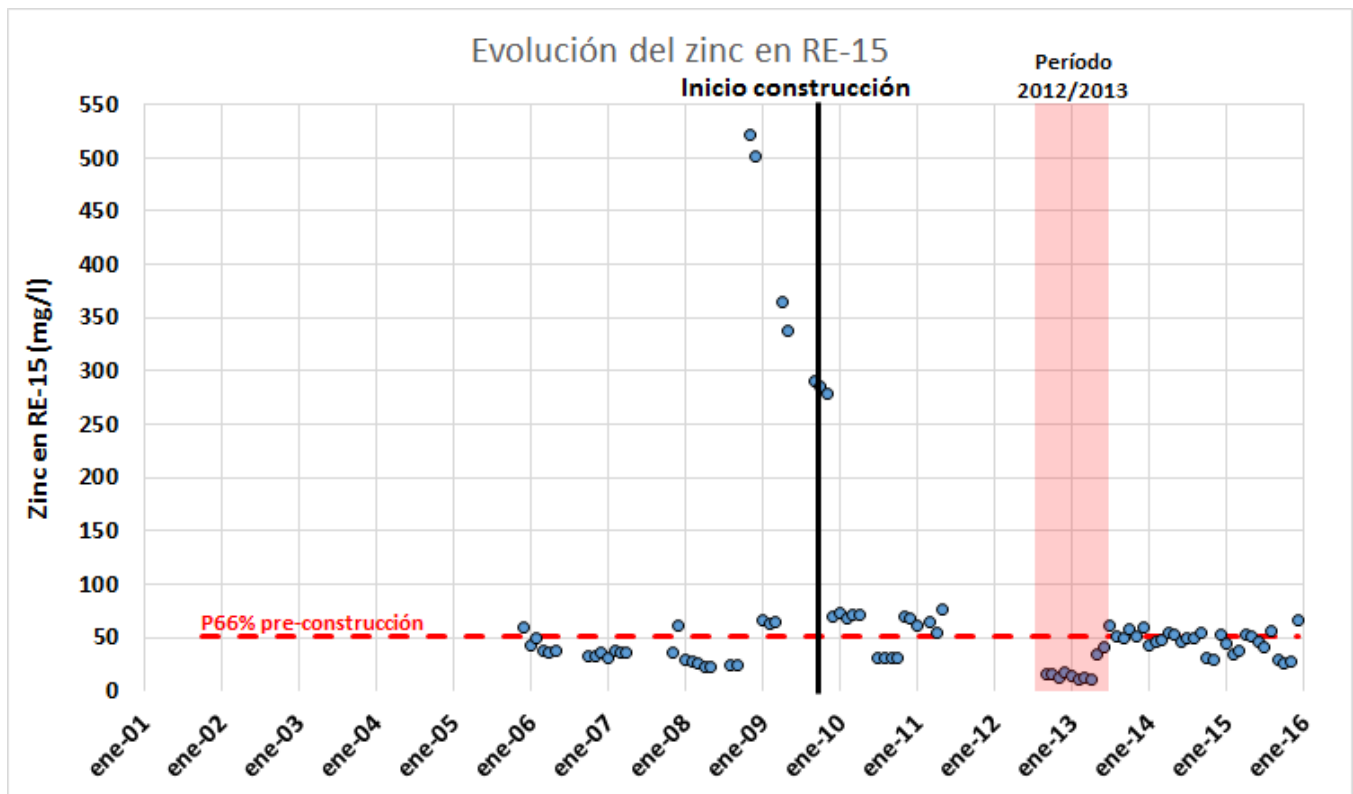


Figura 43. Evolución del Zinc en RE-15 (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 40. Análisis estadístico de los datos de Zinc en RE-15 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	99,3	30,5	36,5	51,4	62,5
Post construcción	57	52,7	31,0	49,0	54,0	59,0
Período 2012/2013	10	18,2	12,0	15,0	16,0	16,8



APÉNDICE 6-2: EVOLUCIÓN DE NIVEL Y PARÁMETROS DAR EN ZONA 2

OBJETIVO: En el presente Apéndice se entrega un análisis que muestra la evolución de la profundidad del nivel y de los parámetros DAR en cada pozo de la Zona 2. Junto con el respectivo gráfico de concentración vs tiempo, se incluye un diagrama de caja que compara la situación pre-proyecto y post-proyecto, y una tabla con los principales estadísticos de cada serie de datos bajo estudio.

1. Evolución del nivel y de los parámetros DAR en RE-17P

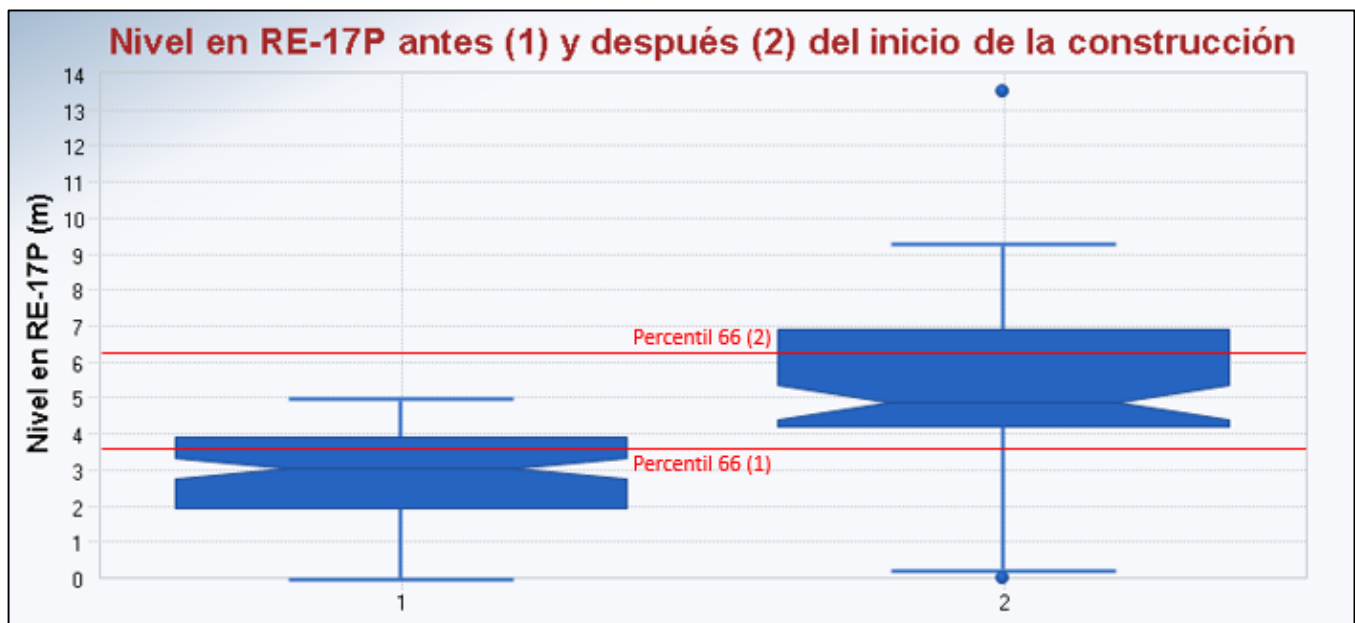
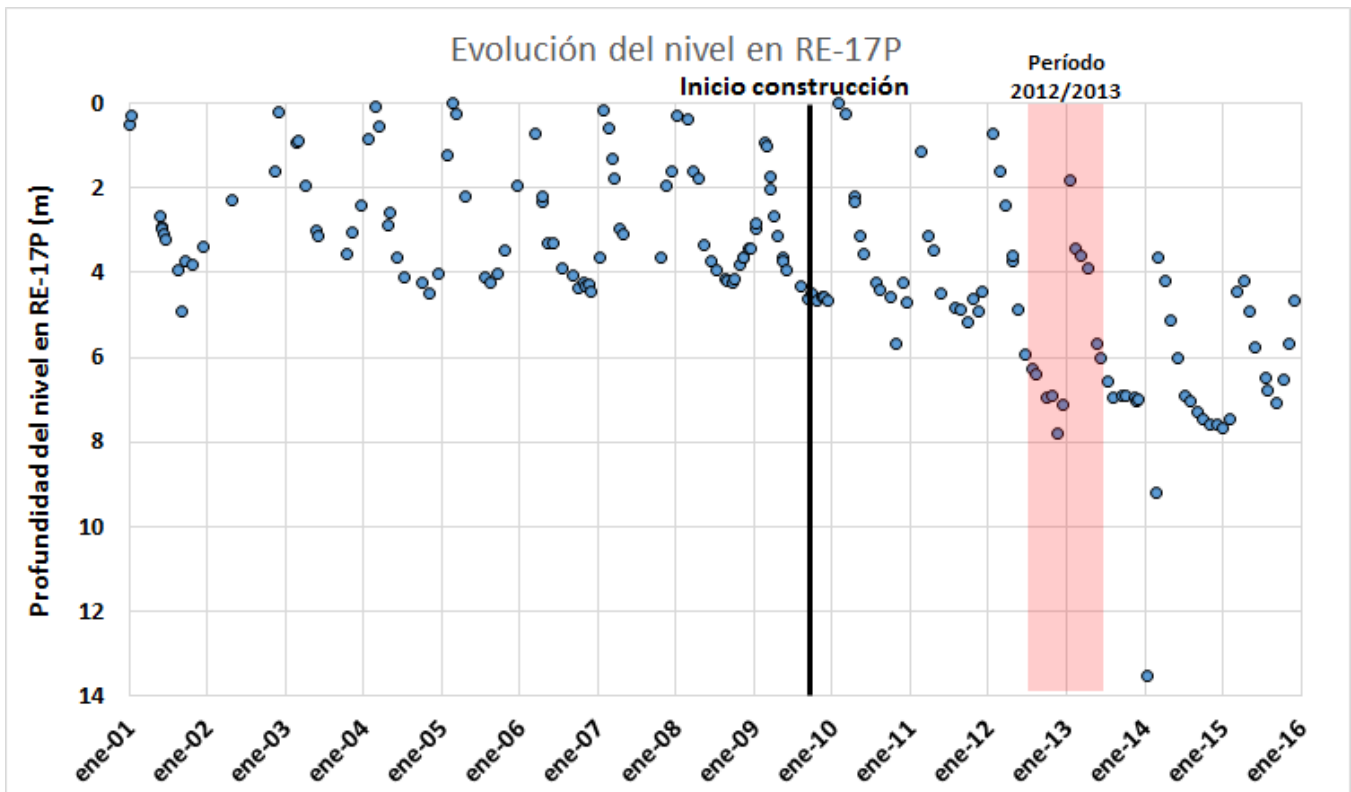


Figura 1. Evolución de la profundidad del nivel en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 1. Análisis estadístico de los datos de nivel en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	109	2,8	2,0	3,0	3,6	3,9
Post construcción	77	5,2	4,2	4,9	6,3	6,9
Período 2012/2013	12	5,5	3,8	6,2	6,5	6,9

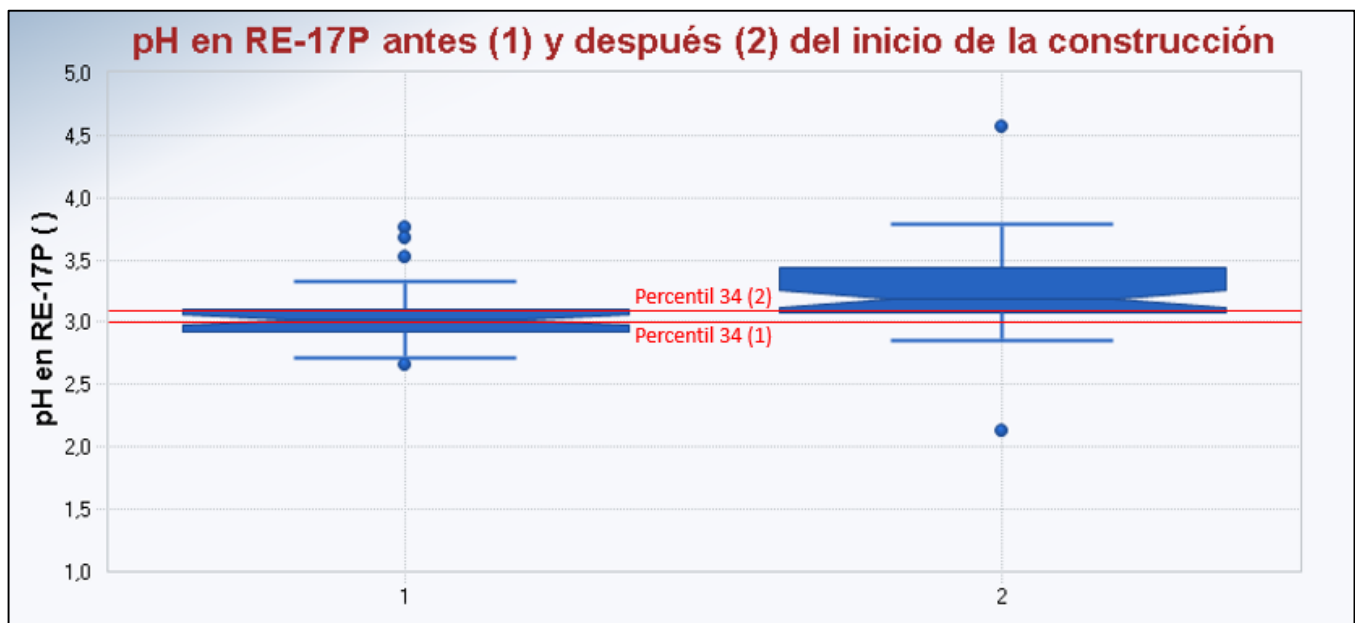
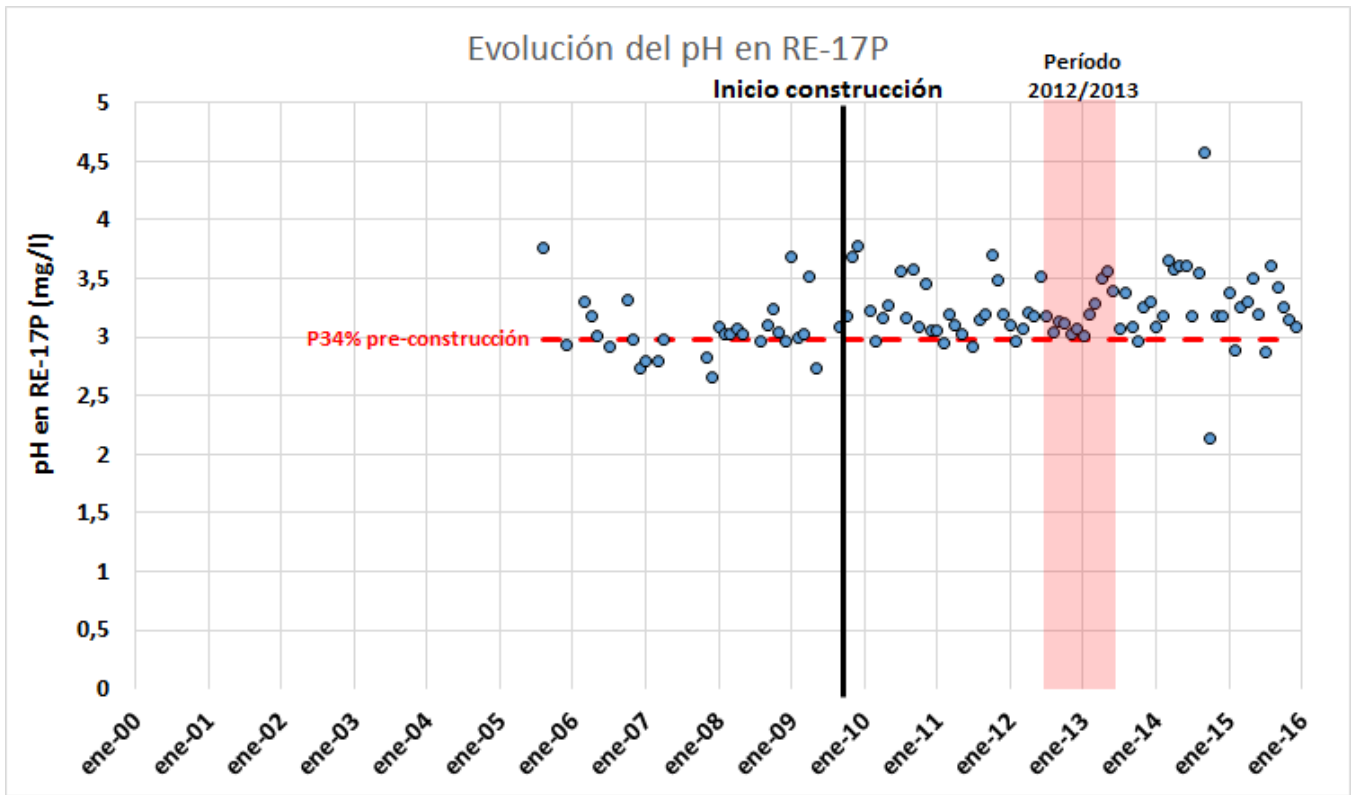


Figura 2. Evolución del pH en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 2. Análisis estadístico de los datos de pH en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	30	3,1	2,9	3,0	3,0	3,1
Post construcción	72	3,3	3,1	3,2	3,1	3,4
Período 2012/2013	12	3,2	3,1	3,2	3,1	3,3

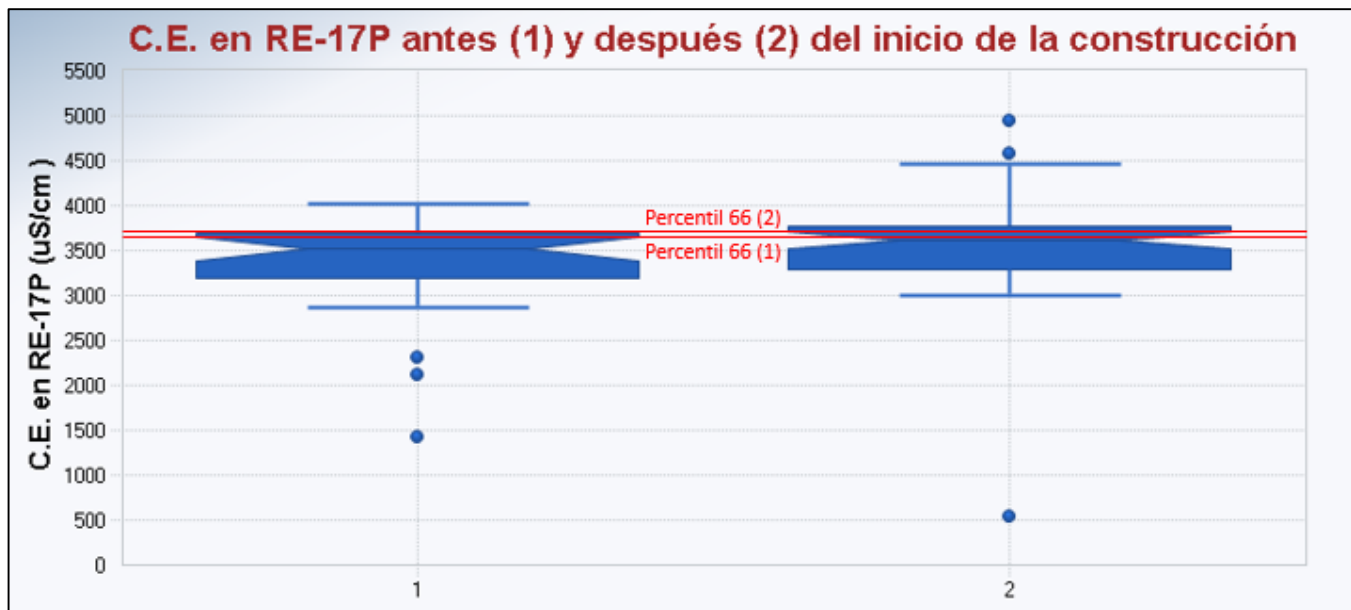
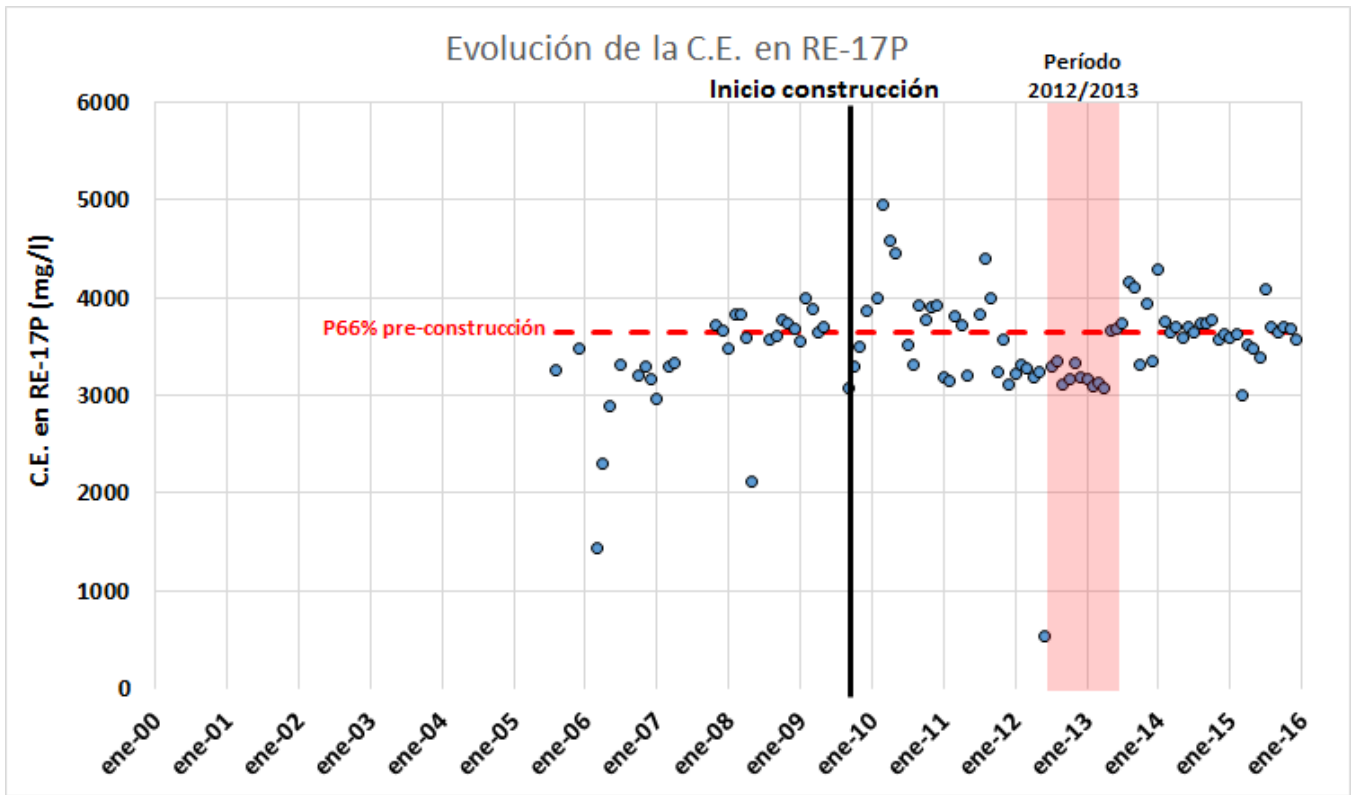


Figura 3. Evolución de la Conductividad Eléctrica en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 3. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	3348,5	3213,0	3521,0	3652,9	3697,0
Post construcción	72	3566,0	3295,0	3610,0	3708,9	3769,3
Período 2012/2013	12	3274,2	3135,0	3175,0	3307,8	3337,5

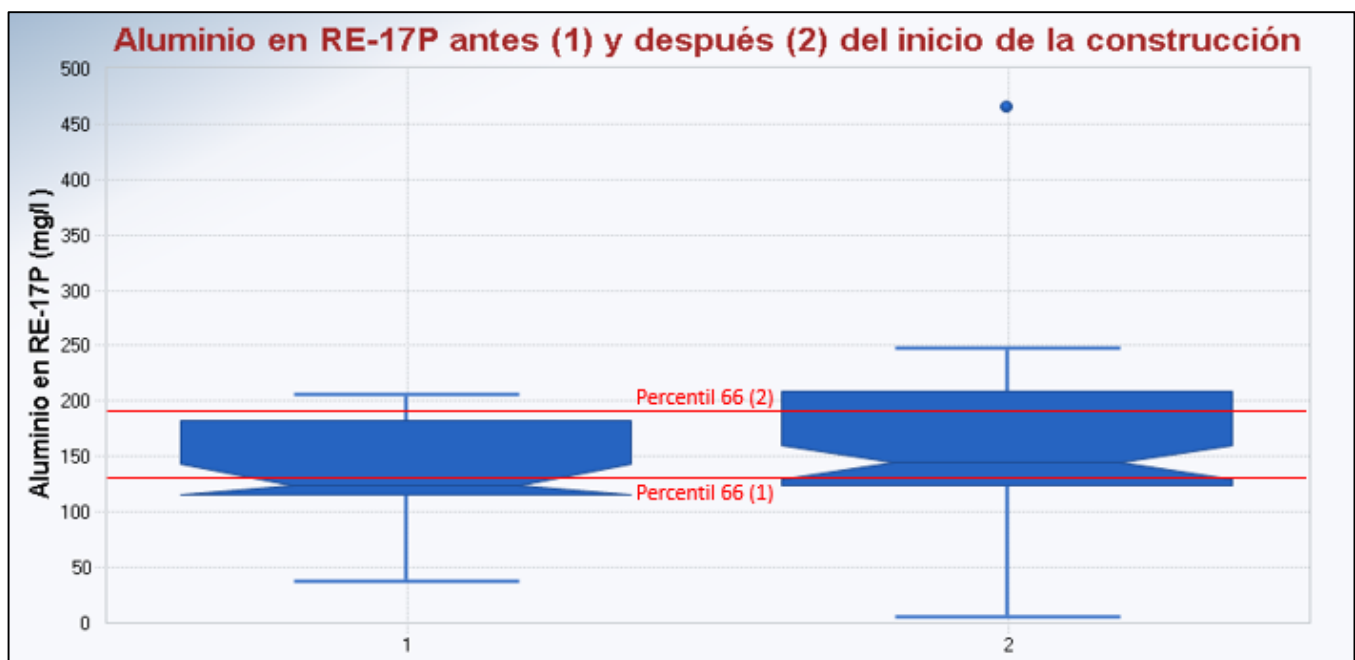
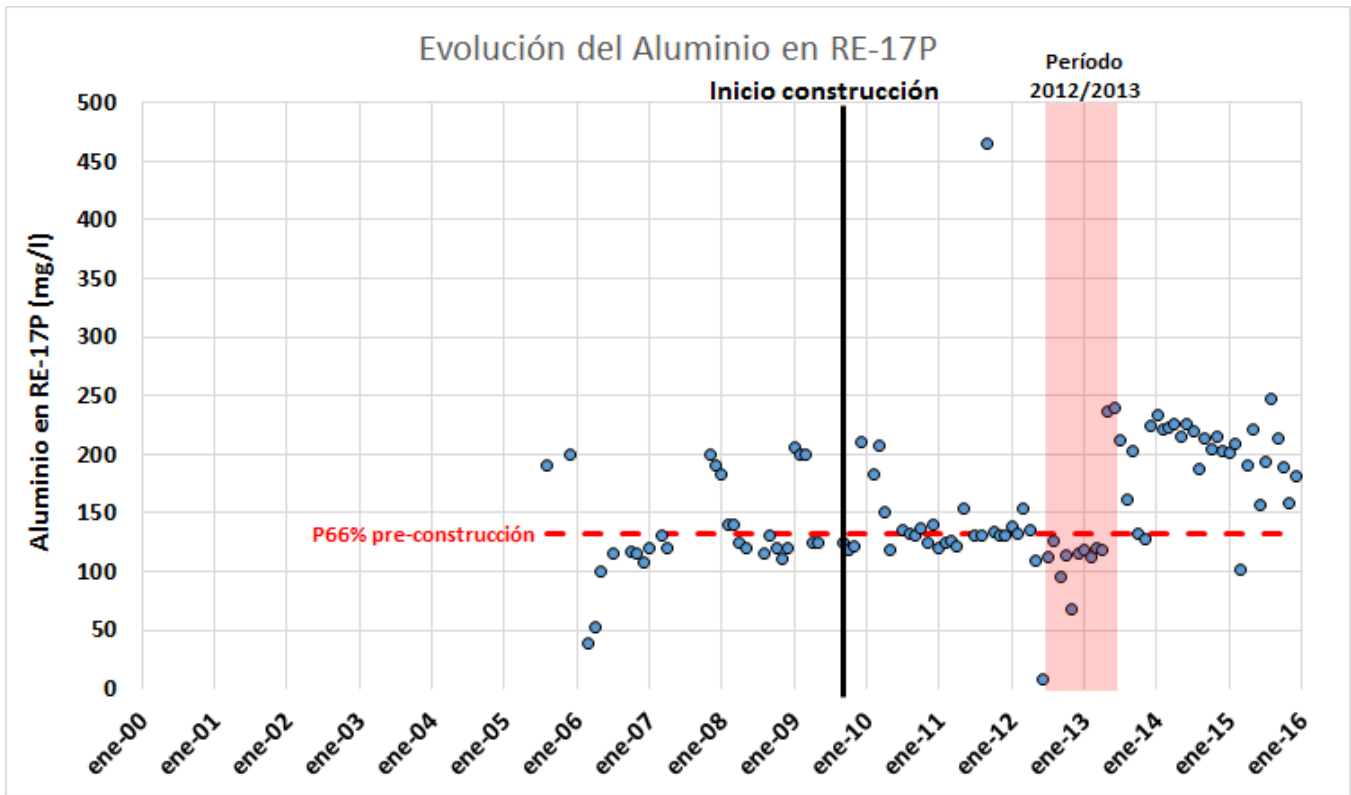


Figura 4. Evolución del Aluminio en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 4. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	135,9	115,5	124,5	131,4	171,5
Post construcción	72	164,3	124,8	145,0	193,0	209,3
Período 2012/2013	12	131,2	112,0	116,5	118,5	121,5

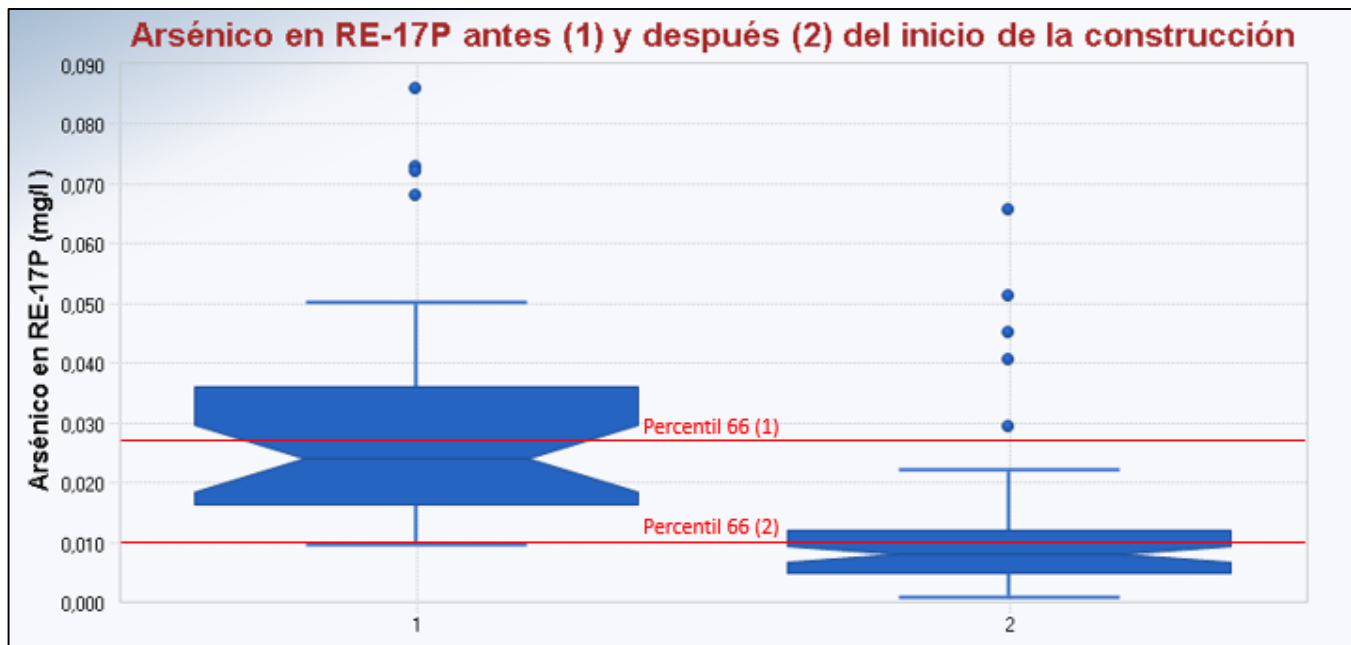
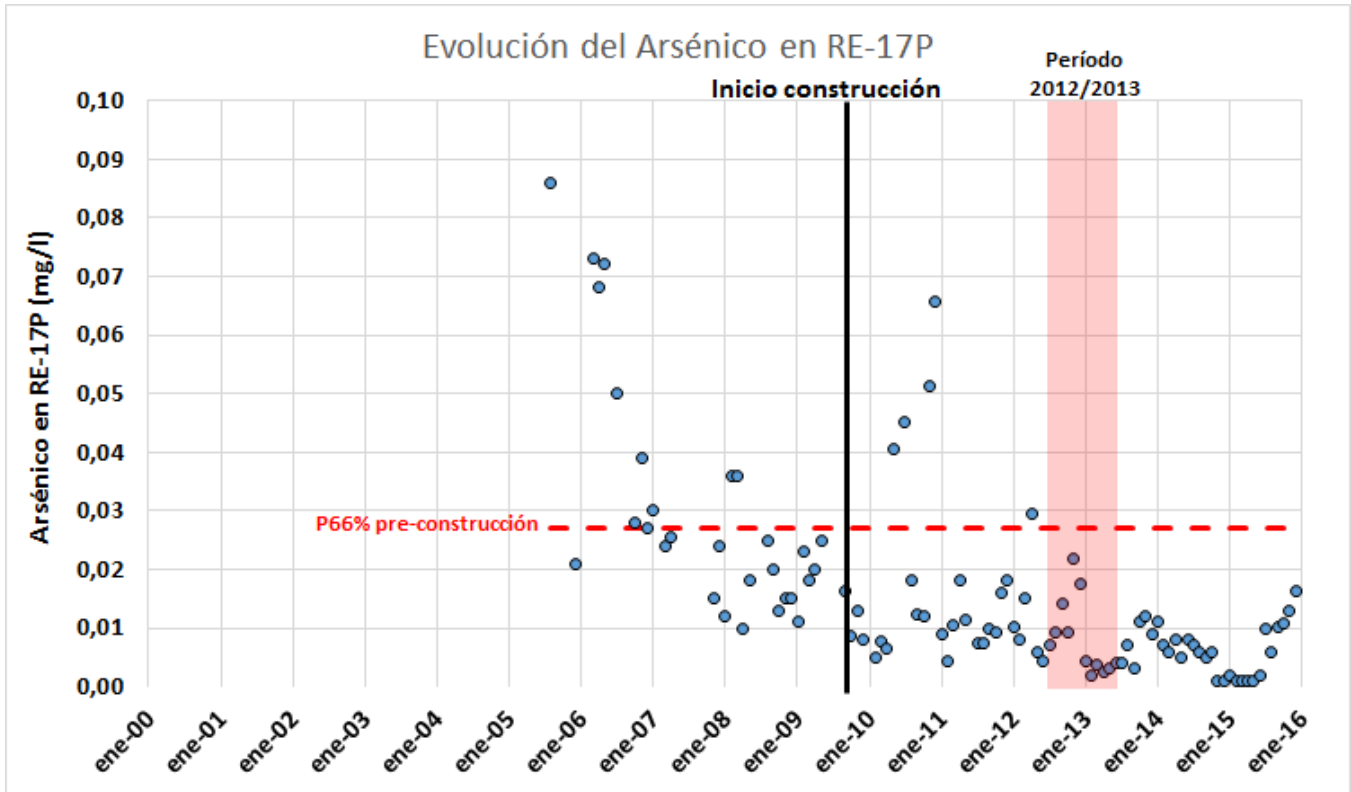


Figura 5. Evolución del Arsénico en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 5. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	0,030	0,017	0,024	0,027	0,035
Post construcción	72	0,011	0,005	0,008	0,010	0,012
Período 2012/2013	12	0,008	0,004	0,006	0,009	0,011

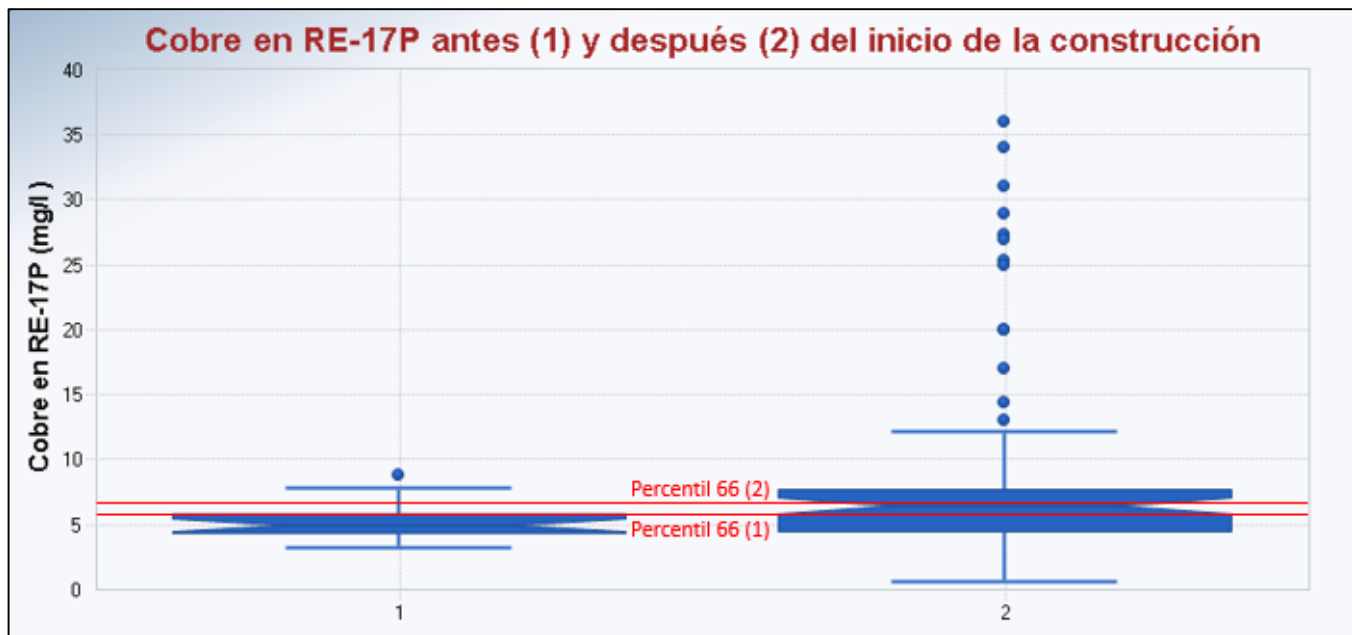
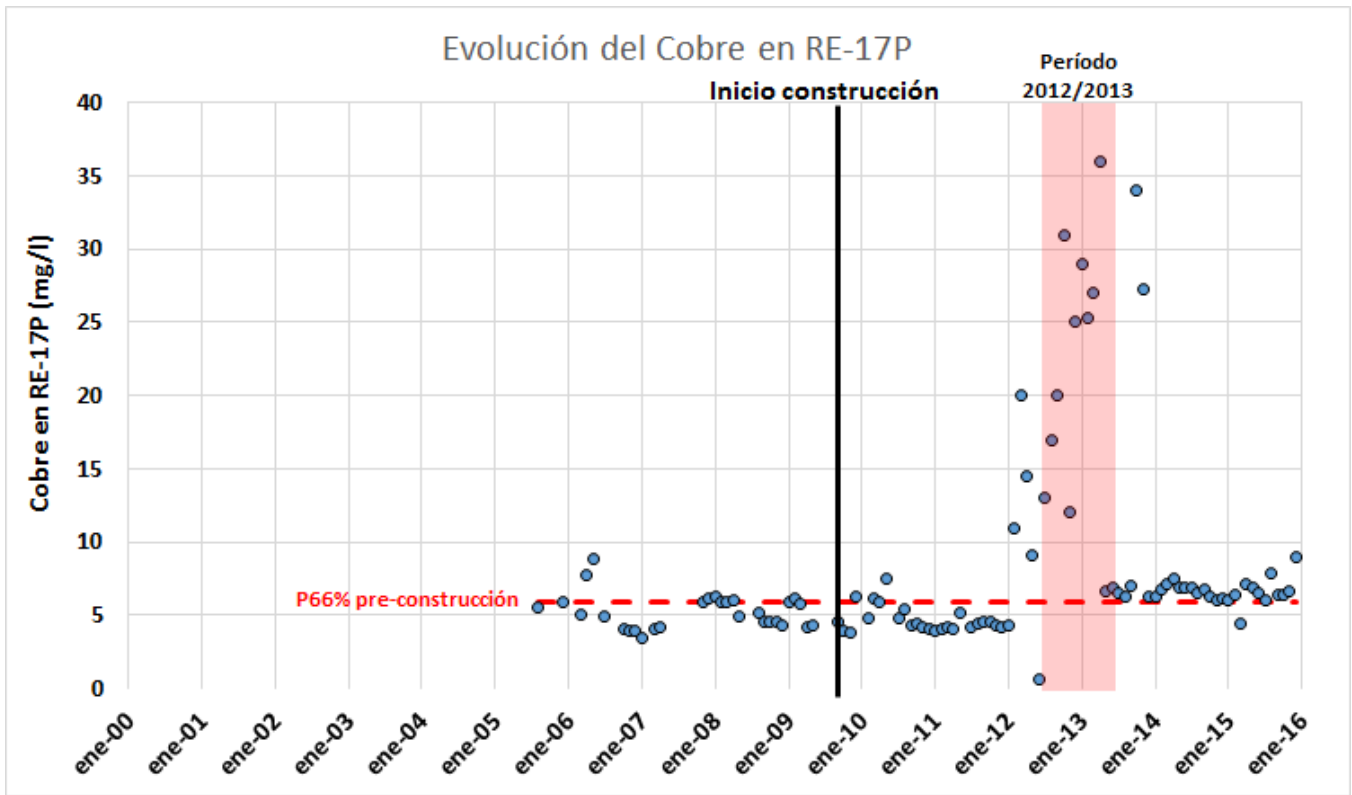


Figura 6. Evolución del Cobre en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 6. Análisis estadístico de los datos de Cobre en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	5,2	4,3	5,0	5,9	5,9
Post construcción	72	9,3	4,5	6,4	6,9	7,6
Período 2012/2013	12	20,7	12,8	22,5	25,7	27,5

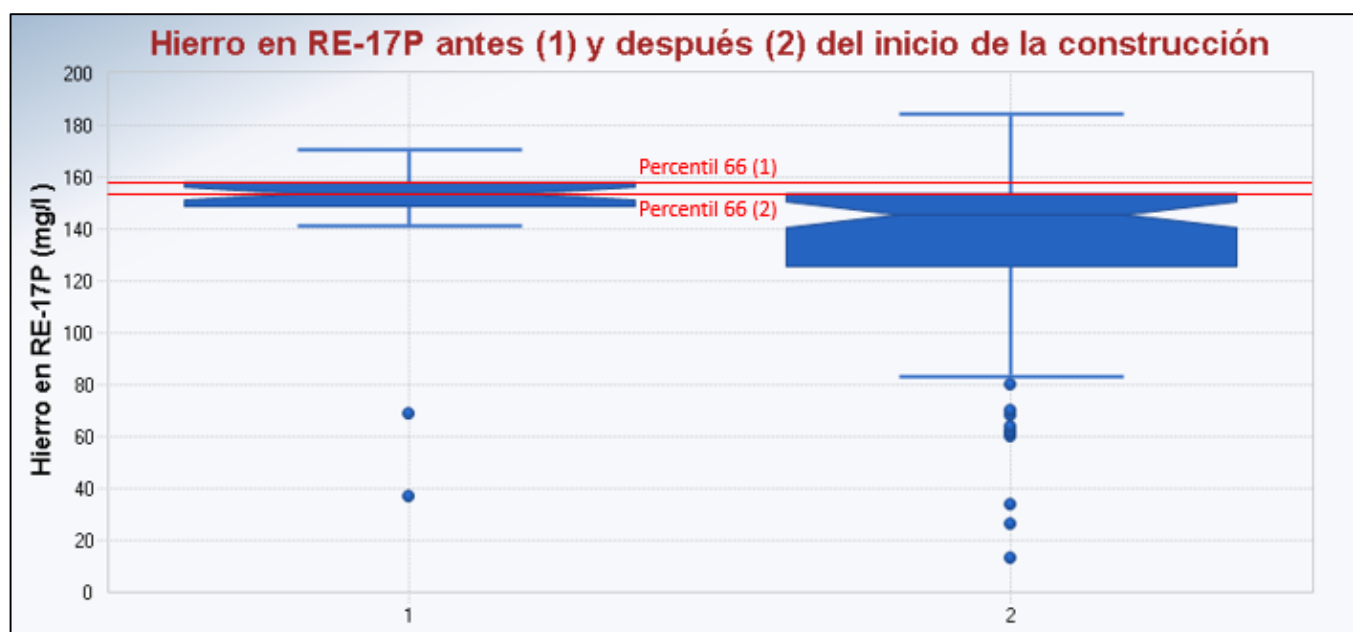
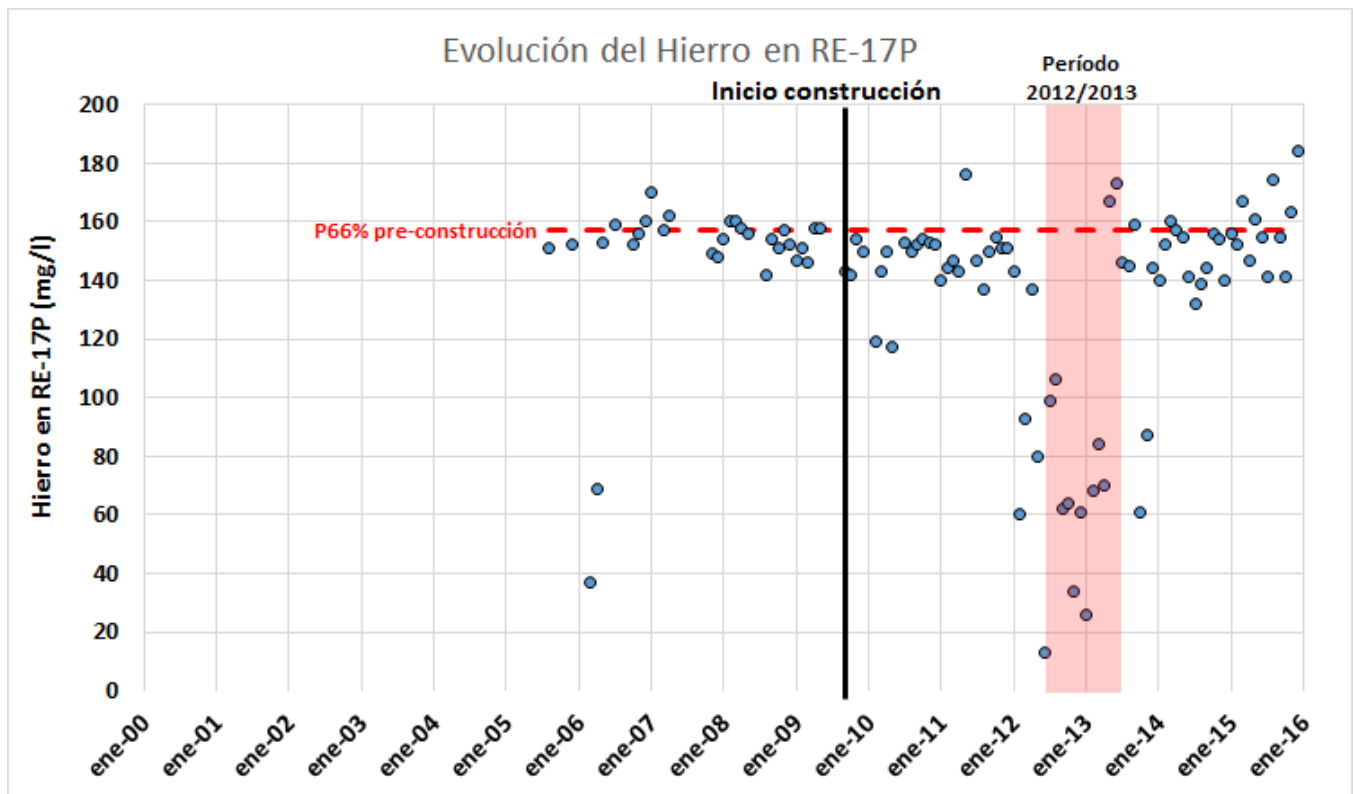


Figura 7. Evolución del Hierro en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 7. Análisis estadístico de los datos de Hierro en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	147,4	149,5	153,5	157,0	158,0
Post construcción	72	131,7	128,8	145,5	152,0	154,0
Período 2012/2013	12	84,5	61,8	69,1	87,9	100,8

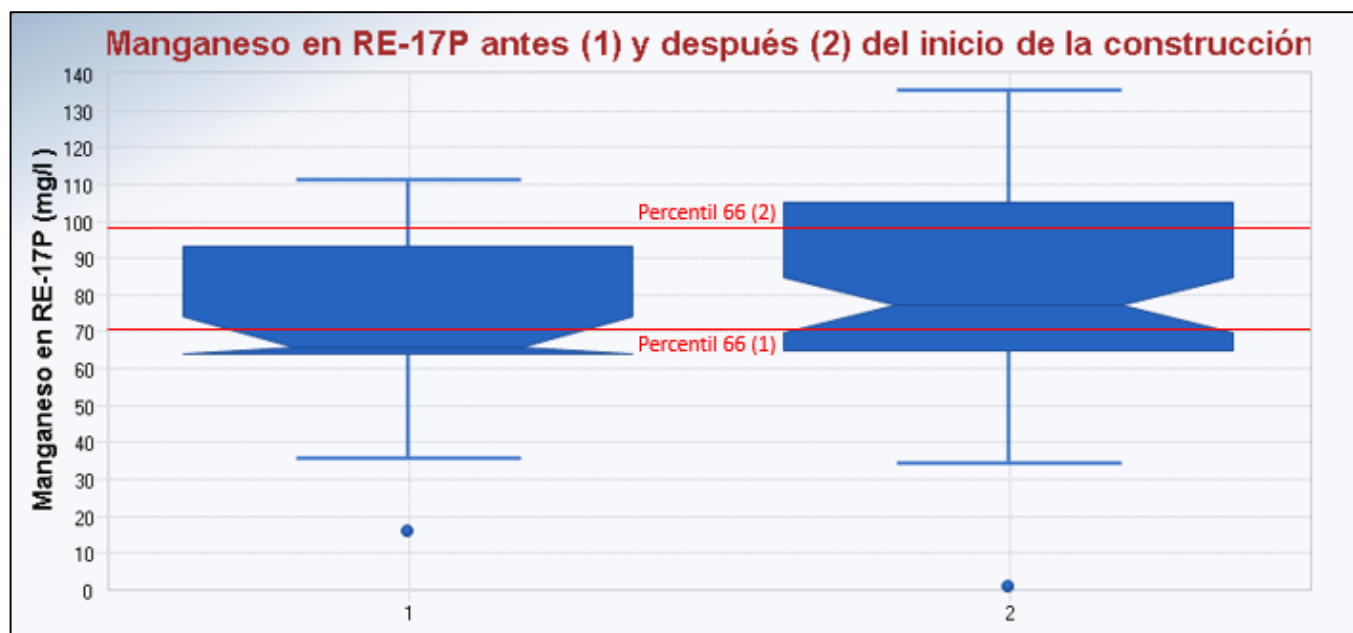
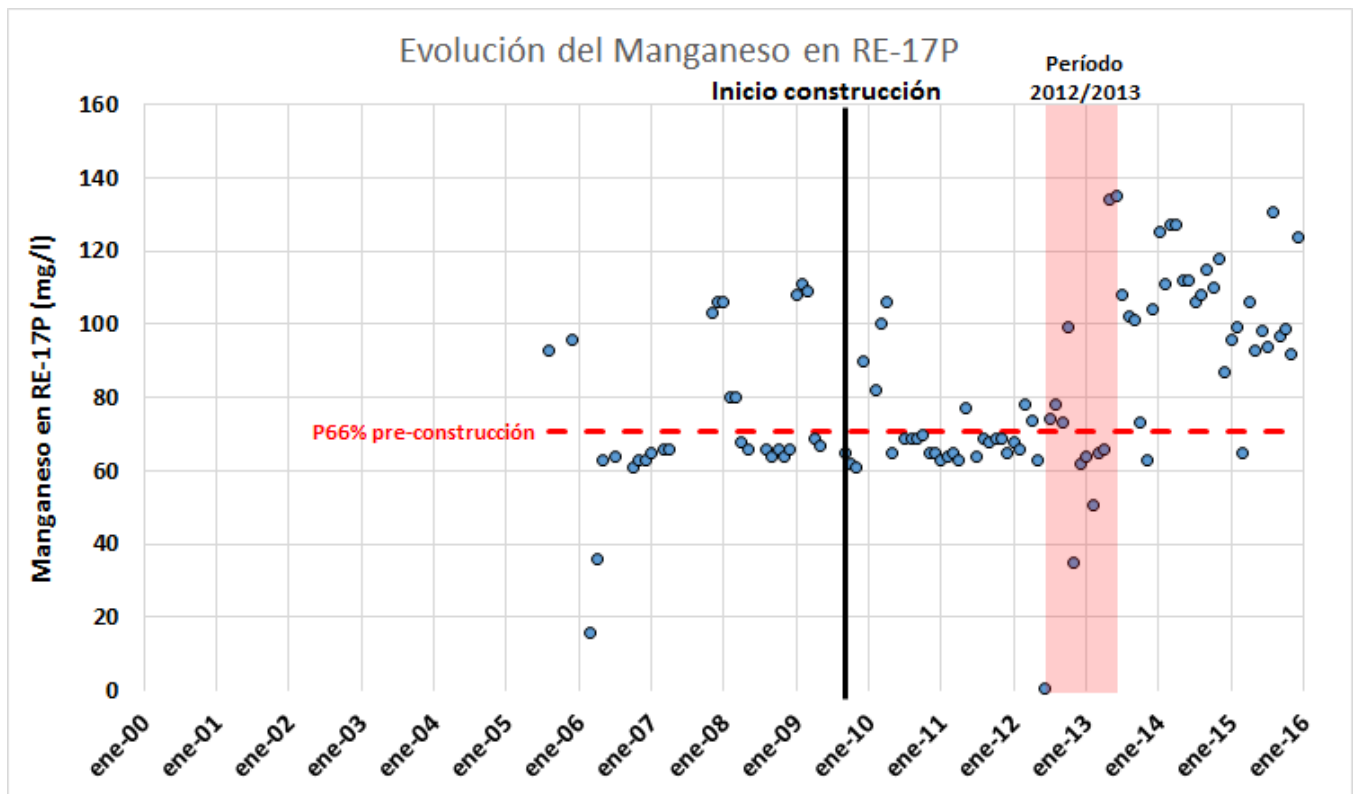


Figura 8. Evolución del Manganeso en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 8. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	73,9	64,0	66,0	70,5	89,8
Post construcción	72	84,7	65,0	77,5	98,5	104,5
Período 2012/2013	12	78,0	63,5	69,5	75,0	83,3

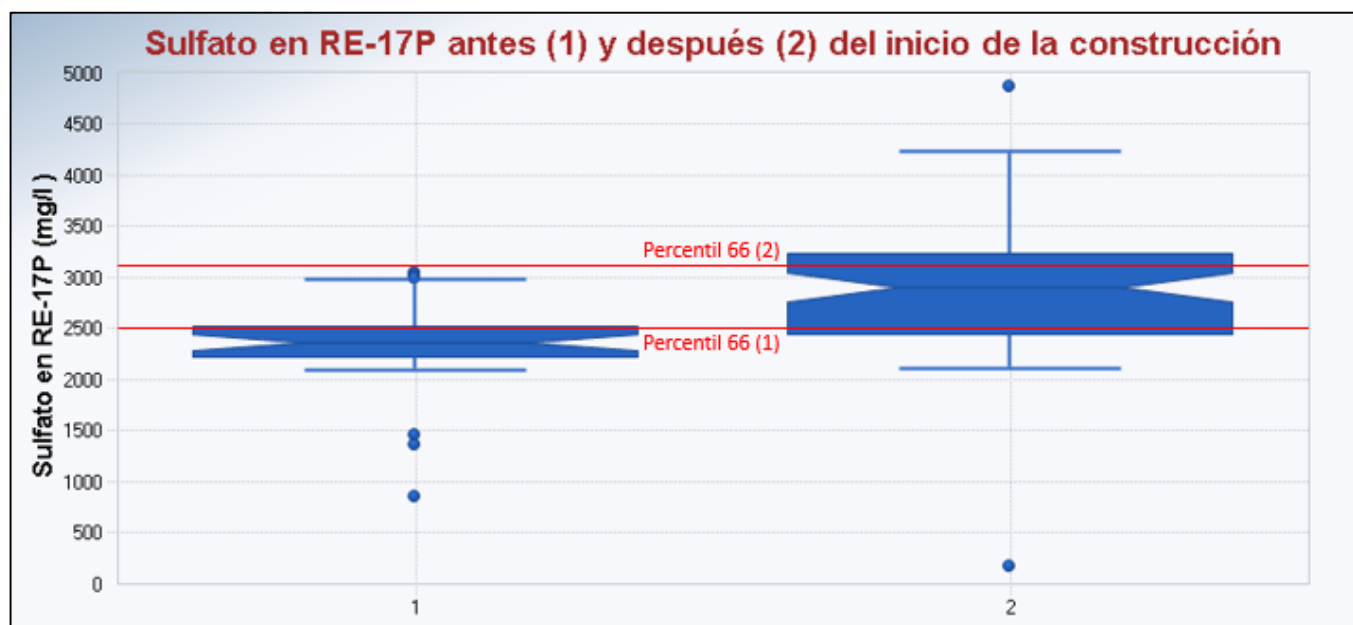
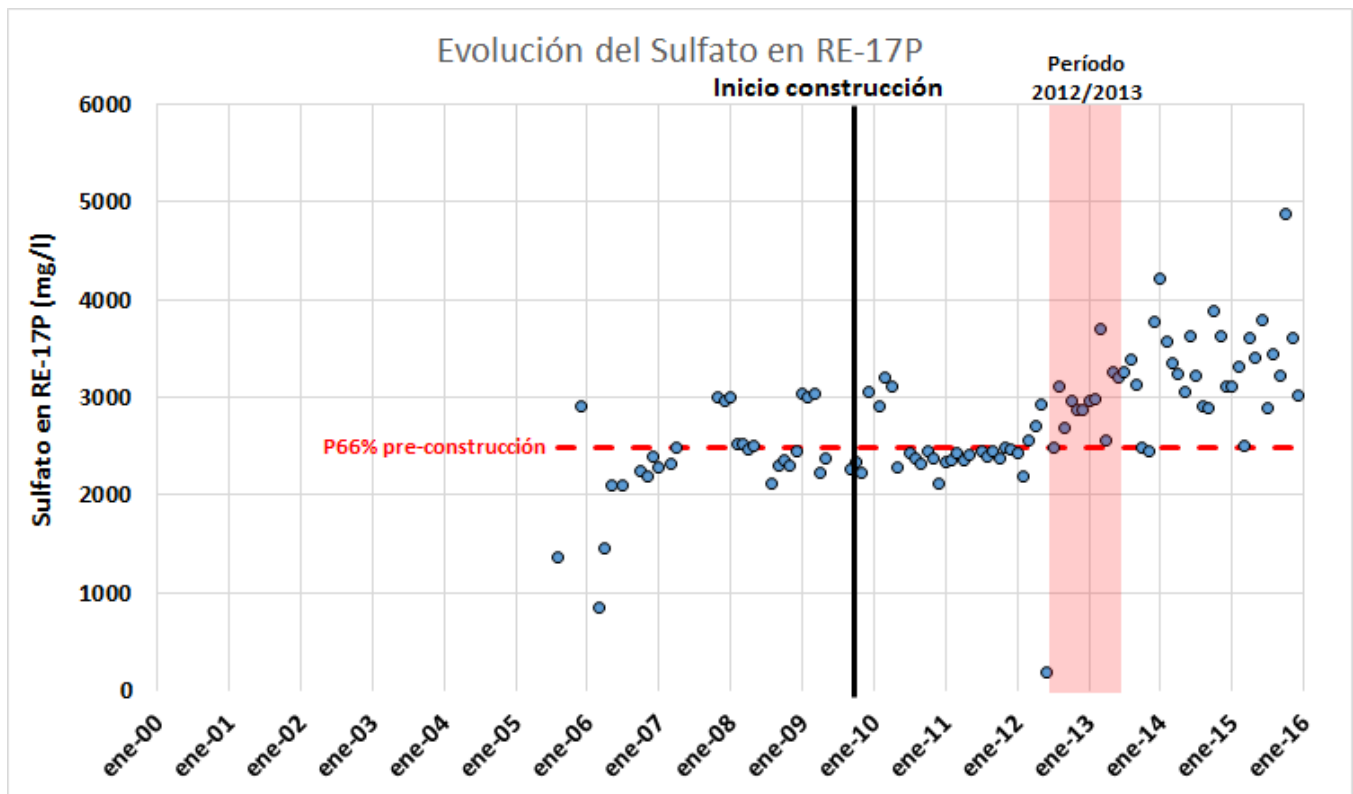


Figura 9. Evolución del Sulfato en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 9. Análisis estadístico de los datos de Sulfato en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	2373,7	2227,5	2373,0	2493,1	2524,0
Post construcción	72	2896,1	2440,8	2912,5	3119,4	3240,0
Período 2012/2013	12	2973,7	2824,8	2965,0	3016,8	3138,8

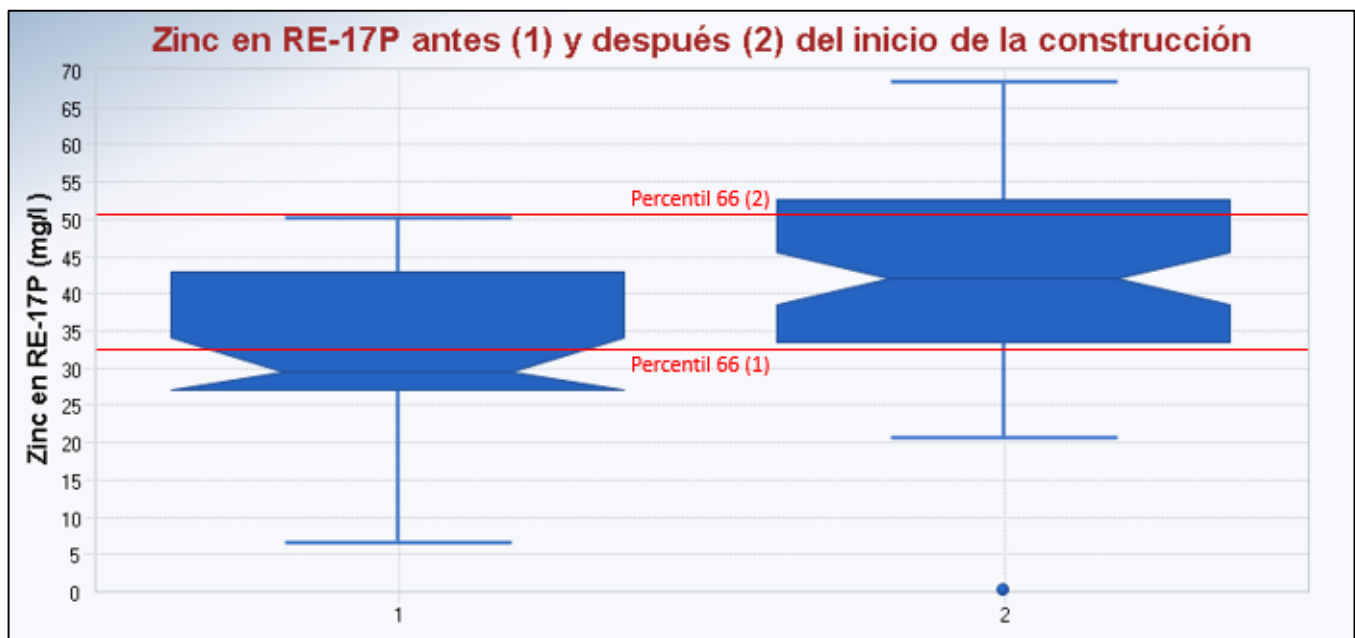
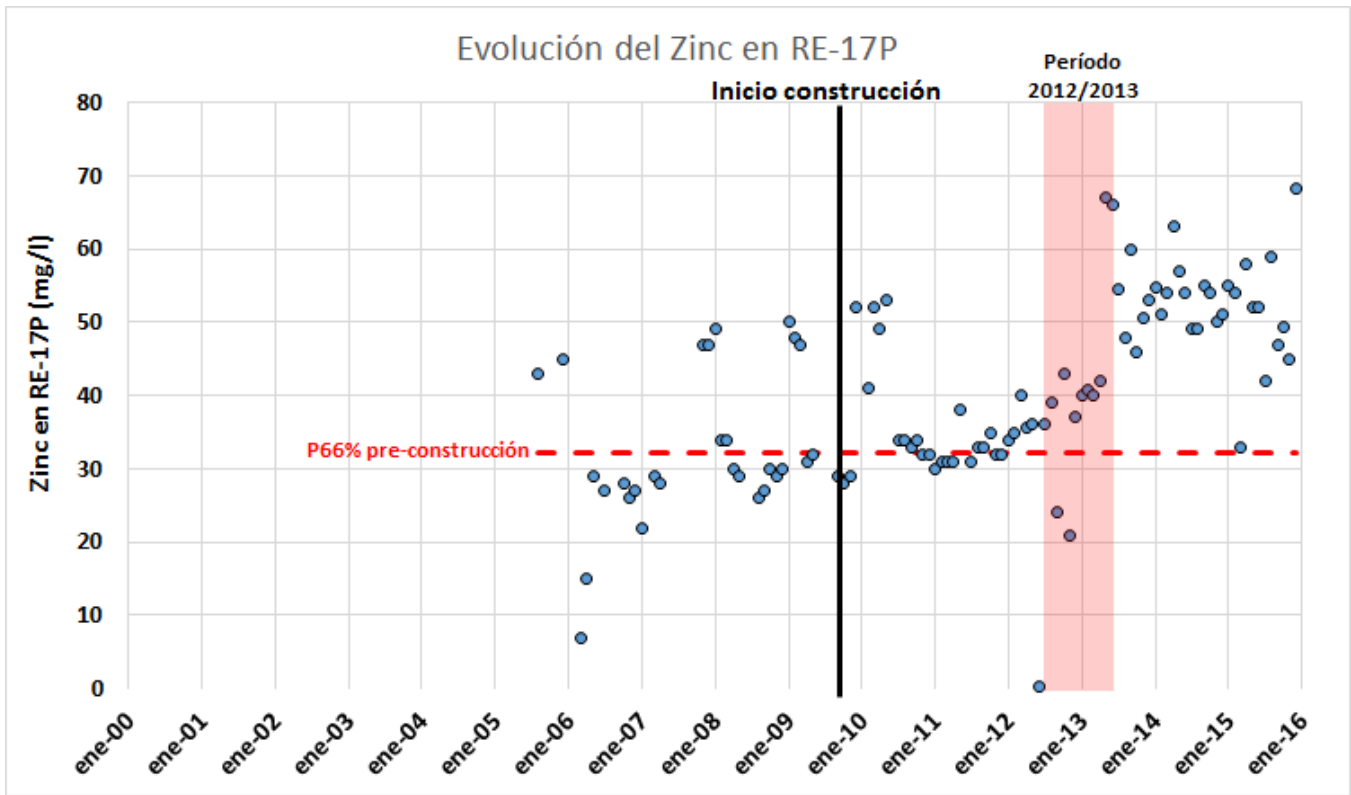


Figura 10. Evolución del Zinc en RE-17P (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 10. Análisis estadístico de los datos de Zinc en RE-17P (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	30	32,5	27,3	29,5	32,3	40,8
Post construcción	72	43,1	33,8	42,1	50,5	52,3
Período 2012/2013	12	41,3	36,8	40,0	41,1	42,3

2. Evolución del nivel y de los parámetros DAR en RE-17S

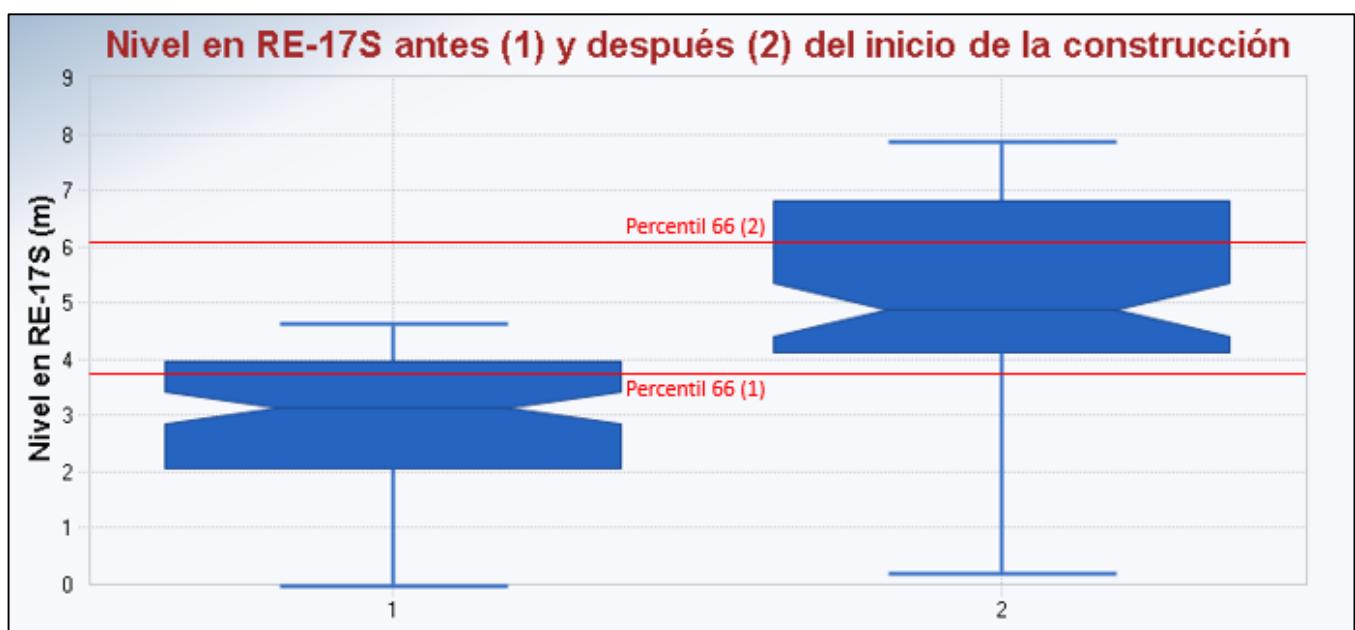
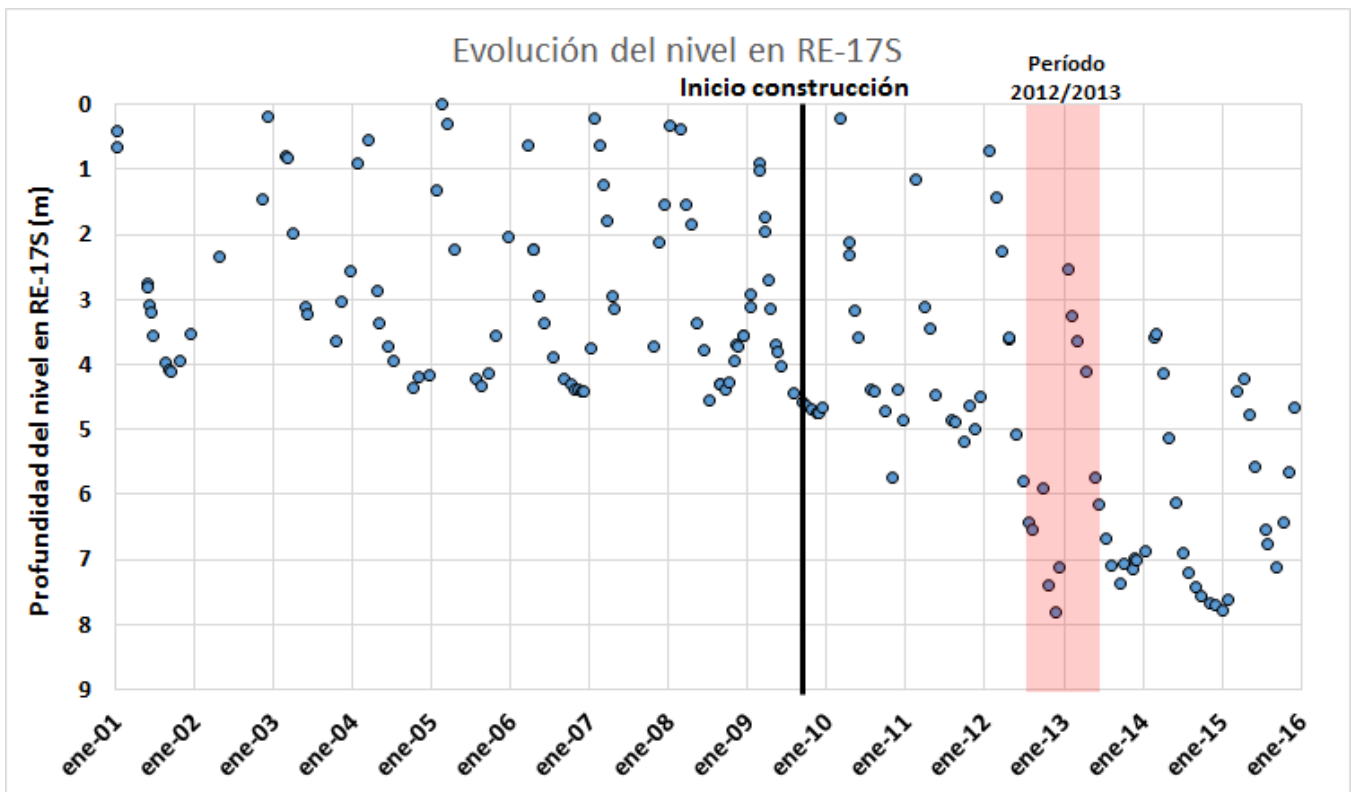


Figura 11. Evolución de la profundidad del nivel en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 11. Análisis estadístico de los datos de nivel en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	108	2,9	2,1	3,1	3,7	4,0
Post construcción	76	5,1	4,1	4,9	6,1	6,8
Período 2012/2013	12	5,6	4,0	6,0	6,5	6,7

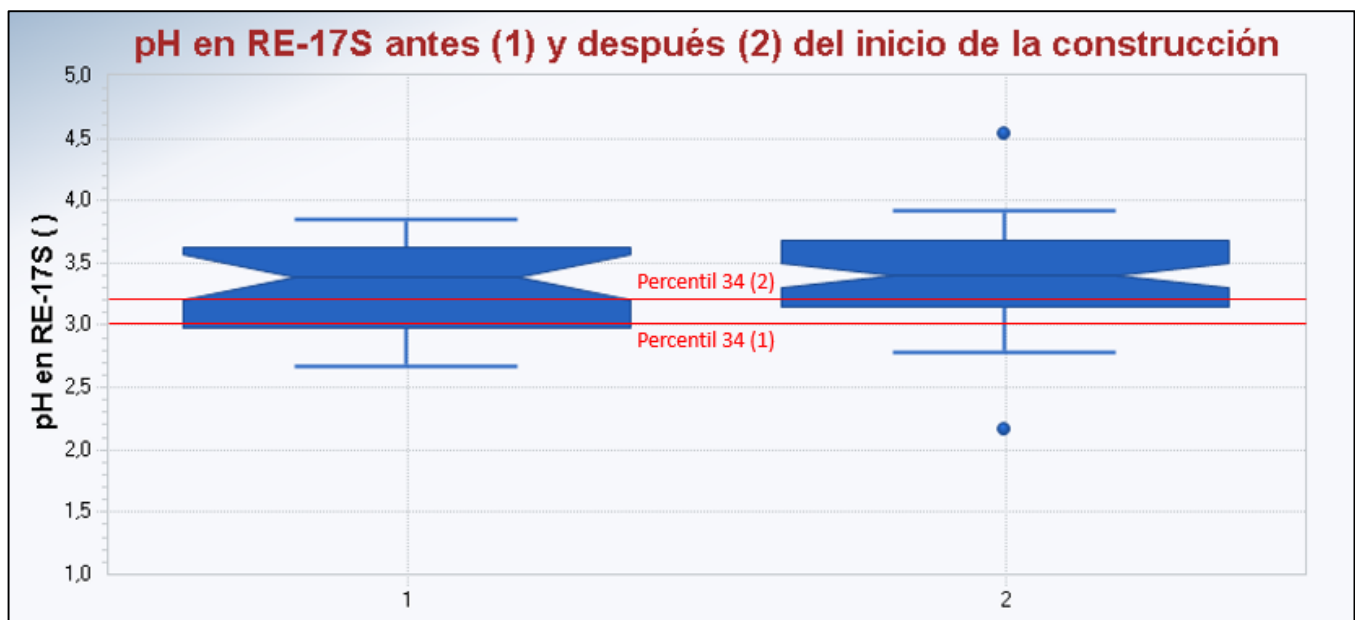
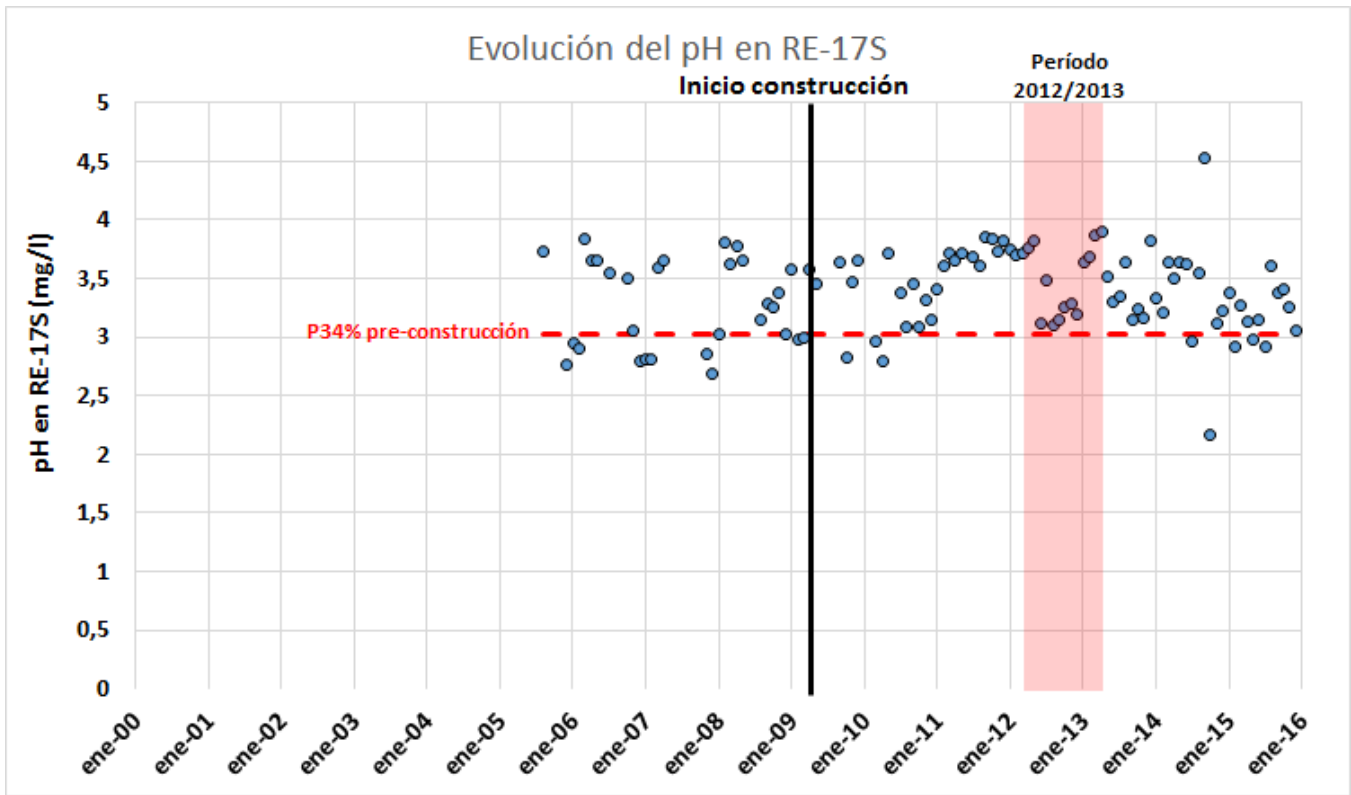


Figura 12. Evolución del pH en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 12. Análisis estadístico de los datos de pH en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	33	3,3	3,0	3,4	3,0	3,6
Post construcción	71	3,4	3,2	3,4	3,2	3,7
Período 2012/2013	12	3,4	3,2	3,4	3,3	3,6

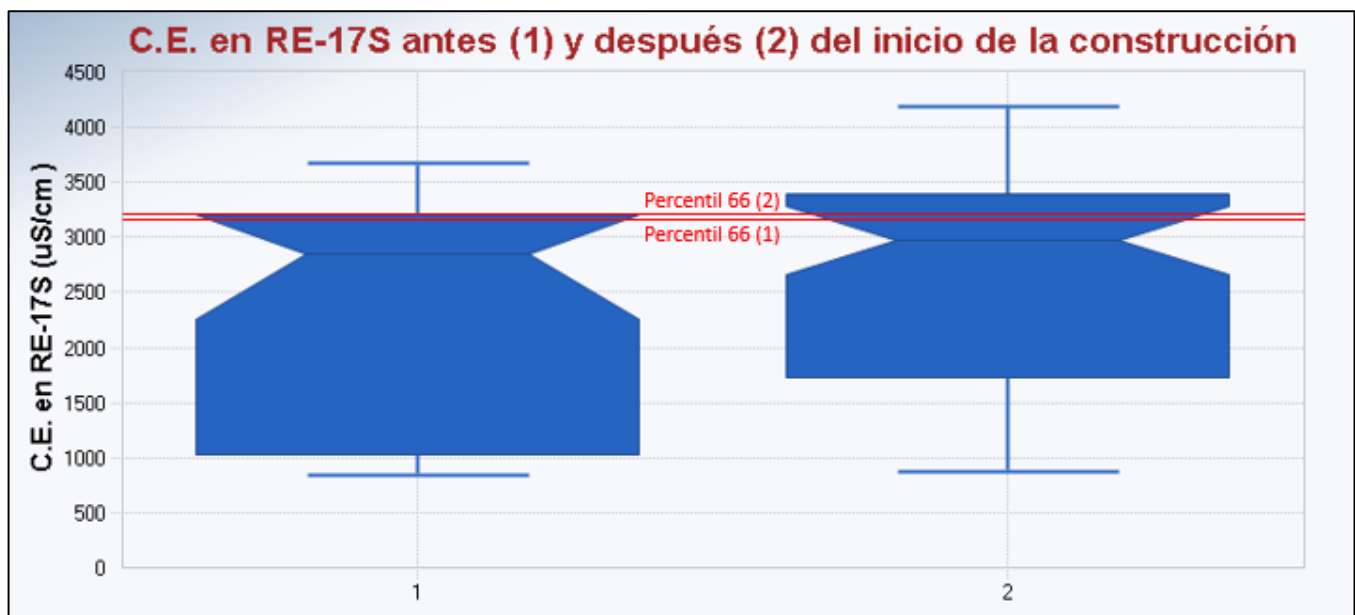
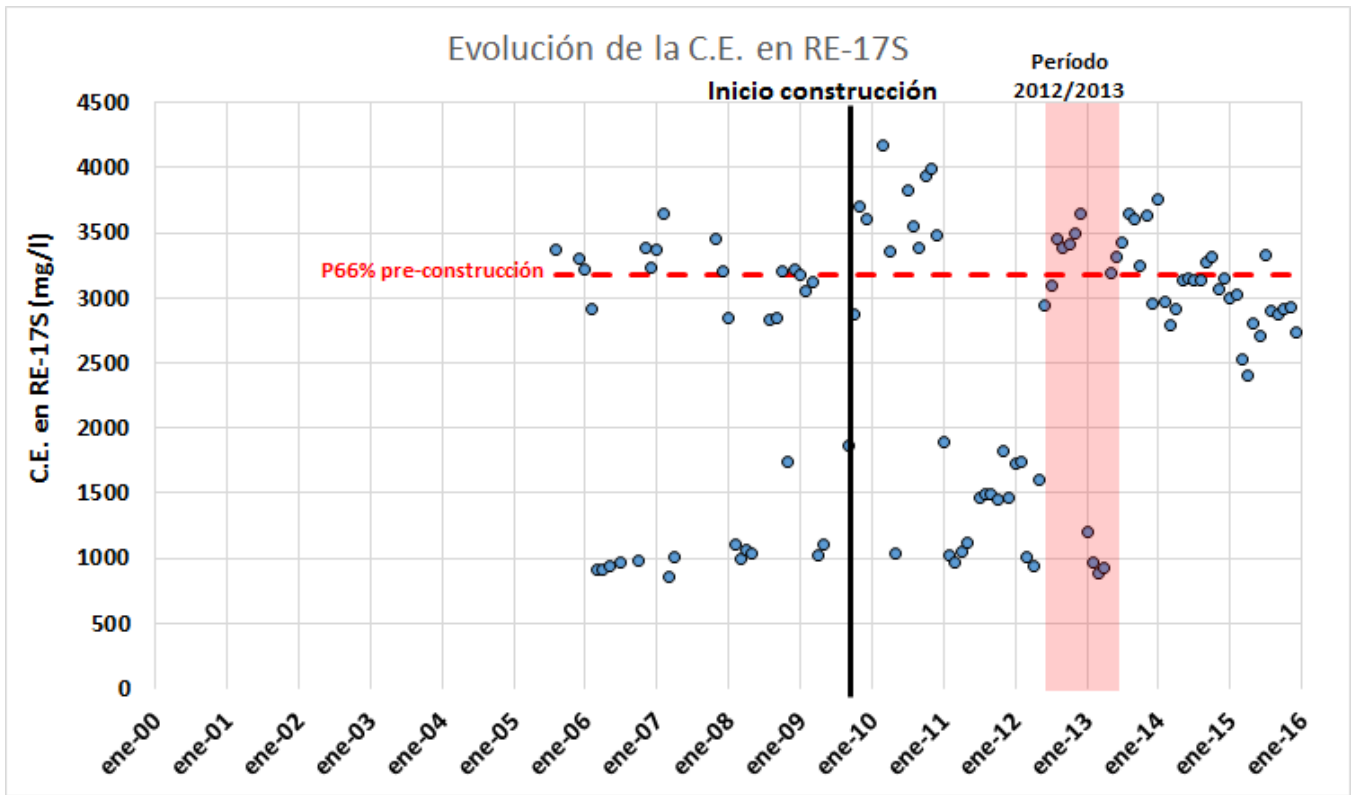


Figura 13. Evolución de la Conductividad Eléctrica en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 13. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	2239,5	1021,0	2850,0	3178,9	3213,0
Post construcción	71	2669,9	1736,0	2970,0	3246,0	3388,5
Período 2012/2013	12	2582,5	1147,8	3250,0	3395,2	3422,5

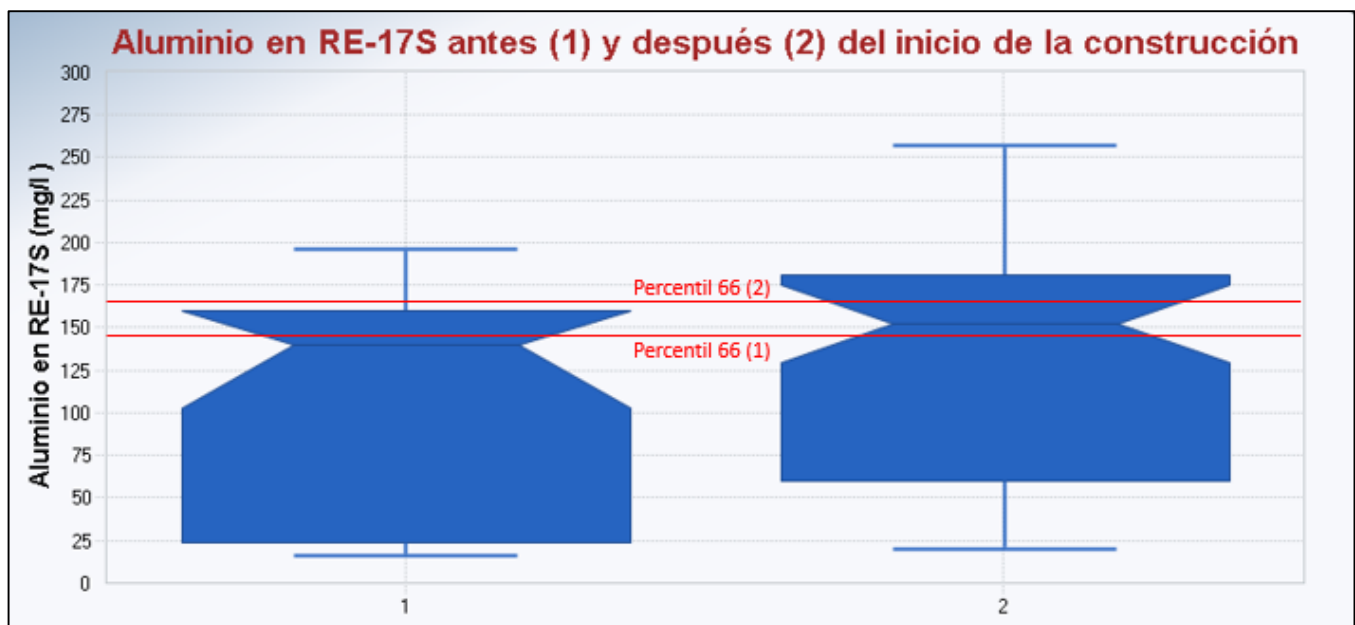
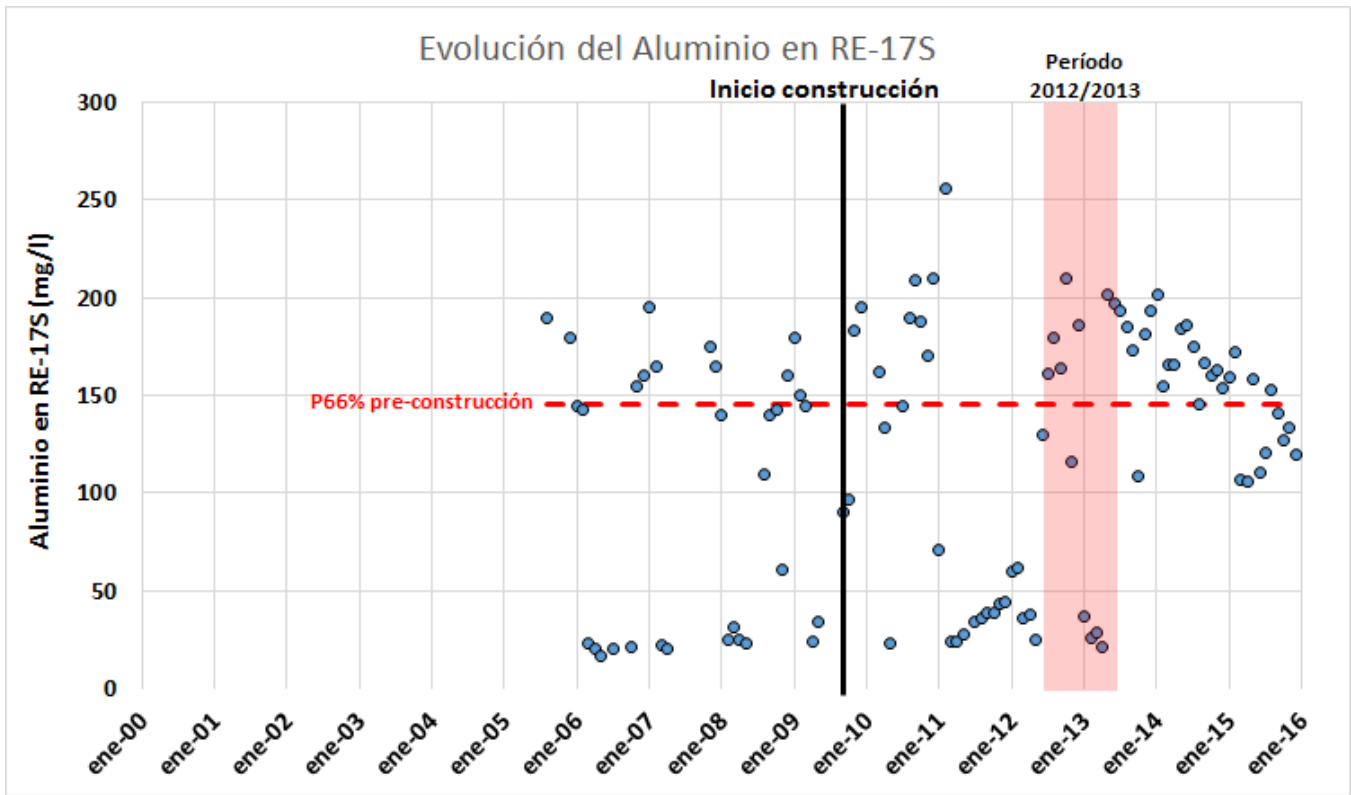


Figura 14. Evolución del Aluminio en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 14. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	99,9	24,0	140,0	145,6	160,0
Post construcción	71	128,0	61,0	152,9	166,2	180,5
Período 2012/2013	12	127,4	35,0	162,5	181,6	188,8

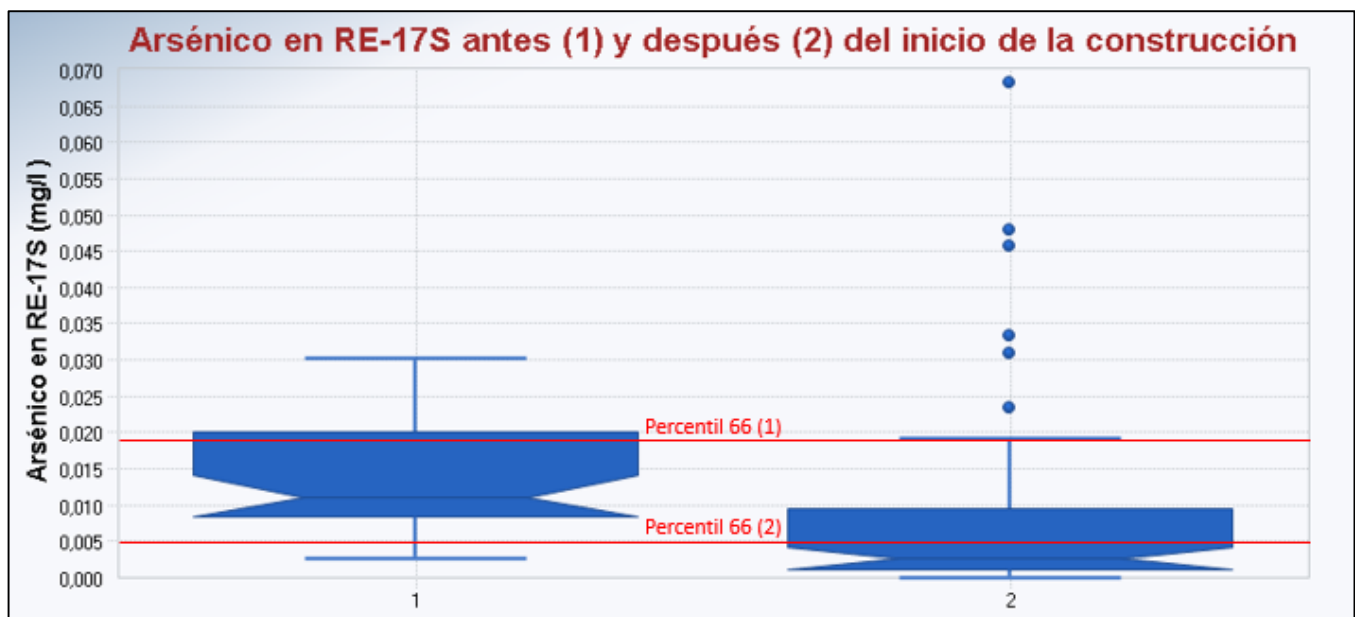
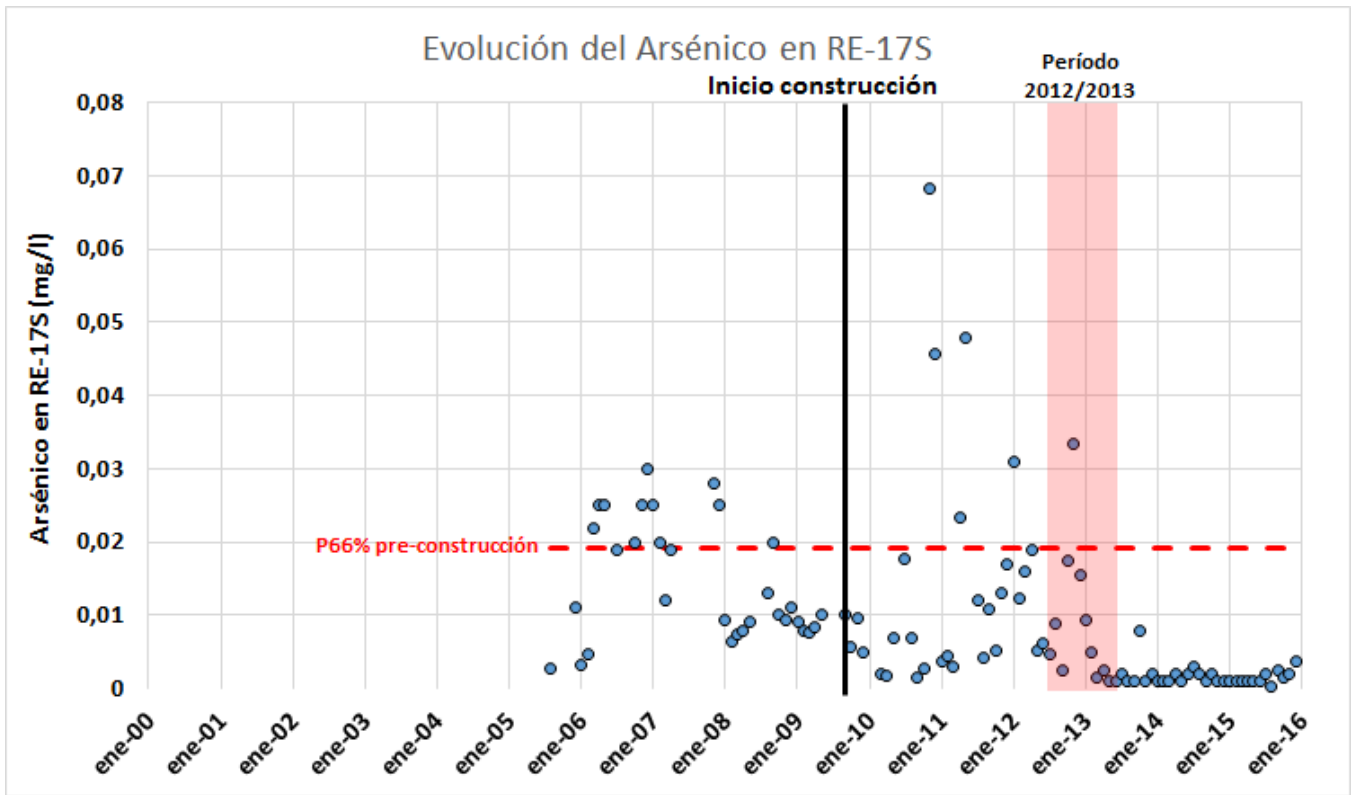


Figura 15. Evolución del Arsénico en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 15. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	0,014	0,008	0,011	0,019	0,020
Post construcción	71	0,008	0,001	0,003	0,005	0,009
Período 2012/2013	12	0,009	0,002	0,005	0,009	0,011

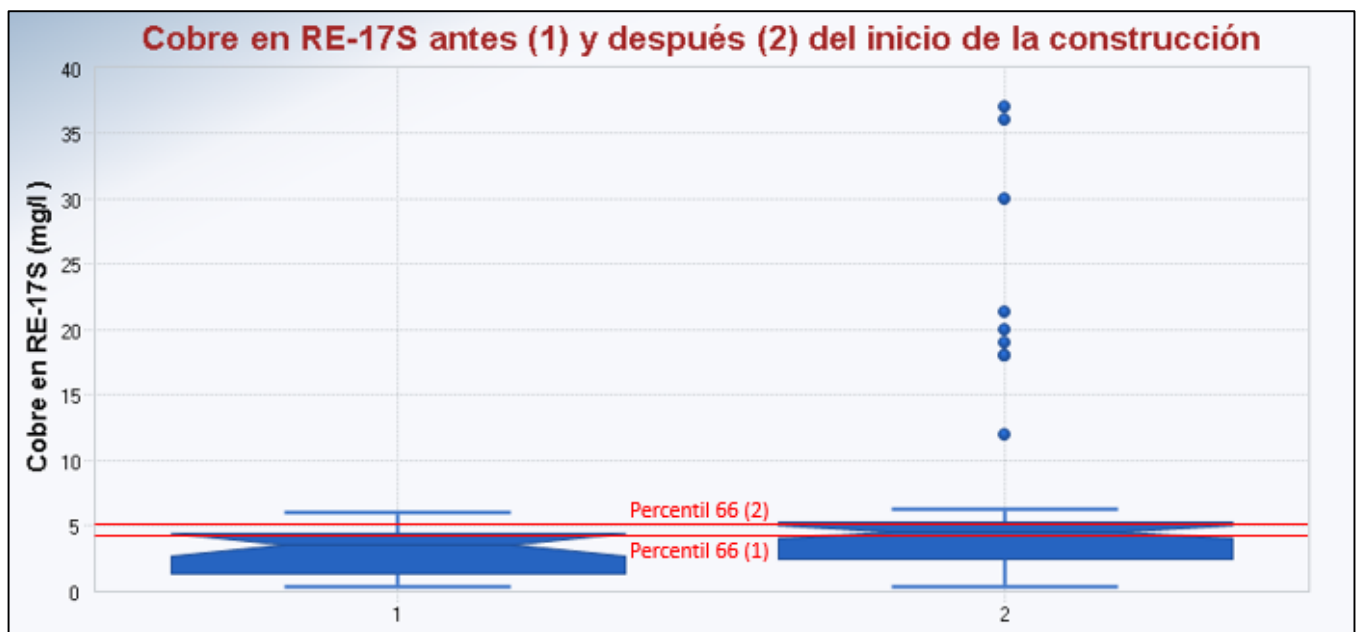
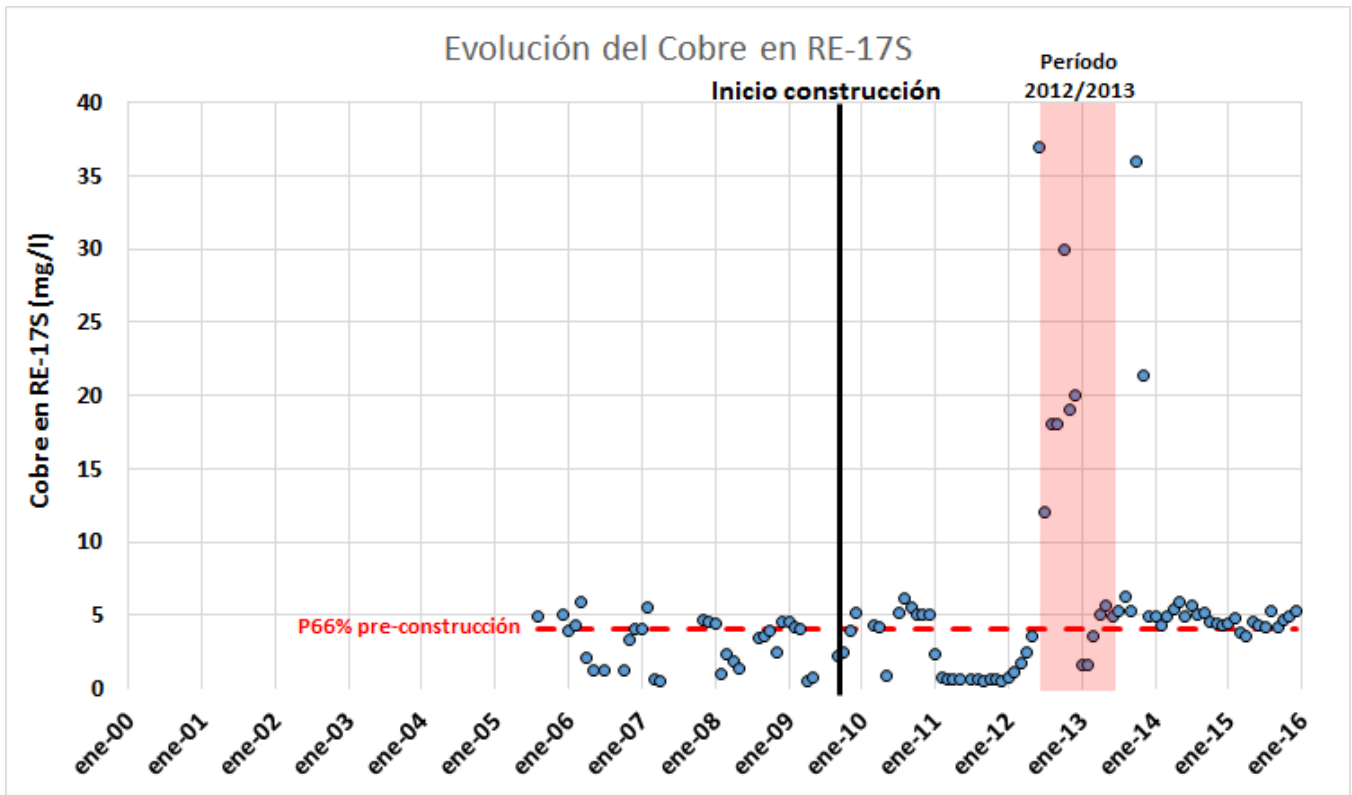


Figura 16. Evolución del Cobre en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 16. Análisis estadístico de los datos de Cobre en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	3,1	1,4	3,6	4,1	4,4
Post construcción	71	6,2	2,5	4,6	5,1	5,3
Período 2012/2013	12	11,6	4,6	8,9	18,0	18,3

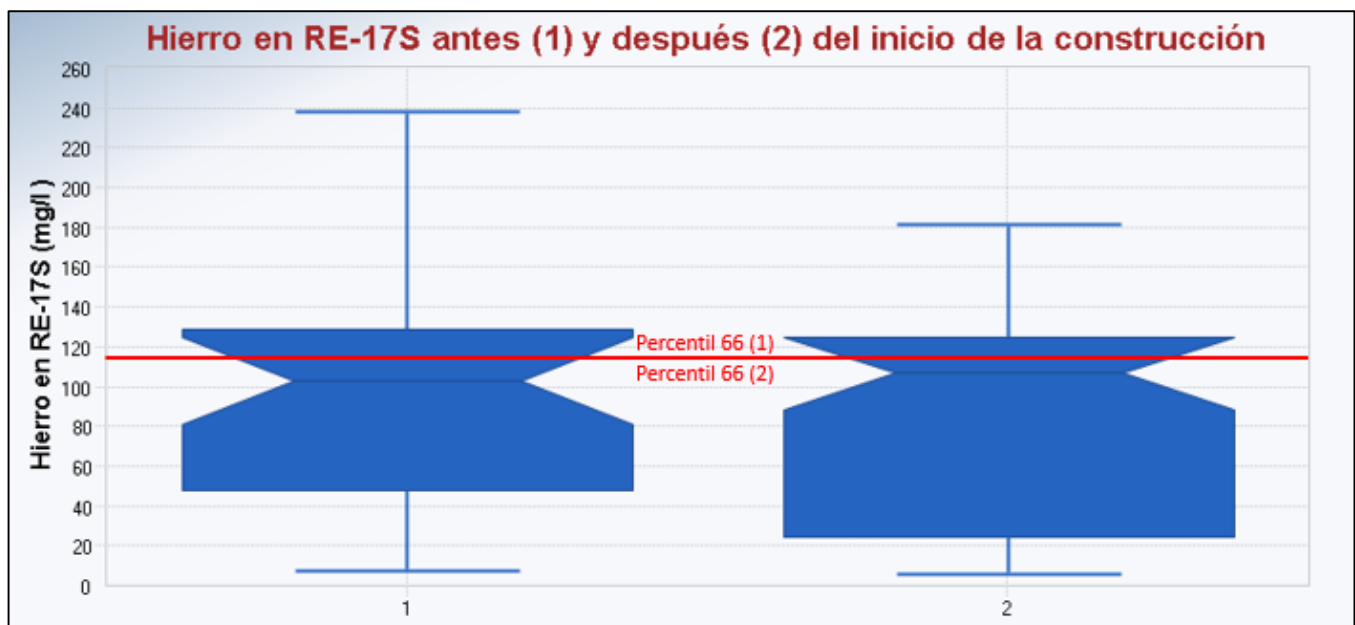
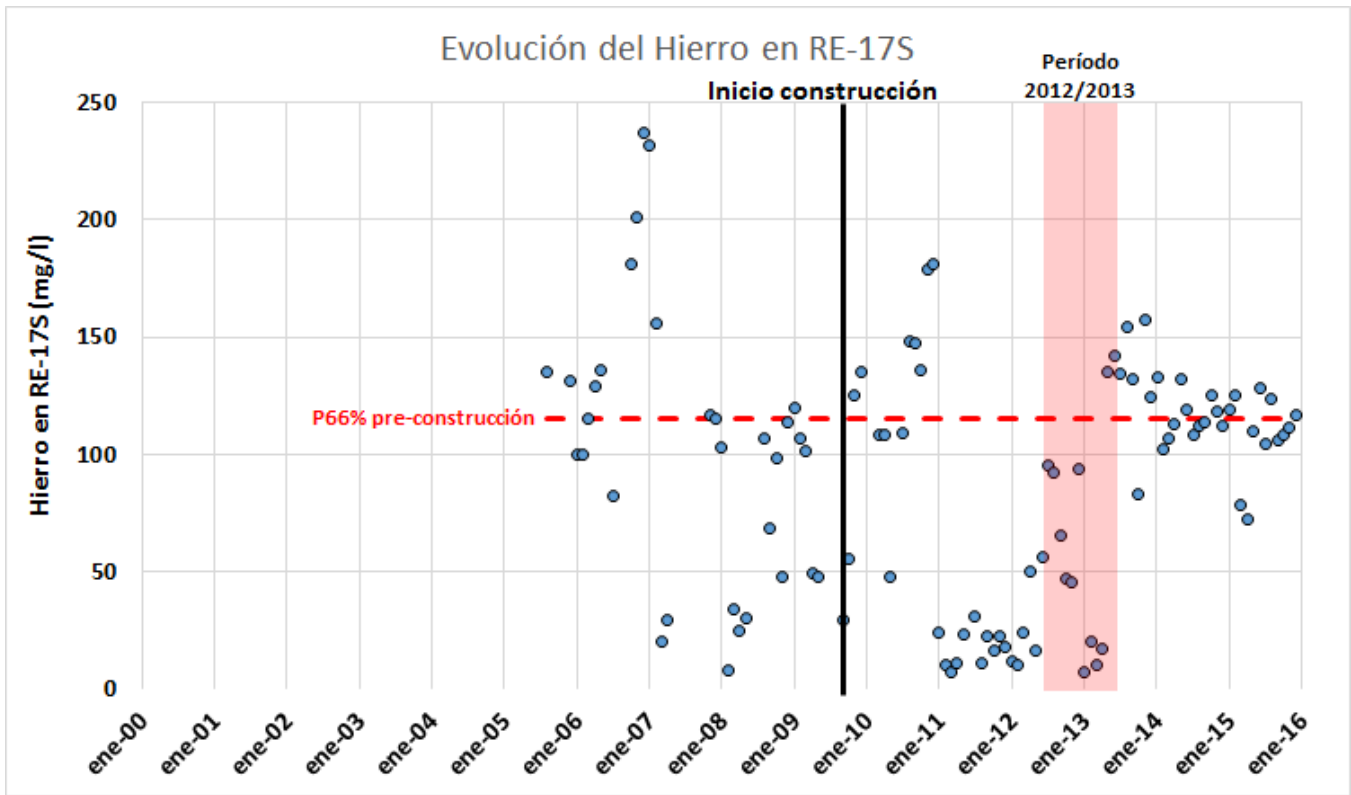


Figura 17. Evolución del Hierro en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 17. Análisis estadístico de los datos de Hierro en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	100,2	48,0	103,0	115,2	129,0
Post construcción	71	85,8	27,5	107,0	114,5	124,5
Período 2012/2013	12	64,1	19,3	56,0	92,5	94,3

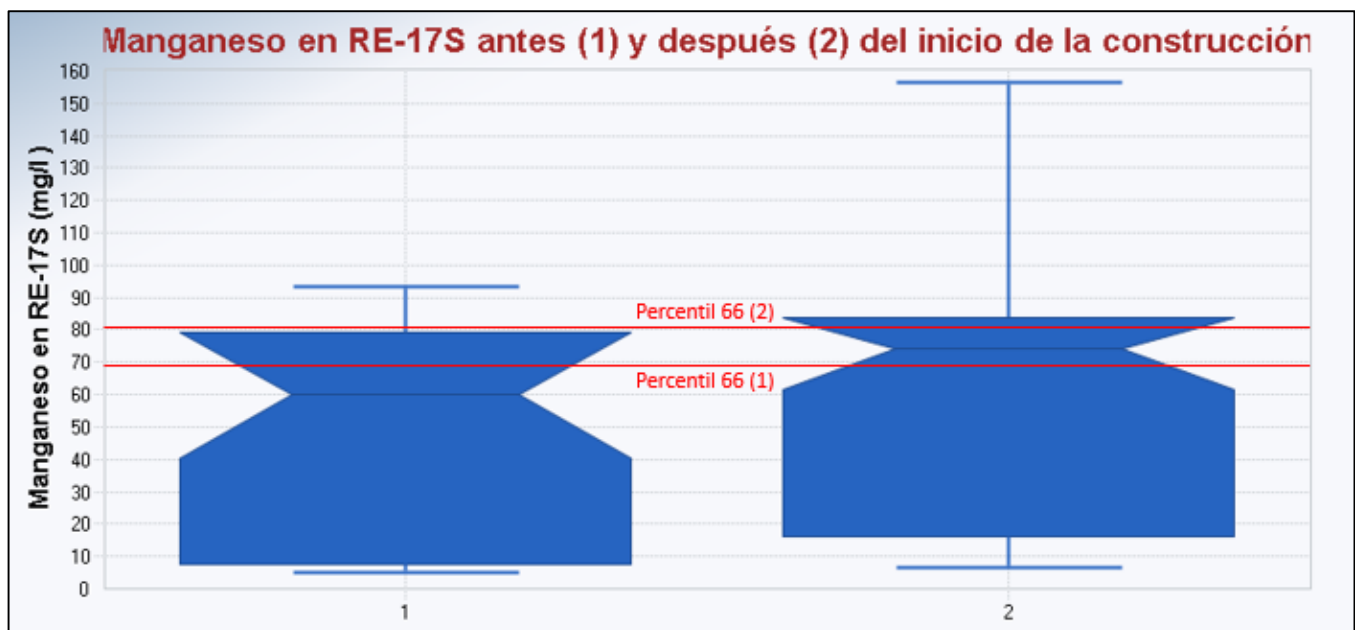
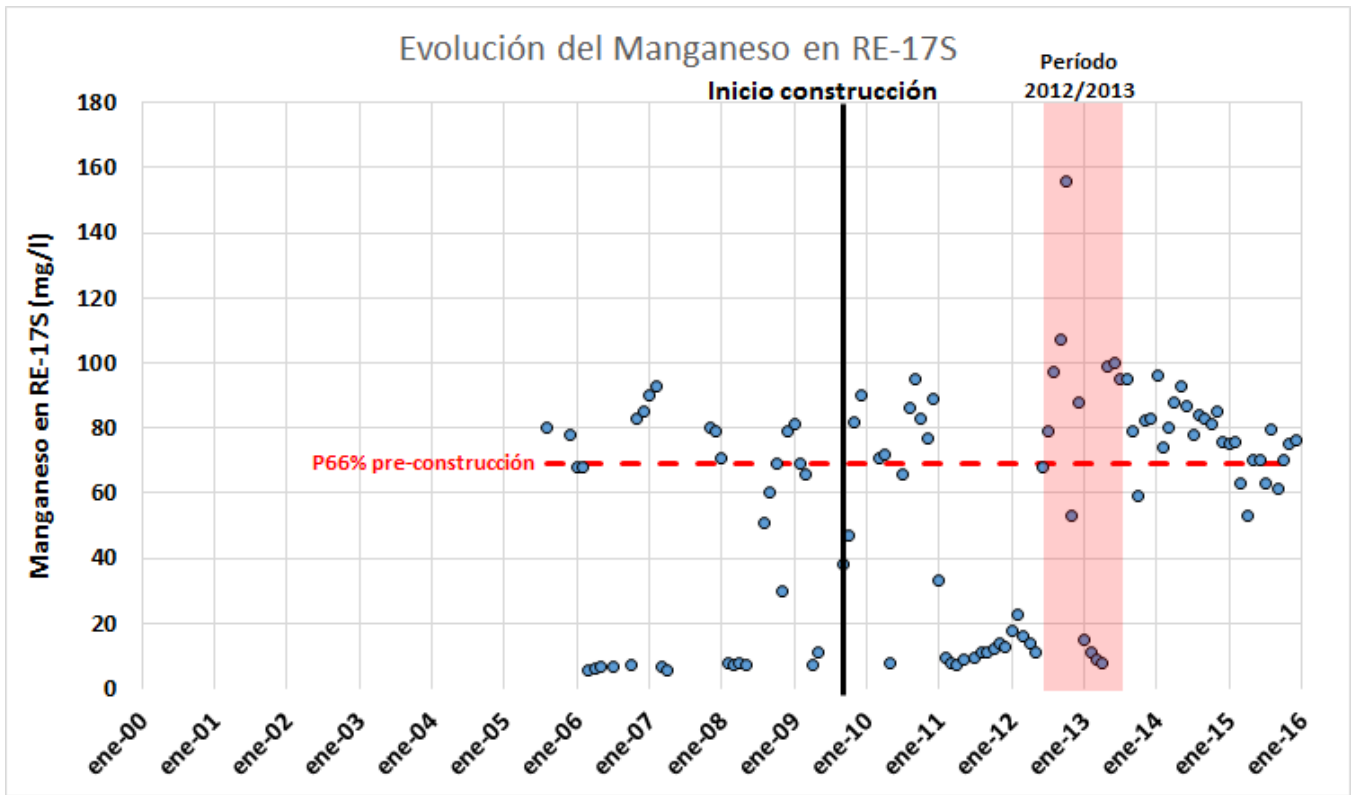


Figura 18. Evolución del Manganeso en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 18. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	45,8	7,4	60,0	69,2	79,0
Post construcción	71	60,6	17,0	74,0	80,2	83,5
Período 2012/2013	12	68,5	14,0	83,5	97,5	99,3

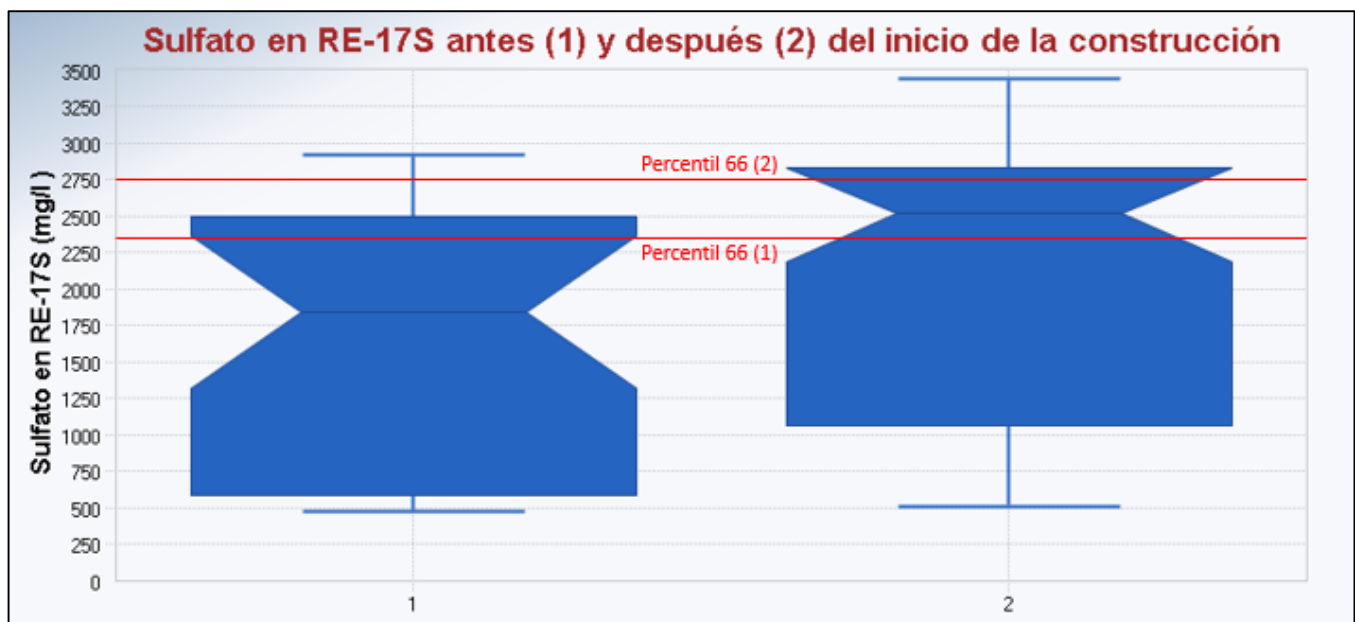
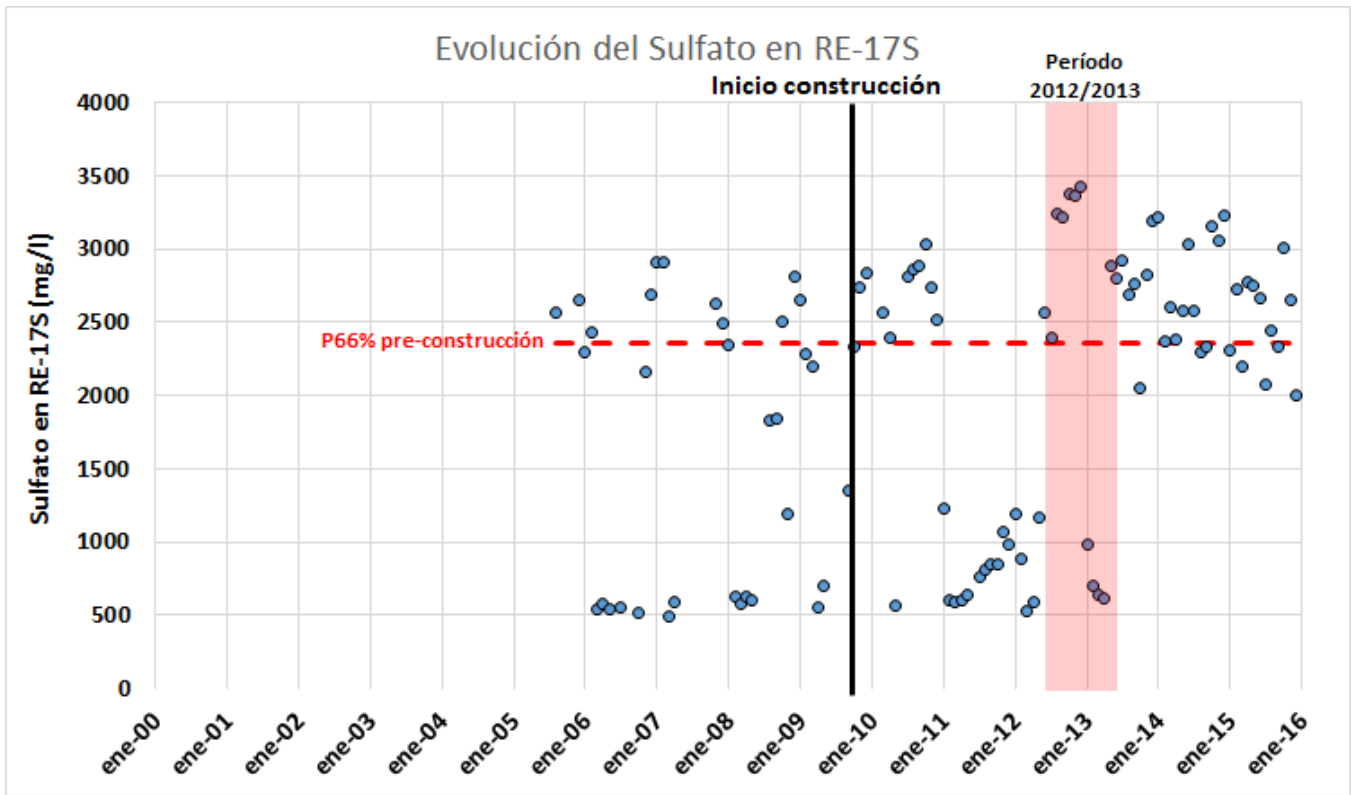


Figura 19. Evolución del Sulfato en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 19. Análisis estadístico de los datos de Sulfato en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	1644,0	588,0	1840,0	2359,2	2503,0
Post construcción	71	2155,5	1118,0	2520,0	2743,0	2833,5
Período 2012/2013	12	2303,3	915,5	2843,5	3218,2	3268,3

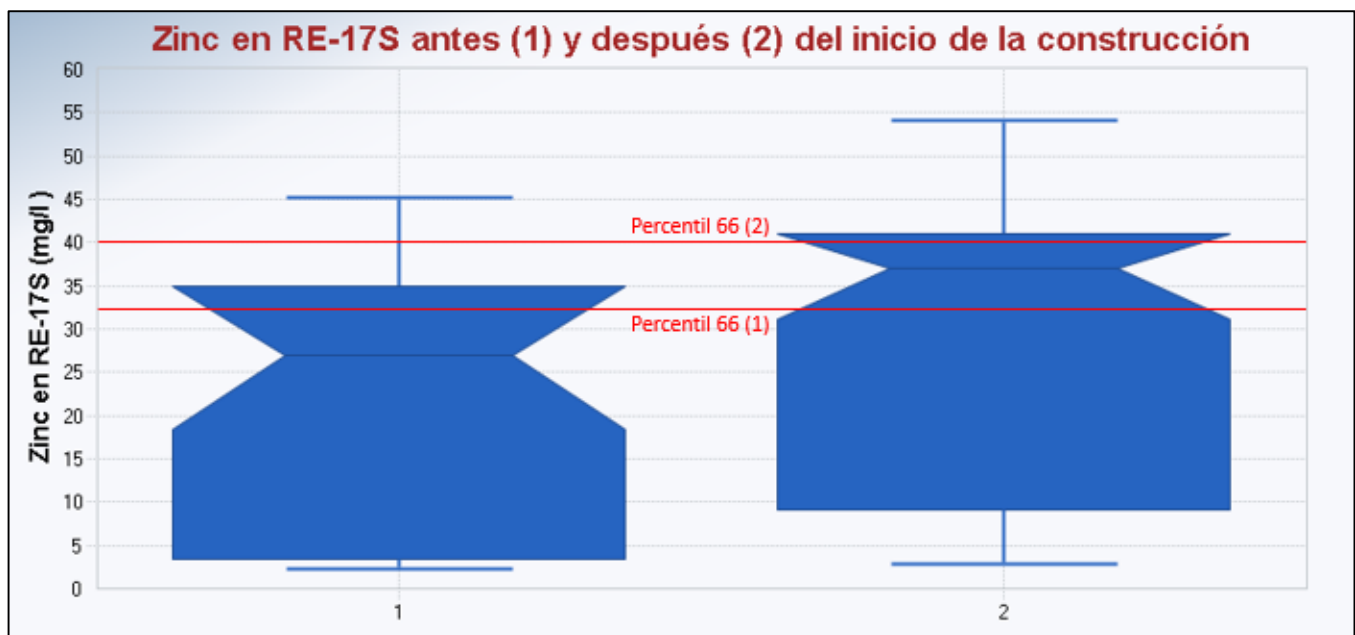
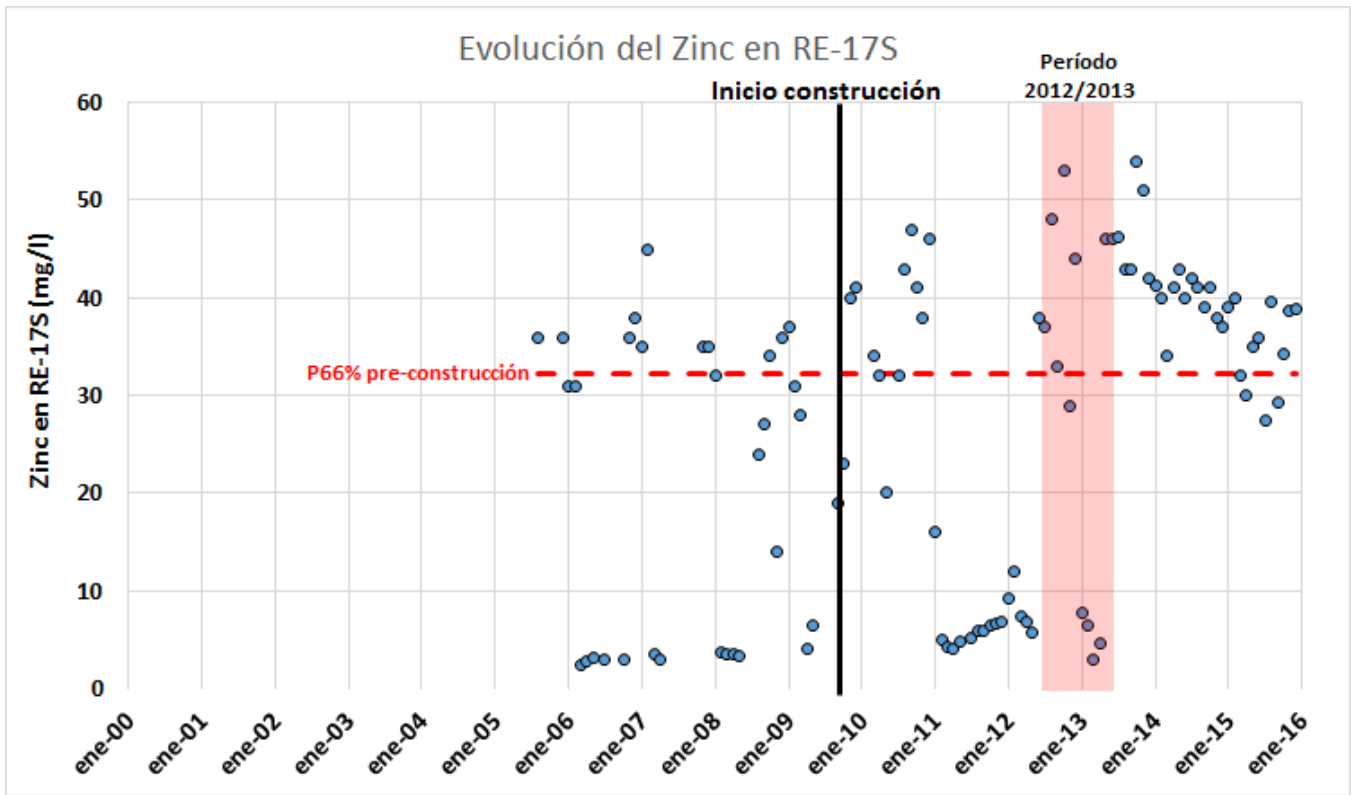


Figura 20. Evolución del Zinc en RE-17S (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 20. Análisis estadístico de los datos de Zinc en RE-17S (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	33	20,8	3,5	27,0	32,2	35,0
Post construcción	71	29,9	10,6	37,0	40,0	41,0
Período 2012/2013	12	29,8	7,4	35,0	44,5	46,0



APÉNDICE 6-3: EVOLUCIÓN DE NIVEL Y PARÁMETROS DAR EN ZONA 3

OBJETIVO: En el presente Apéndice se entrega un análisis que muestra la evolución de los parámetros DAR en cada pozo de la Zona 3. Junto con el respectivo gráfico de concentración vs tiempo, se incluye un diagrama de caja que compara la situación pre-proyecto y post-proyecto, y una tabla con los principales estadísticos de cada serie de datos bajo estudio.

1. Evolución de los parámetros DAR en BT-1

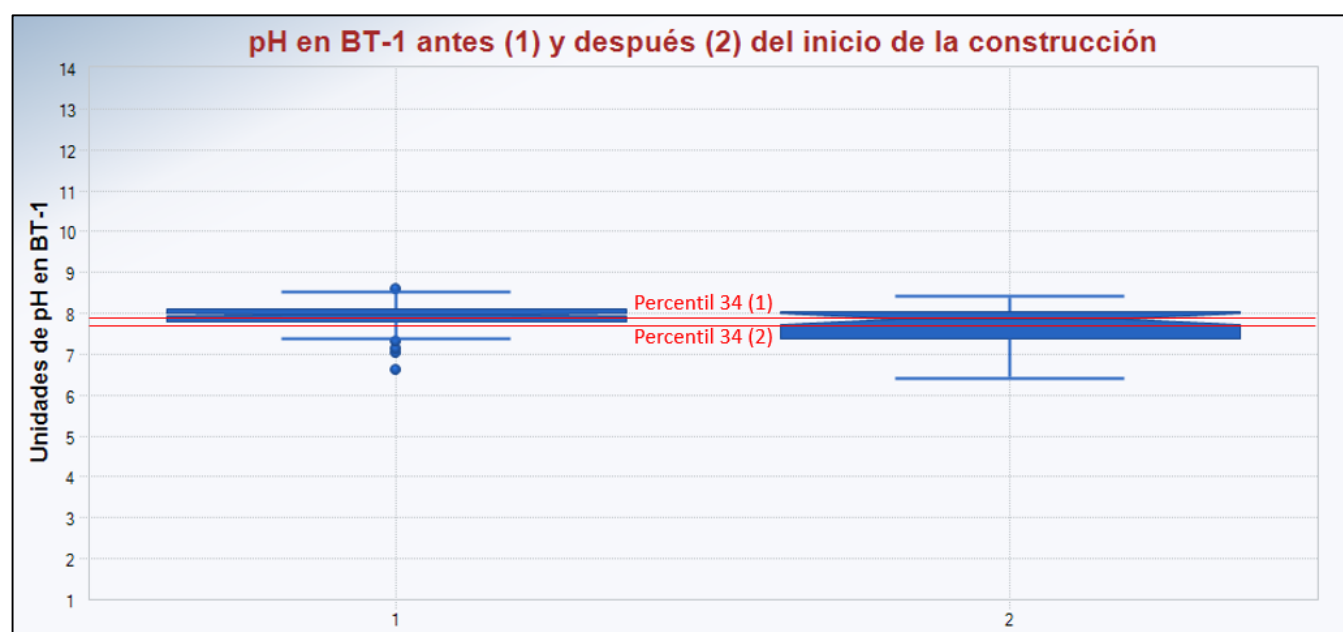
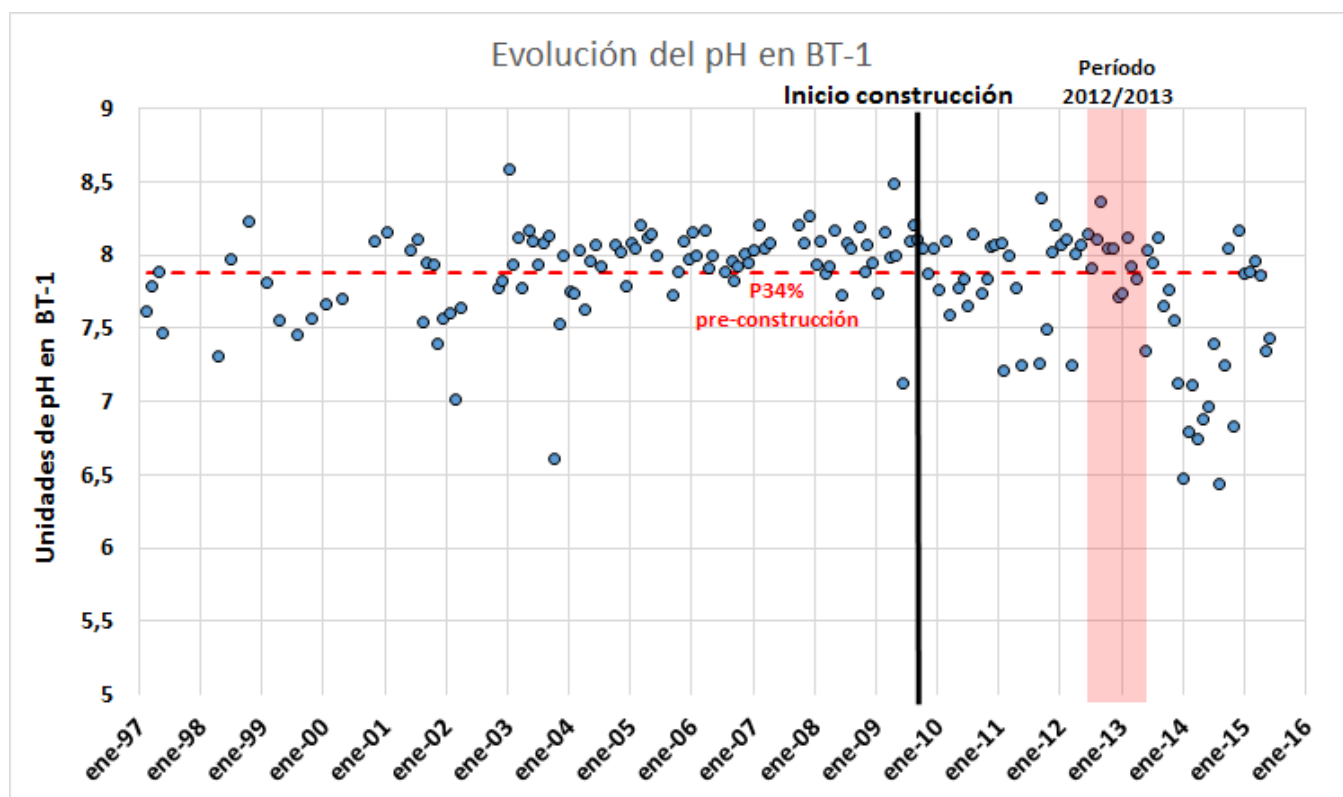


Figura 1. Evolución del pH (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 1. Análisis estadístico de los datos de pH en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	98	7,9	7,8	8,0	7,9	8,1
Post construcción	66	7,7	7,4	7,9	7,7	8,1
Período 2012/2013	12	7,9	7,8	8,0	7,9	8,1

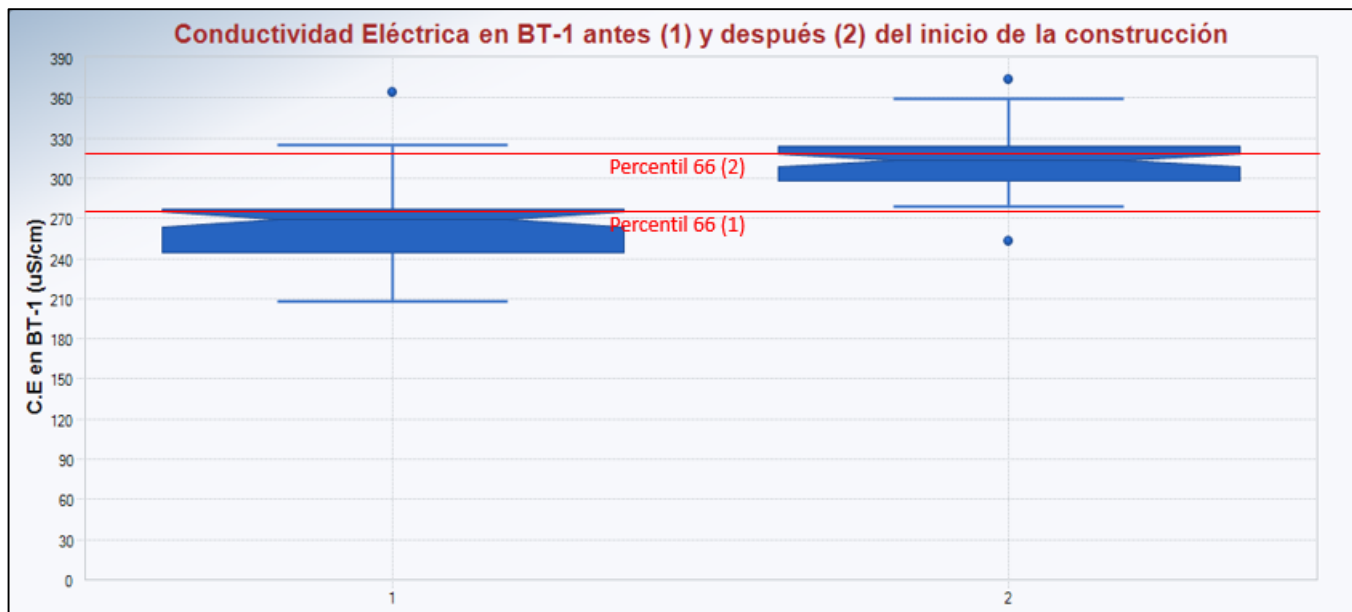
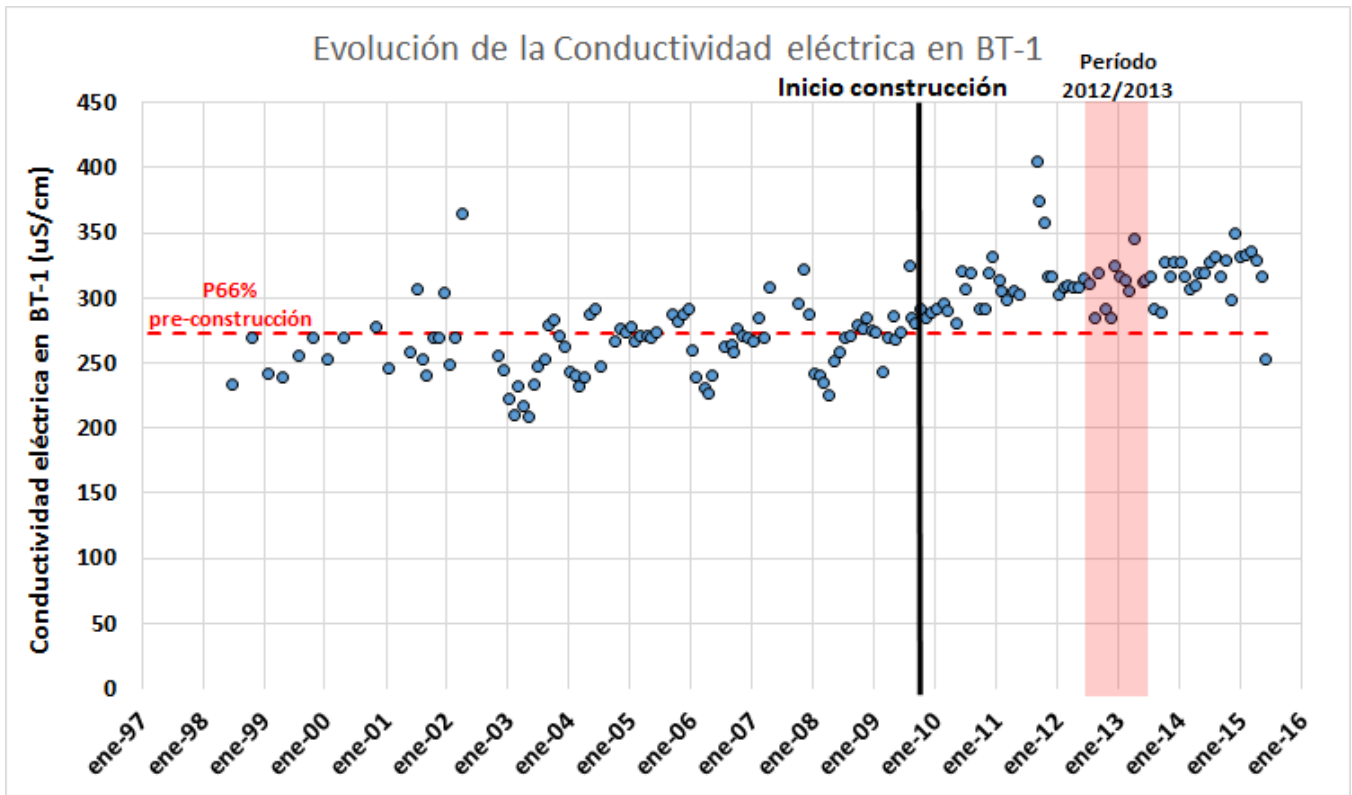


Figura 2. Evolución de la Conductividad Eléctrica (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 2. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	93	264,3	244,0	269,0	272,4	277,0
Post construcción	66	313,4	299,0	313,5	318,8	323,0
Período 2012/2013	12	310,0	301,8	312,5	314,5	316,8

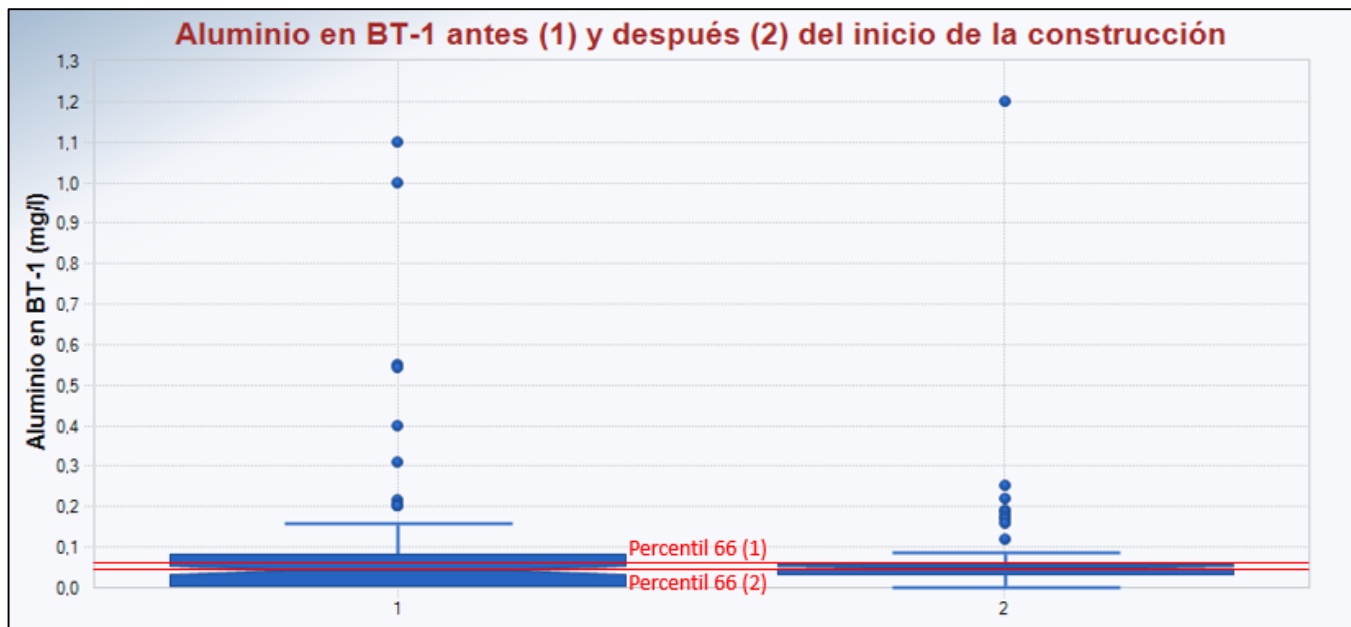
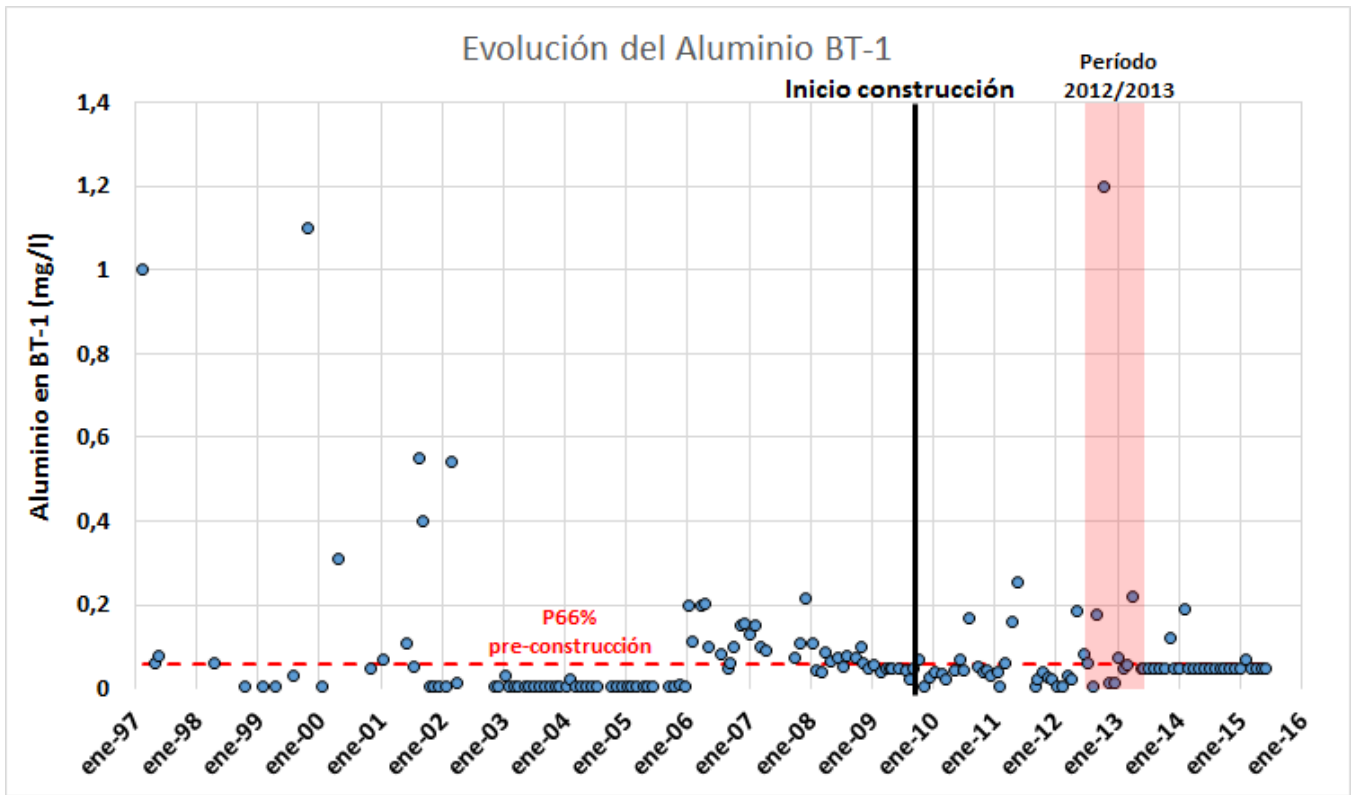


Figura 3. Evolución del Aluminio (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 3. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	97	0,085	0,005	0,042	0,061	0,082
Post construcción	66	0,076	0,035	0,050	0,050	0,057
Período 2012/2013	12	0,164	0,041	0,054	0,065	0,100

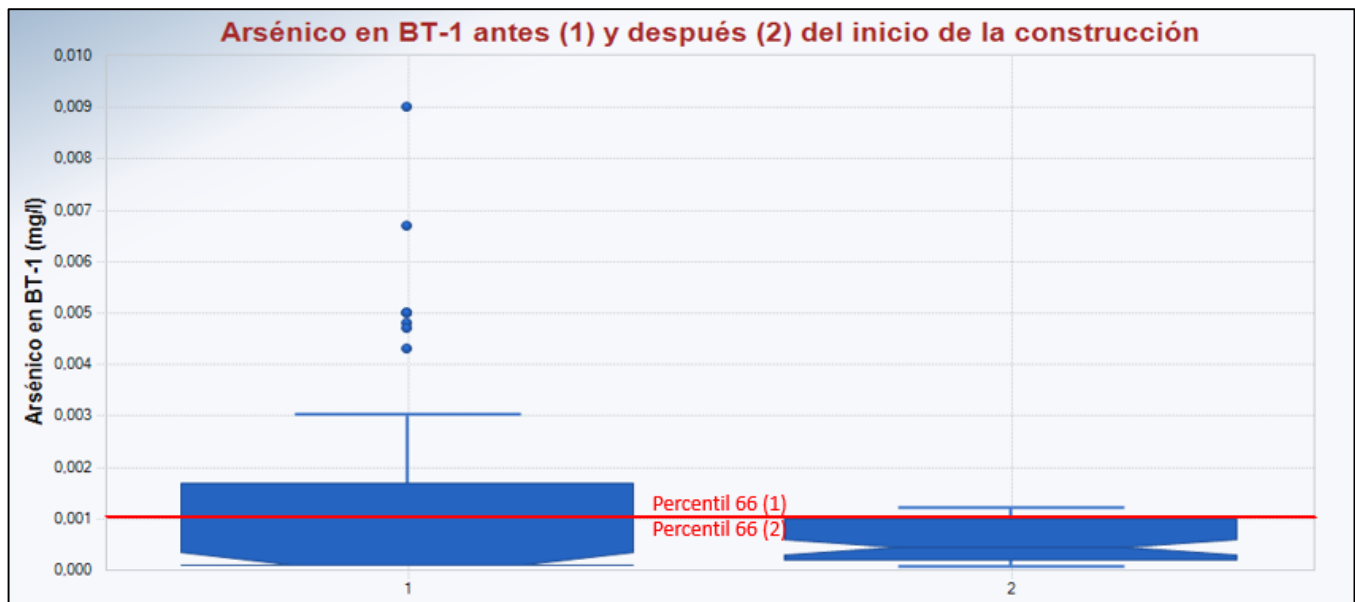
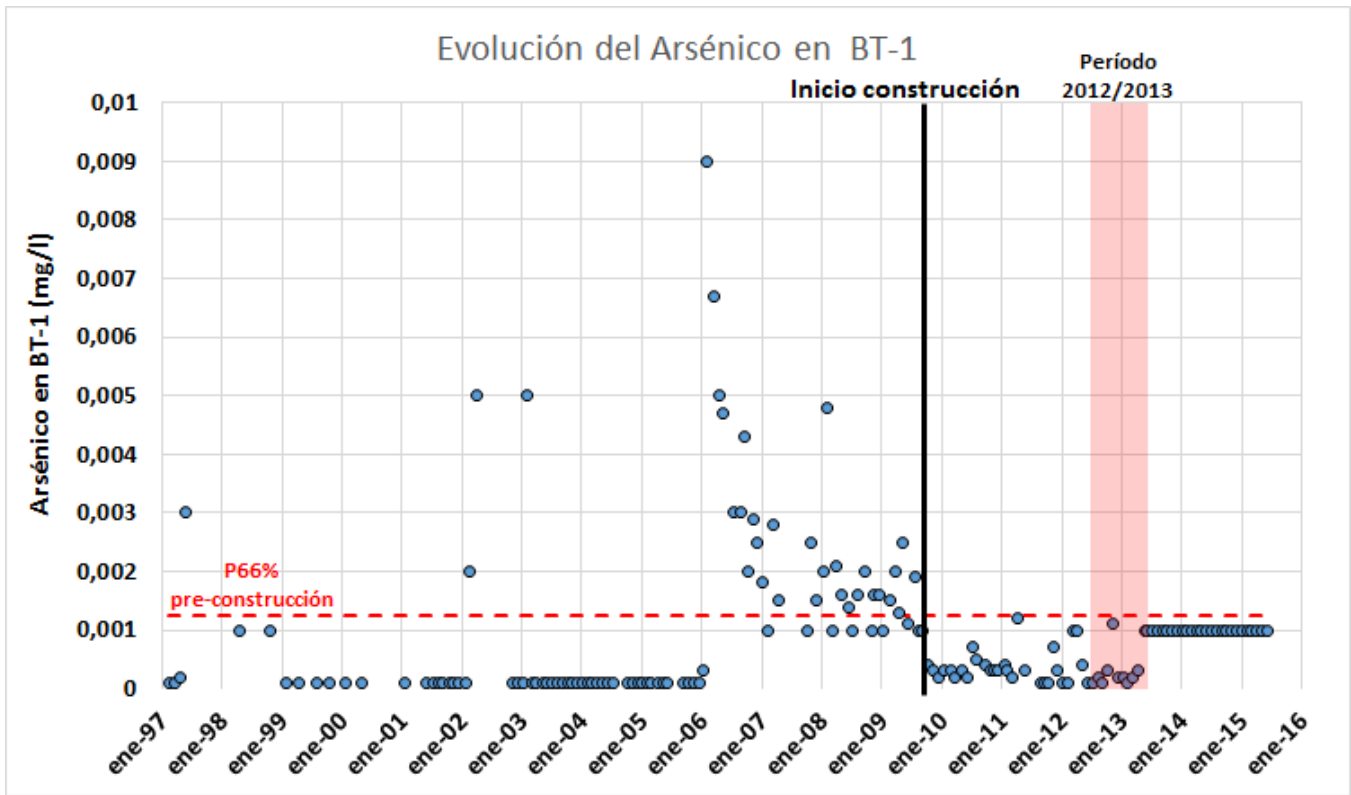


Figura 4. Evolución del Arsénico (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 4. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	96	0,0012	0,0001	0,0001	0,0012	0,0017
Post construcción	66	0,0006	0,0002	0,0005	0,0010	0,0010
Período 2012/2013	12	0,0004	0,0002	0,0002	0,0003	0,0005

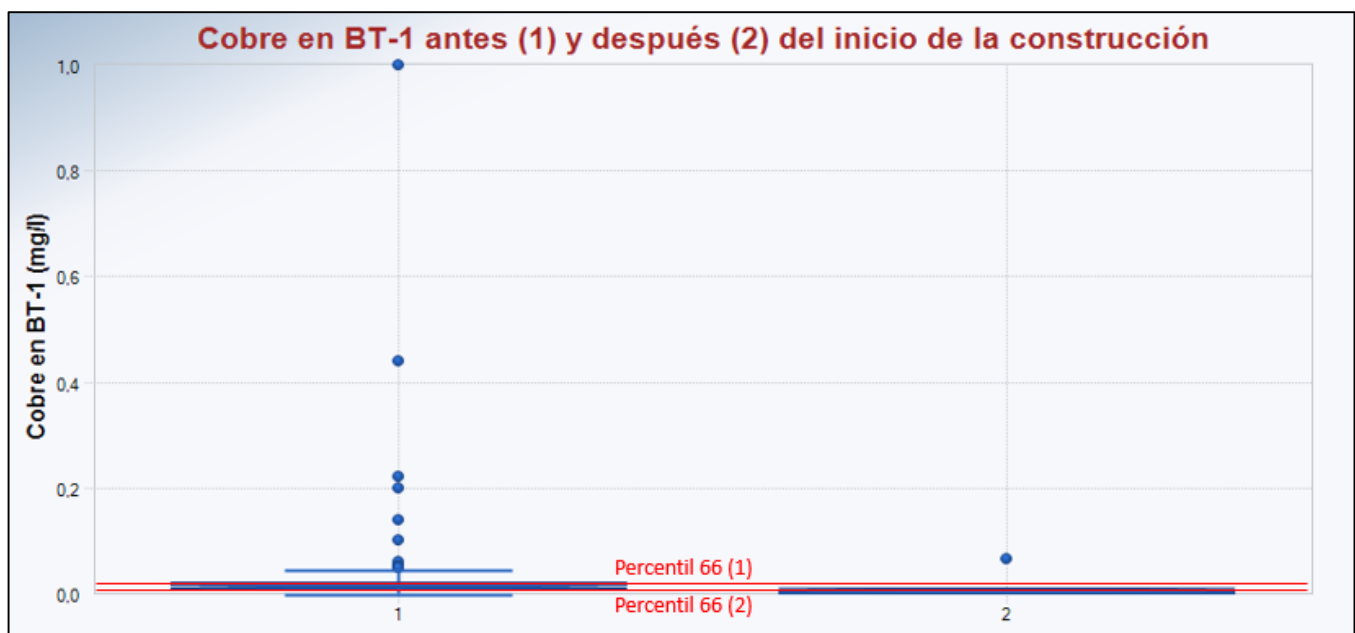
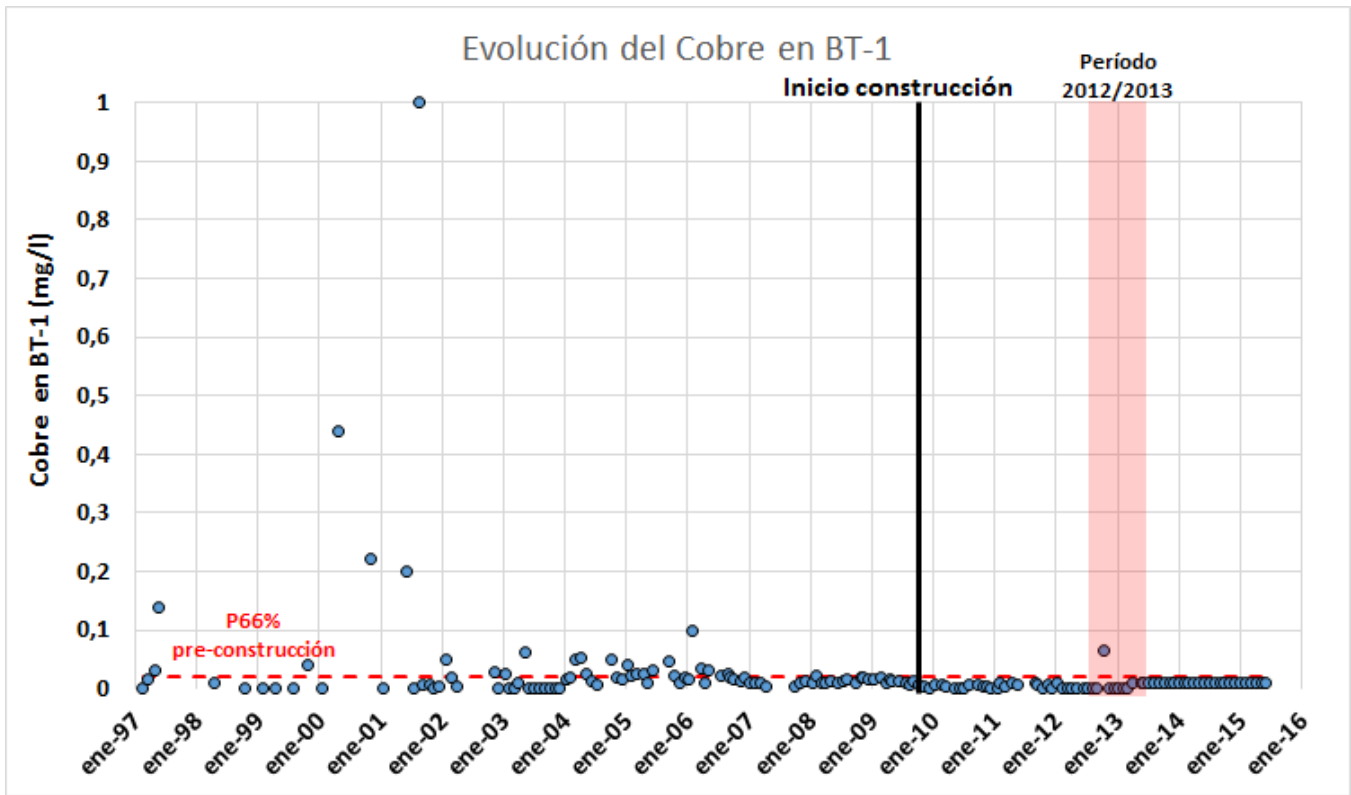


Figura 5. Evolución del Cobre (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 5. Análisis estadístico de los datos de Cobre en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	97	0,036	0,007	0,013	0,020	0,022
Post construcción	66	0,007	0,001	0,008	0,010	0,010
Período 2012/2013	12	0,009	0,001	0,001	0,003	0,009

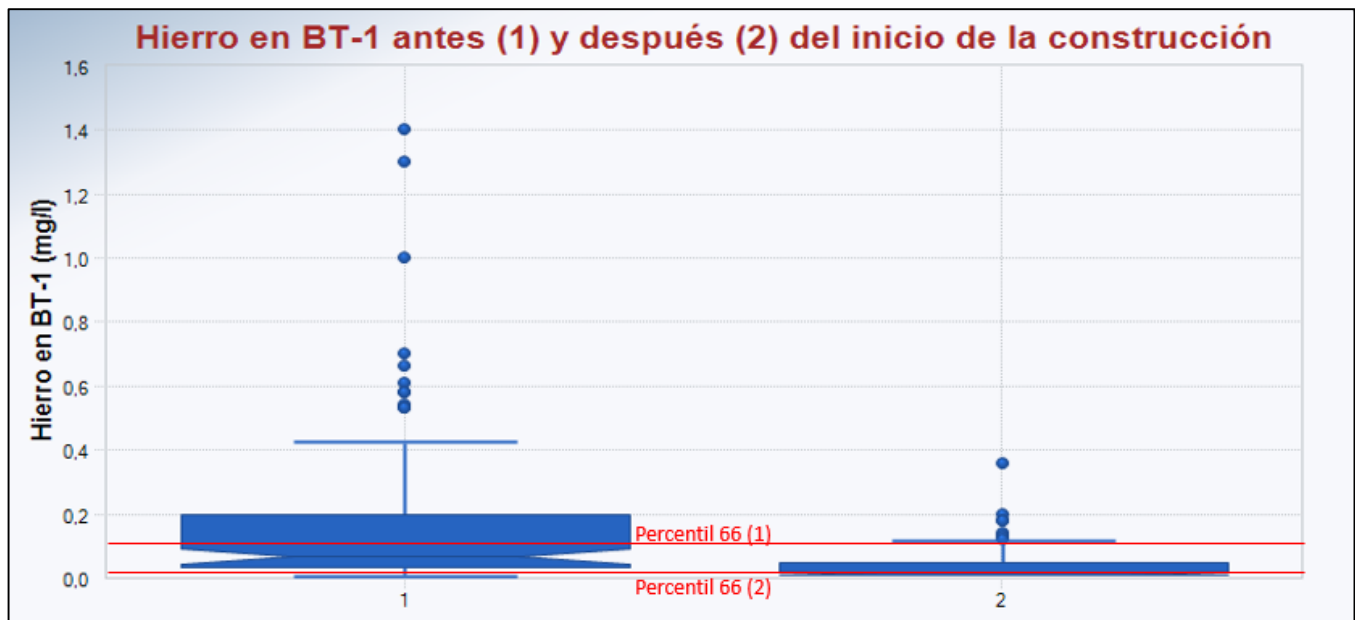
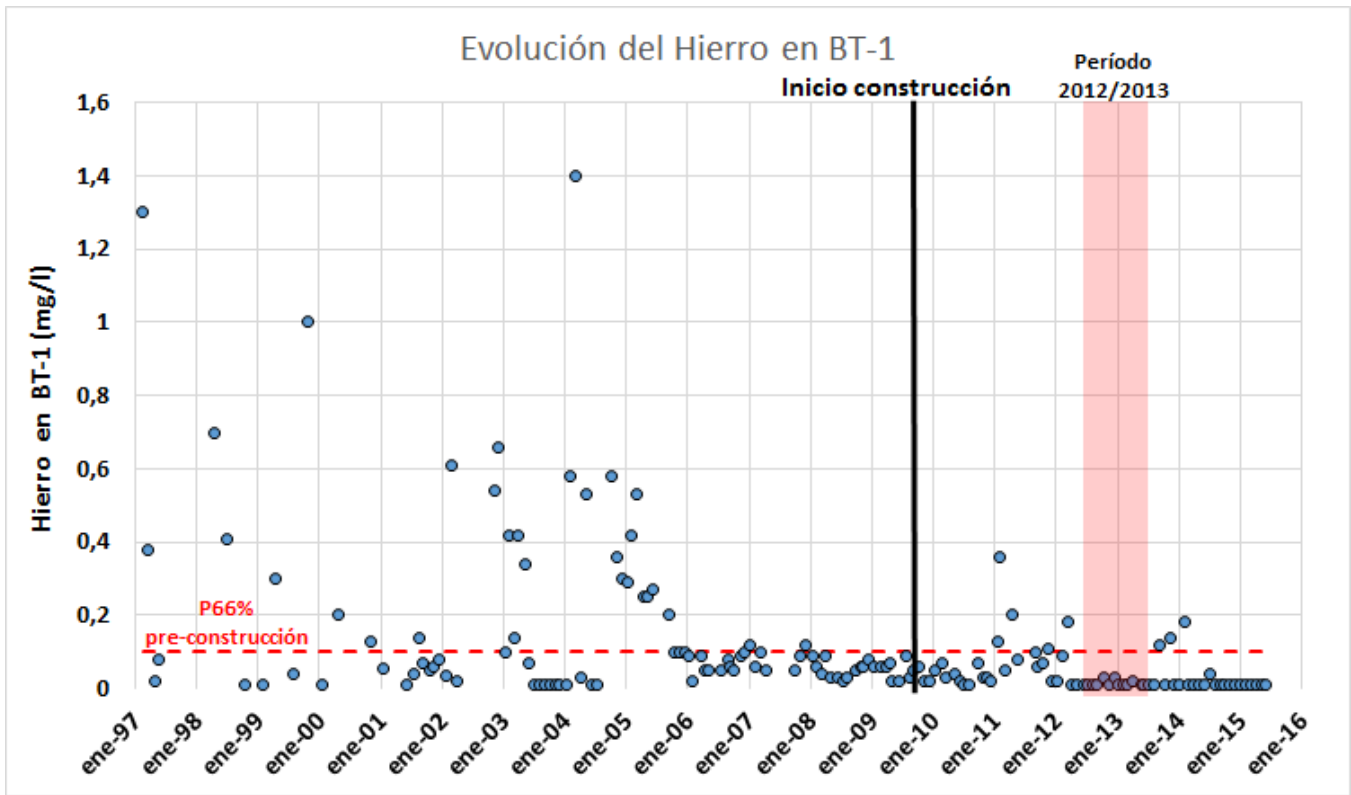


Figura 6. Evolución del Hierro (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 6. Análisis estadístico de los datos de Hierro en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	Nº Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	98	0,176	0,035	0,070	0,100	0,200
Post construcción	66	0,043	0,010	0,010	0,030	0,050
Período 2012/2013	12	0,014	0,010	0,010	0,010	0,013

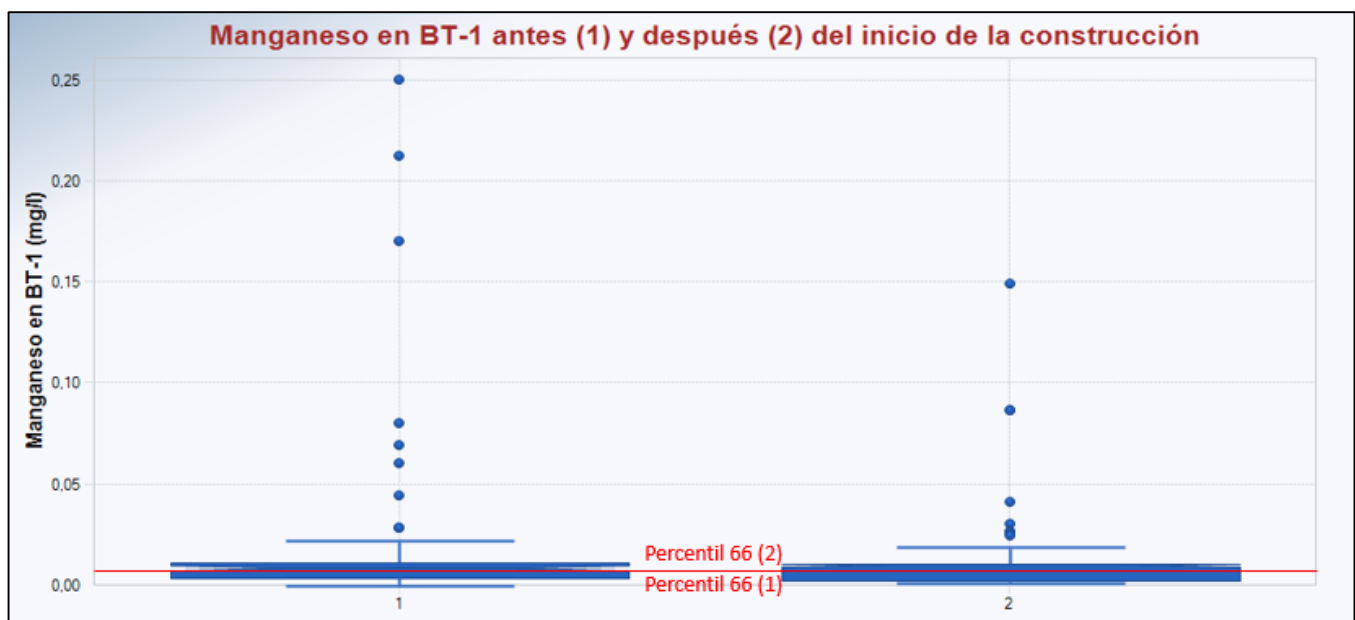
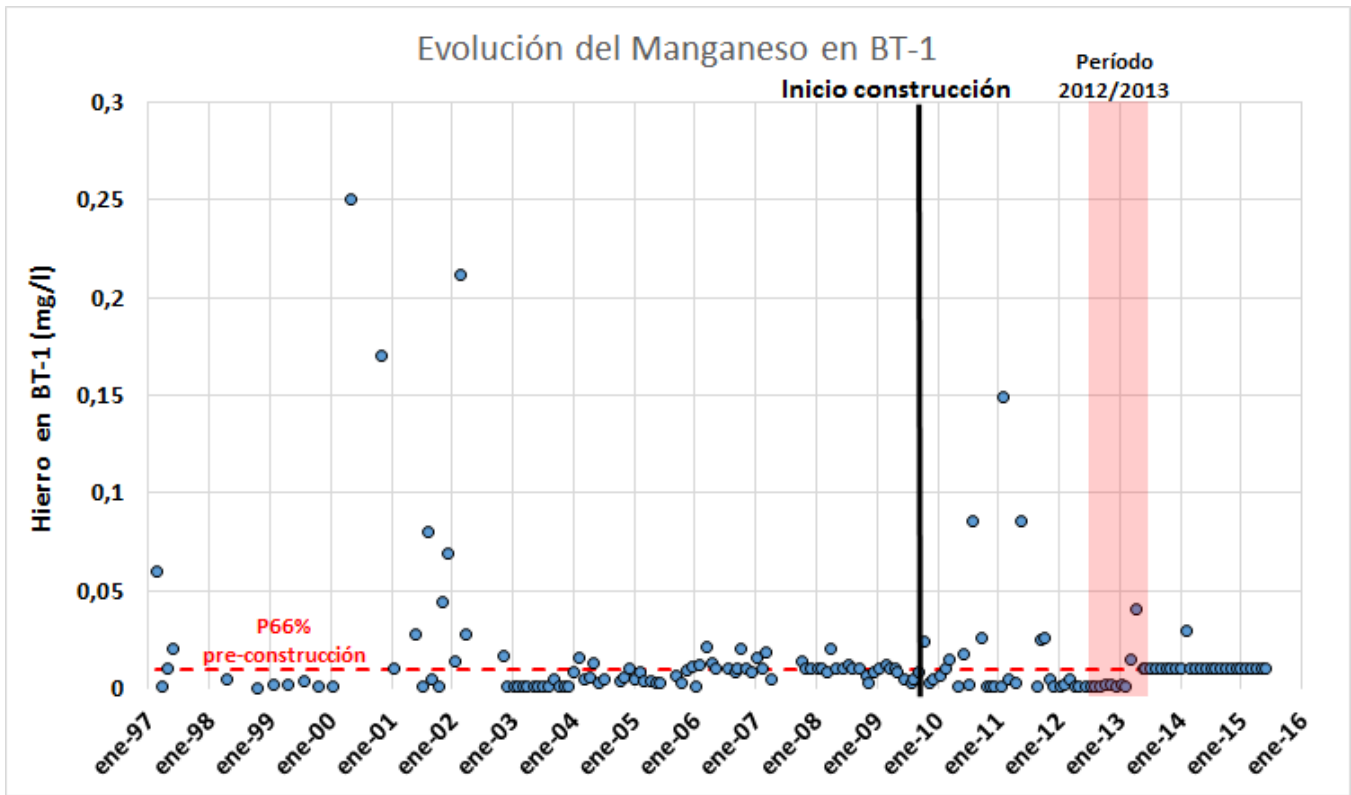


Figura 7. Evolución del Manganeseo (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 7. Análisis estadístico de los datos de Manganeseo en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	97	0,016	0,003	0,008	0,010	0,011
Post construcción	66	0,013	0,002	0,010	0,010	0,010
Período 2012/2013	12	0,007	0,001	0,002	0,004	0,010

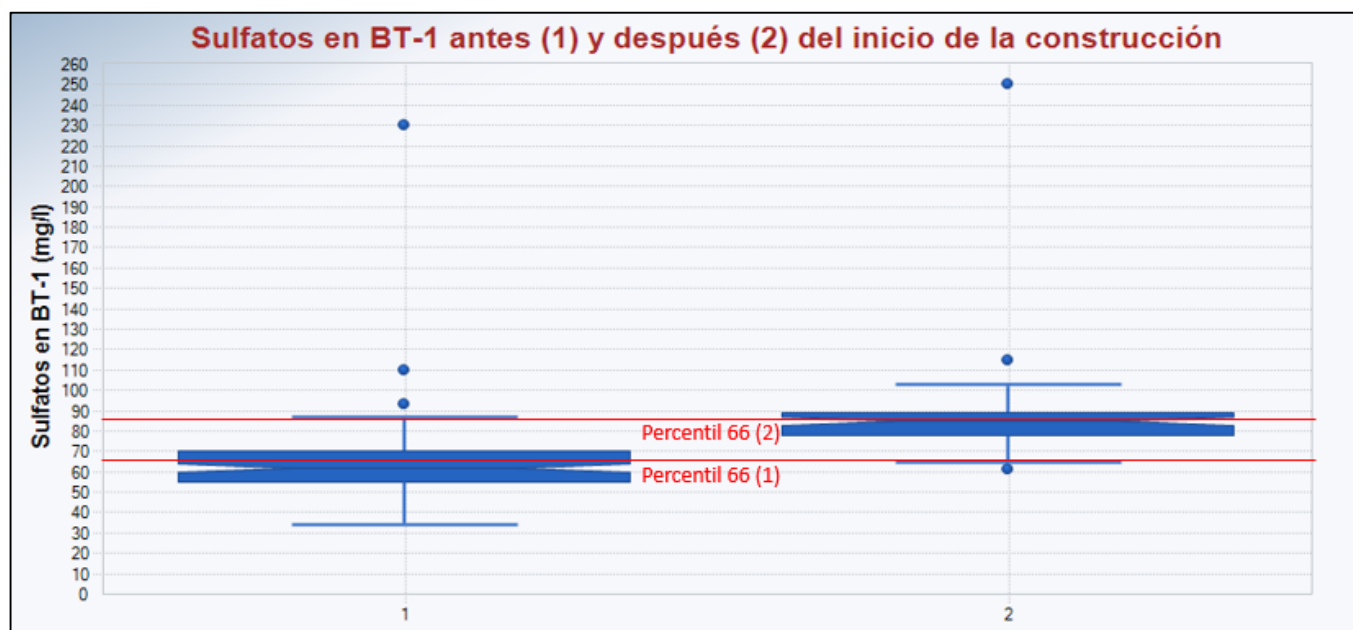
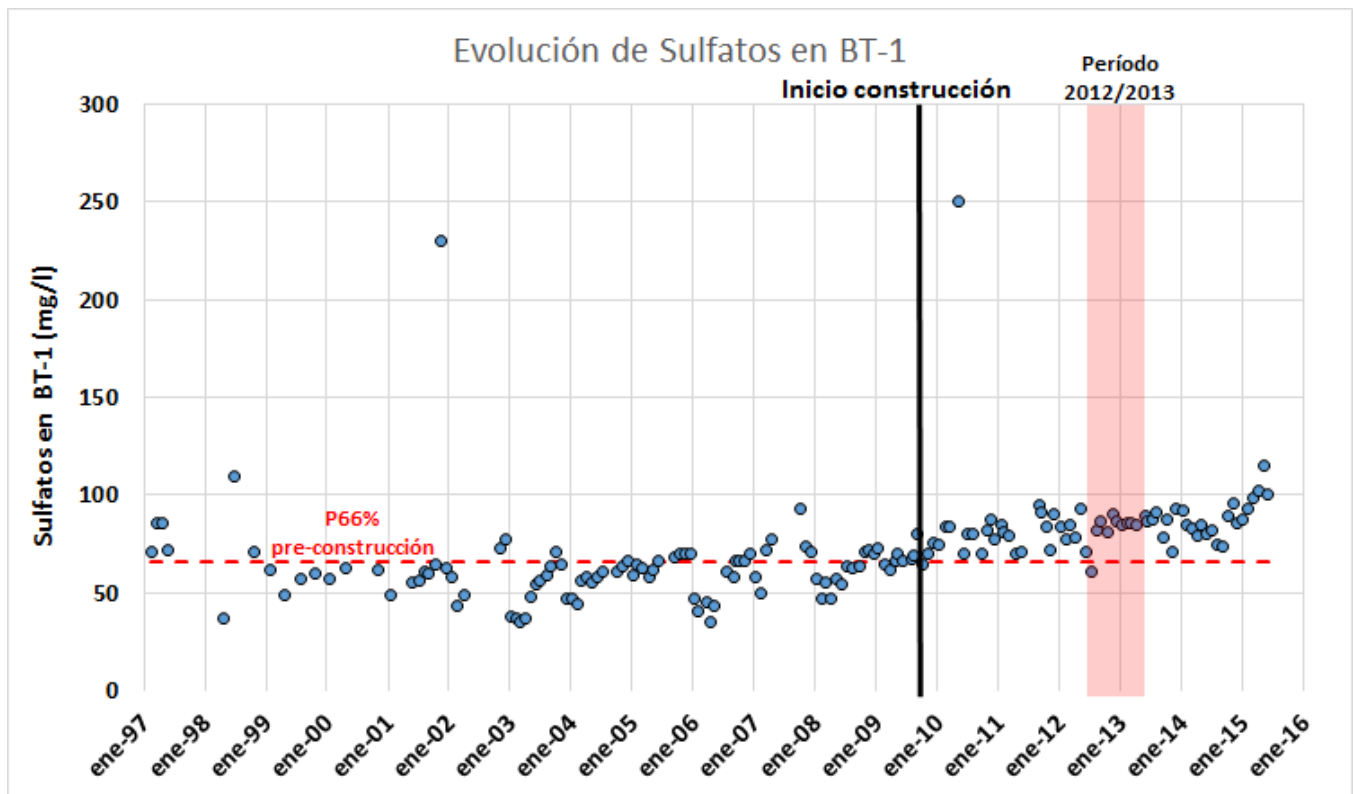


Figura 8. Evolución del sulfato (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 8. Análisis estadístico de los datos de sulfato en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	98	62,7	55,0	62,0	66,0	69,8
Post construcción	66	86,0	78,0	84,5	87,0	88,8
Período 2012/2013	12	83,8	84,3	86,0	87,0	87,0

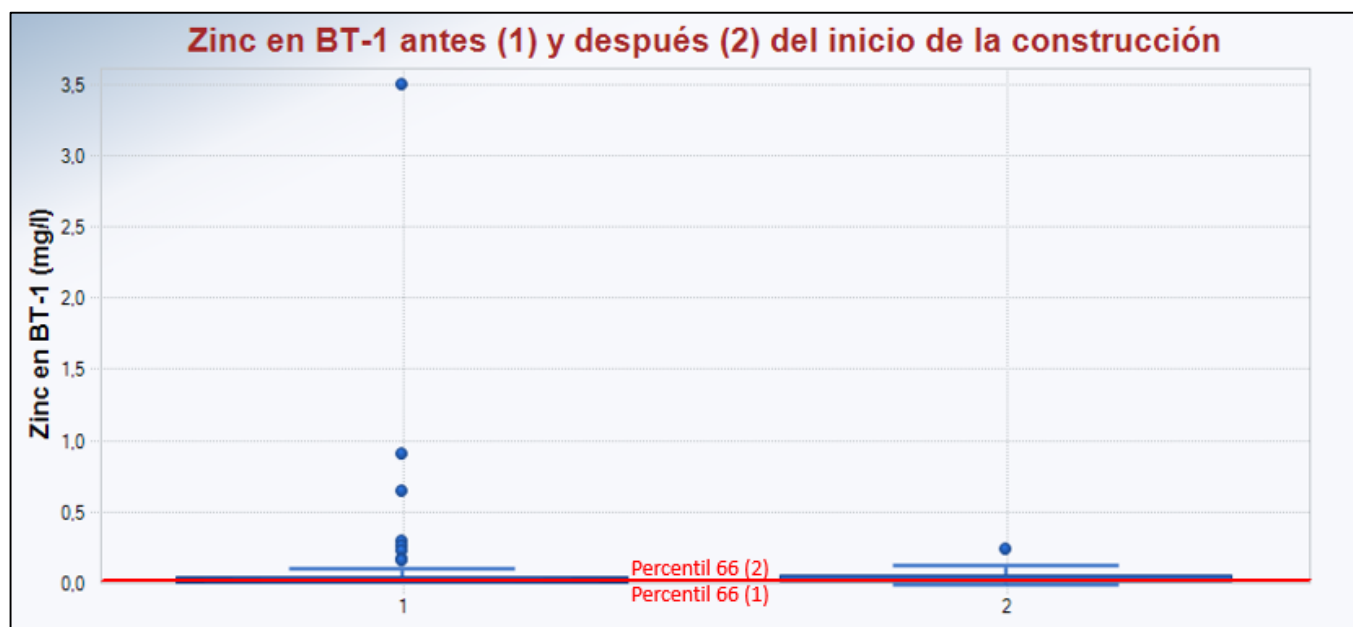
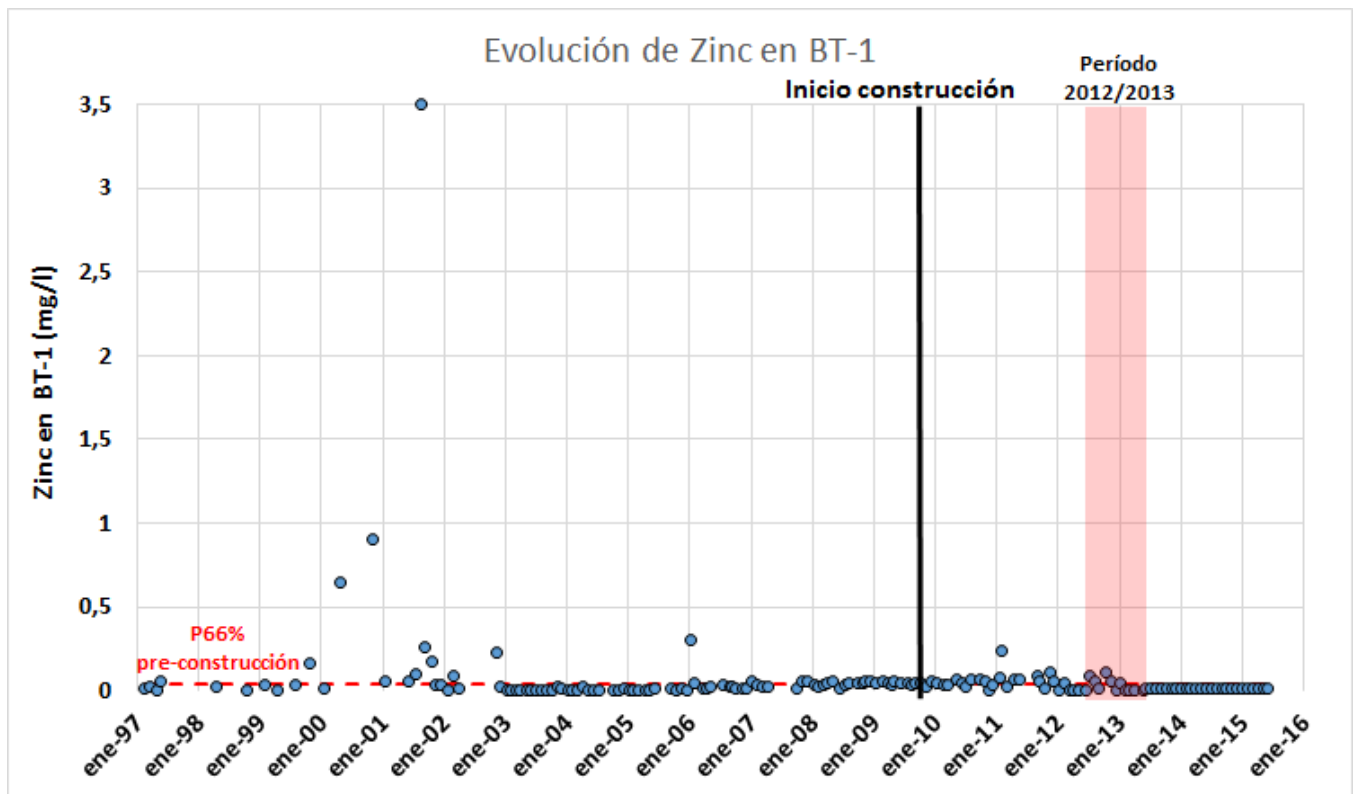


Figura 9. Evolución del Zinc (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 9. Análisis estadístico de los datos de Zinc en BT-1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	97	0,084	0,005	0,020	0,034	0,045
Post construcción	66	0,032	0,010	0,010	0,036	0,050
Período 2012/2013	12	0,033	0,004	0,013	0,046	0,058

2. Evolución de los parámetros DAR en BT-2

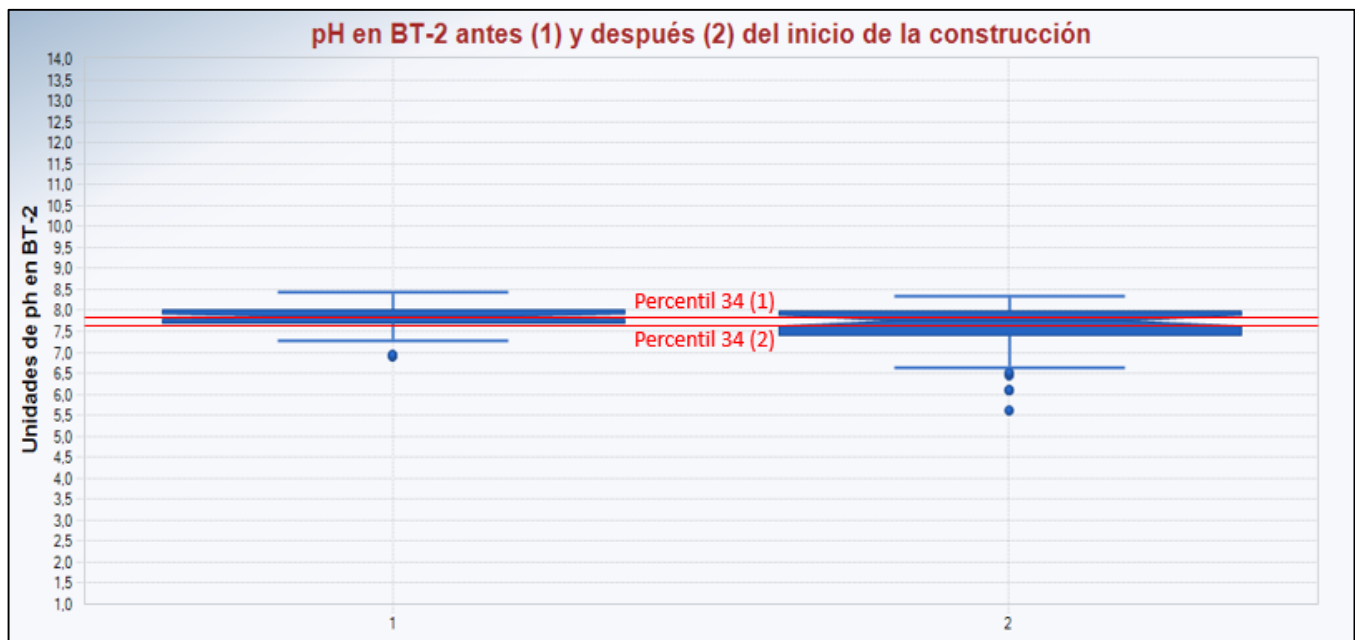
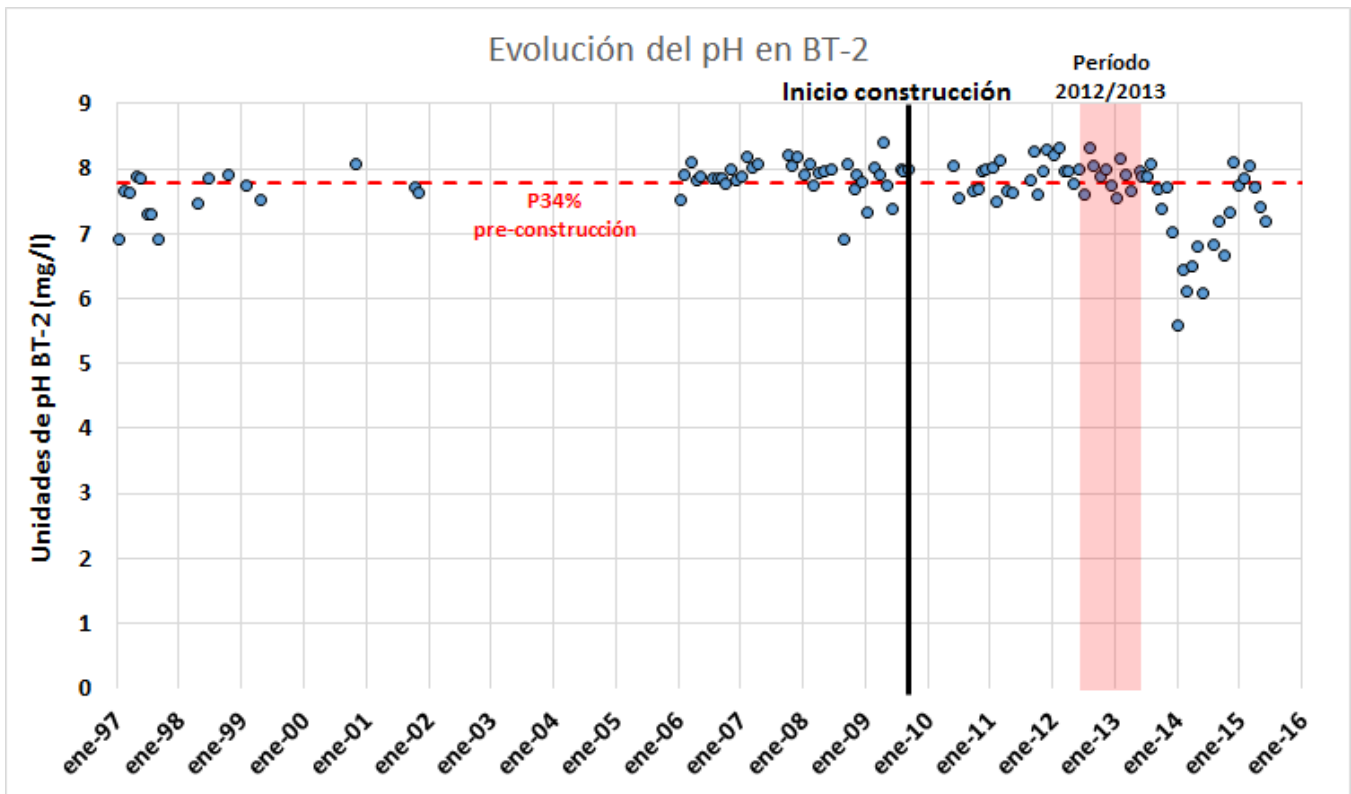


Figura 10. Evolución del pH (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 10. Análisis estadístico de los datos de pH en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	54	7,8	7,7	7,9	7,8	8,0
Post construcción	58	7,6	7,4	7,7	7,6	8,0
Período 2012/2013	12	7,9	7,7	7,9	7,9	8,0

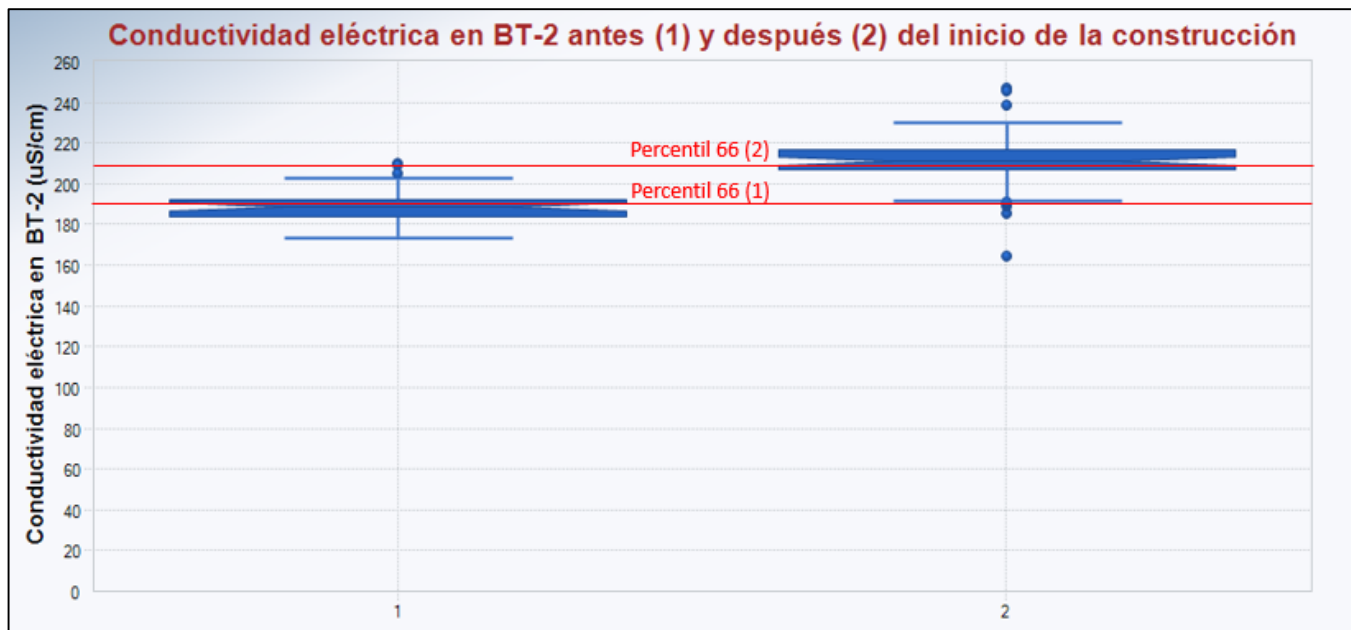
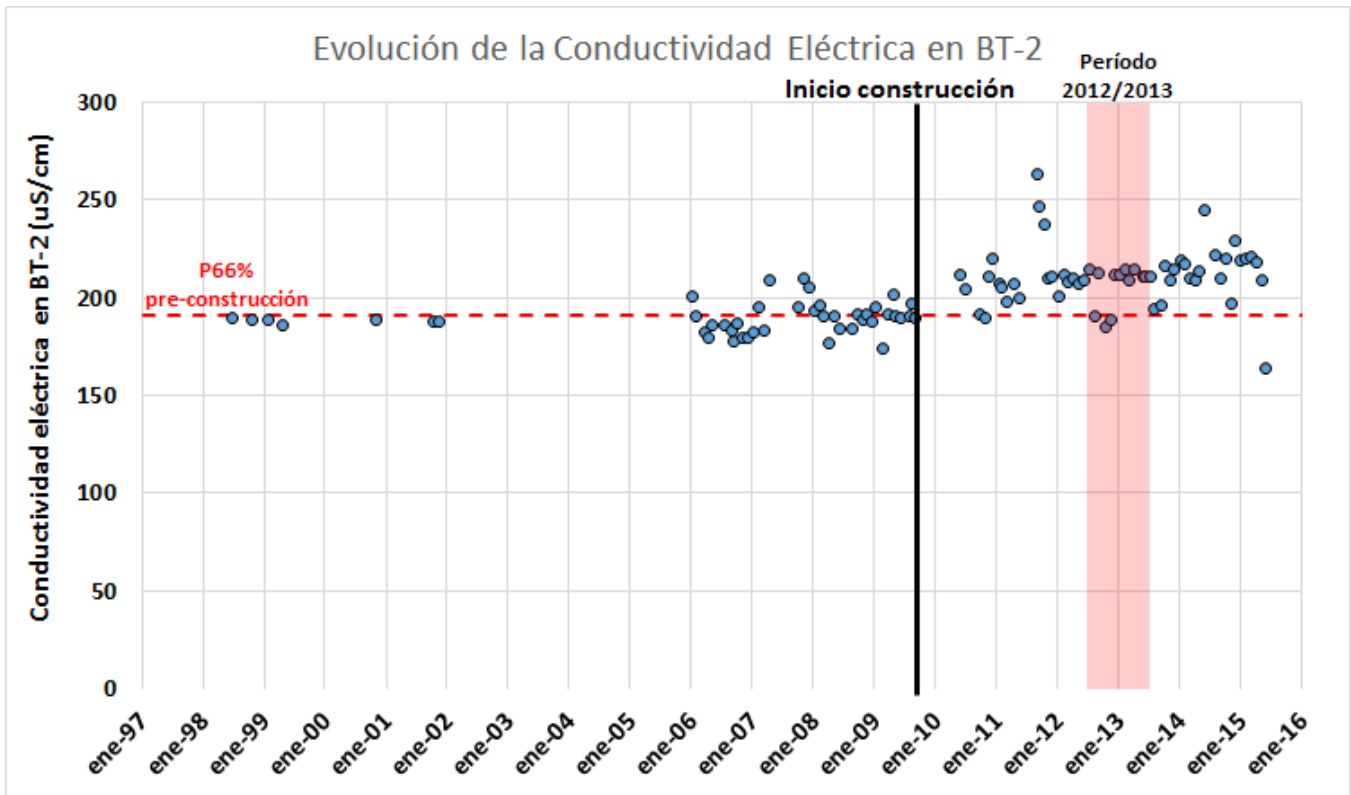


Figura 11. Evolución de la Conductividad Eléctrica (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 11. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	45	189,6	184,0	189,0	191,0	192,0
Post construcción	58	211,1	207,0	211,0	214,6	216,8
Período 2012/2013	12	206,5	204,5	211,5	212,3	213,5

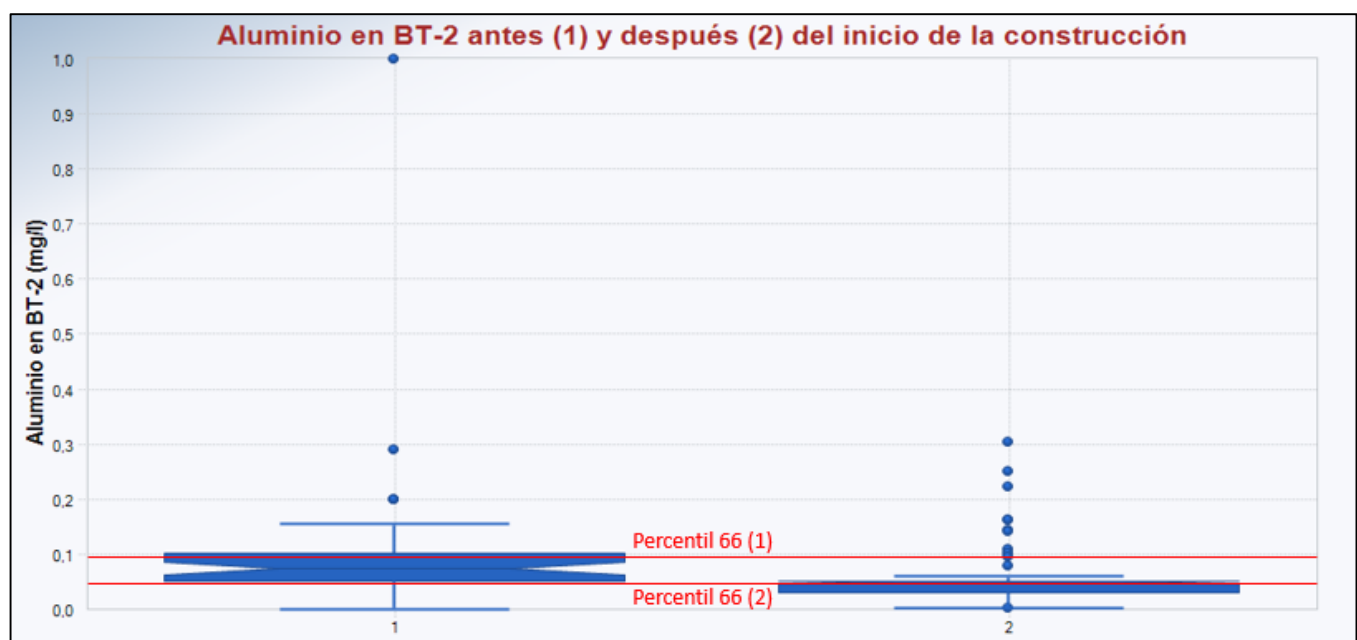
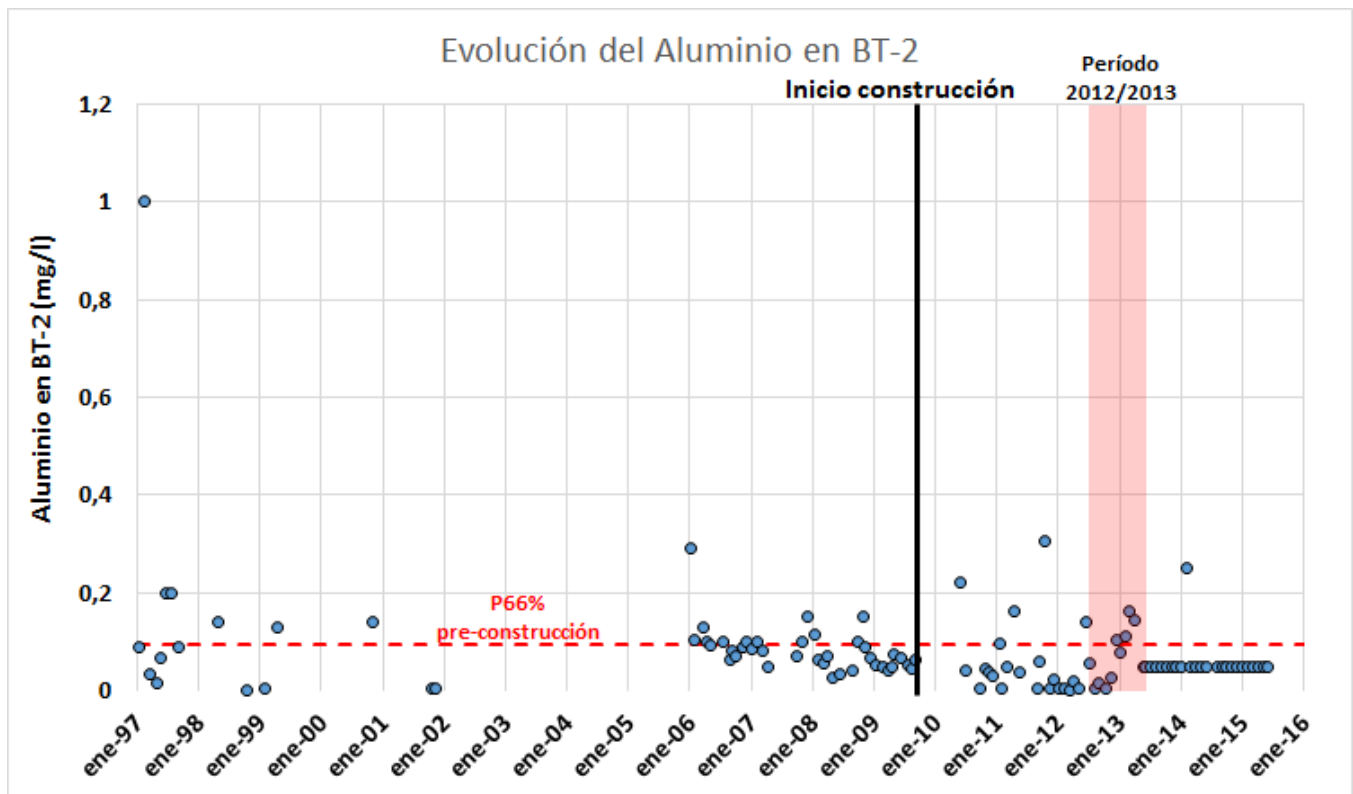


Figura 12. Evolución del Aluminio (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 12. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	53	0,100	0,050	0,074	0,096	0,101
Post construcción	58	0,061	0,033	0,050	0,050	0,050
Período 2012/2013	12	0,067	0,024	0,053	0,085	0,105

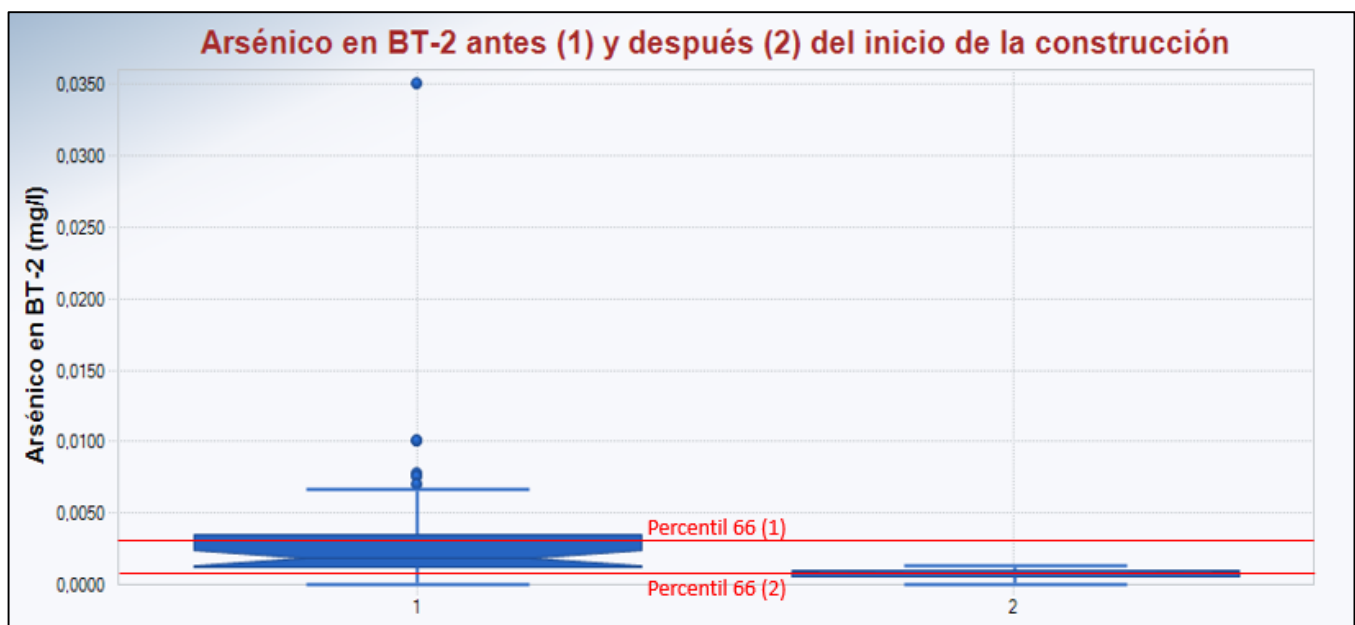
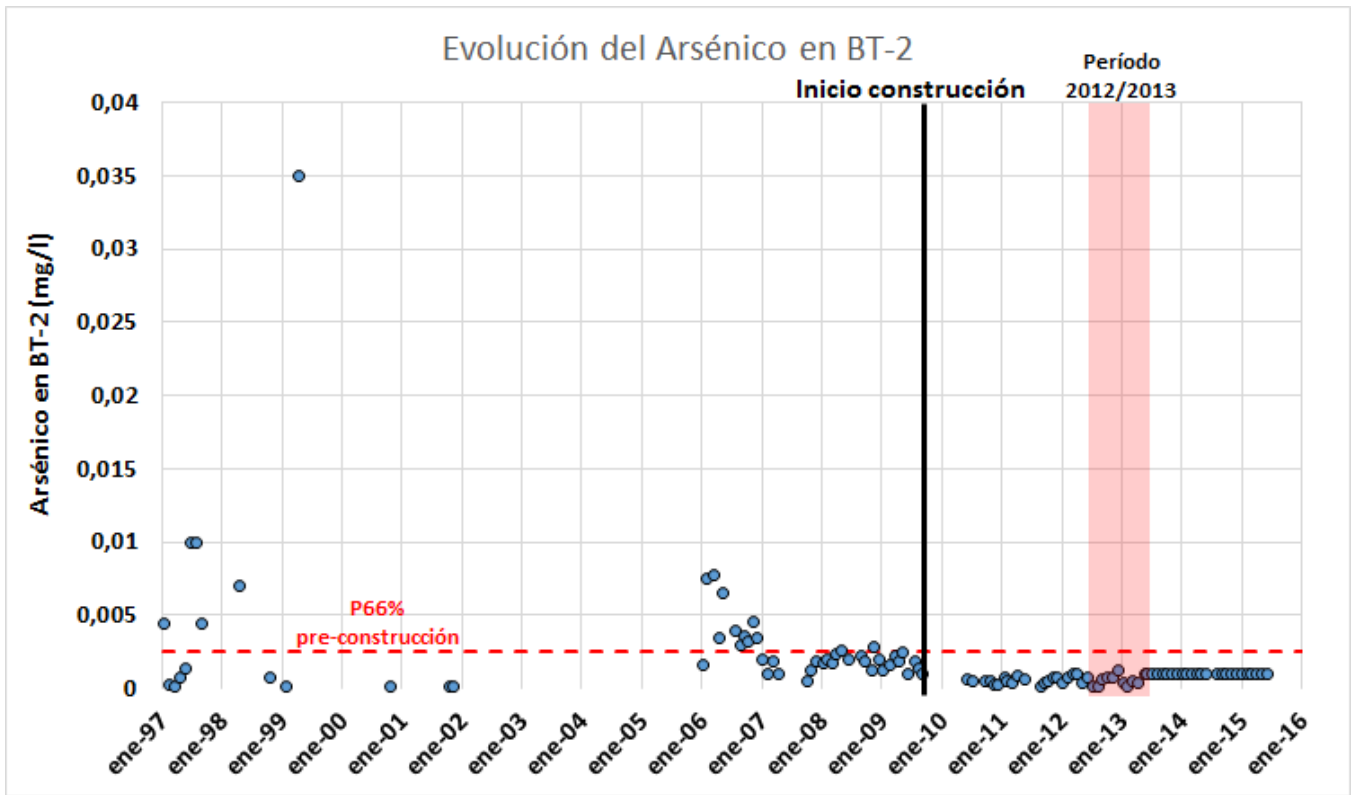


Figura 13. Evolución del Arsénico (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 13. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	53	0,003	0,001	0,002	0,003	0,004
Post construcción	58	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Período 2012/2013	12	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001

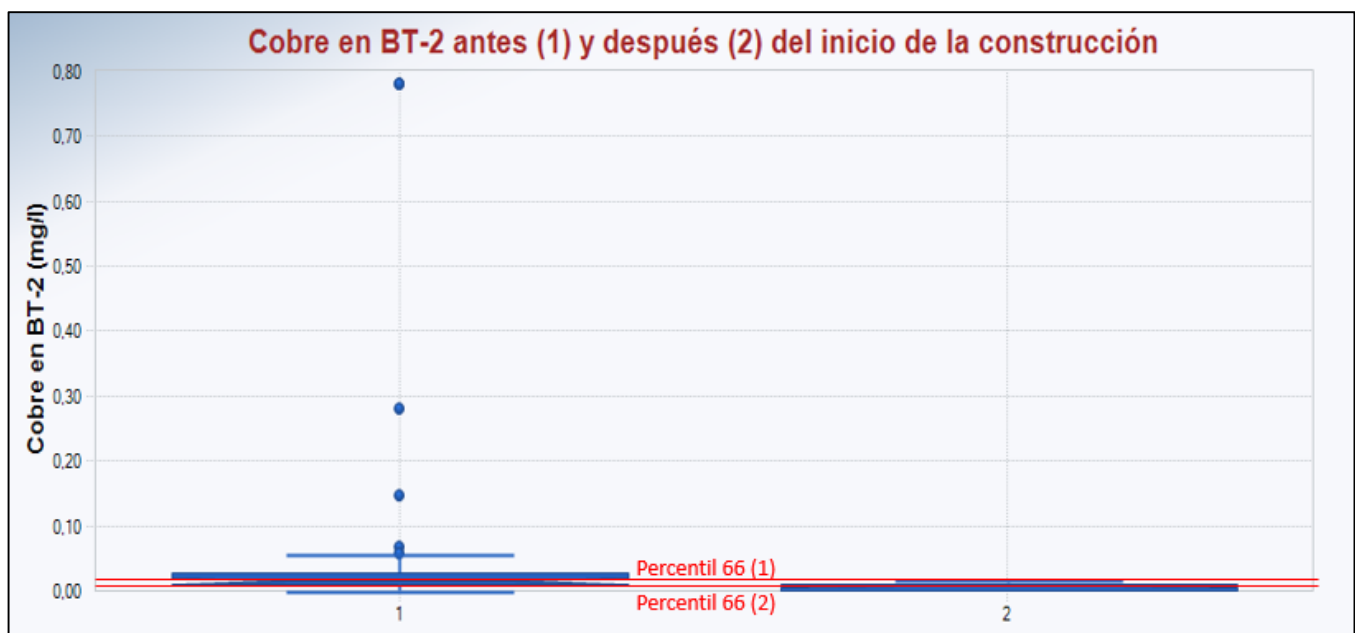
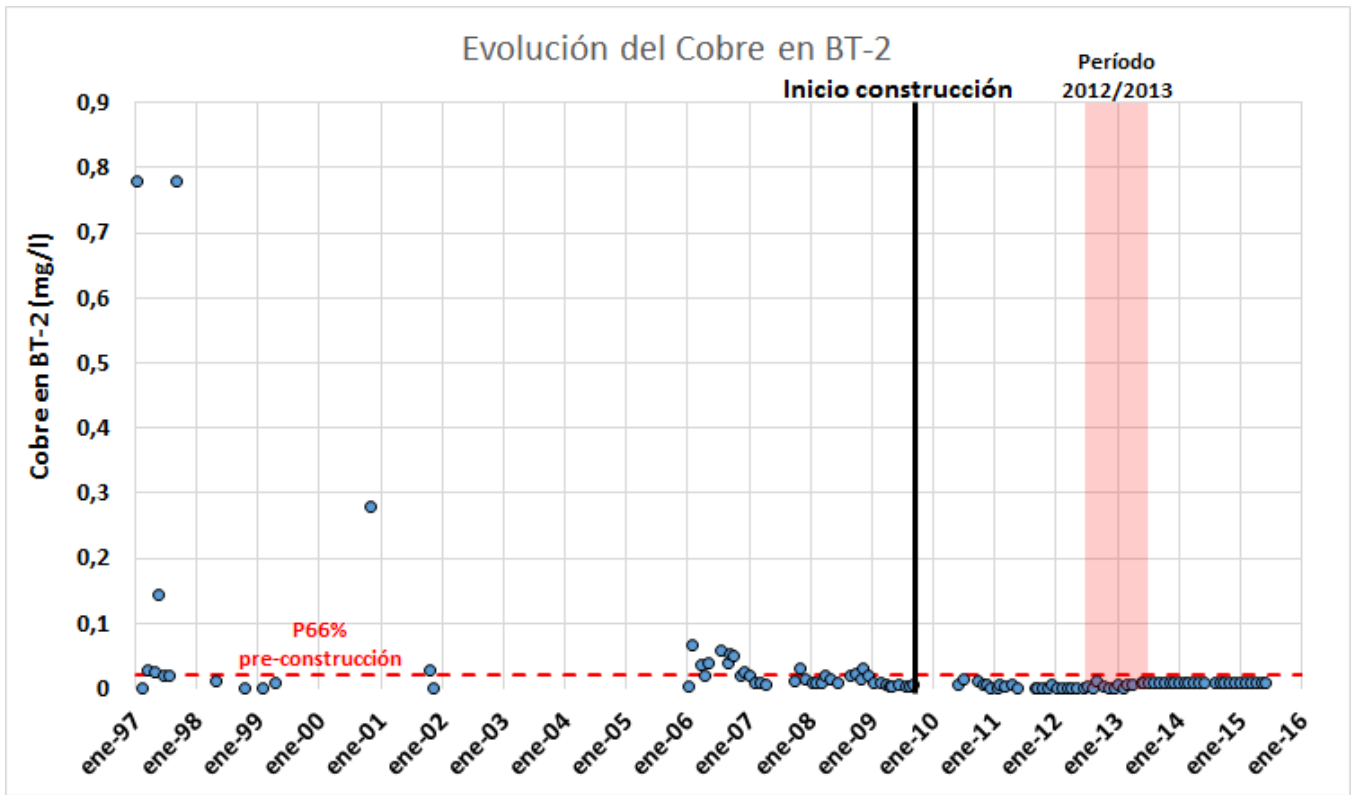


Figura 14. Evolución del Cobre (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 14. Análisis estadístico de los datos de Cobre en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	53	0,054	0,010	0,015	0,021	0,028
Post construcción	58	0,006	0,001	0,009	0,010	0,010
Período 2012/2013	12	0,005	0,001	0,004	0,006	0,008

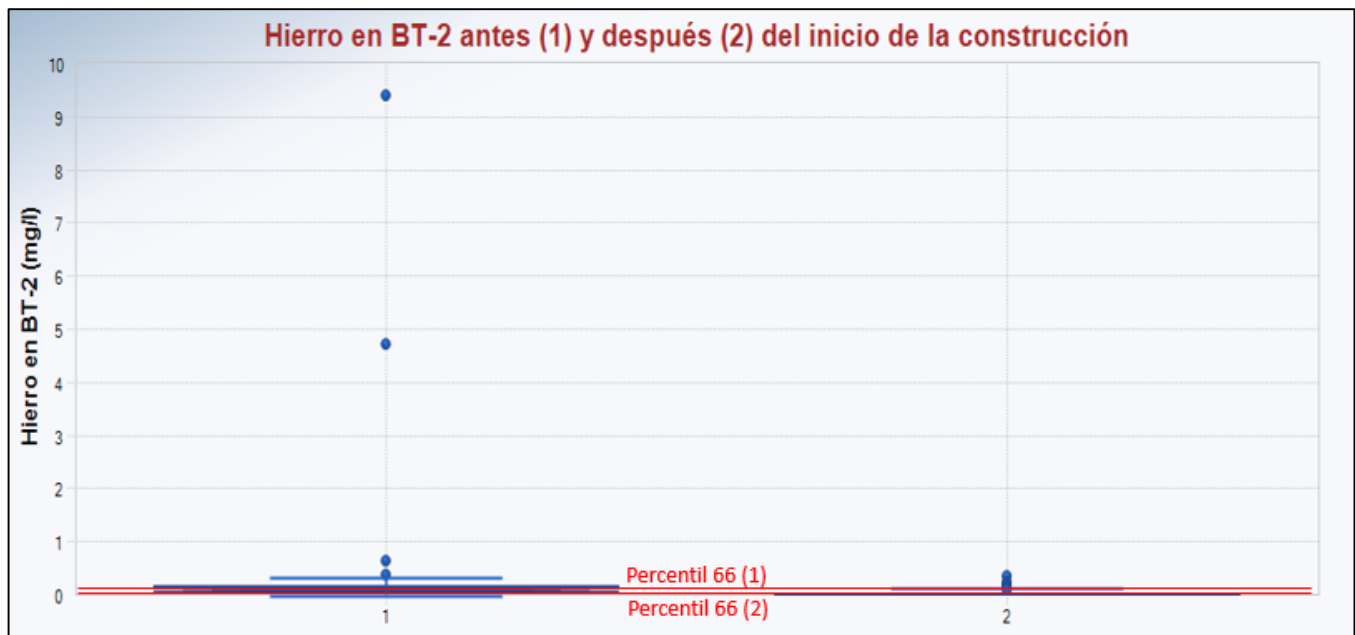
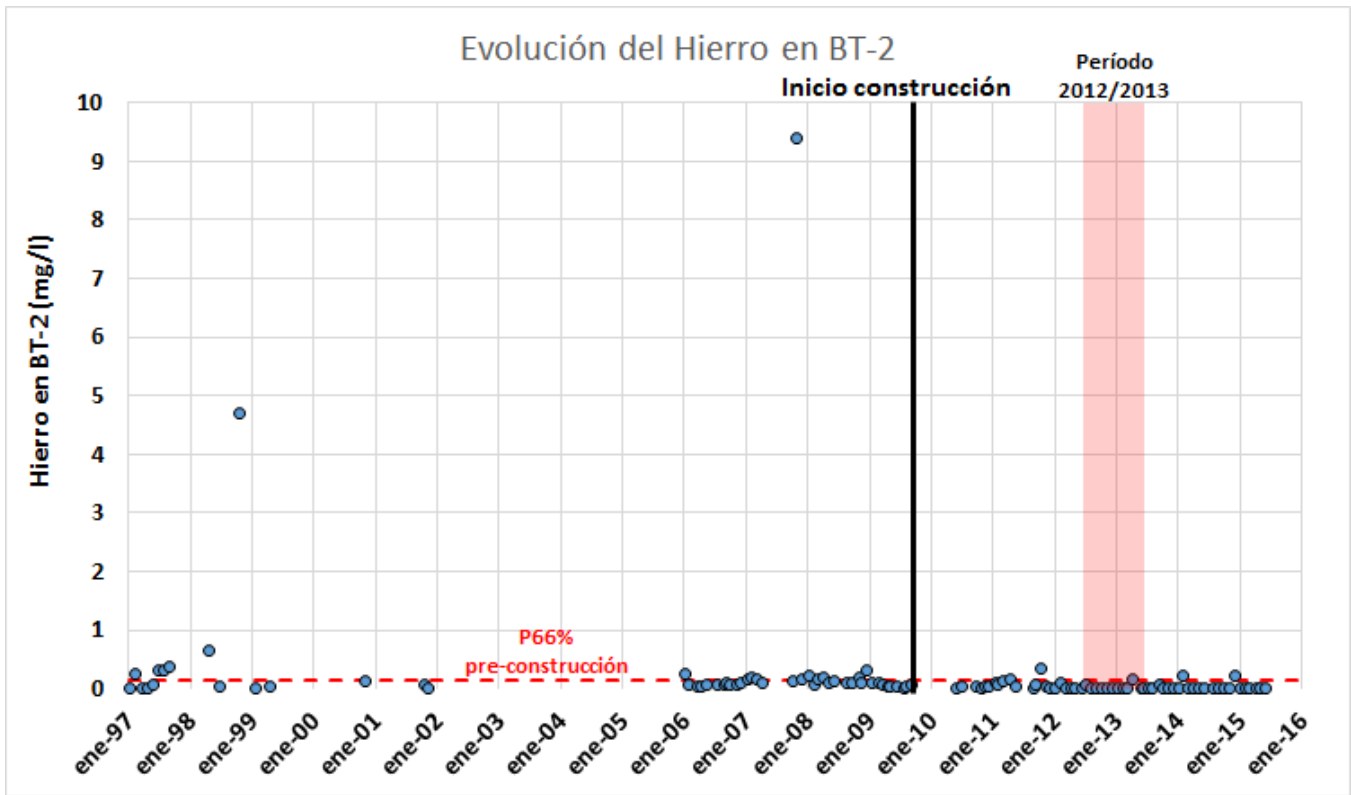


Figura 15. Evolución del Hierro (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 15. Análisis estadístico de los datos de Hierro en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	54	0,378	0,053	0,095	0,130	0,160
Post construcción	58	0,042	0,010	0,010	0,020	0,040
Período 2012/2013	12	0,028	0,010	0,010	0,013	0,020

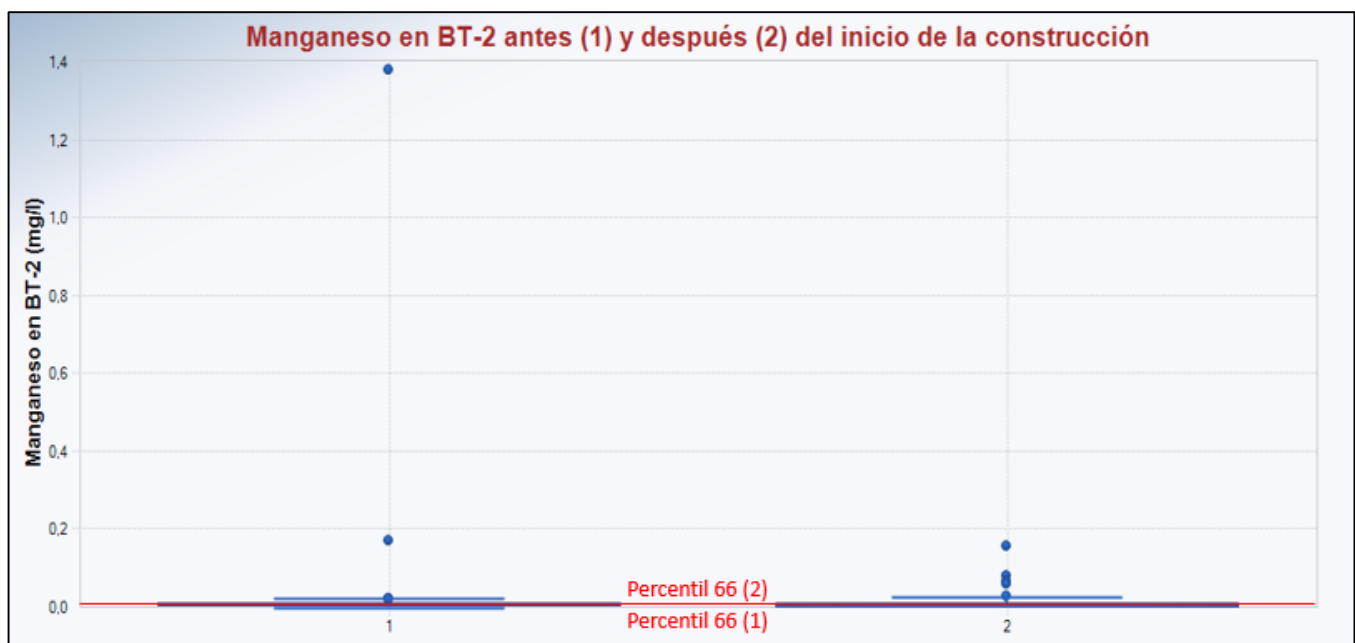
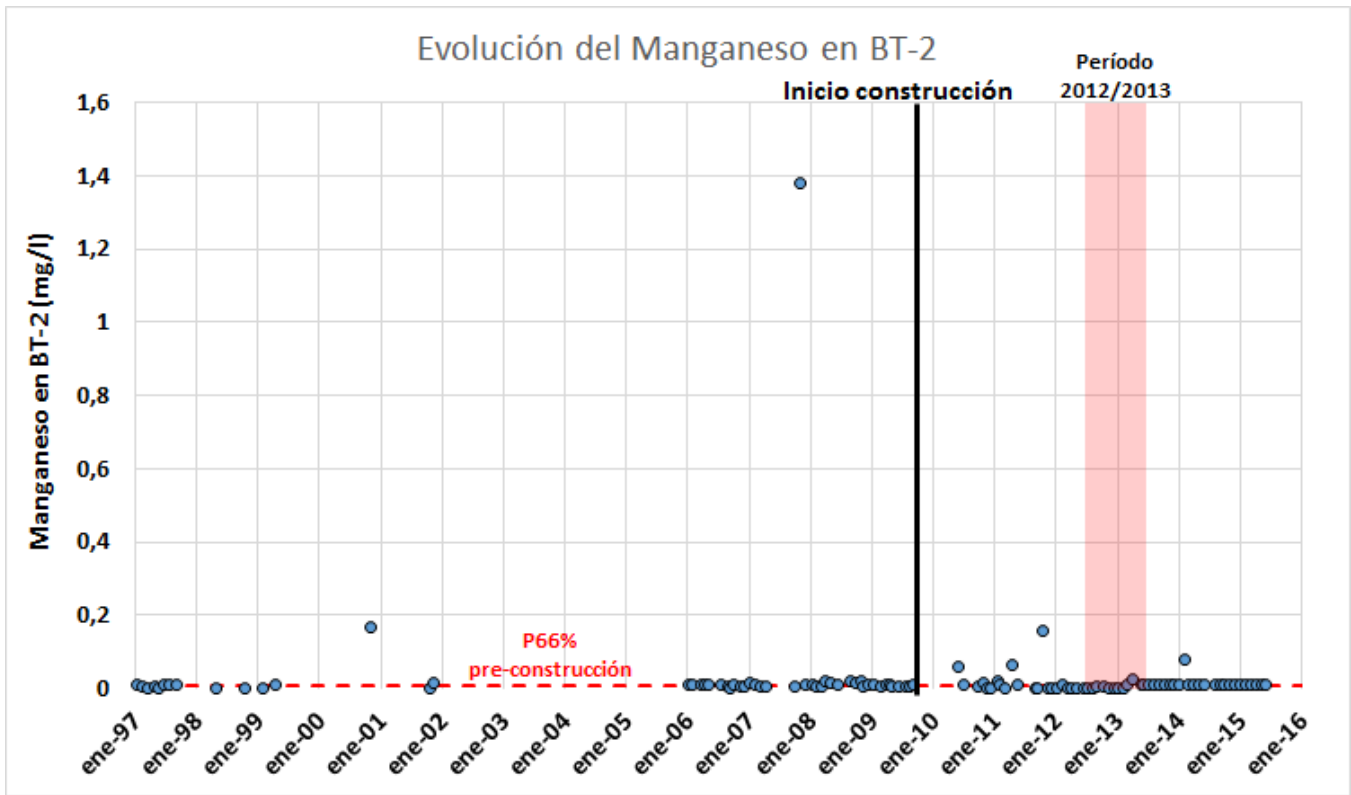


Figura 16. Evolución del Manganeso (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 16. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	53	0,038	0,005	0,009	0,010	0,011
Post construcción	58	0,013	0,001	0,010	0,010	0,010
Período 2012/2013	12	0,006	0,001	0,003	0,006	0,010

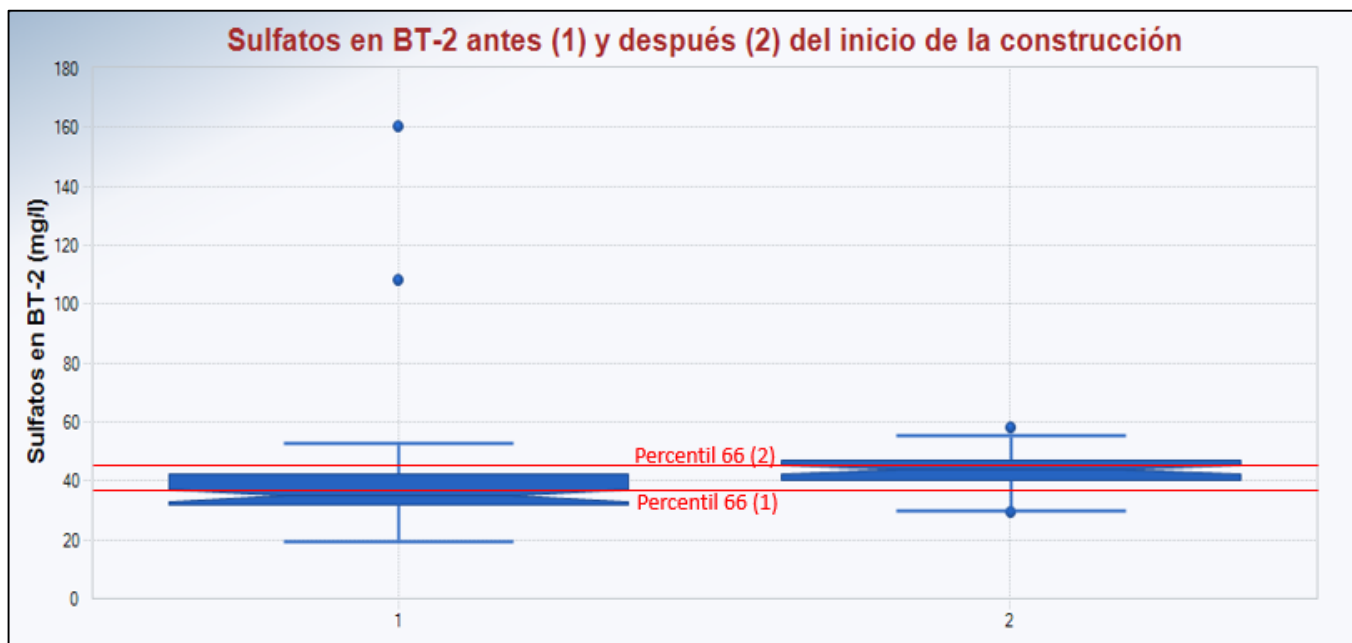
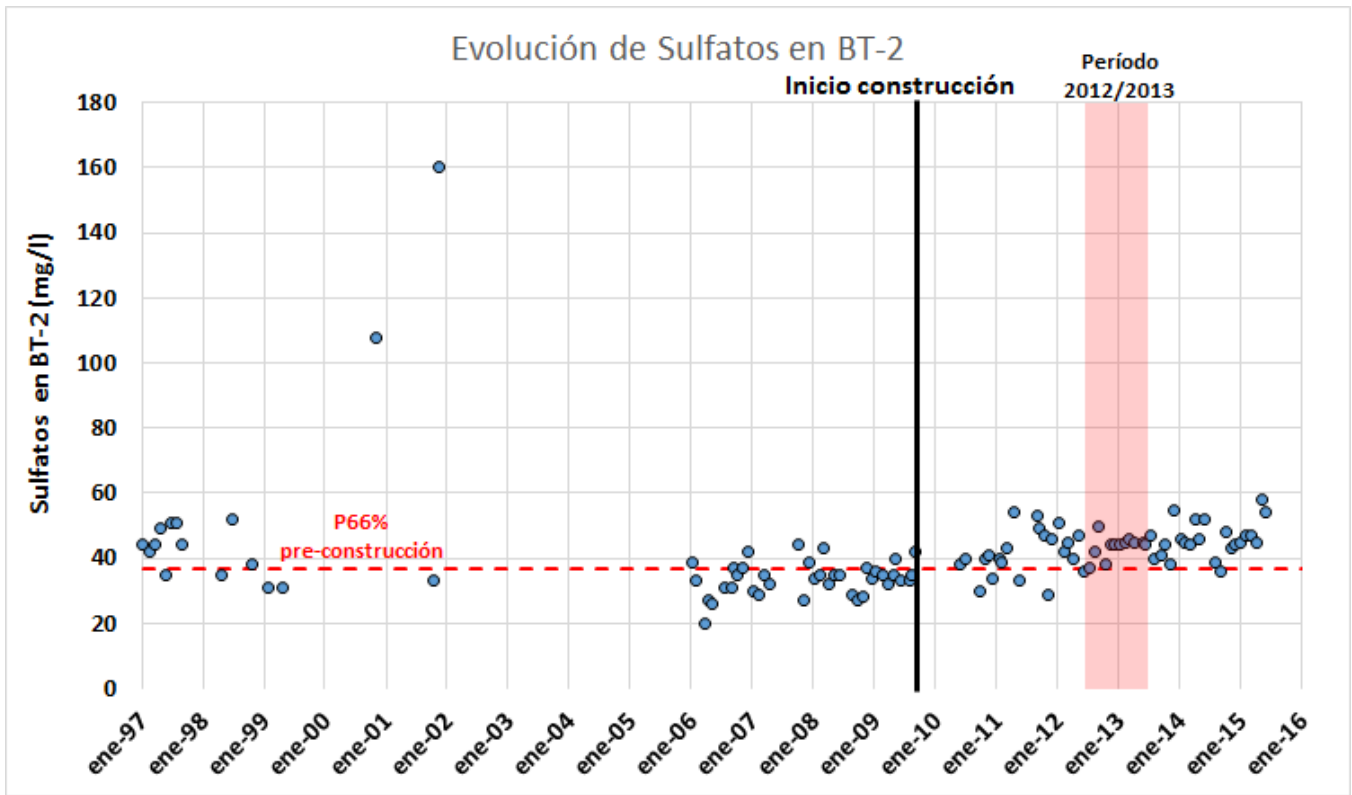


Figura 17. Evolución del sulfato (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 17. Análisis estadístico de los datos de sulfato en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	54	39,5	32,0	35,0	37,0	41,5
Post construcción	58	43,8	40,0	44,0	45,6	47,0
Período 2012/2013	12	43,7	43,5	44,0	45,0	45,0

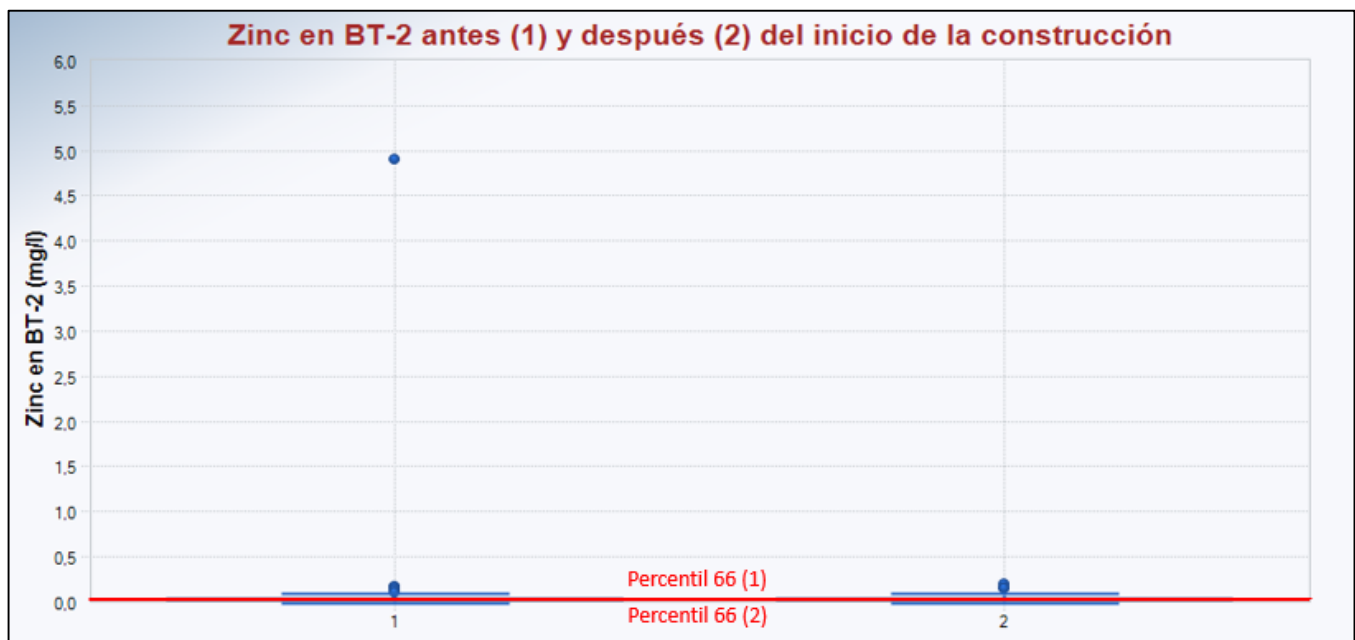
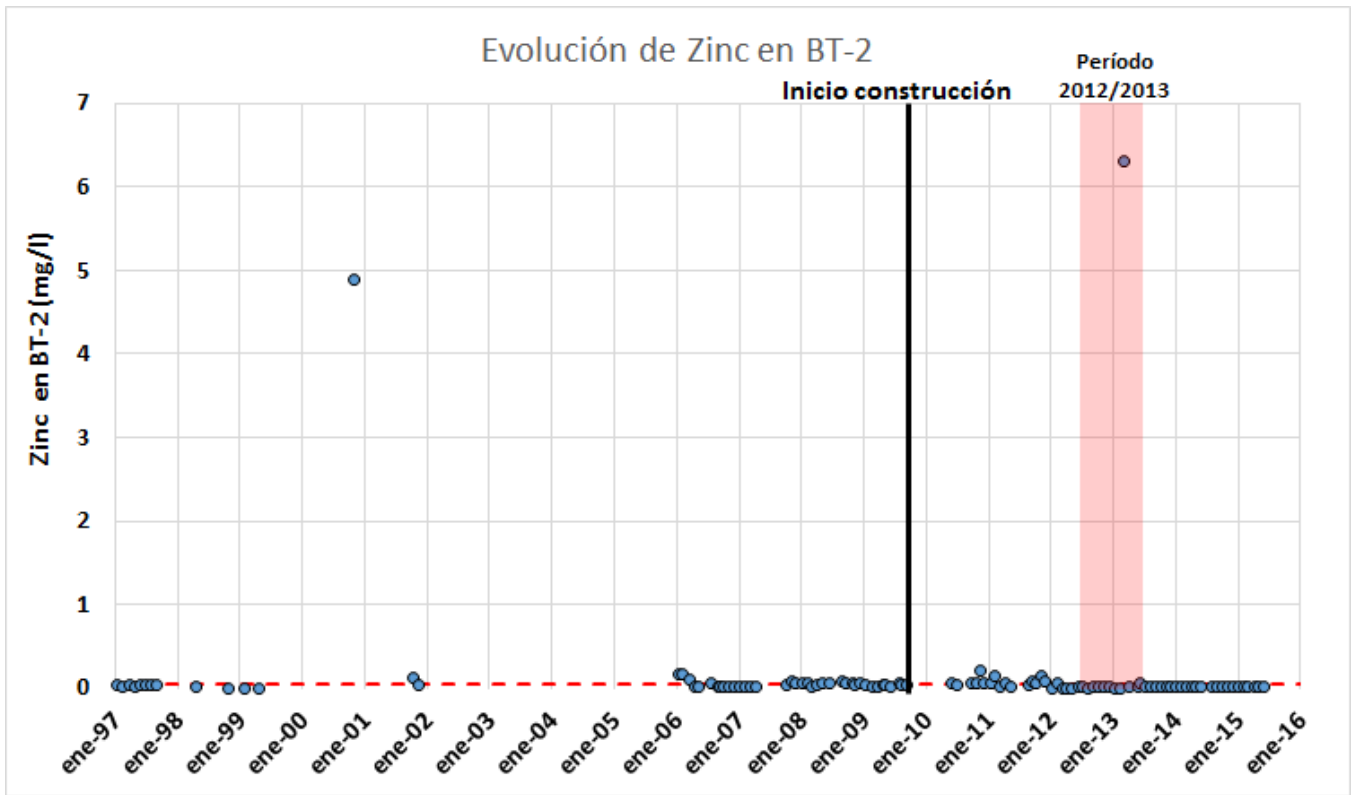


Figura 18. Evolución del Zinc (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 18. Análisis estadístico de los datos de Zinc en BT-2 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	53	0,133	0,020	0,038	0,044	0,051
Post construcción	58	0,137	0,010	0,010	0,015	0,048
Período 2012/2013	12	0,537	0,005	0,010	0,012	0,017

3. Evolución de los parámetros DAR en BT-3

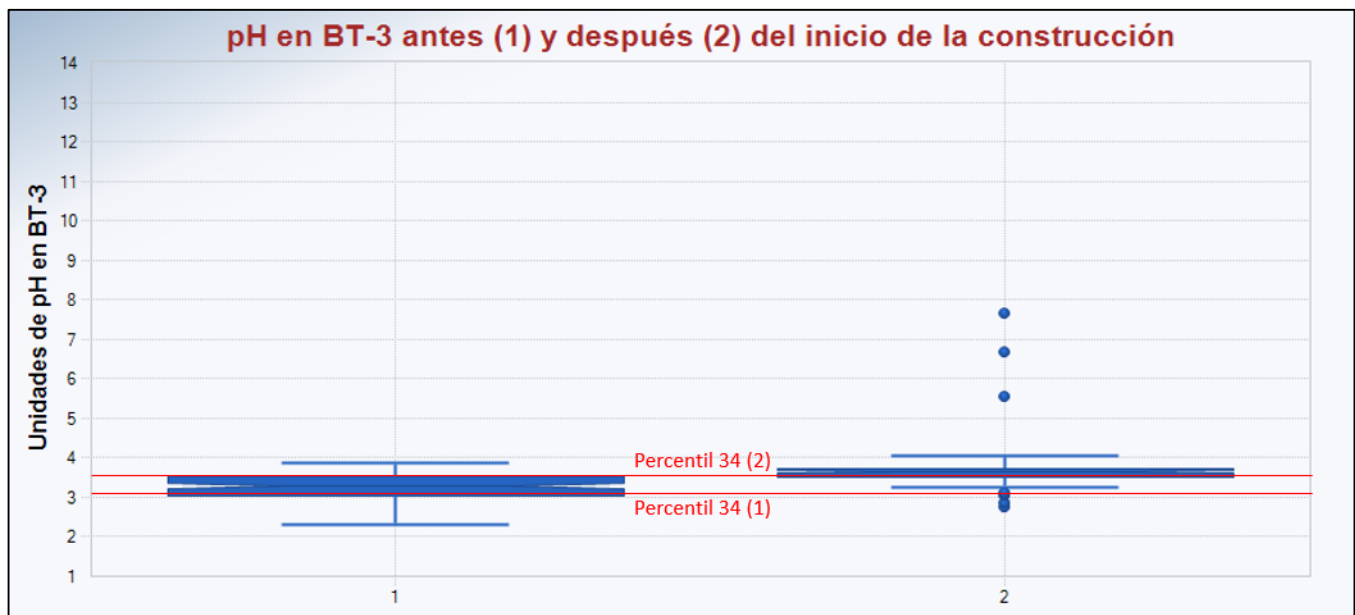
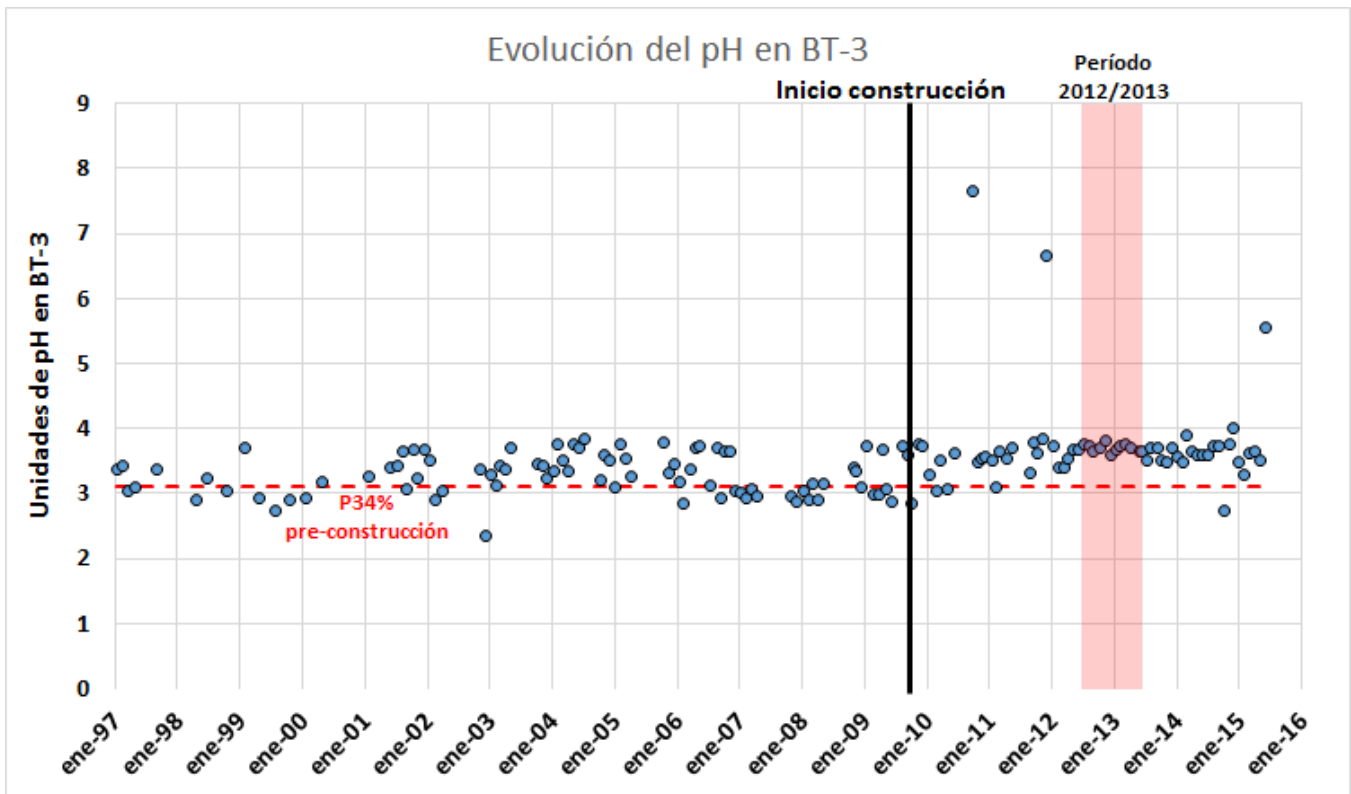


Figura 19. Evolución del pH (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 19. Análisis estadístico de los datos de pH en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	85	3,3	3,1	3,3	3,1	3,5
Post construcción	64	3,7	3,5	3,6	3,6	3,7
Período 2012/2013	12	3,7	3,6	3,7	3,7	3,7

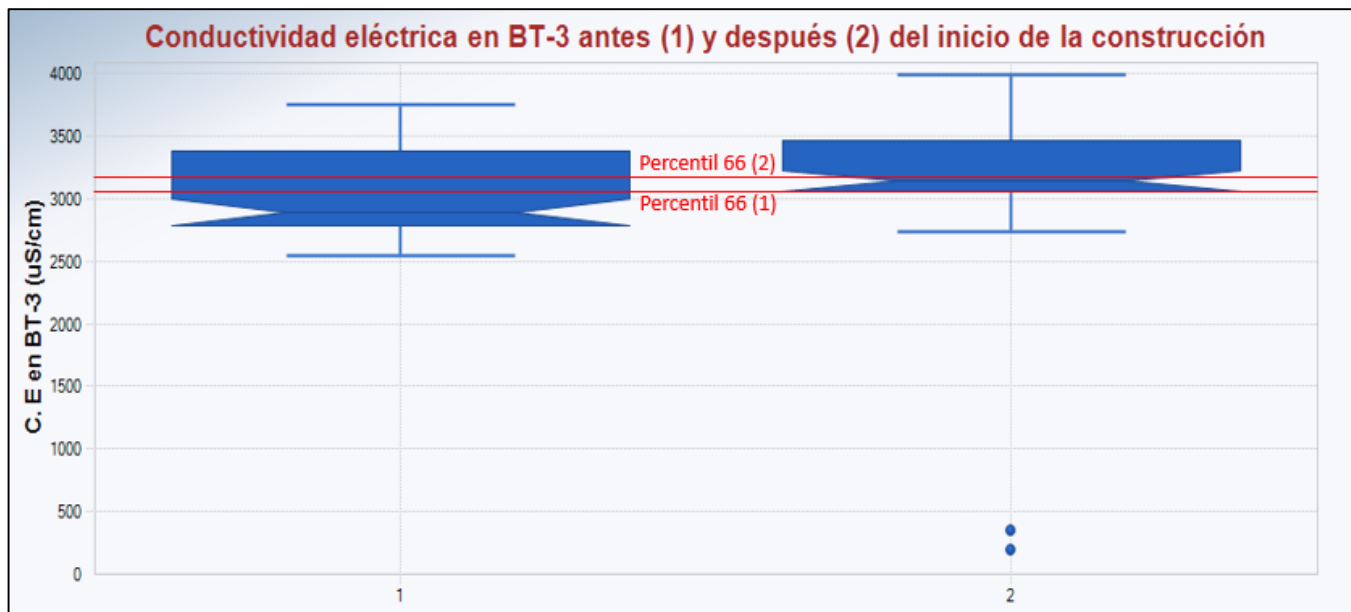
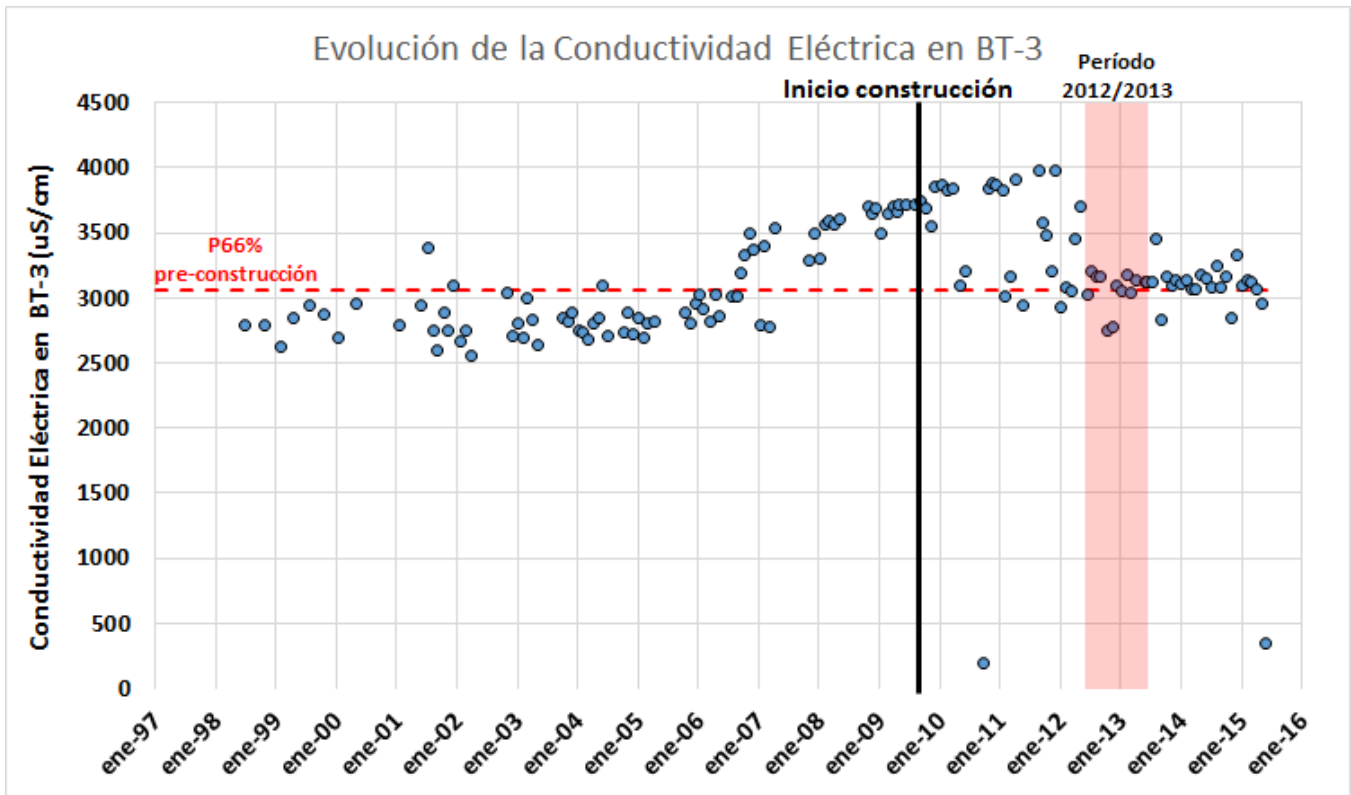


Figura 20. Evolución de la Conductividad Eléctrica (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 20. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	Nº Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	79	3052,2	2785,5	2889,0	3065,4	3378,0
Post construcción	64	3183,7	3067,5	3140,0	3198,0	3465,0
Período 2012/2013	12	3065,6	3047,5	3120,0	3145,2	3160,0

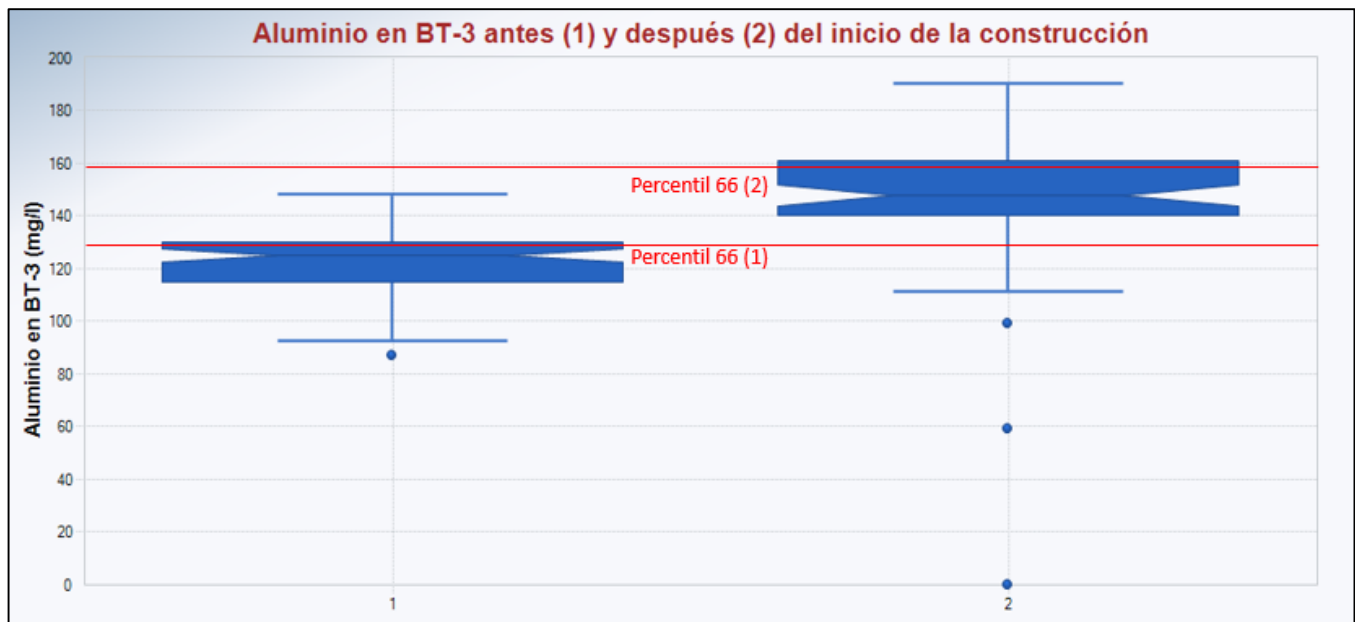
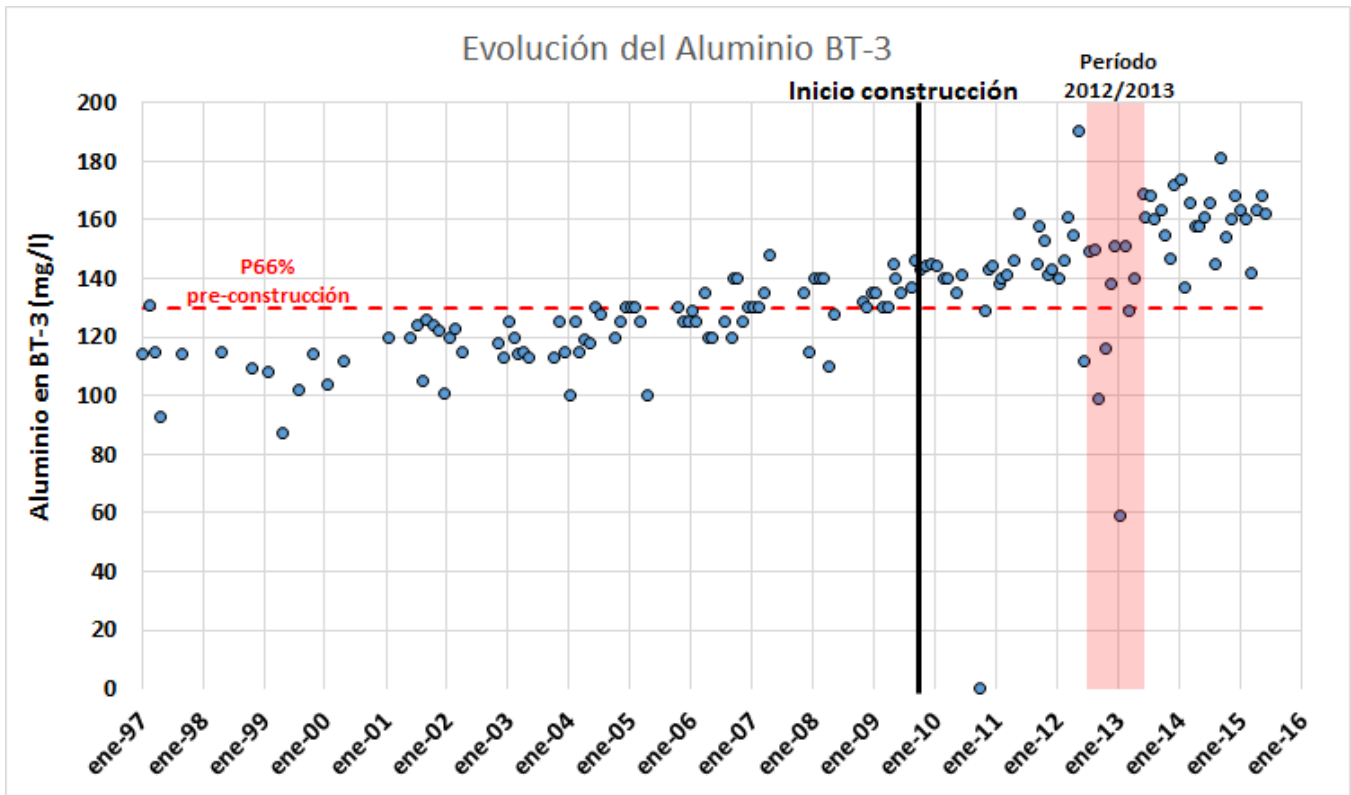


Figura 21. Evolución del Aluminio (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 21. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	84	122,8	115,0	125,0	129,8	130,0
Post construcción	64	146,6	140,8	148,0	158,0	161,0
Período 2012/2013	12	134,3	125,8	144,5	150,3	151,0

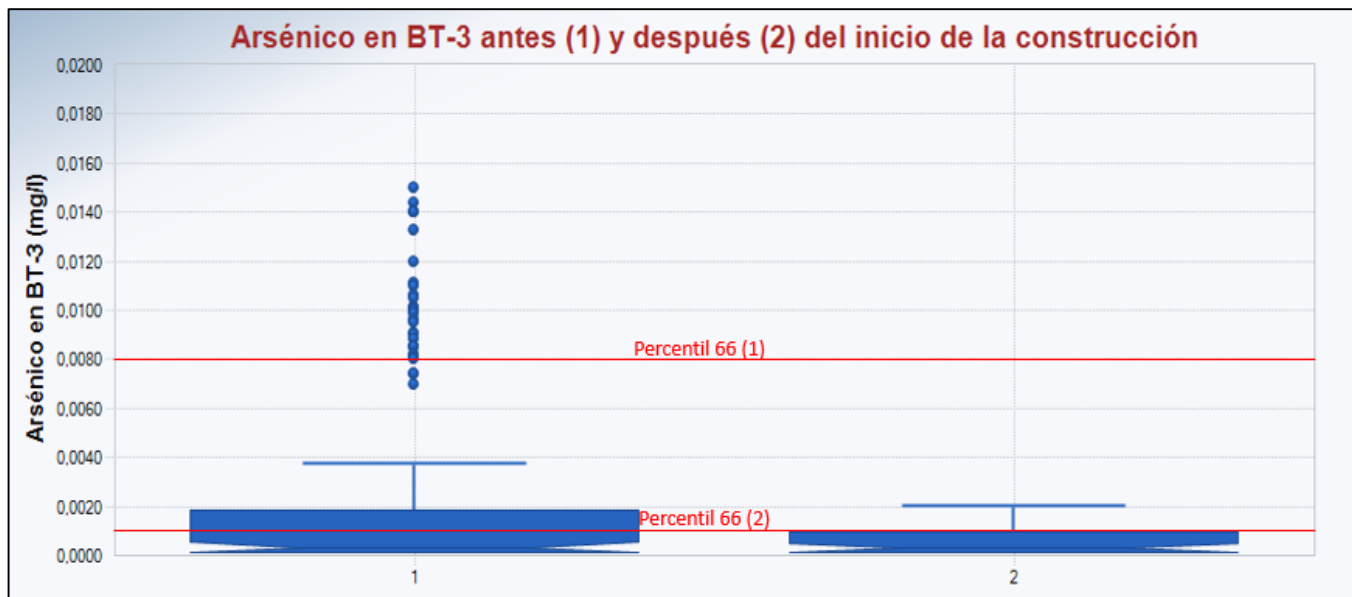
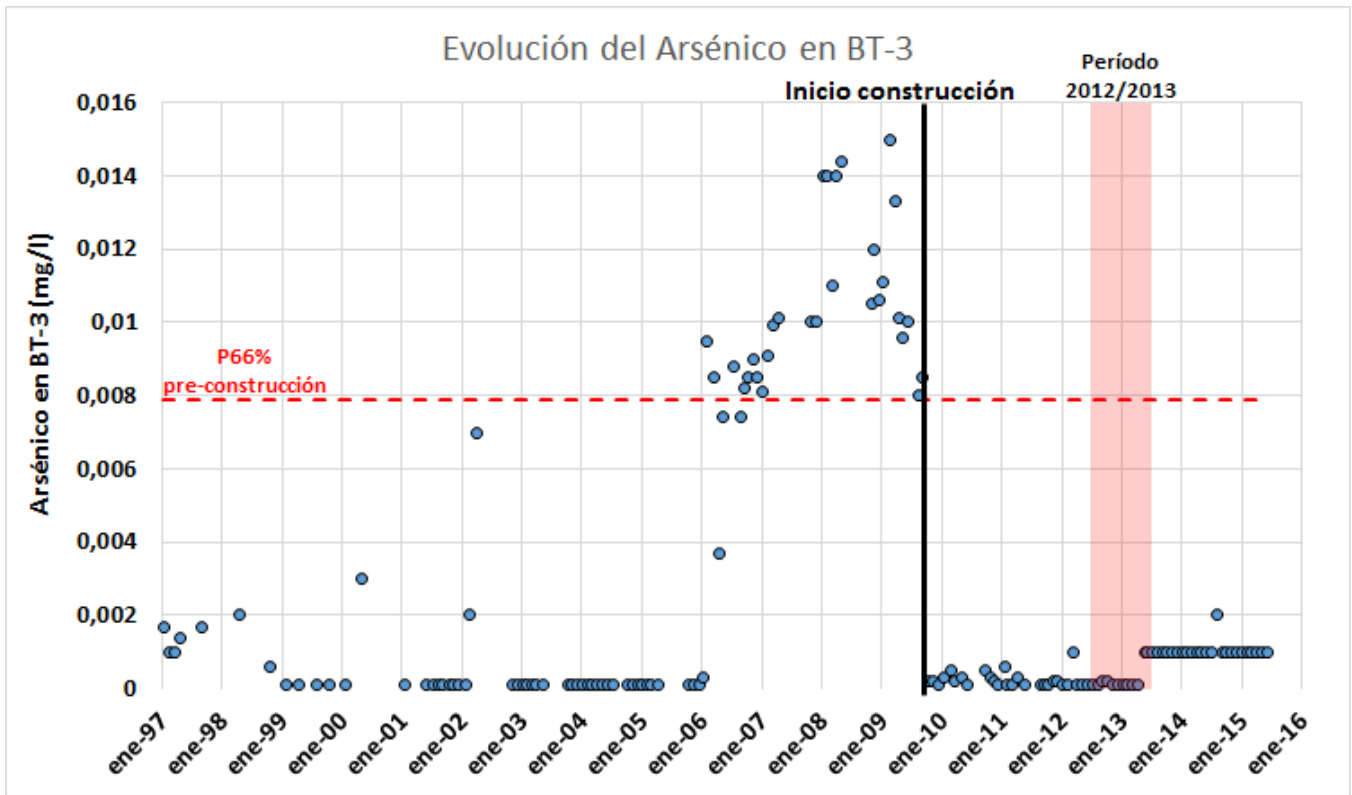


Figura 22. Evolución del Arsénico (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 22. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	84	0,0042	0,0001	0,0005	0,0079	0,0089
Post construcción	64	0,0005	0,0001	0,0003	0,0010	0,0010
Período 2012/2013	12	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002

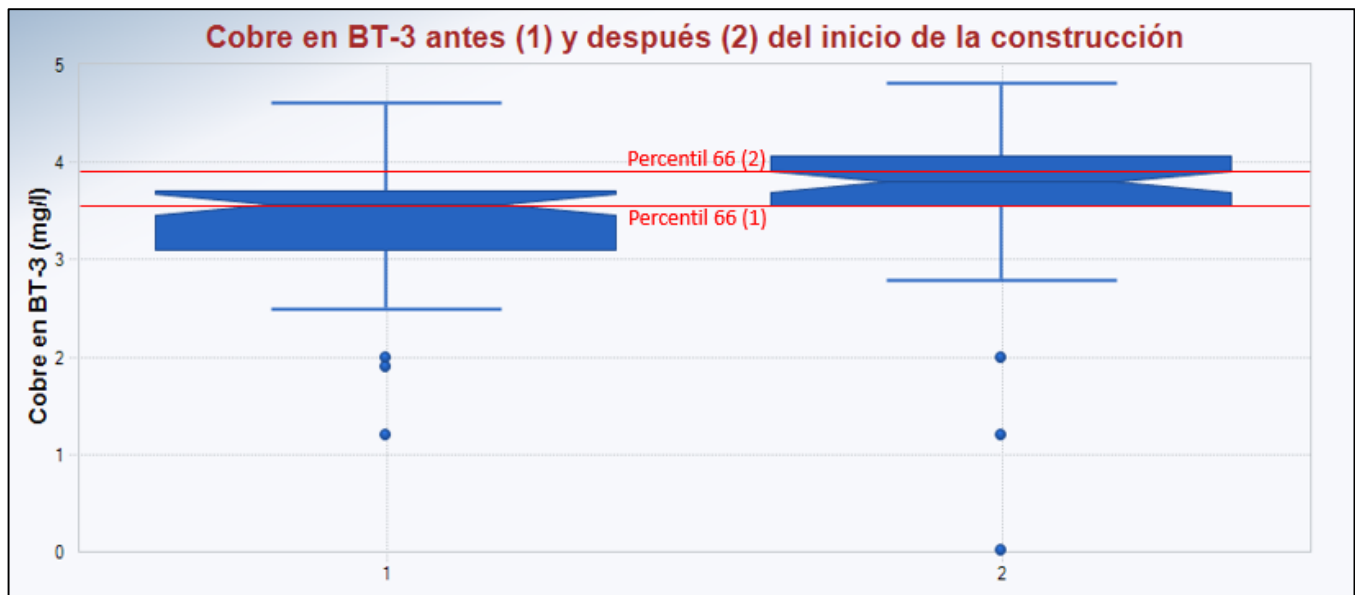
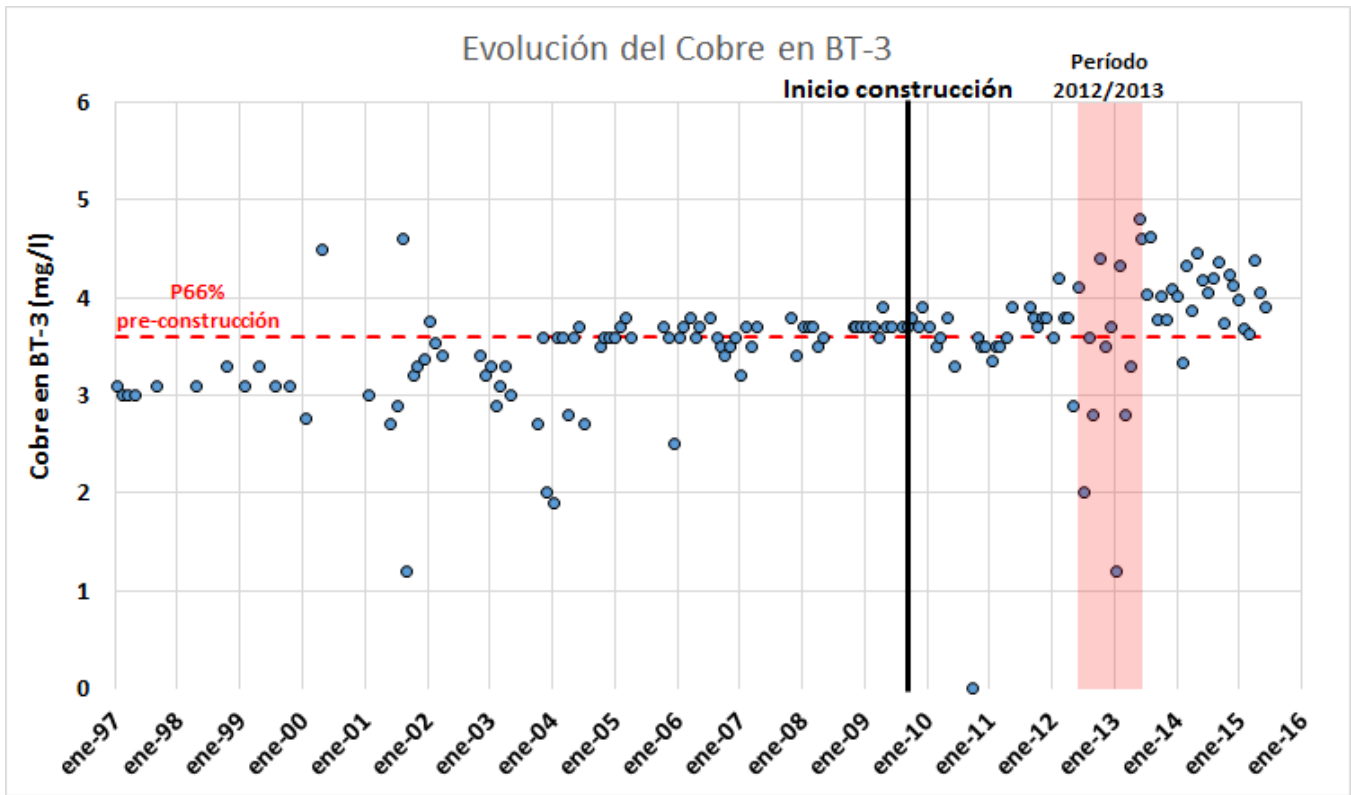


Figura 23. Evolución del Cobre (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 23. Análisis estadístico de los datos de Cobre en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	84	3,4	3,1	3,6	3,6	3,7
Post construcción	64	3,7	3,6	3,8	3,9	4,1
Período 2012/2013	12	3,4	2,8	3,6	3,9	4,3

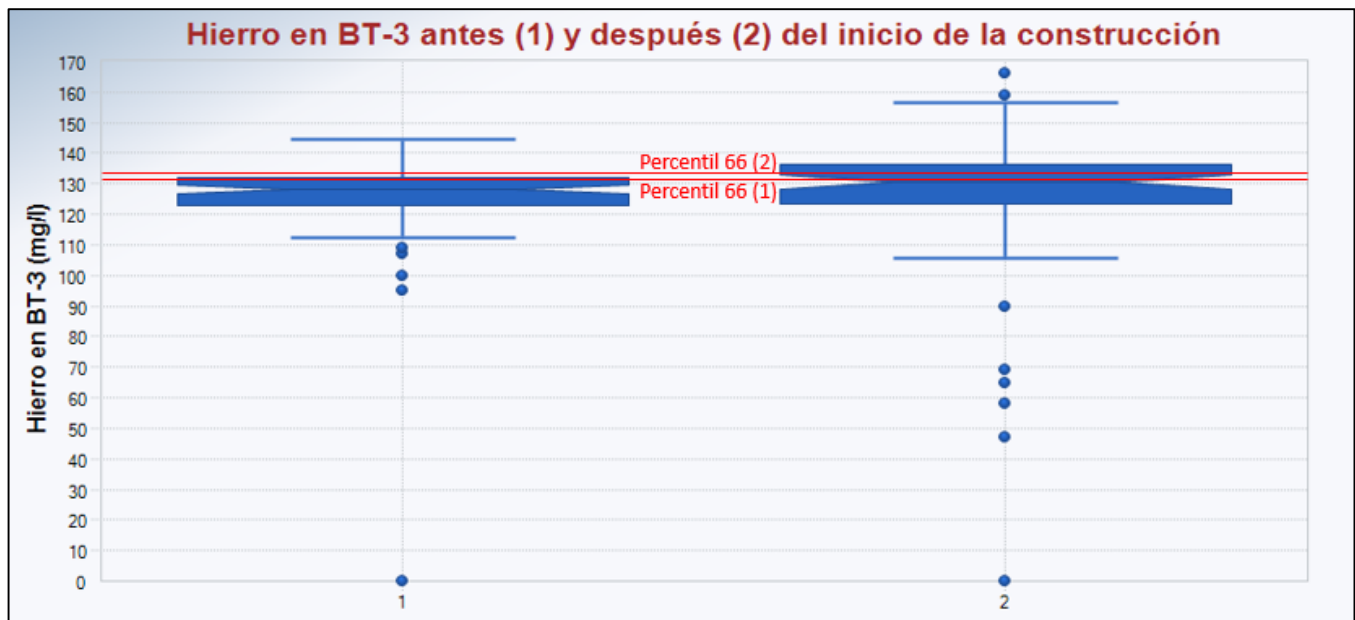
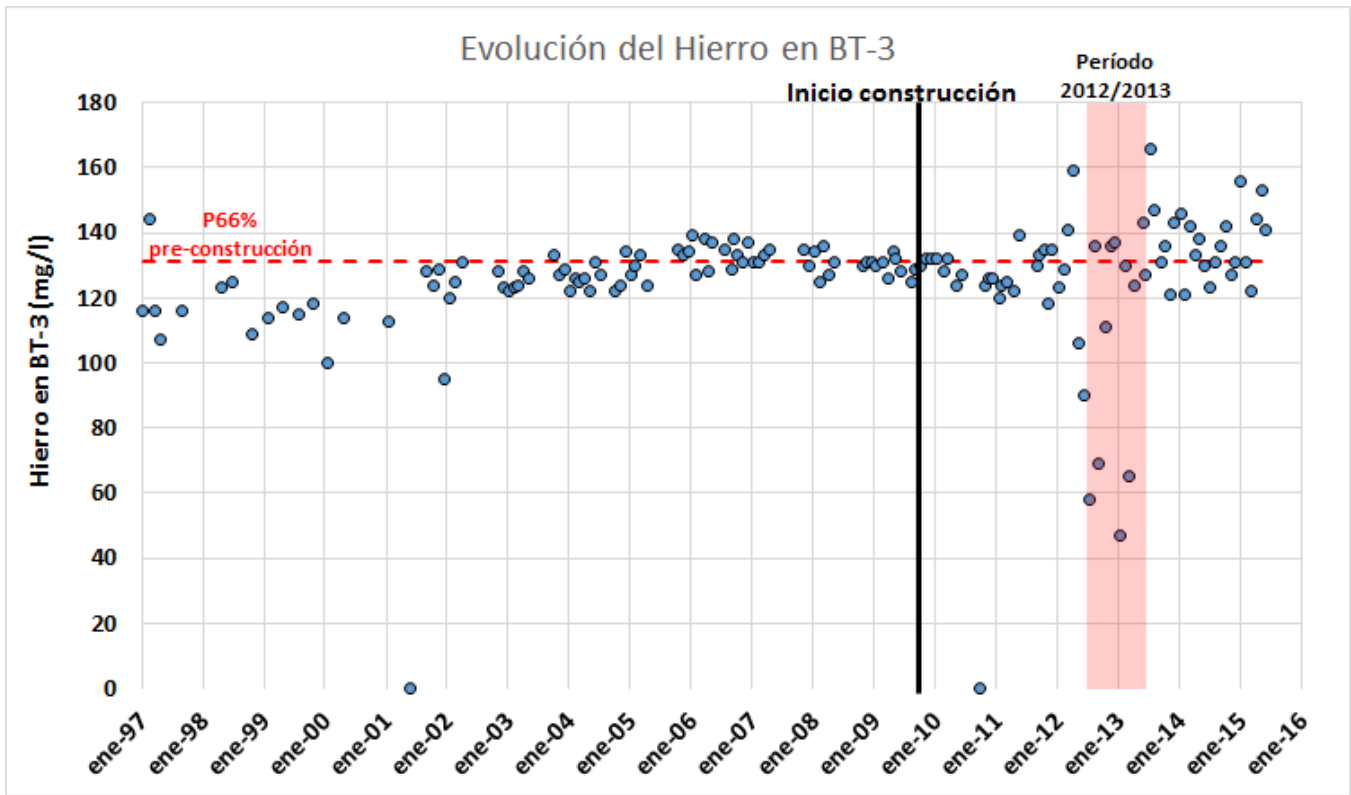


Figura 24. Evolución del Hierro (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 24. Análisis estadístico de los datos de Hierro en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	83	125,1	123,0	128,0	131,0	131,5
Post construcción	64	125,3	123,8	130,5	134,2	136,3
Período 2012/2013	12	106,9	68,0	125,5	131,6	136,0

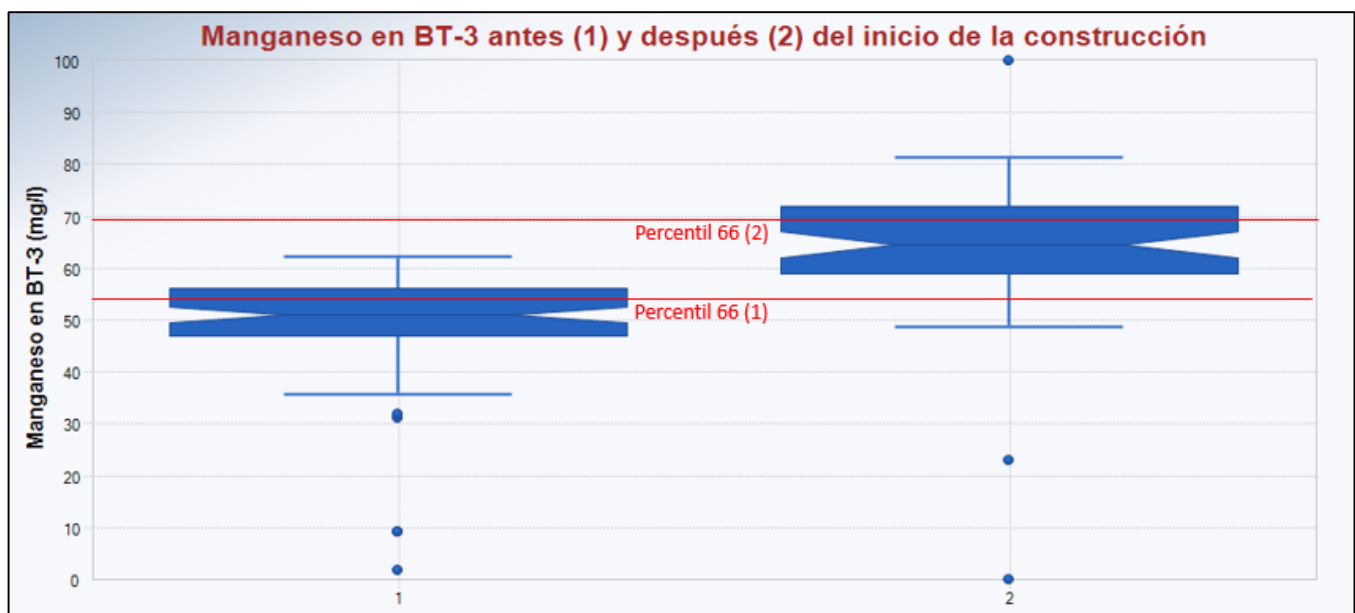
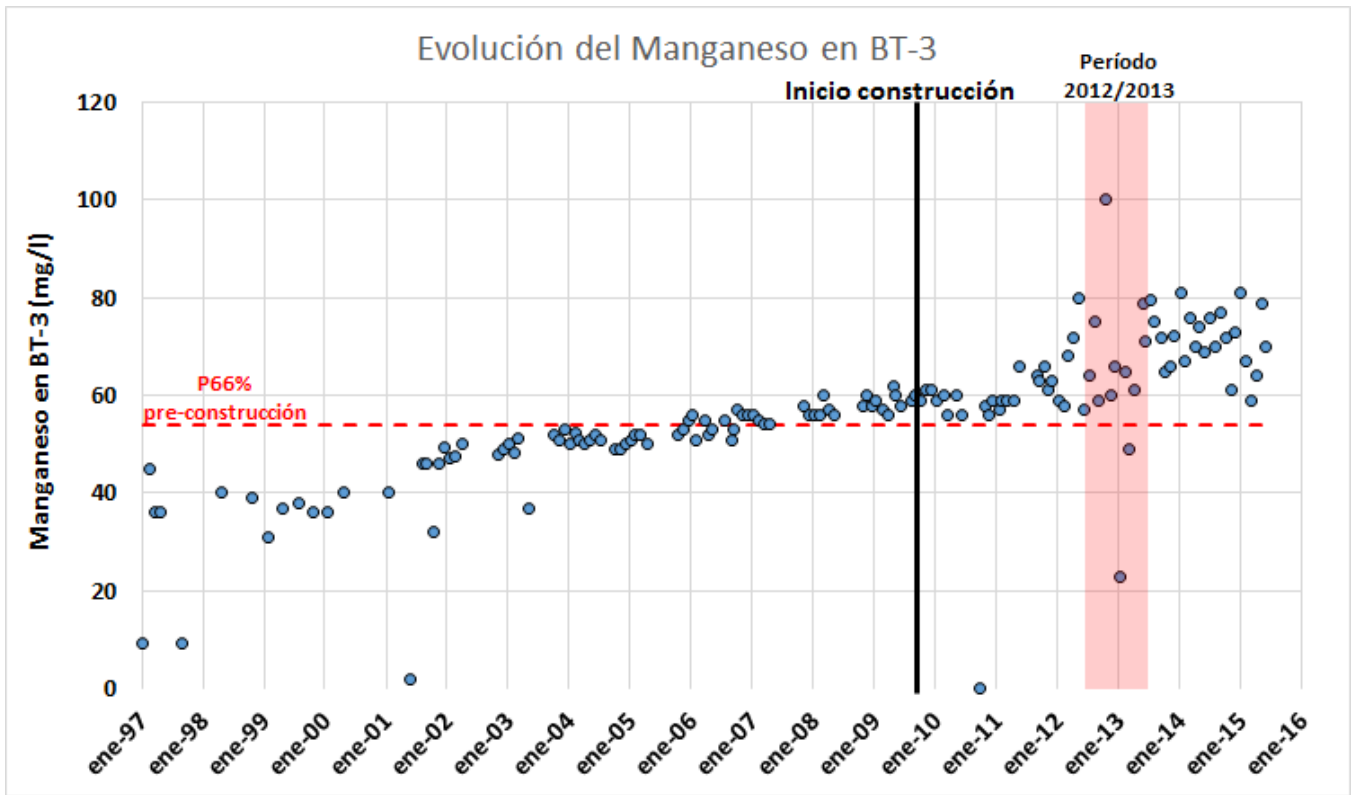


Figura 25. Evolución del Manganeseo (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 25. Análisis estadístico de los datos de Manganeseo en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	82	48,9	47,1	51,1	54,0	56,0
Post construcción	64	64,7	59,0	64,5	69,6	72,0
Período 2012/2013	12	64,3	59,8	64,5	67,3	72,0

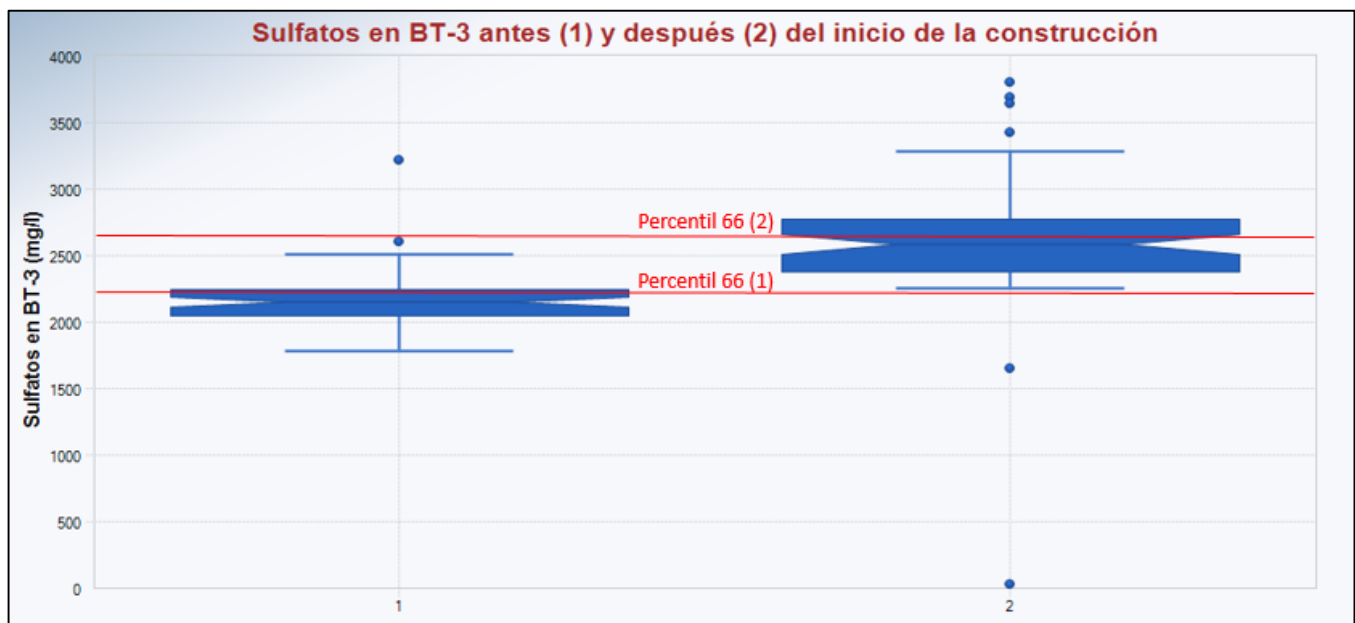
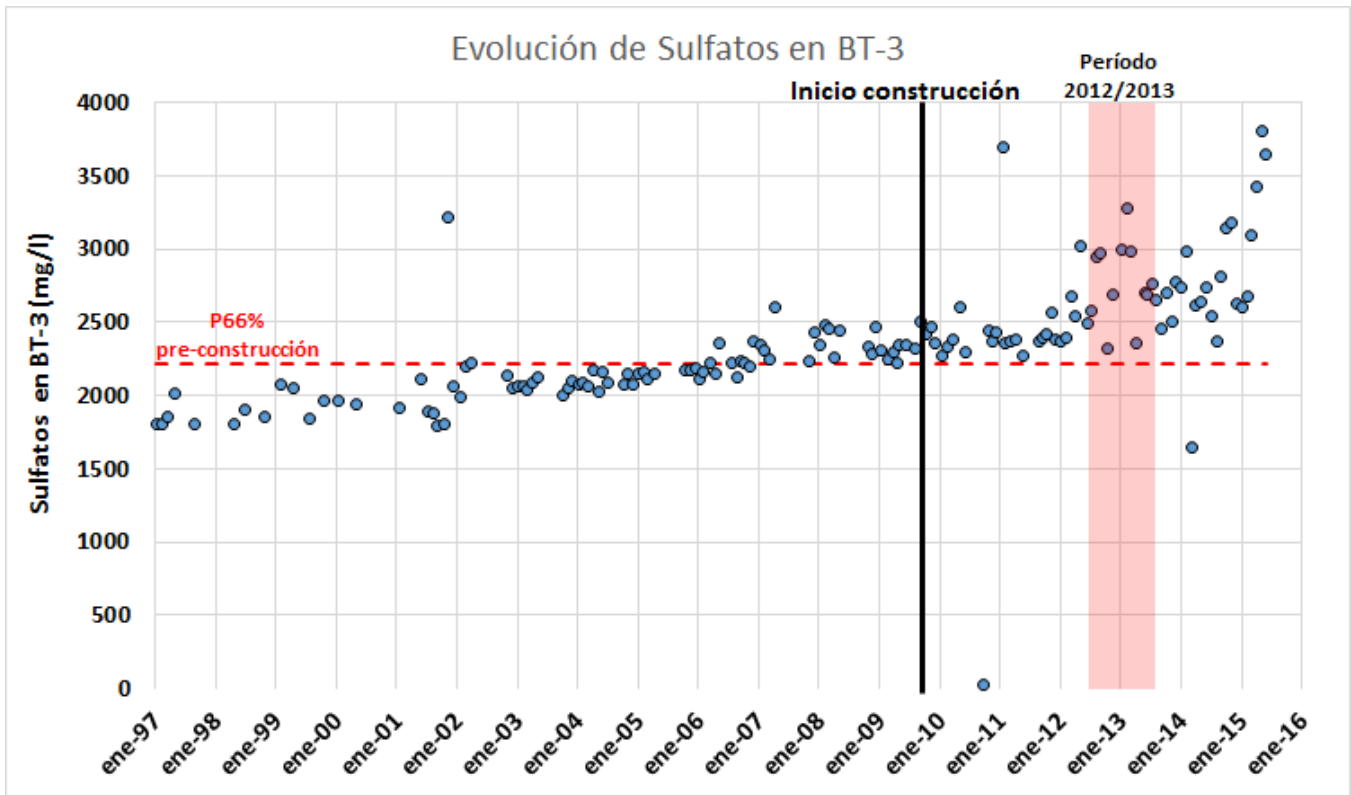


Figura 26. Evolución del sulfato (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 26. Análisis estadístico de los datos de sulfato en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	85	2150,2	2050,0	2147,0	2219,4	2248,0
Post construcción	63	2614,6	2382,5	2583,0	2689,8	2767,5
Período 2012/2013	11	2772,7	2635,0	2697,0	2962,0	2977,0

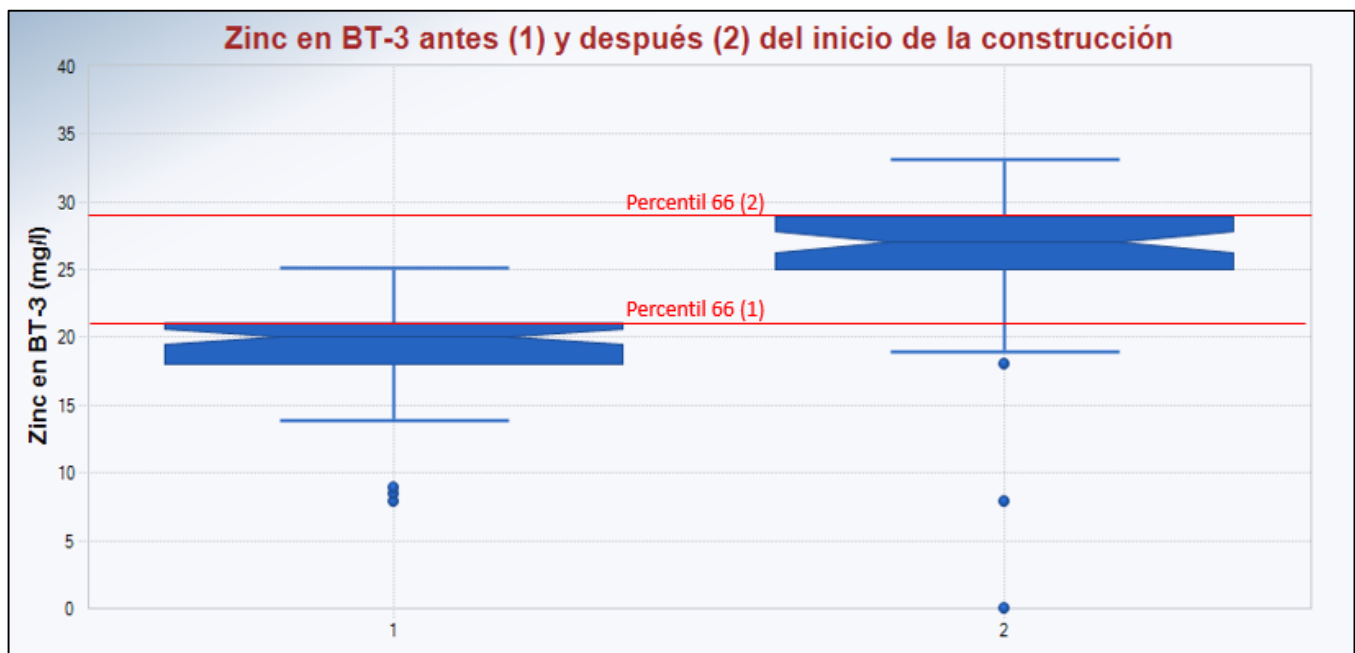
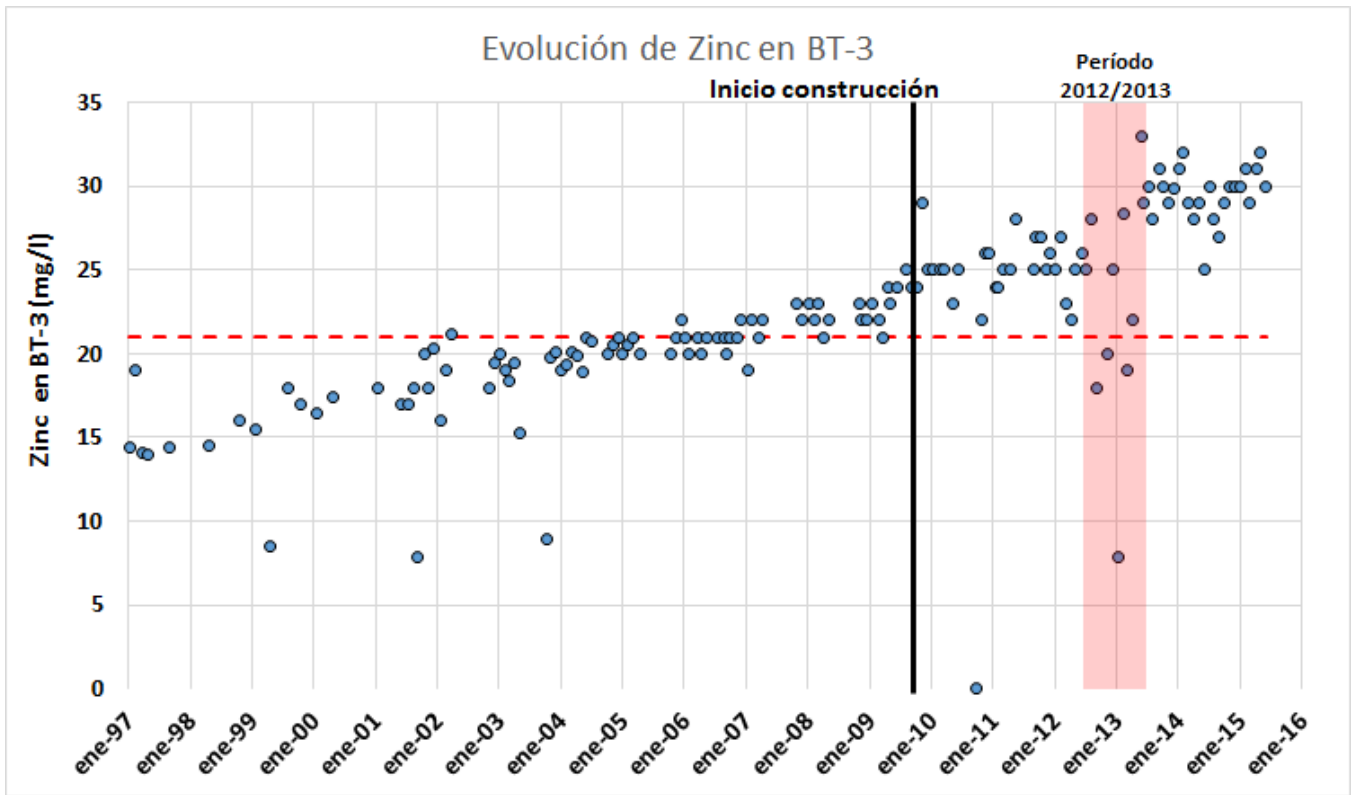


Figura 27. Evolución del Zinc (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 27. Análisis estadístico de los datos de Zinc en BT-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	84	19,5	18,0	20,0	21,0	21,1
Post construcción	63	26,1	25,0	27,0	29,0	29,0
Período 2012/2013	11	23,2	19,5	25,0	26,8	28,2



APÉNDICE 6-4: EVOLUCIÓN DE NIVEL Y PARÁMETROS DAR EN ZONA 4

OBJETIVO: En el presente Apéndice se entrega un análisis que muestra la evolución de la profundidad del nivel y de los parámetros DAR en cada pozo de la Zona 4. Junto con el respectivo gráfico de concentración vs tiempo, se incluye un diagrama de caja que compara la situación pre-proyecto y post-proyecto, y una tabla con los principales estadísticos de cada serie de datos bajo estudio.

1. Evolución del nivel y de los parámetros DAR en NEV-3

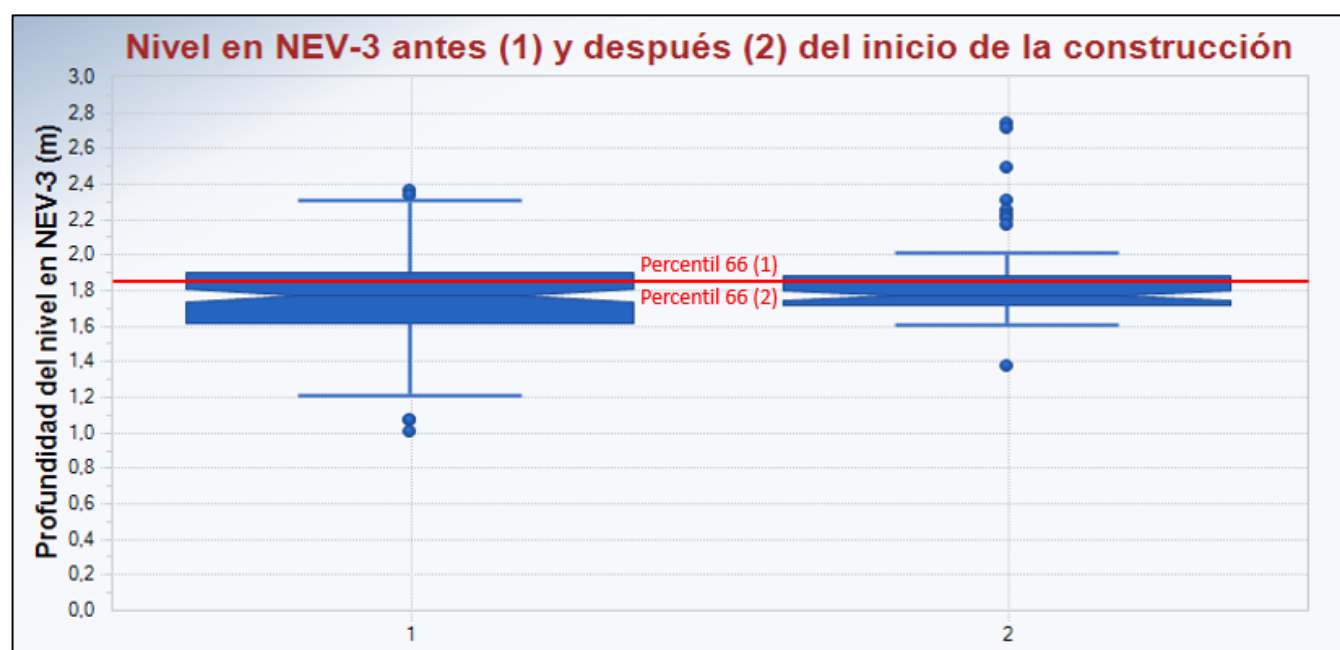
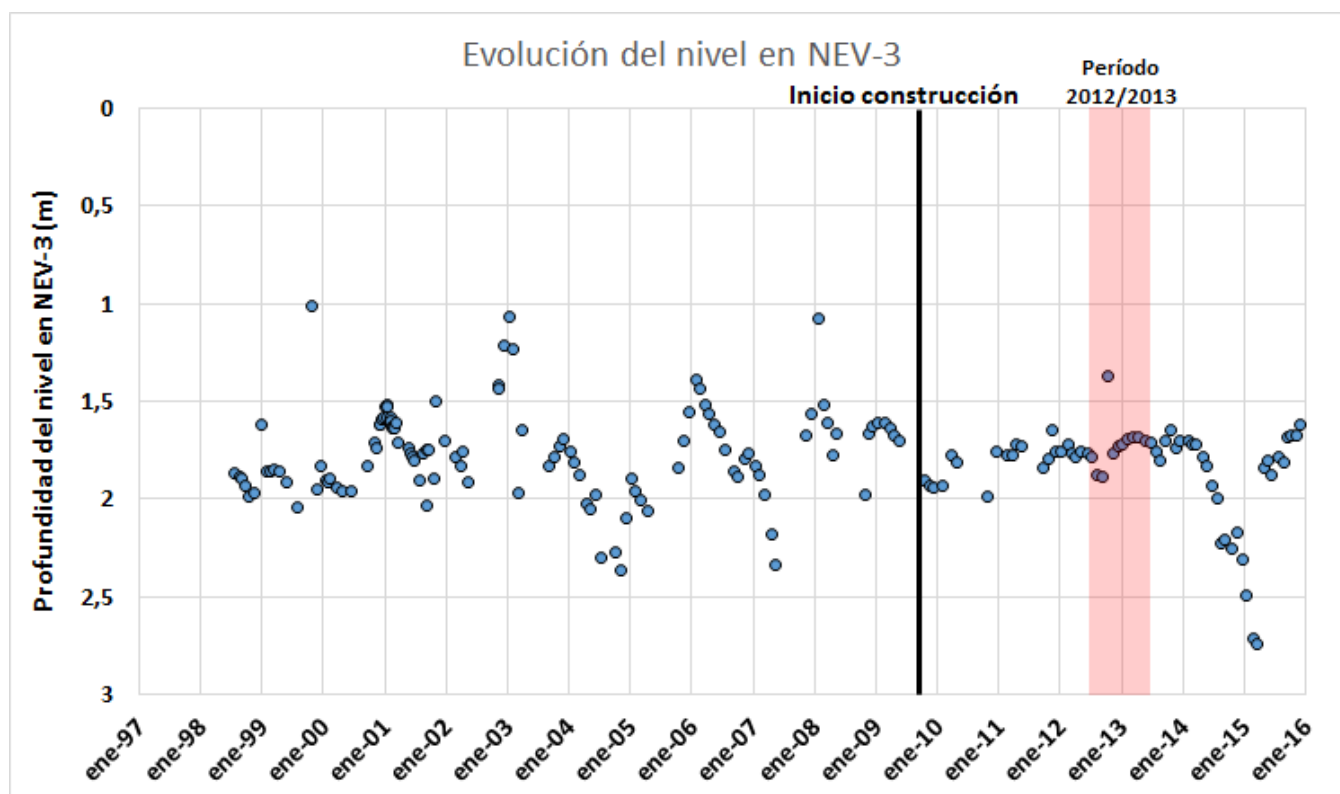


Figura 1. Evolución de la profundidad del nivel (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 1. Análisis estadístico de los datos de nivel en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	115	1,8	1,6	1,8	1,7	1,9
Post construcción	64	1,8	1,7	1,8	1,7	1,9
Período 2012/2013	12	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8

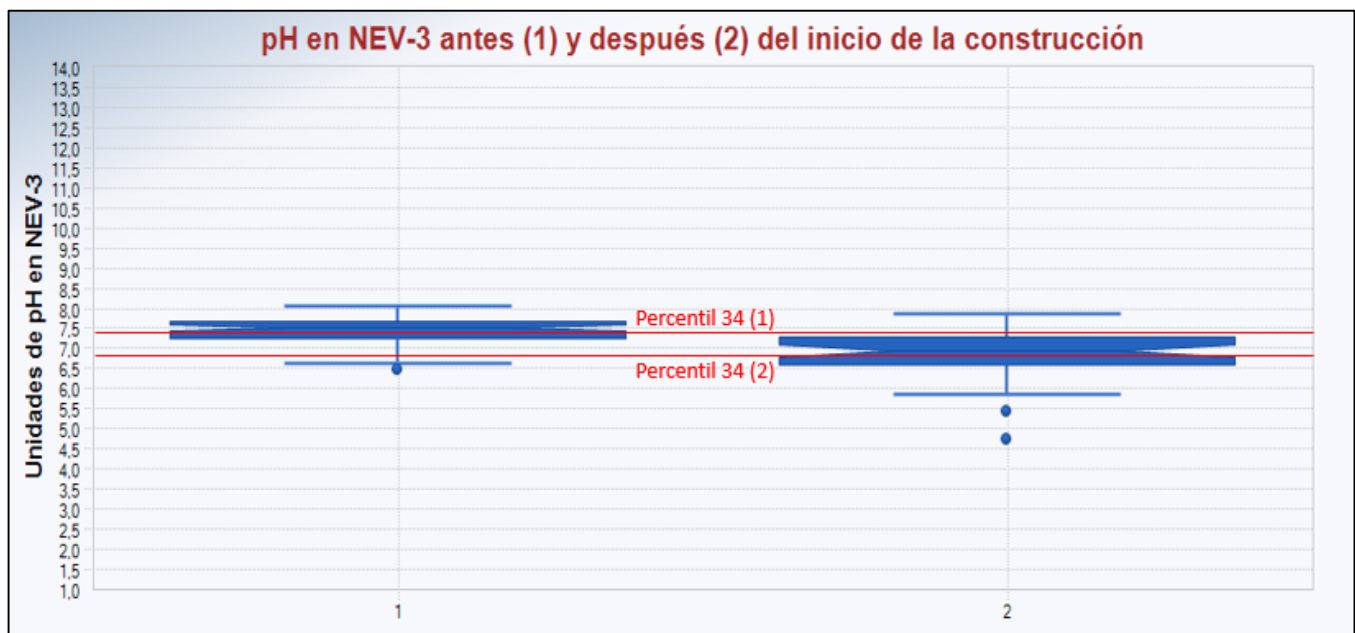
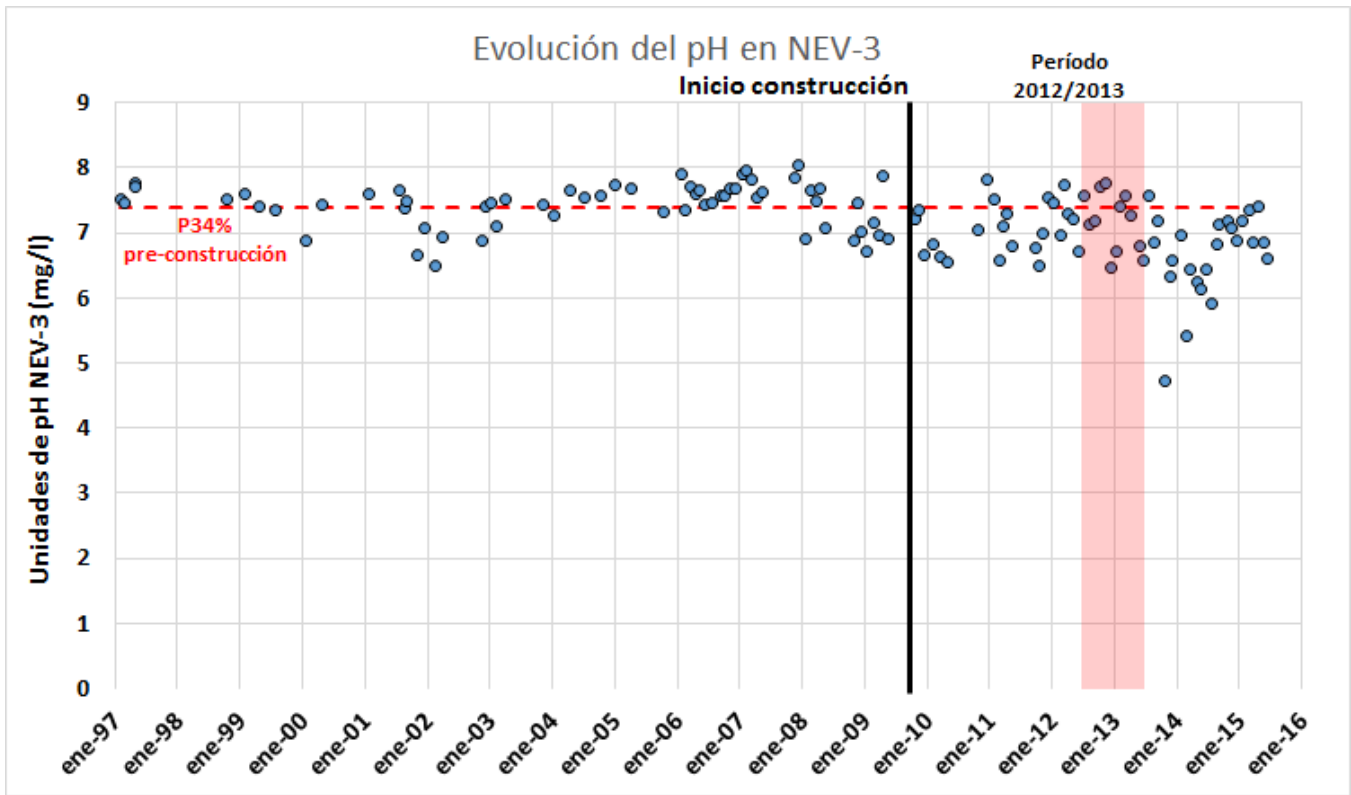


Figura 2. Evolución del pH (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 2. Análisis estadístico de los datos de pH en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 34	Percentil 75
Previo construcción	62	7,4	7,3	7,5	7,4	7,7
Post construcción	59	6,9	6,6	7,0	6,8	7,3
Período 2012/2013	12	7,2	6,8	7,2	7,0	7,6

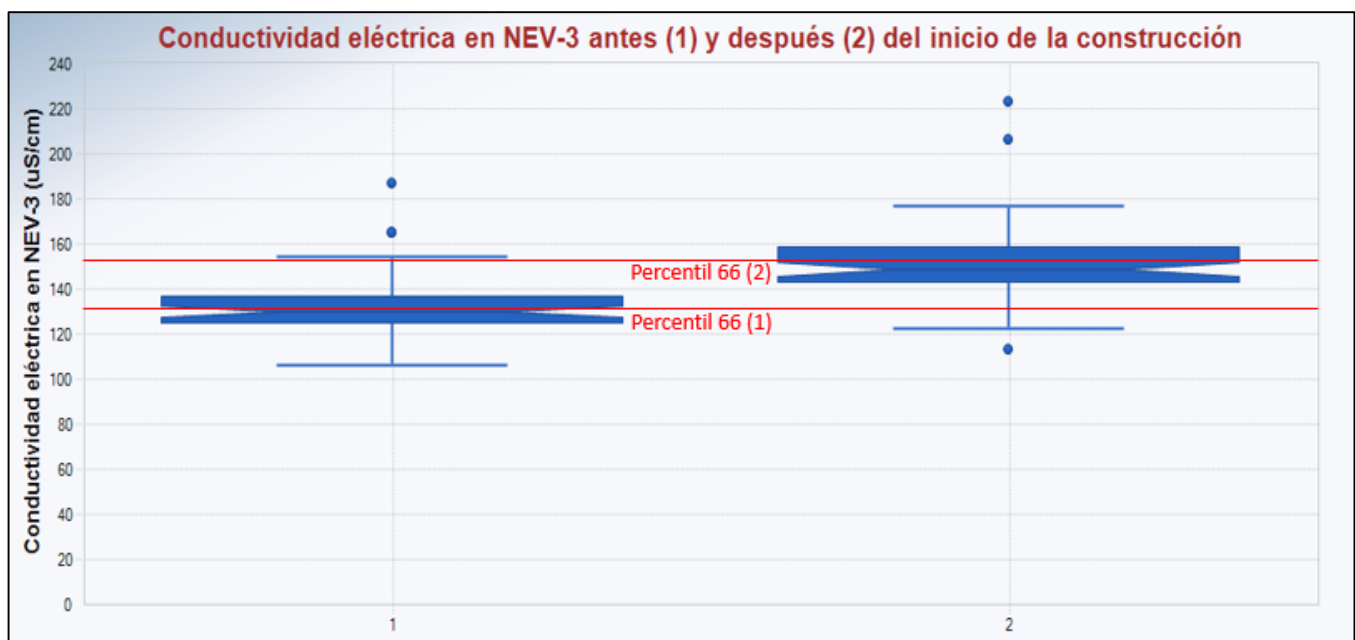
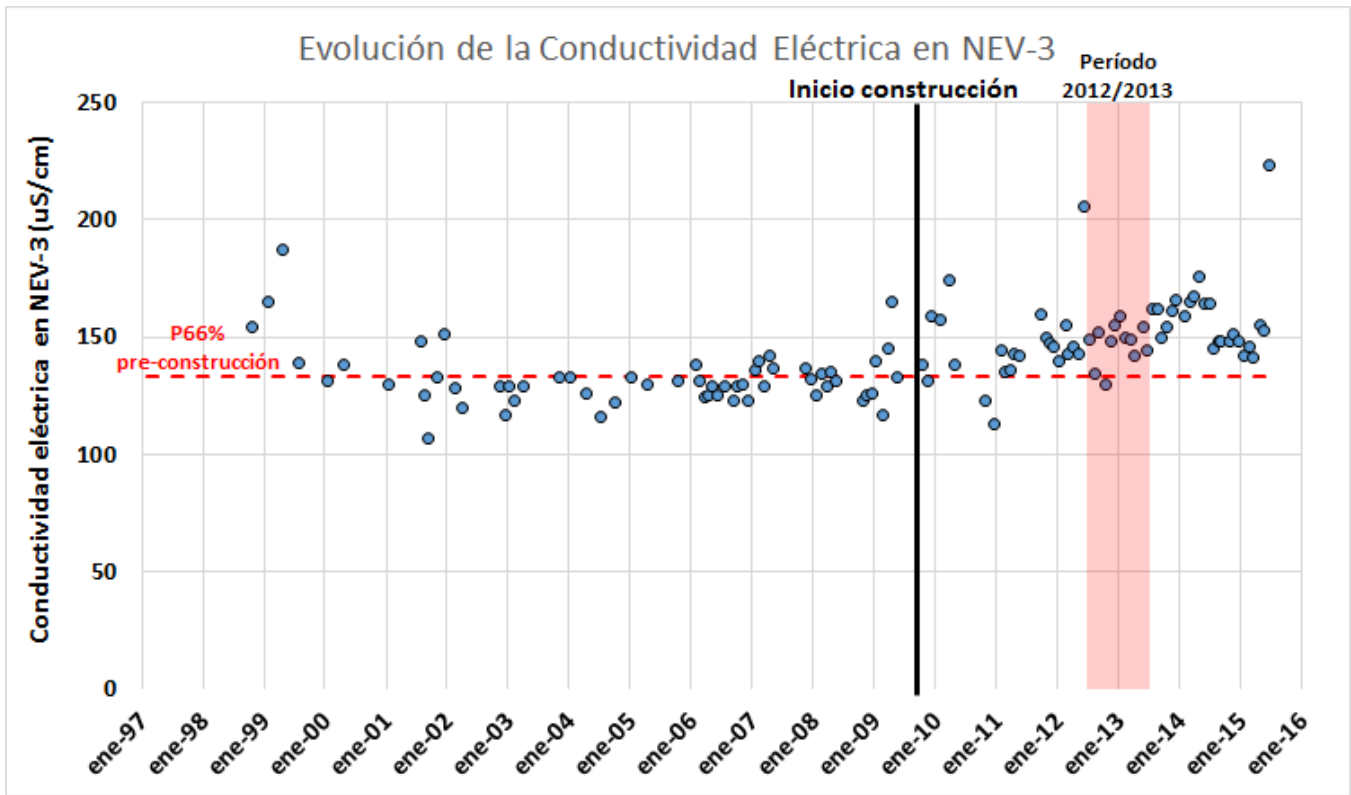


Figura 3. Evolución de la Conductividad Eléctrica (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 3. Análisis estadístico de los datos de Conductividad Eléctrica en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	58	132,7	125,0	130,0	133,0	136,8
Post construcción	59	151,4	143,0	149,0	154,3	159,0
Período 2012/2013	12	147,2	143,5	149,0	150,5	152,5

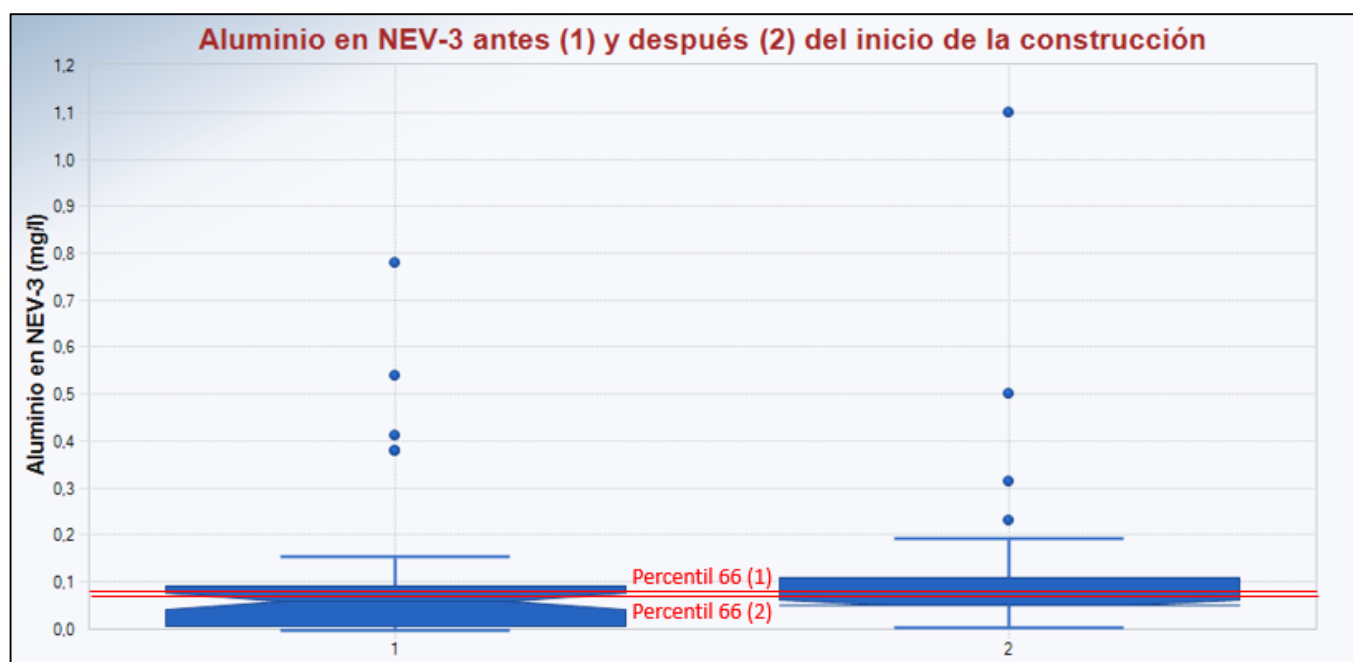
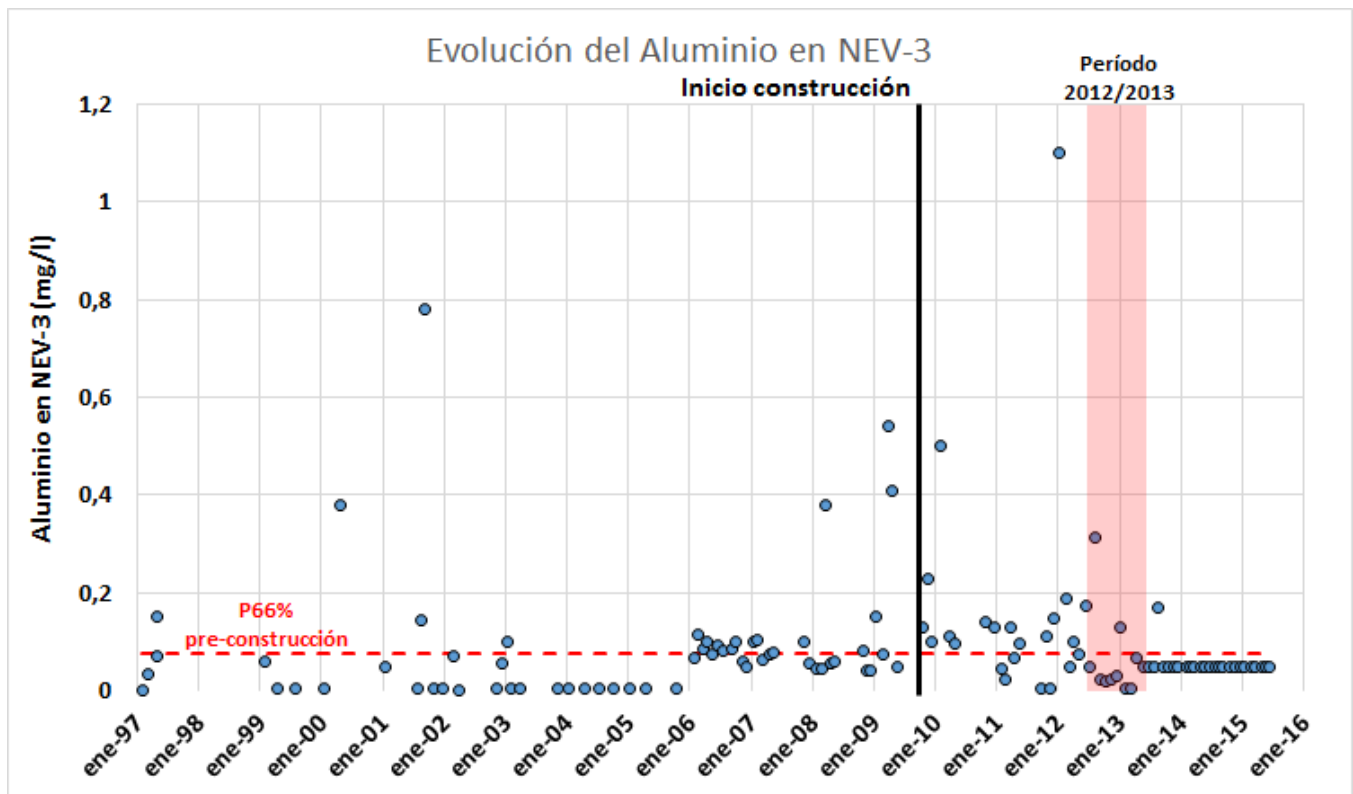


Figura 4. Evolución del Aluminio (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 4. Análisis estadístico de los datos de Aluminio en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	61	0,089	0,005	0,060	0,077	0,092
Post construcción	59	0,099	0,050	0,050	0,069	0,105
Período 2012/2013	12	0,063	0,020	0,038	0,050	0,054

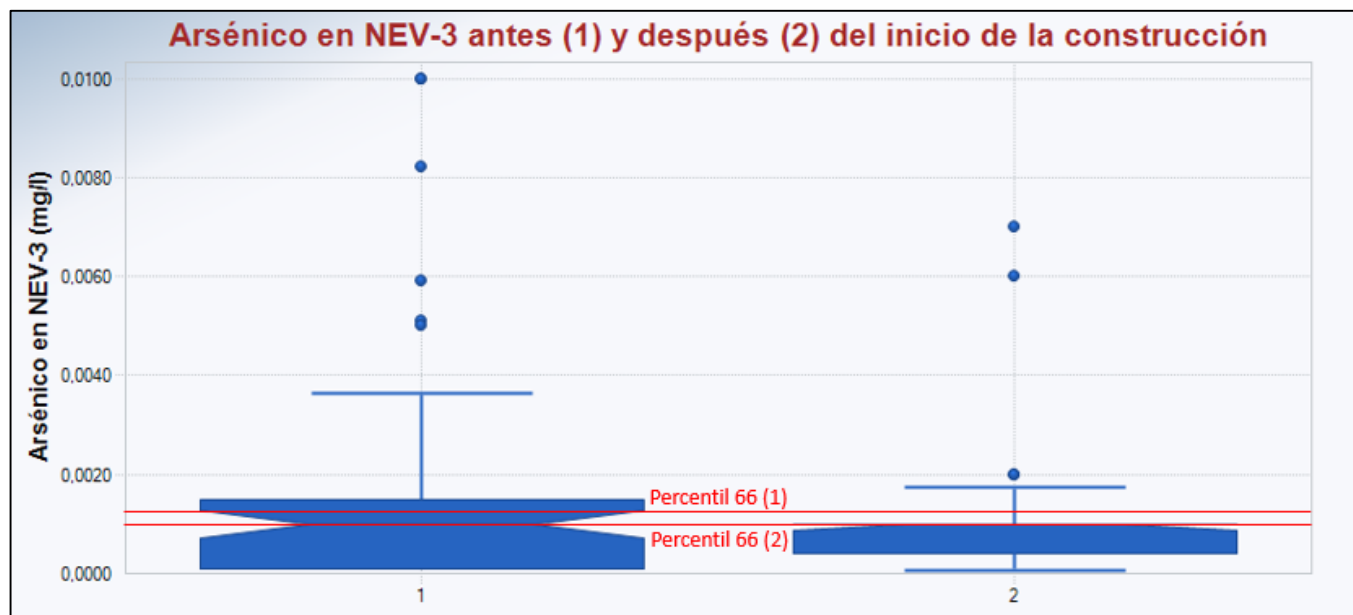
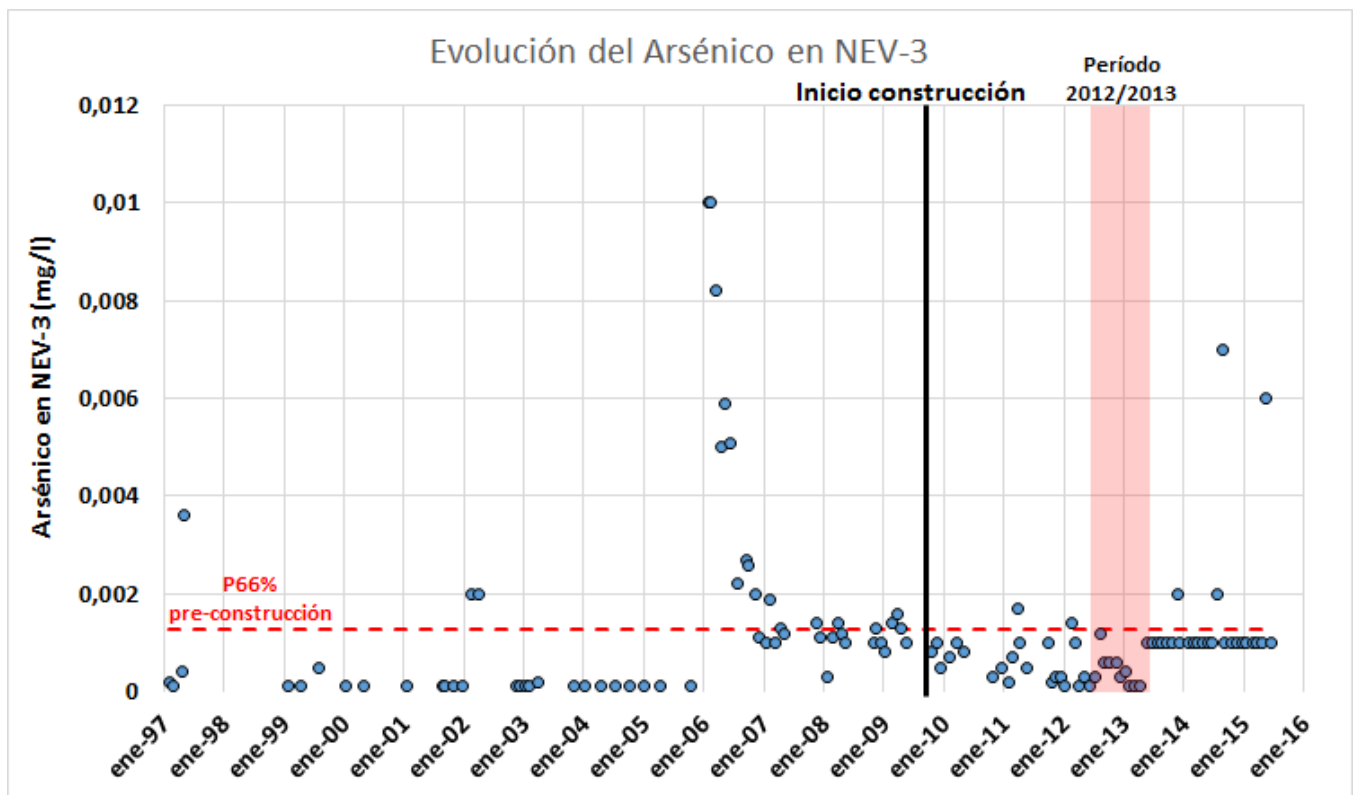


Figura 5. Evolución del Arsénico (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 5. Análisis estadístico de los datos de Arsénico en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	60	0,0015	0,0001	0,0010	0,0013	0,0015
Post construcción	59	0,0010	0,0005	0,0010	0,0010	0,0010
Período 2012/2013	12	0,0005	0,0003	0,0005	0,0006	0,0007

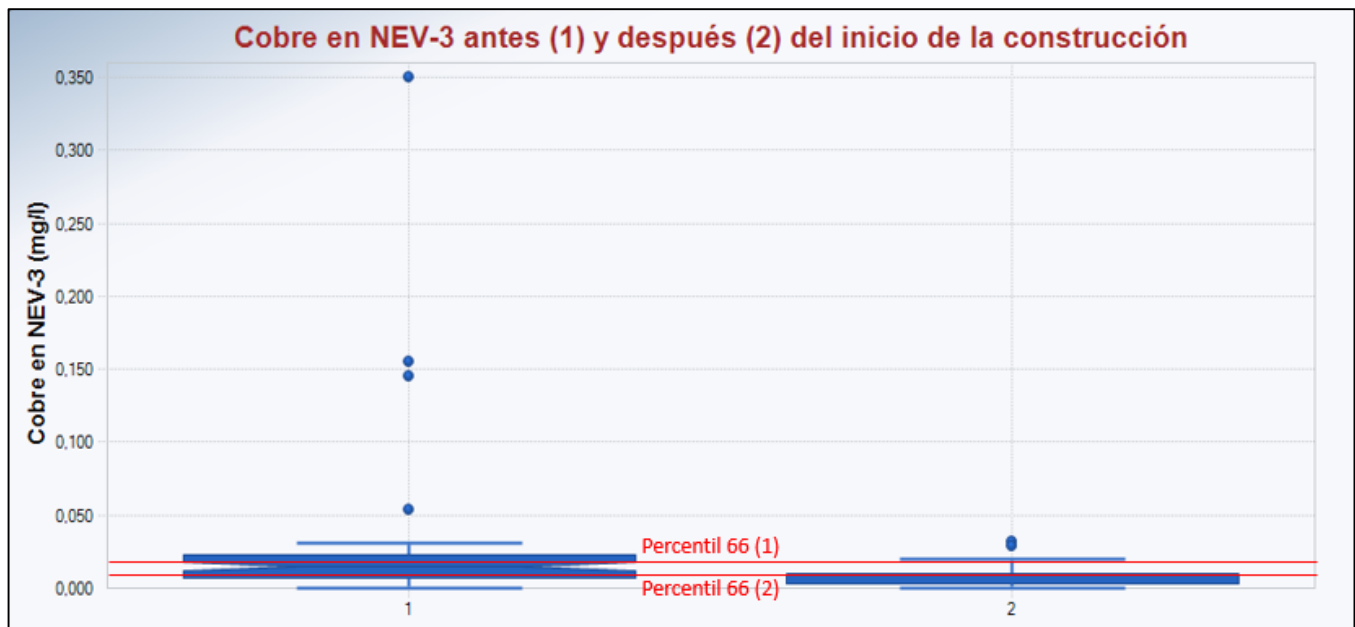
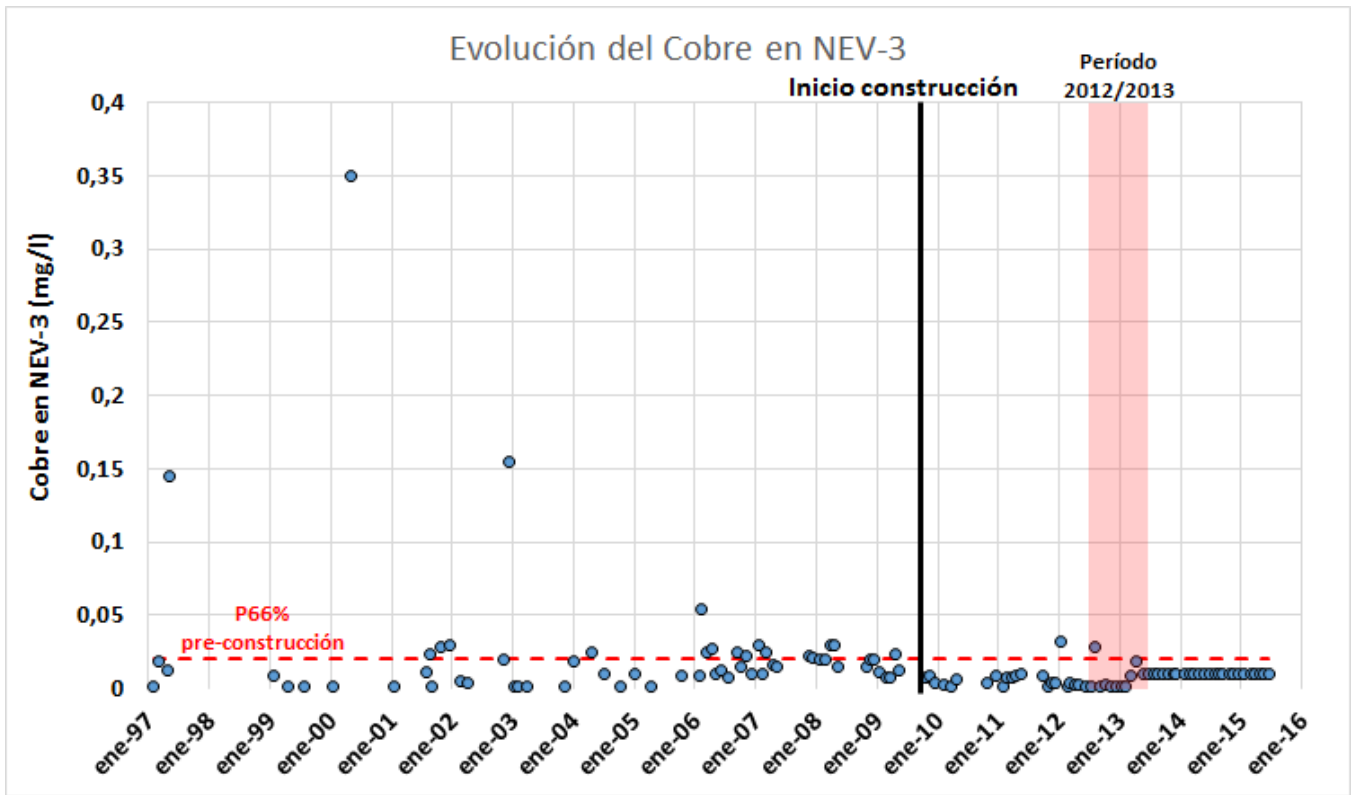


Figura 6. Evolución del Cobre (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 6. Análisis estadístico de los datos de Cobre en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	61	0,024	0,007	0,015	0,020	0,023
Post construcción	59	0,008	0,004	0,010	0,010	0,010
Período 2012/2013	12	0,007	0,001	0,003	0,009	0,010

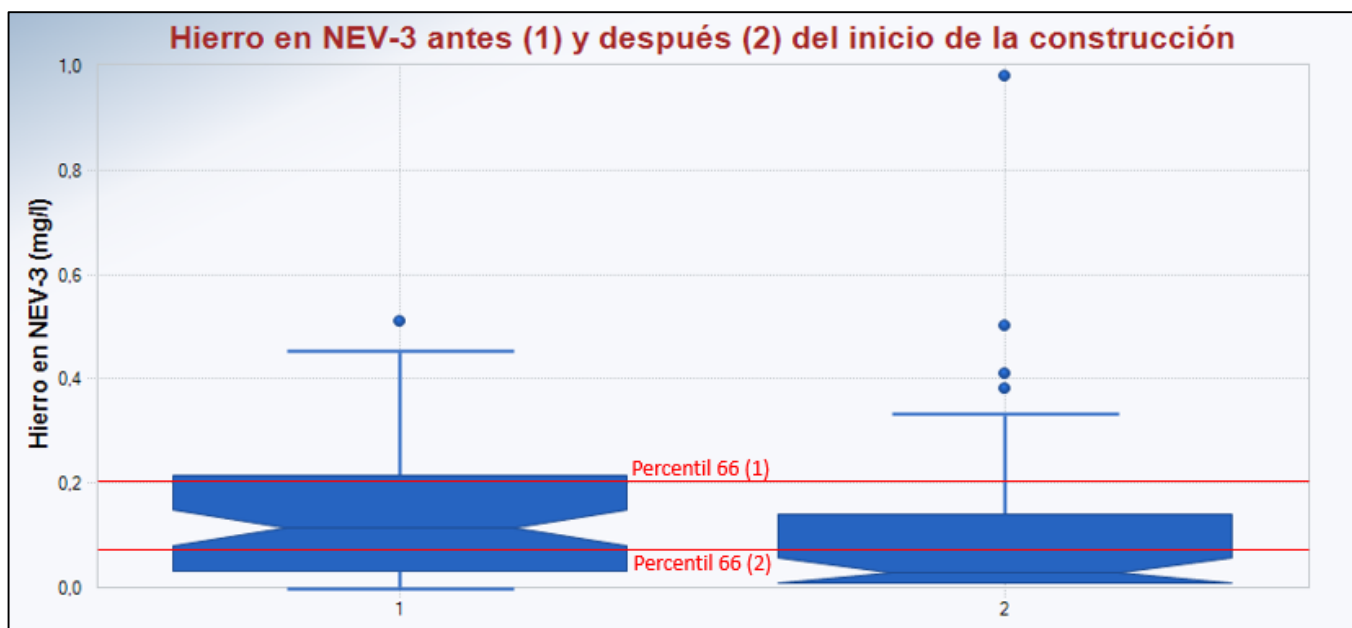
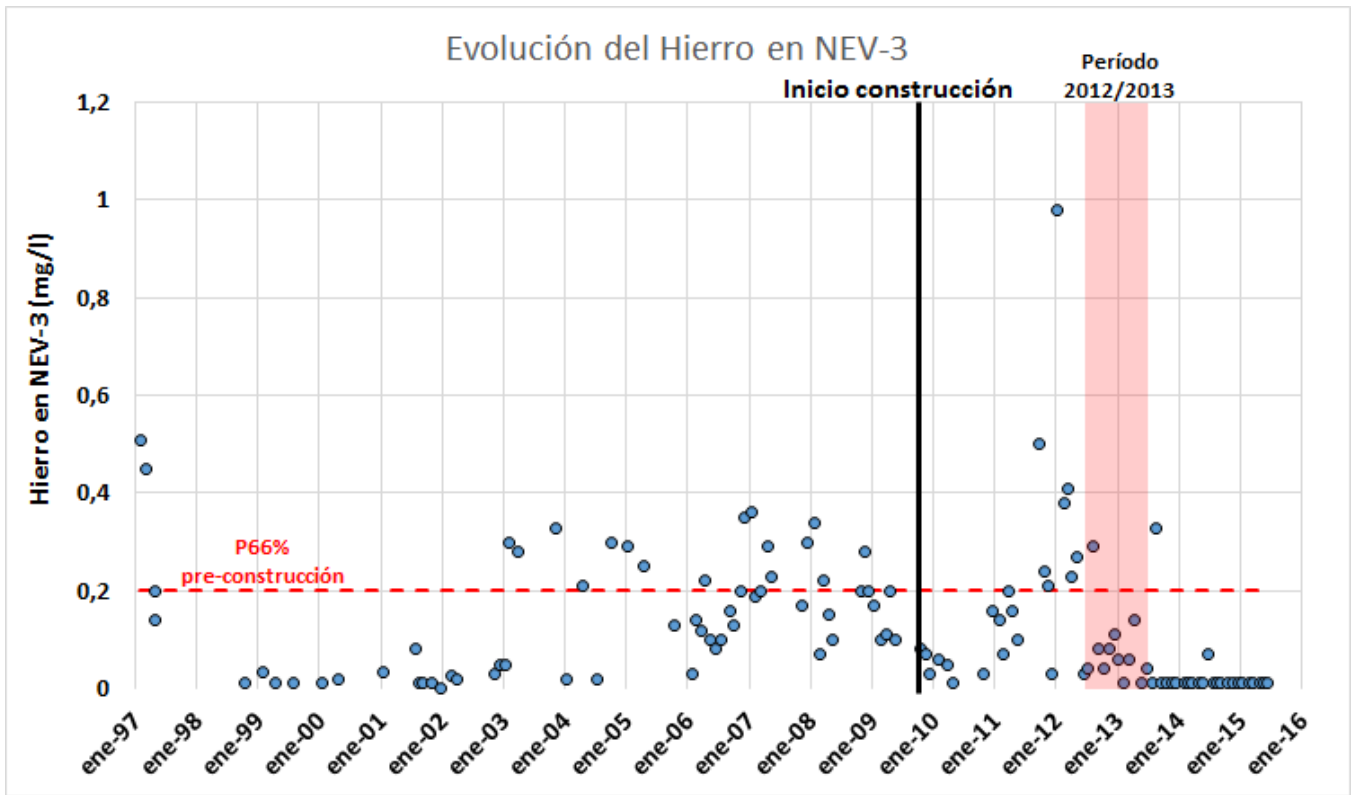


Figura 7. Evolución del Hierro (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 7. Análisis estadístico de los datos de Hierro en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	62	0,153	0,034	0,135	0,200	0,220
Post construcción	59	0,102	0,010	0,040	0,073	0,125
Período 2012/2013	12	0,080	0,040	0,060	0,080	0,088

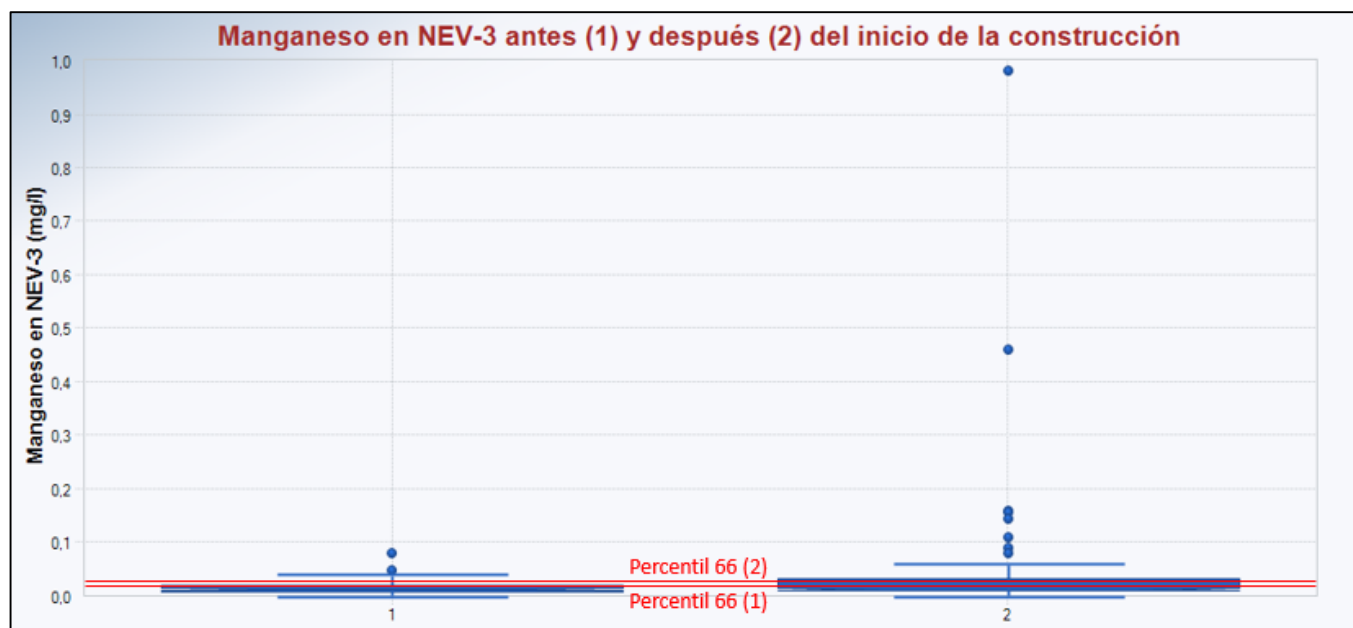
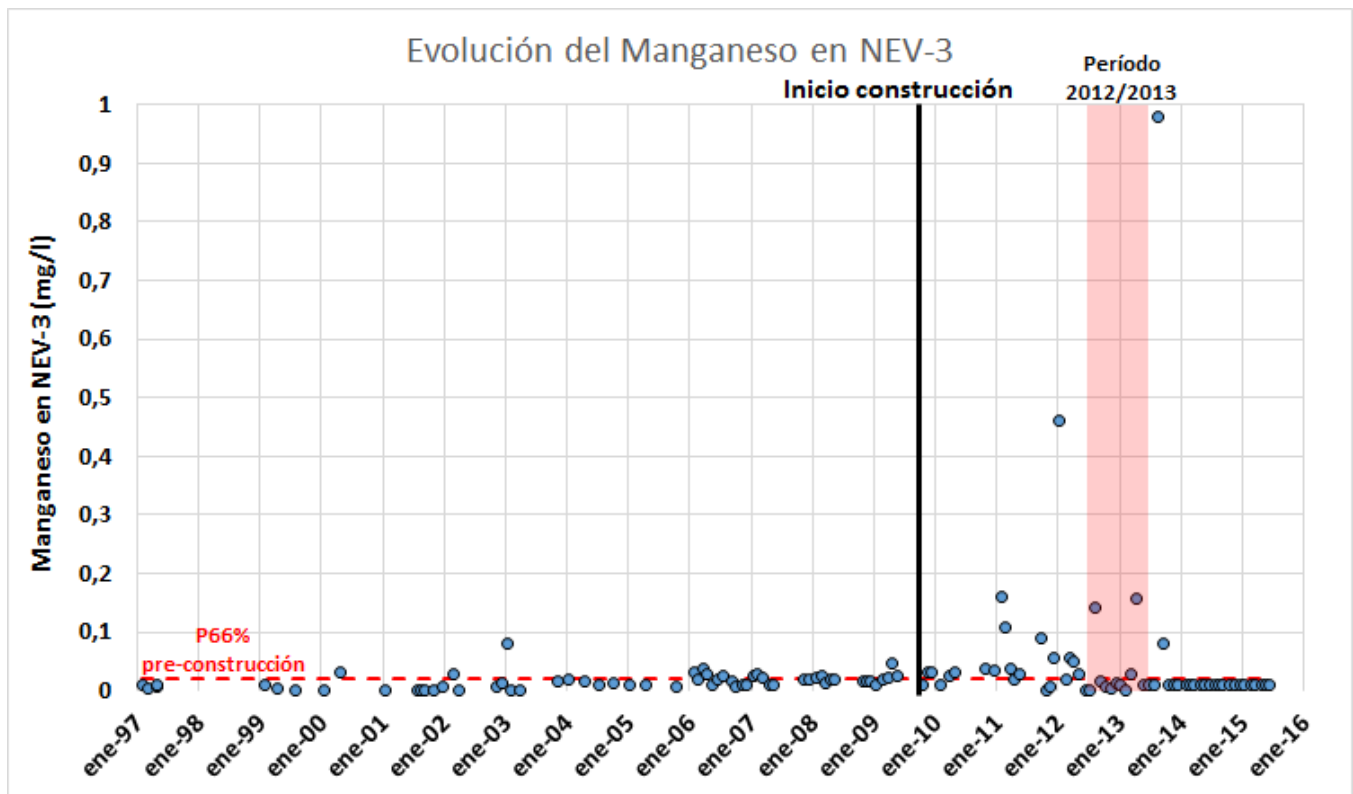


Figura 8. Evolución del Manganeso (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 8. Análisis estadístico de los datos de Manganeso en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	61	0,015	0,007	0,013	0,019	0,020
Post construcción	59	0,051	0,010	0,010	0,026	0,031
Período 2012/2013	12	0,033	0,007	0,010	0,014	0,019

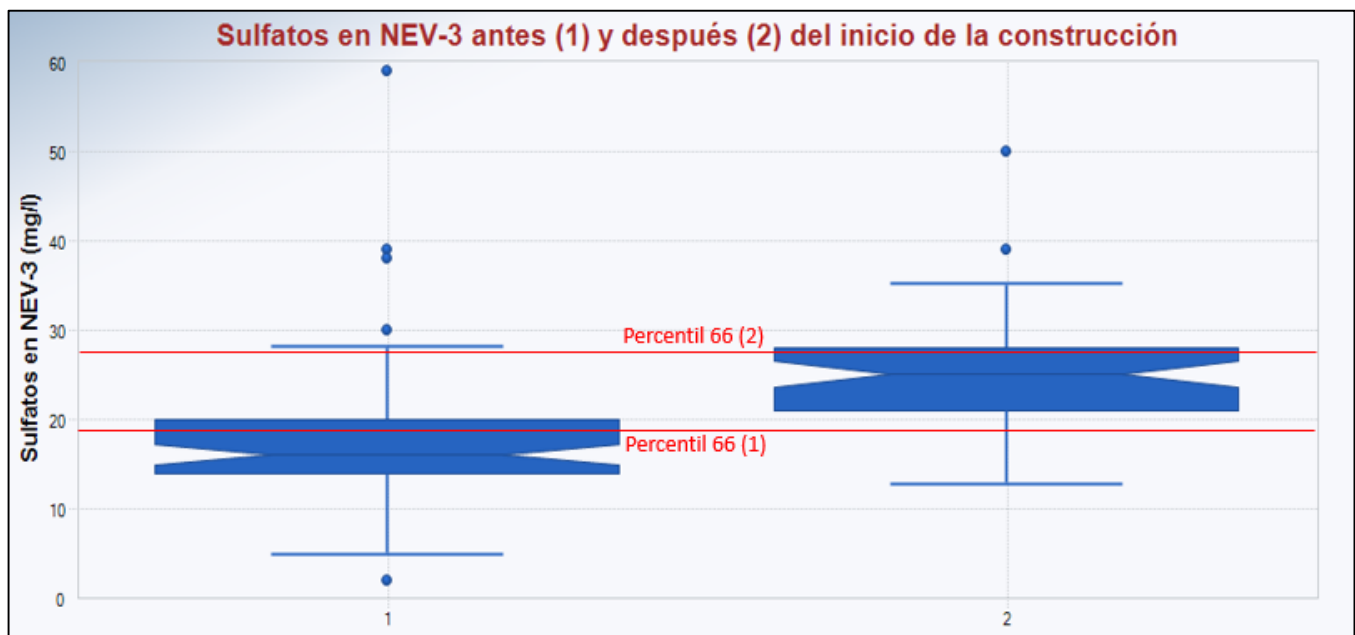
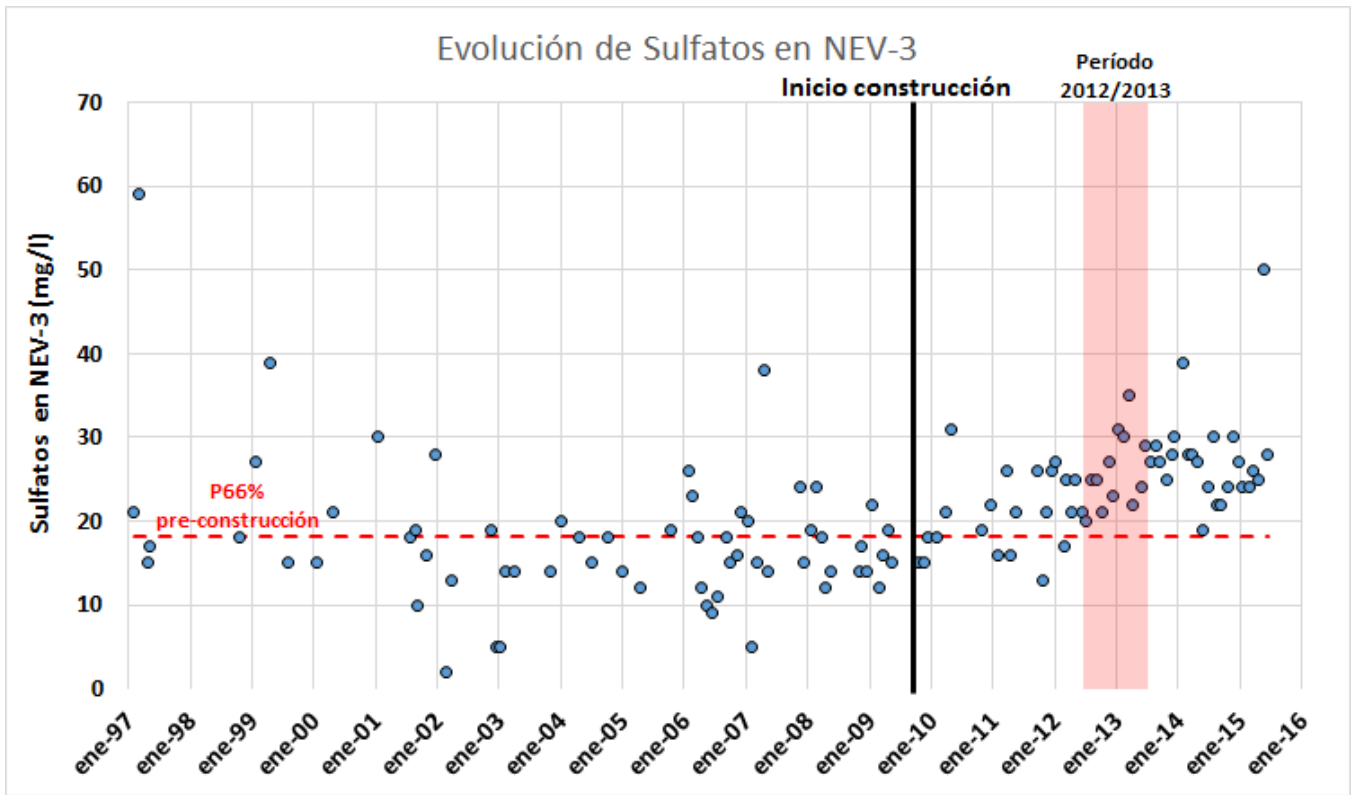


Figura 9. Evolución del Sulfato (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 9. Análisis estadístico de los datos de Sulfato en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	62	17,7	14,0	16,0	18,3	19,8
Post construcción	58	24,7	21,0	25,0	27,0	27,8
Período 2012/2013	12	26,0	22,8	25,0	27,5	29,3

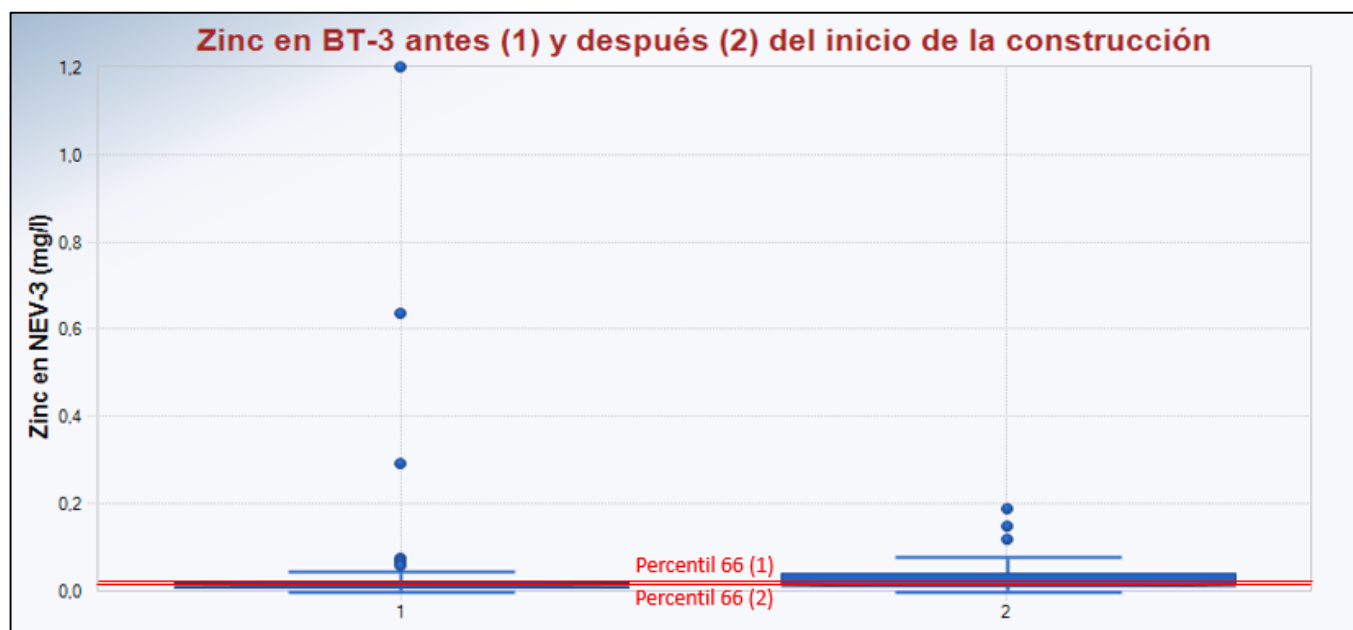
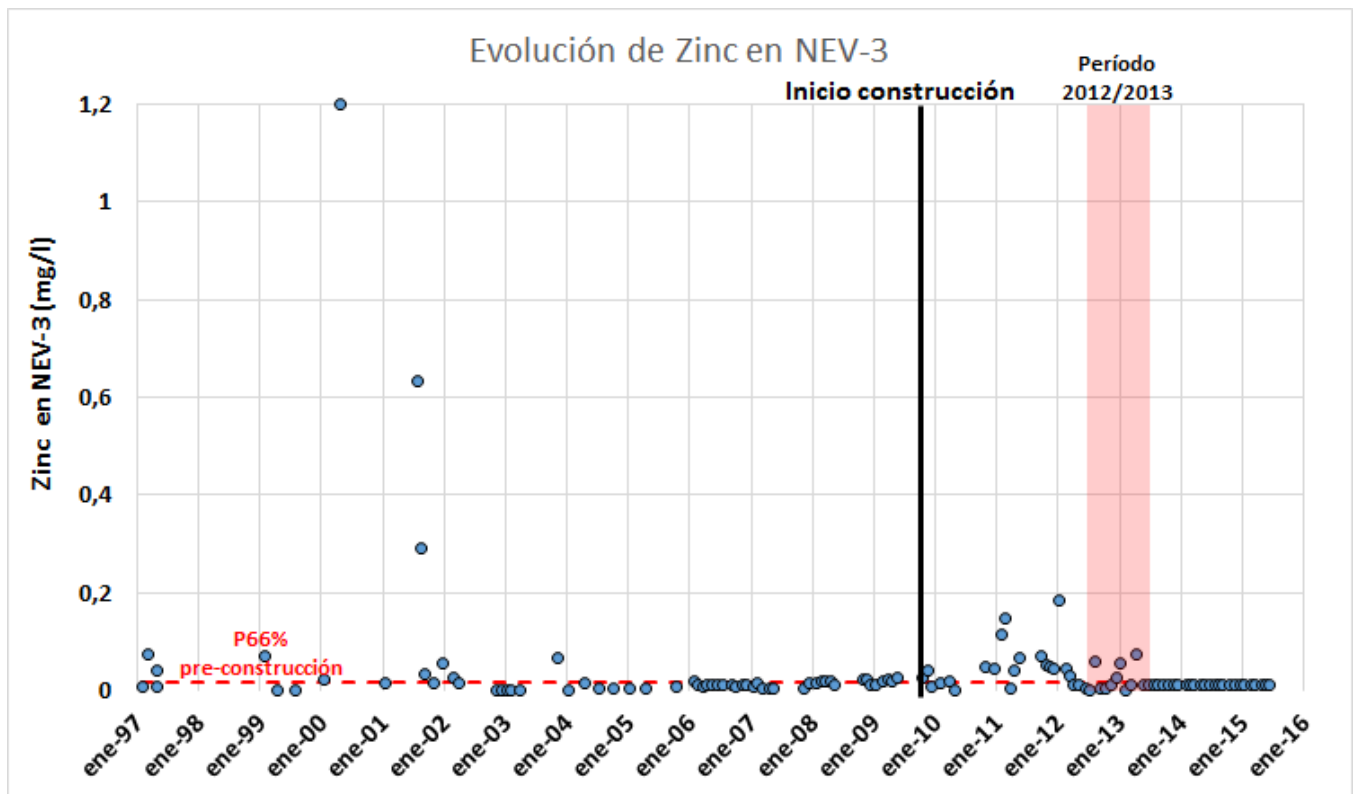


Figura 10. Evolución del Zinc (arriba) y comparación entre situación anterior y posterior al inicio de la construcción del proyecto (abajo) (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

Tabla 10. Análisis estadístico de los datos de Zinc en NEV-3 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 5 del Anexo 6).

	N° Datos	Promedio	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 66	Percentil 75
Previo construcción	61	0,050	0,006	0,012	0,018	0,020
Post construcción	59	0,027	0,010	0,010	0,017	0,041
Período 2012/2013	12	0,023	0,006	0,011	0,017	0,035

ANEXO 7: CCR Y EFECTOS DERIVADOS EN LA CALIDAD DEL AGUA

OBJETIVO: En el presente Anexo se exponen los resultados de la investigación realizada sobre la construcción y operación de la Cámara de Captación y Restitución (CCR), y los efectos derivados de ello en la calidad del agua del río Estrecho.

1. Descripción de la obra

Es importante destacar que la CCR no está autorizada ambientalmente, puesto que no se describe en las autorizaciones ambientales del proyecto (es decir, en la RCA N°39/2001 y la RCA N°24/2006). Sin perjuicio de lo anterior, dicha obra cuenta con la aprobación sectorial del respectivo proyecto de modificación de cauces naturales (Res. DGA III N°163 del fecha 20 de marzo de 2008, incluida en el Anexo 10 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA). Esta autorización se refiere a la CCR como “Obras de Restitución de Cauce a Río del Estrecho” y respecto de ellas se indica que “se construirá en el kilómetro 1,73 de la Tuberla de Drenaje Línea-2, en el punto donde intersectan las coordenadas Norte 6.758.411 y Este 398.199 un cajón de hormigón, que permita disponer en su interior de un sistema de válvulas, que permita restituir los flujos al cauce natural **en caso que las aguas conducidas cumplan con las condiciones ambientales requeridas**” (énfasis agregado). Por otro lado también se debe señalar que, en la Res. Ex. N° 2959, de 22 de septiembre de 2009, de la DGA, autorizó la construcción de obras hidráulicas mayores distintas a la CCR, y sólo se refiere a la CCR para señalar que es una obra que por su naturaleza debe obtener autorización de bocatoma, en los términos del artículo 151 del Código de Aguas.

En el Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA se plasmaron los resultados de las actividades de fiscalización que incluyeron inspecciones en terreno los días 24, 25, 29 y 30 de enero del año 2013. En dichas inspecciones se constató la existencia de una estructura de hormigón diseñada para recibir y distribuir las aguas del sistema de manejo de aguas de contacto, denominada “Cámara de Captación y Restitución” (CCR). El sistema de distribución constaba de dos alternativas, una de ellas consistía en derivar el flujo proveniente del sistema de manejo de aguas de contacto hacia las piscinas de acumulación N°1 y N°2, mientras que la otra alternativa era realizar la descarga directa hacia al río Estrecho (ver Figura 1).

Al momento de la fiscalización, la CCR se encontraba recibiendo las aguas provenientes del sistema de manejo de aguas de contacto (aproximadamente 80 l/s) y descargando directamente hacia el río Estrecho, mediante una canalización revestida en hormigón, como puede apreciarse en las Figuras 2 y 3. Según lo constatado en la misma fiscalización, el sistema de la CCR estaba constituido por:

- Cámara de recepción y derivación hacia Río Estrecho.
- Cámara de sedimentación y derivación hacia Piscinas de Acumulación.
- Sistema de monitoreo en línea de pH y conductividad (Sistema provisorio, según lo indicado por el titular).
- Equipos de monitoreo definitivo, los cuales no se encontraban operativos.
- Compuertas manuales para desviación de agua.
- Descarga hacia Río Estrecho mediante obra de hormigón.

2. Regla operacional de la CCR utilizada por CMNSpA.

Al no estar incluida la CCR en la autorización ambiental, no existe una regla para su operación formalmente establecida. Sin embargo, la regla operacional que utilizaba CMNSpA para esta obra fue explicada por el Sr. Rodolfo Westhoff durante las actividades de fiscalización de enero de 2013 (sus declaraciones constan en el Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA), quien señaló que el funcionamiento normal del sistema consiste en descargar hacia el Río Estrecho en base a la medición y resultados en línea de pH, Conductividad Eléctrica y Caudal, mientras

resultados semanales o quincenales de ensayos de laboratorio de aguas no indiquen una excedencia de los restantes parámetros objetivos de calidad. En caso de generarse excedencias, las aguas se conducían hacia las piscinas de almacenamiento 1 y 2 respectivamente. Esto implica que no se contaba con un método que permitiese conocer la calidad de las aguas afluentes a la CCR al momento de su descarga (los resultados de laboratorio tienen un desfase del orden de semanas), a excepción de los parámetros medidos en línea como el pH y la Conductividad Eléctrica.

Los objetivos de calidad determinados por el Titular se explican en un documento titulado “Cámara Captación Restitución (CCR) Río Estrecho” contenido en el Anexo 9 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA. Dichos objetivos corresponden a los Niveles de Alerta calculados en base al percentil 66, en el punto de monitoreo NE-5, considerando una adaptación metodológica respecto de lo establecido en la RCA N°024/2016. Los valores límites se presentan tanto en la Autodenuncia presentada (Carta PL 0008/2013) como en el documento referido, y se reproducen a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Límites de calidad del agua definidos por el Titular para la descarga desde la CCR al río Estrecho (Fuente: tabla extraída del documento titulado “Cámara Captación Restitución (CCR) Río Estrecho”, contenido en el Anexo 9 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA).

Camara de Captacion y Restitucion			Percentil 66 NE-5
Punto de muestreo	Nombre Quimico	Unidad	
CCR	Aluminio	mg/L	203.8
	Arsénico	mg/L	0.04873
	Cobre	mg/L	7.488
	Conductividad de laboratorio	umhos/cm	3392.06
	Hierro Disuelto	mg/L	24
	Hierro Total	mg/L	46.64
	Manganeso	mg/L	68.76
	pH de Laboratorio	Unidad de pH	3.103
	Sulfatos	mg/L	2613.64
	Zinc	mg/L	38.82

Es de suma importancia recalcar que estos valores difieren de los límites establecidos en base al Considerando 9.8 de la RCA N°24/2006 para el punto NE-5. Estos últimos se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles de Alerta calculados en base al percentil 66, en el punto de monitoreo NE-5, conforme a la metodología establecida en la RCA N°024/2006 (Fuente: Considerando 83° de la sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, causa Rol R-06-2013, del Ilustre Segundo Tribunal Ambiental).

Punto muestreo NE-5	Unidad	Invierno	Primavera	Verano	otoño
pH	unidad de pH	3,8	3,6	3,8	3,8
Conductividad E.	uS/cm	1618	1885	1210	1161
Aluminio	mg/l	80,7	81,2	45,6	36,6
Arsenico	mg/l	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Cobre	mg/l	2	2,1	1,1	1,2
Fierro Dis.	mg/l	2,4	0,9	2	2,7
Fierro Tot.	mg/l	4,6	4,7	3,8	3,3
Manganeso	mg/l	28	31	19,3	18
Sulfato	mg/l	1053	1233	746	712
Zinc	mg/l	13,7	15,1	6,4	8,5

* Invierno incluye los meses de junio, julio y agosto; Primavera incluye los meses de septiembre, octubre y noviembre; Verano incluye los meses de diciembre, enero y febrero; Otoño incluye los meses de marzo, abril y mayo.

Al comparar las dos tablas anteriores, resulta claro que el estándar asumido por el Titular es más laxo que el estándar que se hubiese derivado de una aplicación estricta de lo establecido en el Considerando 9.8 de la RCA N°24/2006. La implicancia más importante de esta diferencia es que, una operación conforme a la regla definida por el Titular, implica que no se pueda dar cumplimiento del estándar de calidad del agua fijado por la RCA para el río Estrecho, aguas abajo de la descarga de la CCR.

3. Temporalidad de la construcción y operación de la CCR

Este aspecto se aborda en detalle en el numeral 5.5 del Anexo 3. Sin perjuicio de ello, se destacan a continuación los principales aspectos que son relevantes a efectos del análisis que se realiza en el presente anexo:

- La CCR inició su construcción en septiembre del año 2011 y quedó operativa en marzo del año 2012.
- A mediados de abril de 2012 fue instrumentalizada de manera que, cuando iniciara el prestripping (mayo de 2012), pudiera captar y manejar el agua de contacto proveniente del sistema cortafugas.
- Con fecha 2 de diciembre de 2013, CMNSpA dio la instrucción operacional de cesar toda restitución al río Estrecho desde la CCR, con lo cual todas las aguas captadas serían conducidas en su totalidad e independiente de su calidad a las piscinas de acumulación, siendo la obra sellada definitivamente el 15 de enero de 2015.
- Teniendo presente lo indicado en los dos puntos anteriores, se puede establecer que el período de operación de la CCR comenzó en mayo de 2012 y finalizó el 02 de diciembre de 2013¹.
- Existen distintas fuentes de información que se refieren a las descargas que realizó la CCR al río Estrecho durante el tiempo que estuvo operativa, y que no son concordantes entre sí². Sin perjuicio de lo anterior, la información más completa acerca de la operación de la CCR es aquella que fue entregada en la Carta PL-036/2017, que incluye además los datos de caudal a nivel diario medidos en dicha obra.
- Al analizar los datos contenidos en la Carta PL-036/2017, se desprende que entre el 30 de mayo de 2012 y el 02 de diciembre de 2013 la CCR manejó un volumen de 2.770.773 m³, de los cuales un 7,7% fue conducido a las piscinas y un 92,3% descargado al río Estrecho. Se aprecia también que esta descarga directa ocurrió principalmente durante el año 2013 (ver Figura 4). En efecto, los datos indican que el volumen descargado desde la CCR al río Estrecho, durante dicho año, representa el 99,8% del total conducido a través de la CCR (es decir, durante el año 2013 prácticamente la totalidad del agua manejada en la CCR fue descargada directamente hacia el río Estrecho).

4. Estaciones idóneas para el monitoreo de los efectos derivados de la CCR

En primer lugar cabe hacer notar que la descarga de la CCR hacia el río Estrecho ocurrió entre las estaciones de monitoreo NE-5 y NE-2A. De esta forma, y tal como quedó establecido en el Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA, las aguas descargadas desde la CCR y las afloradas del Río Estrecho se unían aguas abajo de la estación de monitoreo NE-5 y se monitoreaban mediante la estación NE-2A (ver Figura 5).

En función de lo anterior, los efectos inducidos por la descarga directa desde la CCR son susceptibles de alterar la calidad del agua en NE-2A, y consecuentemente también la relación que existe entre la calidad del agua de los puntos NE-5 y NE-2A.

Respecto del punto NE-5 es necesario aclarar una situación. En el “Informe de registro online de los puntos de monitoreo de Niveles de Alerta de calidad del agua – Período octubre 2012 a enero 2013” (disponible en el Anexo 7 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA), se explica lo siguiente respecto de esta estación de monitoreo:

“El aforador del punto NE-5 fue instalado en el mes de noviembre del año 2001 funcionando desde dicho entonces. Sin perjuicio de lo anterior, en el mes de febrero del año 2012, se produjo un aluvión que aterró por completo el aforador instalado, impidiendo de esa forma la toma de datos relativos a la calidad y cantidad de las aguas en dicho punto. Por su parte, el mismo evento climatológico generó una desviación del cauce, produciendo que el río quedara pasando por otra zona, evadiendo el aforador instalado.

Frente a esta situación, durante los meses posteriores, CMN procedió a la limpieza y reencauzamiento del río. Sin embargo, antes de lograr terminar estos trabajos, durante el mes de mayo se produjo la primera

¹ Existe información que prueba que existieron descargas desde la CCR al río Estrecho previo al inicio del prestripping, sin embargo, no se cuenta con mayor información respecto del momento en que ocurrieron ni de su magnitud.

² Esta situación se aborda en detalle en el numeral 5.5 del Anexo 3, en el cual se compara la información entregada por CMNSpA en la Carta PL-036/2017, en los Flash Reports, y la que se encuentra disponible en el Anexo 7 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA y en el Informe Técnico DARH DGA Región de Atacama N°22, del 24/04/2012.

nevada, situación que impidió el acceso a la zona del aforador, obligándonos a detener los trabajos de limpieza y reencauzamiento.

Finalizado el invierno, y por tanto, contando ya con la posibilidad de acceder a la estación NE-5, de inmediato se retomaron los trabajos de rehabilitación. Al terminar de realizar los trabajos antes señalados, se descubrió que gran parte de la estación de aforo había resultado dañada de manera considerable.

Dentro de los daños que sufrió, se encuentra la erosión del fondo del aforo, la que sumada al bajo flujo existente durante el último trimestre del año, impidió el ingreso del agua a la cámara donde están instalados los sensores de medición. Por este motivo, no se cuenta con mediciones en línea en la estación NE-5. A la fecha, el aforador de la estación NE-5 se encuentra en proceso de reparación.

Sin perjuicio de lo anterior, sabiendo la relevancia que tiene el monitoreo de los parámetros de calidad de agua en este punto, y siguiendo lo establecido en la RCA N° 024/2006, CMN ha mantenido los monitoreos manuales en dicho lugar, validando dichos resultados con pruebas de laboratorio. Lo anterior, aplica a todos los puntos comprometidos con la autoridad (48)" (énfasis agregado).

Para cotejar lo indicado por el Titular se realizó un análisis temporal con imágenes satelitales de alta resolución tomadas durante los años 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014³. Las imágenes con su respectiva interpretación se incluyen en el Apéndice 7-1. Del análisis se concluye, entre otros, que:

- Existió una intervención previa del cauce entre marzo de 2007 y marzo de 2008.
- Desde el año 2010 que la estación NE-5 no necesariamente permite cuantificar la totalidad del caudal del río Estrecho, puesto que el río se divide en varios cursos, algunos de los cuales no pasan a través de la estación de monitoreo.
- En la imagen de diciembre de 2012 se observa una intervención del cauce, en que parte del caudal fue canalizado hacia NE-5 previo paso por cuatro estructuras tipo piscinas, mientras que otra parte fue desviado y pasa al norte de la estación, sin ser cuantificado (esto incluye las descargas provenientes de la CCR).

Posteriormente, en su Carta PL-036/2017 el mismo Titular señaló que *"la estación NE-5 dispone de información de sensores en línea, pero estos datos no son en general correctos debido al pequeño nivel de agua en dicho sector y al continuo congelamiento del agua que escurre"*. Independiente de los hechos ocurridos durante el año 2012, esta situación de bajo flujo en NE-5 era previsible ya que, tal como ya se anunciaba en el Anexo II-D-2 del Adenda N°2 del procedimiento de evaluación ambiental *"las condiciones de este lugar de monitoreo cambiarán significativamente, una vez construido el muro de contención. Se espera una drástica reducción de los caudales en este punto, porque la existencia del muro y de los canales perimetrales se traduce en una disminución de la superficie aportante"*.

Considerando todo lo anterior, es posible concluir que las mediciones de caudal reportadas por la estación NE-5 son representativas del caudal que fluye por el río Estrecho hasta el año 2009 (incluido). Pese a esta situación que afectó el caudal en NE-5, el Titular explicó que ha mantenido monitoreos manuales de calidad del agua en dicho lugar, los cuales ha validado mediante pruebas de laboratorio. A la luz de las imágenes satelitales, se valida también lo indicado en el Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA, en cuanto a que la primera estación que recibe los aportes de la CCR es NE-2A.

5. Efectos derivados de la construcción de la CCR

La construcción de la CCR consistió básicamente en la realización de movimiento de tierra, instalación de concreto, y habilitación (terminaciones y equipamiento). Es importante destacar que la construcción de la CCR ocurrió de forma contemporánea con la construcción de una serie de otras obras que intervinieron significativamente las nacientes del río Estrecho (algunas de gran magnitud, como el muro cortafuga), por lo que en la práctica no resulta posible diferenciar los efectos en la calidad del agua que podrían haberse derivado de la construcción de esta obra

³ Estas imágenes fueron remitidas por el Titular en su Carta PL-036/2017, en respuesta a la solicitud emanada de la Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N°199, del 20 de marzo de 2017.

en particular, si es que existieron, de las otras obras que intervinieron las nacientes del río Estrecho. Esta situación puede apreciarse al analizar la serie de imágenes satelitales que se presentan en el Apéndice 7-1.

6. Efectos derivados de la operación de la CCR

Como ya se detalló en el numeral 3 del presente Anexo, la descarga directa desde la CCR al río Estrecho ocurrió principalmente durante el año 2013. Es por ello que el análisis que se presenta a continuación se centra en dicho año.

6.1. Análisis de caudales en NE-5, CCR y NE-2A

En la Figura 6 se muestran los datos de caudal medidos en línea en la CCR durante el año 2013 (promedio diario), y que fueron informados por el Titular mediante Carta PL-036/2017. Si se hace un promedio de los datos a nivel mensual, se obtienen los caudales medios mensuales que se muestran en la Figura 7.

En el numeral 4 del presente Anexo se analizó la representatividad de la estación de monitoreo NE-5, concluyéndose que desde el año 2010 los caudales medidos no son representativos de la condición del río Estrecho en esa sección. Es por ello que se recurrió a un análisis histórico, para cuantificar aproximadamente el rango de caudales que podría haber escurrido durante el año 2013 en dicha sección del río. Al comparar los registros históricos en NE-5 (hasta el año 2009) con el caudal descargado por la CCR al río Estrecho durante el año 2013, se observa que las descargas de la CCR generaron un flujo superior al que habría llevado el río Estrecho en NE-5 entre enero y junio de 2013, y un flujo del mismo orden el resto del año (ver Figura 8). Es importante destacar que este ejercicio sobreestima los caudales que pueden haber circulado el año 2013 por NE-5, puesto que el muro cortafuga y los canales perimetrales desvían parte del agua que naturalmente circulaba por esa sección del río, por lo que el caudal debió haber sido menor. De esta forma, se espera que la diferencia real entre el caudal descargado por la CCR, y el caudal que efectivamente tenía río Estrecho en NE-5, sea aun mayor.

Respecto de la estación NE-2A, se cuenta con datos mensuales para el año 2013, además de datos en línea (incompletos) que permiten generar promedios mensuales para algunos meses en que hay disponibilidad de datos. Si se comparan los caudales mensuales en NE-2A utilizando las dos fuentes anteriores, con los datos mensuales de las descargas realizadas desde la CCR, se obtiene la Figura 9. En ella se puede observar que el caudal descargado desde la CCR al río Estrecho es de una magnitud superior al medido en NE-2A durante enero, febrero y marzo, de una magnitud comparable durante abril, mayo y junio, y de una magnitud inferior el resto de los meses.

Por otra parte, se cuenta con una fuente adicional de datos diarios de caudal medidos en la CCR y en NE-2A, los cuales fueron remitidos por el Titular mediante Carta PL-0052/2013, y abarcan desde el 04 de febrero hasta el 03 de marzo de 2013. Si se comparan ambas mediciones con las informadas mediante Carta PL-036/2017, es posible observar que hay una inconsistencia en los valores de caudal informados para la CCR (ver Figura 10). Mientras que el caudal informado para la CCR en la Carta PL-0052 es muy similar (en magnitud y tendencia) al medido en NE-2A, el caudal informado para la CCR en la Carta PL-036 resulta en general muy superior a los anteriores (hasta 4 veces).

A la luz de lo expuesto, queda en evidencia que **los caudales descargados desde la CCR son de una magnitud superior a los medidos en la estación NE-5, y de una magnitud al menos comparable a los caudales medidos en la estación NE-2A**. Siendo así, es esperable que el efecto generado por las descargas sea medible en NE-2A, sin que exista un efecto de dilución importante que lo pueda enmascarar.

6.2. Evaluación de la regla operacional en la CCR

En las Figuras 11, 12 y 13 se presentan los resultados de las mediciones de pH, C.E. y Sulfato realizados por el Titular en la CCR durante el año 2013. Se utilizaron distintas fuentes para construir los gráficos, a saber:

- Datos de mediciones puntuales de pH y C.E. realizadas día a día, informadas por el Titular en su Carta PL-0052/2013. Los datos van entre el día 04 de febrero y 03 de marzo de 2013.

- Datos de mediciones en línea de pH y C.E. que se realizan en la CCR, informadas por el Titular en su Carta PL-036/2017. Los datos consisten en el promedio diario de las mediciones realizadas por los equipos en línea.
- Datos de la concentración de sulfato medida puntualmente en la CCR en ciertos días. Los datos fueron informados por el Titular en su Carta PL-034/2016.

Los resultados muestran que aplicando correctamente la regla operacional para la descarga, en base al Nivel de Alerta para la estación NE-5, calculado de acuerdo a lo establecido en el Considerando 9.8 de la RCA N°24/2006, no se dio cumplimiento a dicho límite de descarga. Esto se deriva del hecho que el Titular adoptó un límite de descarga más laxo, al aplicar una adaptación metodológica respecto de lo dispuesto en la RCA.

En efecto, el promedio mensual de la Conductividad Eléctrica superó el límite correspondiente en todos los meses del año, mientras que el sulfato lo superó en todos los meses salvo enero, y el pH entre mayo y diciembre. Si se consideran además los datos diarios o mediciones puntuales, es posible concluir que al aplicar correctamente la regla operacional definida por CMNSpA, la CCR no debería haber descargado en ningún momento del año.

Lo anterior implica que la calidad del agua descargada desde la CCR, al tener valores superiores a los establecidos como línea de base, es susceptible de generar un deterioro en la calidad del agua natural del río Estrecho en su cabecera.

6.3. Efectos en la calidad del agua medidos en NE-2A

Para identificar los aportes que puedan influir en la calidad del agua entre los puntos NE-5 y NE-2A se debe tener en cuenta, por una parte, los aportes que provienen desde aguas arribas y se incorporan en la sección donde se ubica NE-5 y, por otra, los aportes que se incorporan en el tramo entre ambos puntos.

Teniendo presente el modelo conceptual (ver Anexo 4), las obras del sistema de manejo de aguas (ver Anexo 3) y las imágenes satelitales (ver Apéndice 7-1), es posible construir esquemáticamente un diagrama con los distintos flujos que condicionan la dinámica entre NE-5 y NE-2A. El diagrama se presenta en la Figura 14, y de él se desprende lo siguiente:

- El punto NE-5 recoge los afloramientos de aguas subterráneas que dan origen al río Estrecho. La calidad del agua medida en esta estación es indicativa entonces del nacimiento del río Estrecho, que puede o no estar influenciado por las obras que se ubican aguas arriba.
- Entre NE-5 y NE-2A existen 4 obras que pueden incorporar flujos al río. Estas son la CCR (descarga de aguas de contacto), el sedimentador norte y sedimentador sur (aguas no contactadas provenientes de los canales perimetrales), y las piscinas de almacenamiento de aguas de contacto (cuentan con un rebalse que puede verter hacia el río). Dado que no existen antecedentes de que las piscinas hayan descargado, solo se considerará la contribución de las descargas desde los sedimentadores y desde la CCR.
- Entre NE-5 y NE-2A existen aportes naturales que se originan en las laderas y cuencas laterales, los cuales drenan hacia el río Estrecho, ya sea superficial o subterráneamente.

En función de lo anterior, queda en evidencia que la única obra susceptible de incorporar aguas del sistema de manejo de aguas de contacto entre NE-5 y NE-2A, es la CCR. Esto plantea dos escenarios posibles:

Escenario 1: Cuando no existen descargas desde la CCR, se incorporan entre NE-5 y NE-2A únicamente flujos de aguas no contactadas de buena calidad, provenientes de los canales perimetrales y de quebrada La Olla. Es así como se produce una dilución de las aguas de mala calidad que afloran naturalmente en NE-5, lo que redundaría en una mejor calidad en NE-2A en comparación con NE-5.

Escenario 2: Si existen descargas desde la CCR, se incorpora entre NE-5 y NE-2A un flujo de aguas de mala calidad provenientes del sistema de manejo de aguas de contacto, el cual se mezcla con los aportes de aguas no contactadas provenientes de los canales perimetrales, para dar como resultado la calidad en NE-2A. En caso de que predominen los aportes de aguas no contactadas, la calidad del agua en NE-2A seguirá siendo mejor que en NE-5. Por el contrario, si las descargas desde la CCR predominan por sobre los aportes de aguas no contactadas, se perderá la capacidad natural de dilución, y la calidad del agua en NE-2A podría ser incluso peor que en NE-5.

Para evaluar la ocurrencia de los escenarios indicados se comparó la calidad del agua en NE-5 y NE-2A, considerando los parámetros DAR y todos los datos de seguimiento ambiental disponibles entre el año 1996 y junio del año 2015. Es importante destacar que junio de 2015 es el último mes en que el Titular reportó de forma continua información de los parámetros DAR en las estaciones NE-5 y NE-2A, por lo que este análisis incorpora todo el registro de datos que presenta continuidad temporal. Los resultados se aprecian en las Figuras 15 a la 23, en la cuales se observa que el comportamiento de la calidad del agua durante el año 2013 es marcadamente distinto al del resto de los años. En particular, se observa que la tendencia “normal” en la que la calidad del agua es mejor en NE-2A que en NE-5 (escenario I) se invierte, y configura la ocurrencia del escenario II. Esto es válido para todos los meses del año 2013, salvo para enero y octubre. En cuanto a los parámetros DAR, el efecto es particularmente notorio para el pH, Conductividad Eléctrica, Aluminio, Cobre, Manganeso, Sulfato y Zinc. En el caso del Arsénico y el Hierro el efecto es menos claro, puesto que existe una mayor dispersión de datos.

Por lo demás, si se analizan los resultados de las mediciones de calidad realizadas en la CCR incluyendo todos los parámetros DAR (constan en el Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA), queda en evidencia que el agua conducida por la CCR contiene elevados niveles de todos estos parámetros, que pueden exceder los valores de línea de base en NE-5, y con mayor razón en NE-2A (ver Figura N°12 del DFZ-2013-63-III-RCA-IA). Esto permite explicar el aumento que inducen las descargas desde la CCR en las concentraciones medidas en el río Estrecho, para todos los parámetros DAR.

Es importante destacar que los datos utilizados corresponden al período 1996-2015 (hasta junio), por lo que no solo incluyen el rango de línea de base (hasta septiembre 2009), sino que también prácticamente seis años de ejecución del proyecto. De esta forma, los resultados deben interpretarse en el sentido de que **el año 2013 no solo fue un año con un comportamiento distinto al de línea de base, sino que también representa una situación particular en el marco de la ejecución del proyecto que, tal como se expuso, corresponde a la realización de descargas directas al río Estrecho desde la CCR.**

En este punto es importante recalcar también que los datos de calidad del agua reportados en el marco del seguimiento ambiental constan de un muestreo por mes. Es decir, los datos no son representativos de la condición general de cada mes, sino que de un día en particular del mes en que se llevó a cabo el muestreo. En el caso de las descargas realizadas desde la CCR se cuenta con información a nivel diario, por lo cual se puede conocer la magnitud de la descarga que se realizó durante el día del mes en que se tomó la muestra para los análisis de calidad del agua en NE-2A. Este ejercicio se realizó para cada mes del período en que pudieron haber descargas directas desde la CCR, lo cual se aprecia en la Figura 24. Del análisis de la figura se observa que en ninguno de los meses analizados del año 2012 coincidió la fecha de muestreo con algún día en que se realizaron descargas. Es por esta razón que los muestreos del año 2012 no permiten evidenciar algún efecto derivado de las referidas descargas, que además fueron puntuales y de baja magnitud (salvo para el mes de julio). En cuanto al año 2013, la muestra del mes de enero fue tomada 15 días antes de que se iniciaran las descargas desde la CCR, hecho que permite explicar por qué en dicho mes no se detectó una alteración en la calidad del agua en NE-2A⁴. Por el contrario, en el mes de diciembre solo existieron descargas desde la CCR durante los primeros dos días, pero dado que la muestra fue tomada el primer día, los resultados consistentemente muestran una alteración en la calidad del agua en NE-2A. Para el resto de los meses existió una descarga continua durante todos los días, por lo que los resultados del muestreo reflejan el efecto de las descargas desde la CCR, salvo en octubre. Analizada la información disponible, no resulta posible explicar la diferencia en el comportamiento medido en NE-2A para este último mes en particular.

La situación anterior da cuenta de que efectivamente las descargas realizadas al río Estrecho desde la CCR alteraron la calidad del agua, lo cual se refleja en un aumento en los valores de los parámetros DAR (disminución en el caso del pH) medidos en la estación NE-2A.

⁴ Tal como se indicó más arriba, existen distintas fuentes de información que se refieren a las descargas que realizó la CCR al río Estrecho durante el tiempo que estuvo operativa, y que no son concordantes entre sí. Es así como en los Flash Reports consta que se realizaron descargas directas al río Estrecho durante los días 9 y 10 de enero de 2013, mientras que en el Anexo 7 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA consta que ello habría ocurrido desde día 10 del mismo mes en adelante. En cualquier caso, las distintas fuentes de información apuntan a que no se realizaron descargas al río Estrecho durante el día en que se llevó a cabo el monitoreo mensual de calidad del agua, correspondiente al mes de enero de 2013.

6.4. Alcance de los efectos hacia aguas abajo

Teniendo claridad de que los efectos de las descargas desde la CCR fueron medibles a partir del punto NE-2A, resta determinar hasta qué punto fue perceptible dicho efecto. Para establecer lo anterior no resulta adecuado basarse en la superación de los Niveles de Alerta aplicables a los parámetros DAR, puesto que muchos de los umbrales ya se encontraban superados desde antes de realizarse las descargas desde la CCR.

Atendido lo anterior, lo que se debe analizar es más bien el incremento que se pudo haber producido en las concentraciones de los distintos parámetros DAR producto de las descargas desde la CCR. Para ello se requiere establecer un punto de referencia respecto del cual se medirá dicho incremento. Para estos efectos, se consideran los valores medidos en NE-5, que representan la condición de la calidad del agua previo a la incorporación de las descargas de la CCR, y actúa consecuentemente como punto de control respecto de las descargas. De esta forma, se construyeron gráficos que representan la diferencia entre NE-5 y NE-2A, entre NE-5 y NE-3, entre NE-5 y NE-4, y entre NE-5 y NE-8, para todos los parámetros DAR, los cuales se incluyen en las figuras impares del Apéndice 7-2. En dichos gráficos se indica la “Diferencia mínima histórica” (“Diferencia máxima histórica” para el pH) determinada en el período de línea de base. Para ejemplificar los resultados obtenidos, en las Figuras 25 y 26 del presente Anexo se reproducen los gráficos que corresponden a la Conductividad Eléctrica y pH.

El gráfico de la Conductividad Eléctrica es representativo del comportamiento en general de los parámetros DAR (salvo del pH), y muestra que ocurrieron valores inferiores a la diferencia mínima histórica, lo cual aconteció precisamente durante el año 2013. El hecho que los valores sean inferiores da cuenta de que existe un aporte que se incorporó aguas abajo de NE-5, y que no puede ser explicado por las concentraciones medidas en esta estación (es decir, del agua proviene de las secciones superiores). Además, la tendencia general muestra que la magnitud máxima de este aporte se mide entre NE-5 y NE-2A y disminuye consistentemente hacia aguas abajo, lo cual responde al efecto de dilución y atenuación natural que se verifica a lo largo del río Estrecho (ver Anexo 8). Esto último reafirma también el hecho de que los aportes tienen su origen entre NE-5 y NE-2A.

En cuanto al pH, se observa un comportamiento análogo salvo que ocurrieron valores superiores a la diferencia mínima histórica, lo que da cuenta de una disminución (acidificación) del pH.

Para cuantificar la magnitud del aporte debido a las descargas desde la CCR, se utilizó como indicador la distancia que existe entre la diferencia de concentraciones de cada estación con NE-5, y el valor mínimo histórico de dicha diferencia (máximo histórico para el pH) medido durante el período previo al inicio de la construcción. Lo anterior se ejemplifica en la Figura 27 para el caso de la Conductividad Eléctrica medida en NE-2A. Esta metodología se basa en una comparación de los datos mensuales con el mínimo histórico (máximo histórico para el pH), por lo que los resultados que se obtienen deben ser interpretados como la existencia de un aporte adicional (acidificación para el pH) que no puede ser explicado por la diferencia histórica existente entre NE-5 y NE-2A.

Al analizar el comportamiento de todos los parámetros DAR, se observa que la mayor extensión hacia aguas abajo de los efectos se midió en los meses de febrero y marzo de 2013. Esto cobra sentido puesto que, junto con el mes de enero, concentran poco más del 75% del volumen descargado desde la CCR durante el año (ver Figura 4), generándose caudales de descarga de magnitud incluso mayor a los caudales naturales característicos de ese tramo del río (ver Figura 9). La diferencia con enero es que en dicho mes los datos no evidencian aportes entre NE-5 y NE-2A, lo cual resulta totalmente coherente puesto que las mediciones en las estaciones DAR se realizaron cuando aun no se iniciaban las descargas desde la CCR.

En las siguientes tres tablas se presentan los aportes calculados para los meses de enero, febrero y marzo de 2013. Los datos correspondientes a la totalidad de los meses del año 2013 se pueden consultar en las figuras pares del Apéndice 7-2.

Tabla 3. Efectos inducidos por las descargas desde la CCR durante el mes de enero de 2013 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

ENERO AÑO 2013	Efectos inducidos por la CCR en estaciones DAR			
	“+” indica aumento por sobre tendencia histórica (dentro de tendencia histórica para el pH) “-” indica variación dentro de tendencia histórica (bajo tendencia histórica para el pH)			
	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
pH (sin unidad)	+4,00	+2,09	+3,96	+3,79
Conductividad E. (uS/cm)	-705	-920	-944	-1026
Aluminio (mg/l)	-34,00	-47,96	-48,66	-54,70
Arsénico (mg/l)	-0,015	-0,013	-0,011	-0,013
Cobre (mg/l)	-1,176	-1,852	-1,528	-1,559
Hierro (mg/l)	-11,20	-16,26	-12,38	-16,37
Manganeso (mg/l)	-9,40	-12,32	-11,10	-11,22
Sulfato (mg/l)	-697	-1231	-989	-1057
Zinc (mg/l)	-10,30	-15,70	-17,18	-14,82

Tabla 4. Efectos inducidos por las descargas desde la CCR durante el mes de febrero de 2013 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

FEBRERO AÑO 2013	Efectos inducidos por la CCR en estaciones DAR			
	“+” indica aumento por sobre tendencia histórica (dentro de tendencia histórica para el pH) “-” indica variación dentro de tendencia histórica (bajo tendencia histórica para el pH)			
	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
pH (sin unidad)	-0,48	-0,39	+0,80	+2,45
Conductividad E. (uS/cm)	+480	+255	+146	-52
Aluminio (mg/l)	+23,00	+8,24	+5,24	-3,00
Arsénico (mg/l)	-0,010	-0,010	-0,010	-0,012
Cobre (mg/l)	+0,890	-0,100	+0,173	-0,190
Hierro (mg/l)	+1,28	-7,22	-4,08	-9,65
Manganeso (mg/l)	+10,30	+2,58	+2,70	+0,53
Sulfato (mg/l)	+449	-106	+87	-101
Zinc (mg/l)	+3,30	-0,70	-2,40	-1,68

Tabla 5. Efectos inducidos por las descargas desde la CCR durante el mes de marzo de 2013 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

MARZO AÑO 2013	Efectos inducidos por la CCR en estaciones DAR			
	“+” indica aumento por sobre tendencia histórica (dentro de tendencia histórica para el pH) “-” indica variación dentro de tendencia histórica (bajo tendencia histórica para el pH)			
	NE-2A	NE-3	NE-4	NE-8
pH (sin unidad)	-0,46	-0,44	+0,67	+2,27
Conductividad E. (uS/cm)	+414	+233	+117	-91
Aluminio (mg/l)	+16,90	+8,74	+3,64	-4,90
Arsénico (mg/l)	-0,011	-0,010	-0,008	-0,010
Cobre (mg/l)	+0,772	+0,020	+0,197	-0,035
Hierro (mg/l)	-2,94	-11,24	-8,14	-13,74
Manganeso (mg/l)	+16,50	+6,38	+5,00	+0,53
Sulfato (mg/l)	+393	-111	+71	-122
Zinc (mg/l)	+0,80	-0,90	-4,50	-3,06

Según los datos expuestos en las tablas, es posible observar que:

- El mes de enero no muestra afectación de ningún parámetro, lo cual responde al hecho de que las mediciones de calidad del agua se realizaron cuando no se realizaban descargas desde la CCR.
- Para febrero y marzo, la mayor afectación en cuanto a número de parámetros y magnitud, se observa en NE-2A y luego disminuye hacia aguas abajo. Este comportamiento resulta consistente con el efecto de dilución y atenuación natural que se verifica a lo largo del río Estrecho (ver Anexo 8).
- El arsénico es el único parámetro DAR que no muestra alteraciones producto de las descargas desde la CCR. No obstante ello, consta que las descargas si contienen concentraciones de arsénico superiores a la línea de base (ver Figura N°12 del DFZ-2013-63-III-RCA-IA). Esta situación puede responder a diversos

factores o combinaciones de ellos (aspectos metodológicos, errores de medición, procesos naturales⁵, entre otros).

6.5. Implicancias en función de los Niveles de Alerta

Ya se ha demostrado que las descargas desde la CCR produjeron un desmejoramiento en la calidad del agua, cuyo impacto se puede medir, en primer lugar, en la estación de monitoreo NE-2A. Para evaluar la implicancia de ello en el cumplimiento de los umbrales correspondientes a los Niveles de Alerta, definidos en el Considerando 9.8 de la RCA N°24/2006, se realizó una comparación entre la calidad medida en NE-5 y NE-2A, y sus respectivos Niveles de Alerta. Los resultados se muestran en la Figura 28 para la Conductividad Eléctrica, y para todos los parámetros DAR en el Apéndice 7-3.

El comportamiento es análogo en todos los parámetros DAR, y puede ser representado por el de la Conductividad Eléctrica. Cualitativamente se observa que, mientras que los valores medidos el año 2013 para los distintos parámetros DAR en NE-5 se mantienen cercanos a su respectivo Nivel de Alerta, en NE-2A toman valores significativamente mayores (menores en el caso del pH).

En términos cuantitativos, se analizó el número de excedencias de los Niveles de Alerta para cada parámetro DAR en las estaciones NE-5 y NE-2A, comparando entre los años 2010 a 2014. Los resultados se muestran en la Figura 29, en la cual se observa que:

- De los 5 años analizados, el año en que mayor fue la diferencia entre el número de excedencias en NE-5 y NE-2A fue el año 2013, lo cual es válido 8 de los 9 parámetros DAR. El único parámetro que no cumple con esta condición es el pH, en cuyo caso el año 2013 se ubica en segundo lugar detrás del año 2010.
- Si se agregan los resultados, es decir si se calcula el número total de excedencias de los Niveles de Alerta considerando a todos los parámetros DAR, se obtiene que el año 2010 hubieron 9 excedencias más en NE-2A que en NE-5, en el año 2011 hubo una más, en el año 2012 hubieron 8 más, en el año 2013 hubieron 58 más, y por último en el año 2014 hubieron 24 más.

Todo lo anterior es indicador de que al comparar los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014, tanto a nivel individual como a nivel agregado, resulta que **el año 2013 es aquel en que mayor diferencia hubo en la superación de Niveles de Alerta entre NE-5 y NE-2A.**

Ahora bien, si se amplía el análisis anterior y se consideran todas las estaciones de monitoreo, es posible apreciar con mayor claridad la diferencia que existe entre la situación de los Niveles de Alerta en NE-5 y NE-2A durante el año 2013, y que contrasta con la tendencia de los otros años (ver Figura 30). Asimismo, se observa también que en el año 2013 se superó el mayor número de Niveles de Alerta en NE-2A y NE-3. Esto lleva a concluir que el impacto generado por las descargas desde la CCR al río Estrecho tuvo una implicancia directa en el número de Niveles de Alerta excedidos, lo cual se hace particularmente evidente en NE-2A y NE-3.

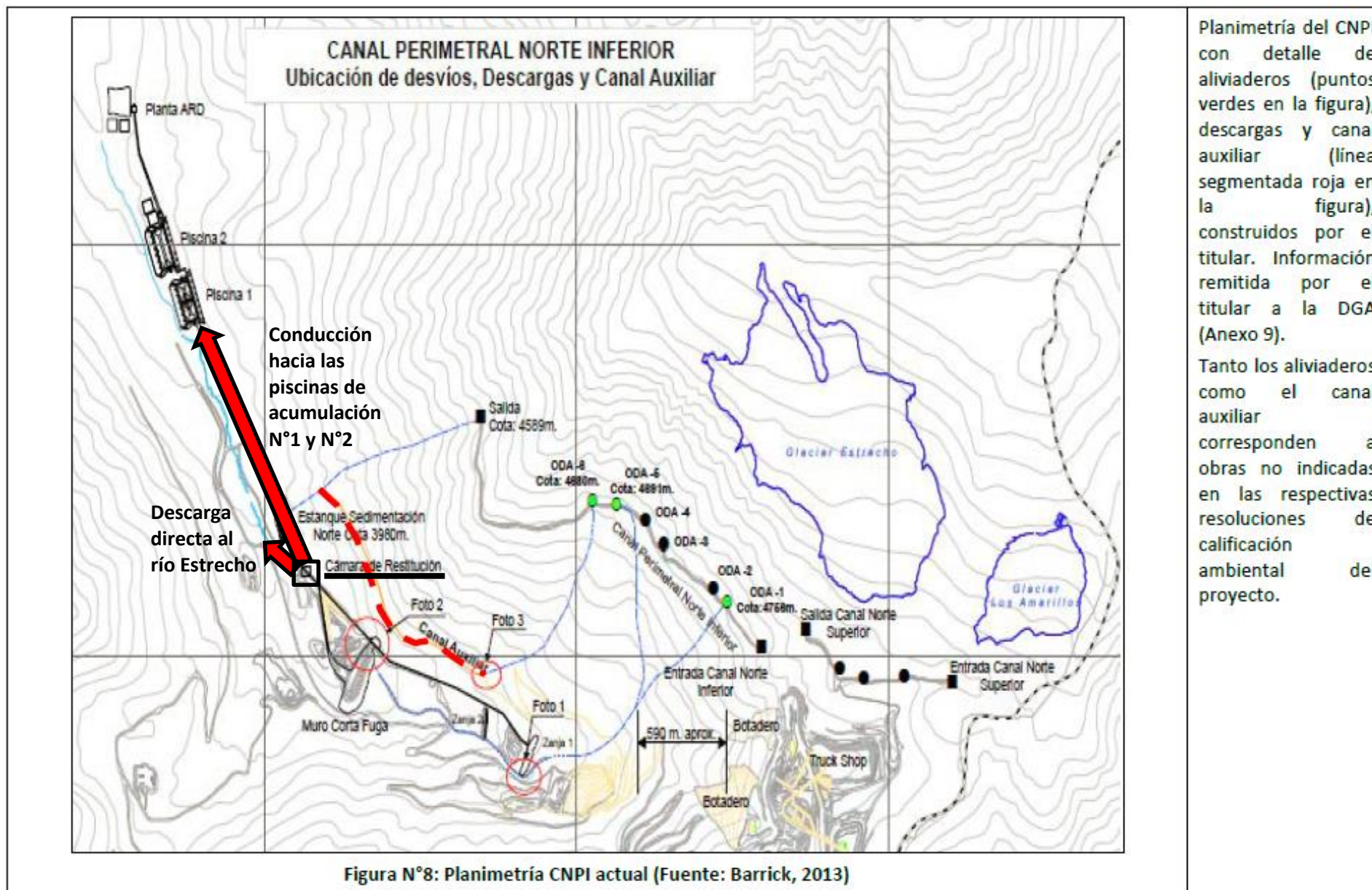
⁵ El arsénico tiene una afinidad fuerte por los óxidos de hierro (adsorción), sobre todo en condiciones oxidantes con pH neutro a moderadamente ácido (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenicun1.pdf). Esta situación, que se verifica en el presente caso, podría reducir notablemente la movilidad del arsénico.

7. Conclusiones

Al integrar toda la información expuesta es posible derivar las siguientes conclusiones:

- i. Desde la CCR se generó una descarga directa hacia el río Estrecho de las aguas recolectadas por el sistema de manejo de aguas de contacto. Esta situación se dio continuamente desde el 17 de enero al 02 de diciembre del año 2013.
- ii. Al comparar los caudales descargados con los caudales que naturalmente fluyen en esa sección del río Estrecho, se observa que estos son de magnitudes comparables, por lo que se descarta que exista un efecto de dilución importante de las descargas. Dicho de otro modo, se espera que las descargas desde la CCR representen una fracción importante del agua que se mide en NE-2A.
- iii. Al analizar la información de calidad del agua descargada durante el año 2013, consta que no se cumplió en ningún momento con los límites definidos en la regla operacional que debió aplicar CMNSpA, calculados conforme a la RCA N°024/2006. Esto implica que las descargas presentan una calidad del agua que excede los valores de línea de base, y que por lo tanto es susceptible de generar un impacto negativo y activar los Niveles de Alerta.
- iv. Al comparar la calidad del agua de las estaciones NE-5 y NE-2A, queda en evidencia que las descargas realizadas al río Estrecho desde la CCR efectivamente alteraron la calidad del agua, generando acidez e incorporando metales al río Estrecho, todo lo cual resulta medible en la estación NE-2A.
- v. La alteración de la calidad del agua se propagó hacia aguas abajo, pero su intensidad disminuyó progresivamente debido al efecto de dilución y atenuación natural que se verifica a lo largo del río Estrecho. Conforme a lo anterior, la mayor intensidad se midió en el primer punto de monitoreo (NE-2A), en el cual todos los parámetros -salvo arsénico- mostraron alteraciones. El alcance de los efectos fue medible hasta la estación NE-8, en la cual se midió un aumento de 0,53 mg/l en el manganeso, sin que se midieran alteraciones en ningún otro parámetro.
- vi. La situación anterior tuvo naturalmente un impacto sobre la superación de los Niveles de Alerta, lo cual es particularmente notorio en NE-2A y NE-3.

FIGURAS



Planimetría del CNPI con detalle de aliviaderos (puntos verdes en la figura), descargas y canal auxiliar (línea segmentada roja en la figura), construidos por el titular. Información remitida por el titular a la DGA (Anexo 9). Tanto los aliviaderos como el canal auxiliar corresponden a obras no indicadas en las respectivas resoluciones de calificación ambiental del proyecto.

Figura 1. Ubicación y funcionamiento de la CCR, situación en enero de 2013 (Fuente: Adaptado de la Figura N°8 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA).



Figura 2. Cámara de Captación y Restitución (CCR) (Fuente: Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA).



Figura 3. Descarga al río Estrecho desde la Cámara de Captación y Restitución (CCR) (Fuente: Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA).

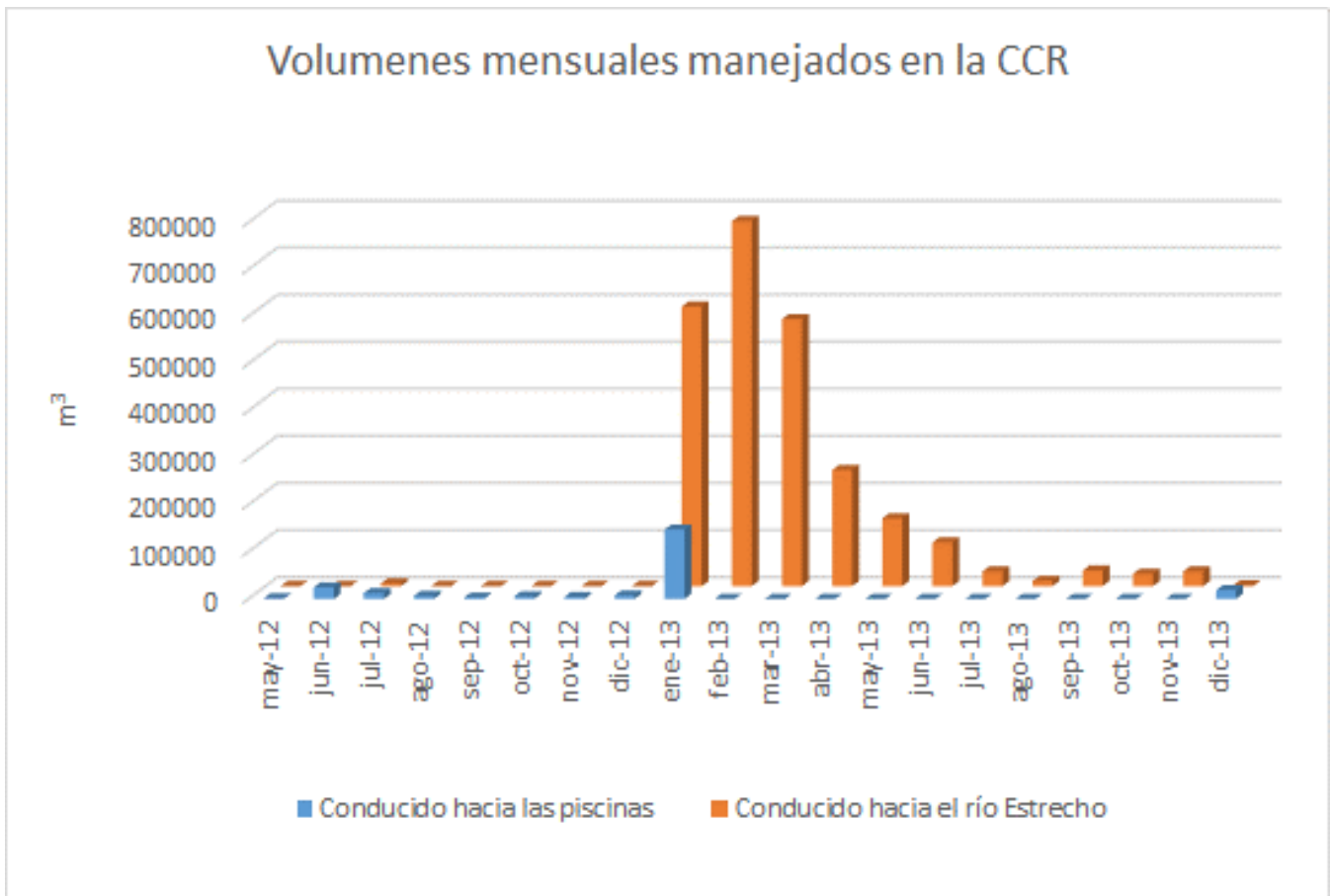


Figura 4. Volúmenes mensuales manejados en la CCR (Fuente: elaboración propia según datos presentados en la Carta PL-036/2017).

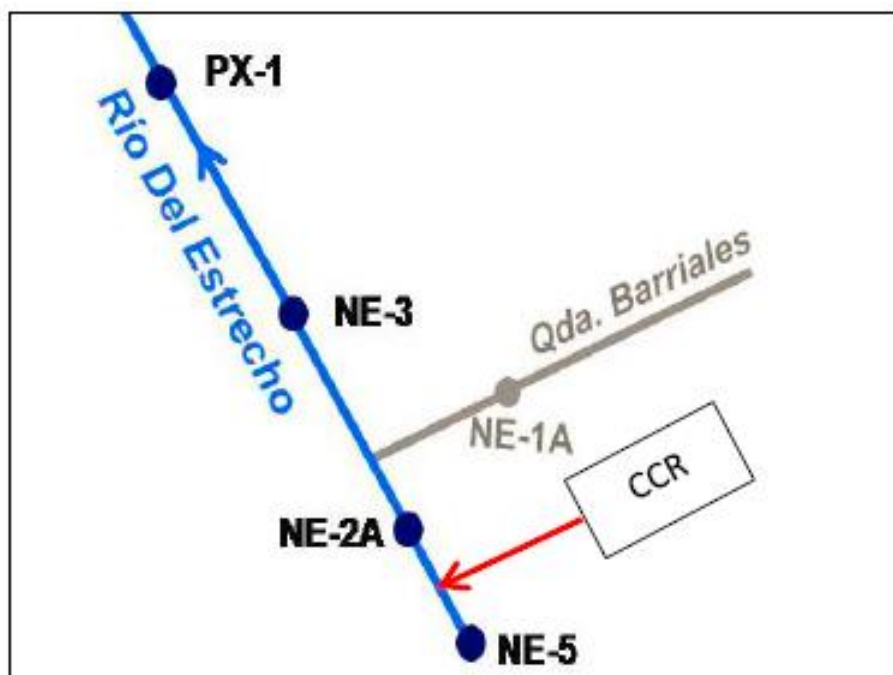


Figura 5. Ubicación esquemática de la descarga de la CCR en relación con las estaciones de monitoreo ubicadas en el río Estrecho (Fuente: Figura N°09 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA).

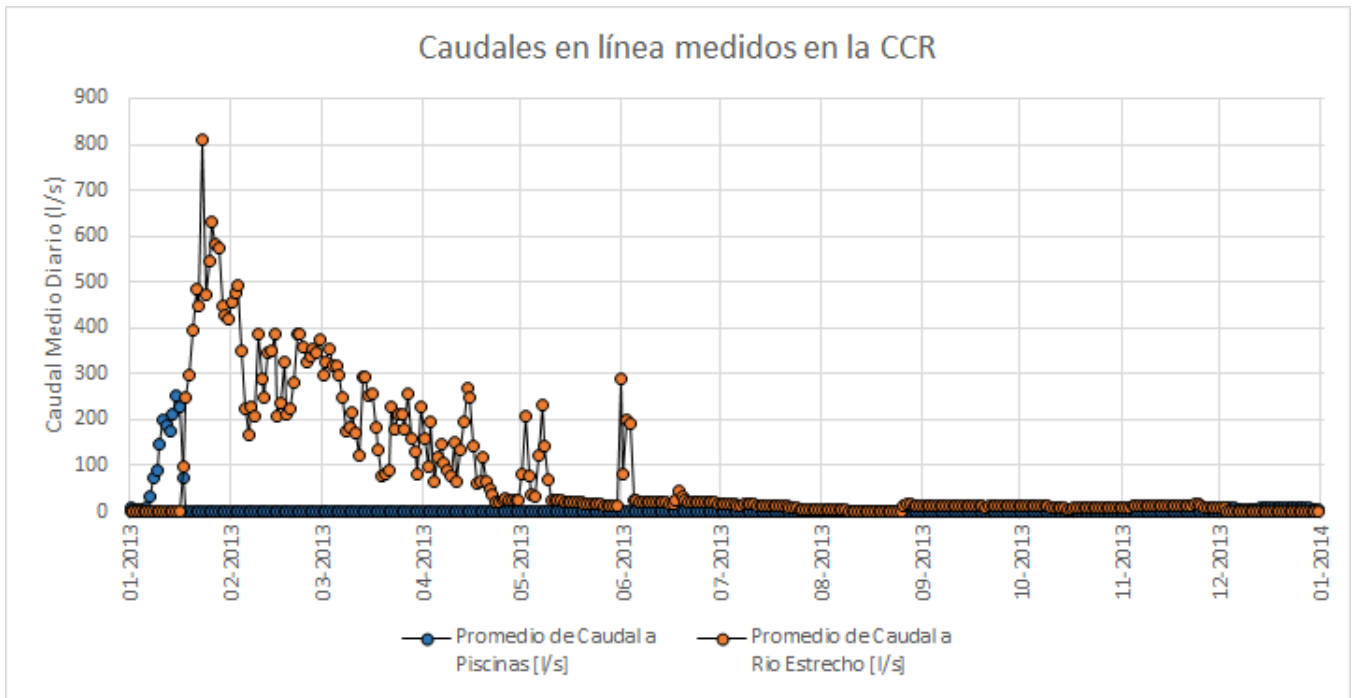


Figura 6. Datos de caudal medido en línea en la CCR durante el año 2013 (Fuente: elaboración propia con datos remitidos por el Titular mediante Carta PL-036/2017).

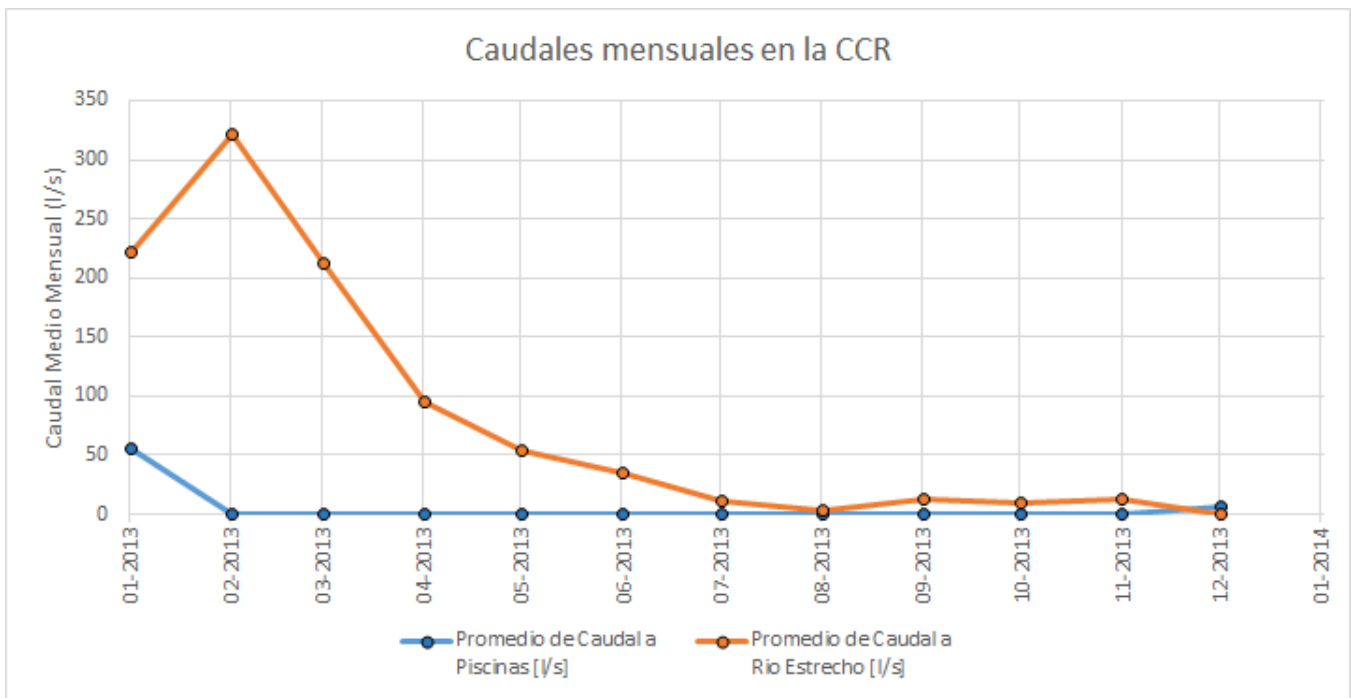


Figura 7. Datos de caudal promedio mensual en la CCR durante el año 2013 (Fuente: elaboración propia con datos remitidos por el Titular mediante Carta PL-036/2017).

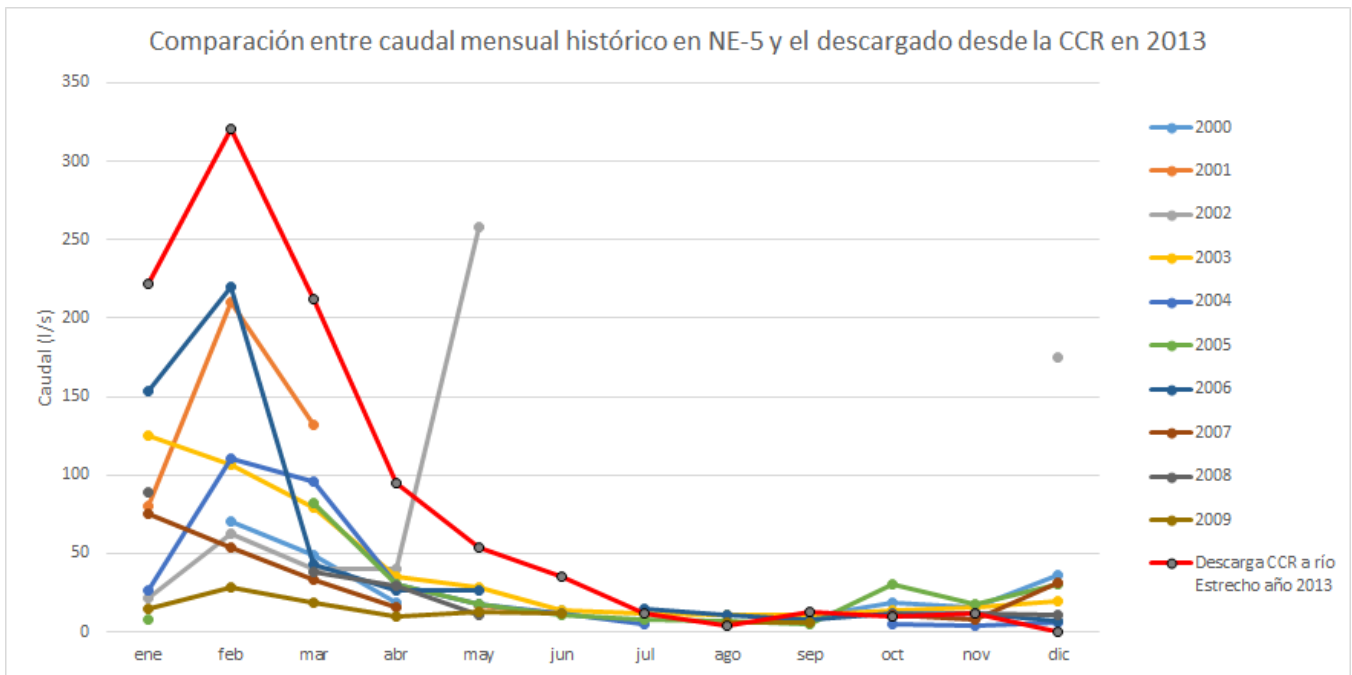


Figura 8. Caudales mensuales reportados en NE-5 (fuente: datos de seguimiento ambiental reportados por el Titular) comparados con los caudales descargados por la CCR hacia el río Estrecho durante el año 2013 (fuente: datos presentados en la Carta PL-036/2017).

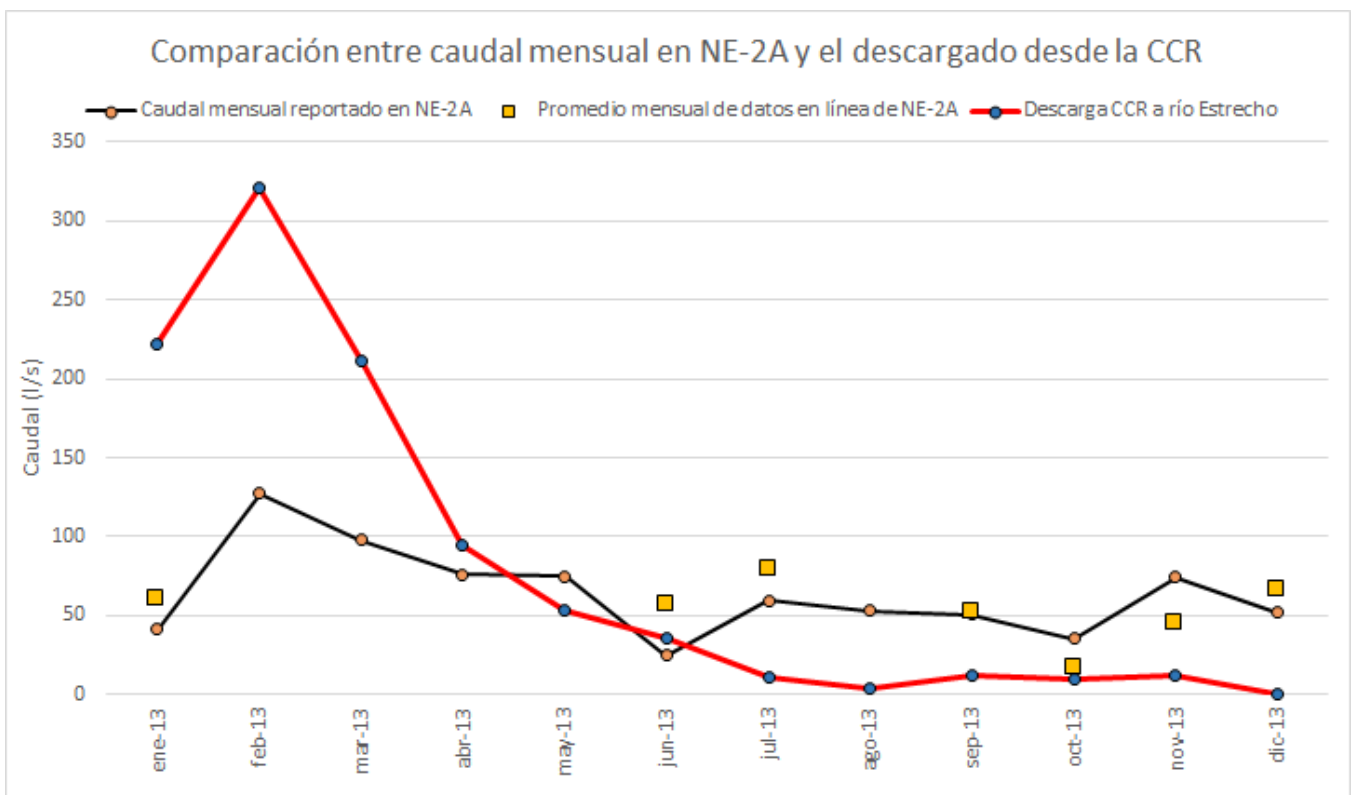


Figura 9. Comparación entre caudal en NE-2A y caudal descargado desde la CCR durante el año 2013 (fuente: datos de seguimiento ambiental reportados por el Titular, datos remitidos por el Titular mediante Carta PL-036/2017).

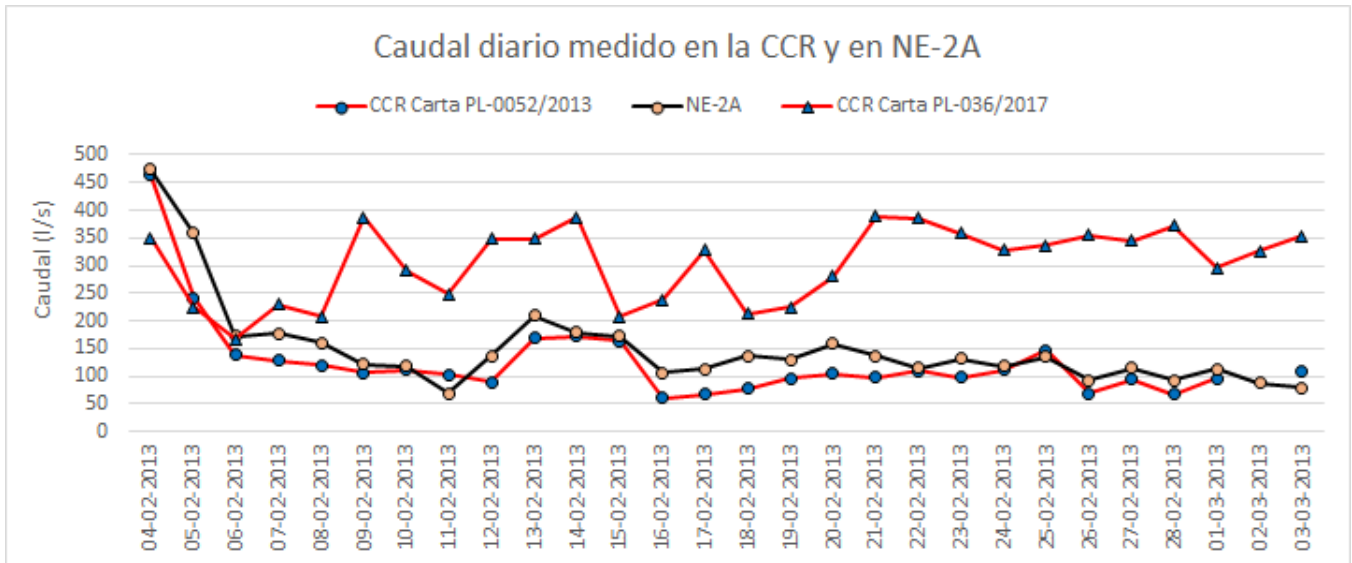


Figura 10. Comparación entre caudal diario medido en NE-2A y en la CCR durante el año 2013 (fuente: datos de mediciones realizadas por el Tituar e informadas mediante Carta PL-0052/2013, datos en línea medidos en la CCR e informados mediante Carta PL-036/2017).

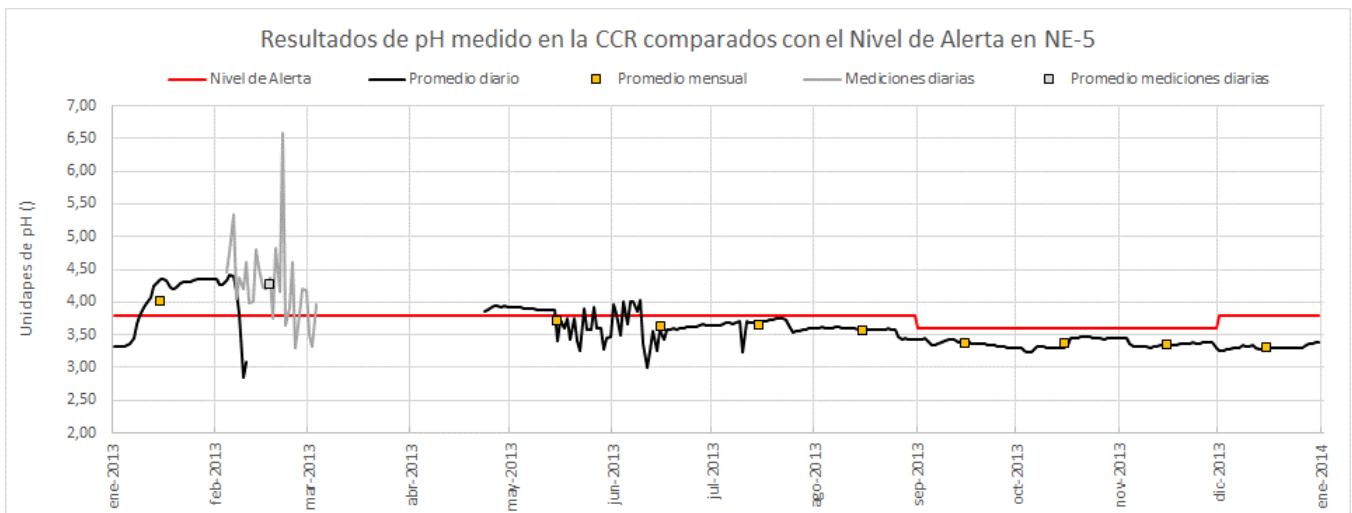


Figura 11. Comparación del pH medido en la CCR con el Nivel de Alerta aplicable a NE-5 durante el año 2013 (fuente: promedio diario y promedio mensual obtenidos de los datos reportados mediante Carta PL-036/2017, mediciones diarias y su respectivo promedio obtenidos de los datos reportados mediante Carta PL-0052/2013).

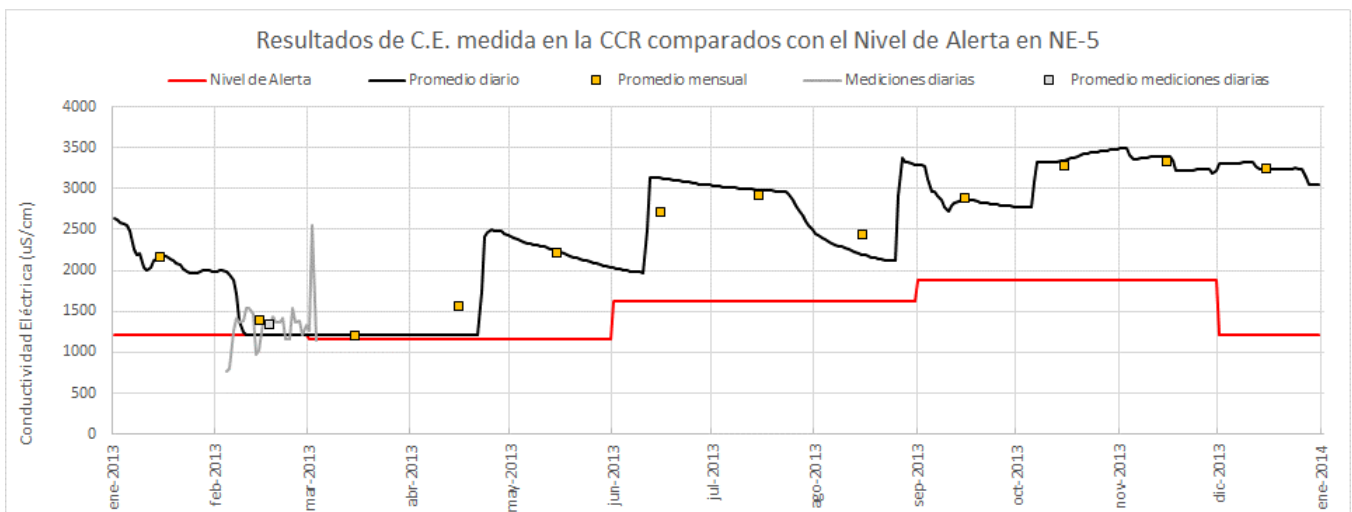


Figura 12. Comparación de la C.E. medida en la CCR con el Nivel de Alerta aplicable a NE-5 durante el año 2013 (fuente: promedio diario y promedio mensual obtenidos de los datos reportados mediante Carta PL-036/2017, mediciones diarias y su respectivo promedio obtenidos de los datos reportados mediante Carta PL-0052/2013).

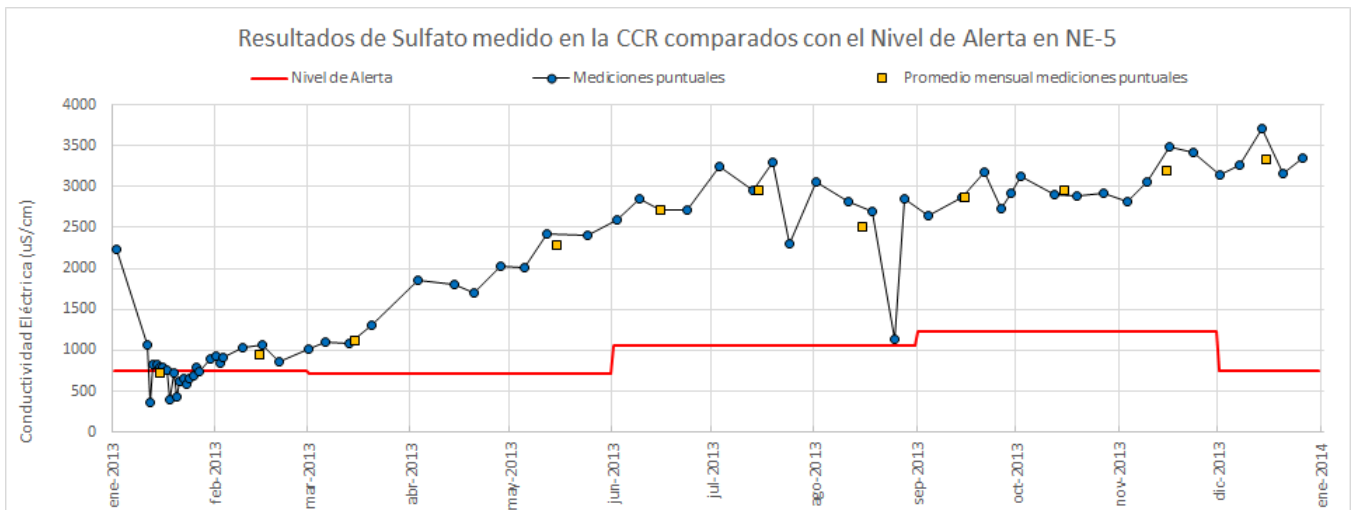


Figura 13. Comparación de la concentración de Sulfato medida en la CCR con el Nivel de Alerta aplicable a NE-5 durante el año 2013 (fuente: mediciones puntuales y su promedio fueron obtenidos de los datos reportados mediante Carta PL-034/2016).

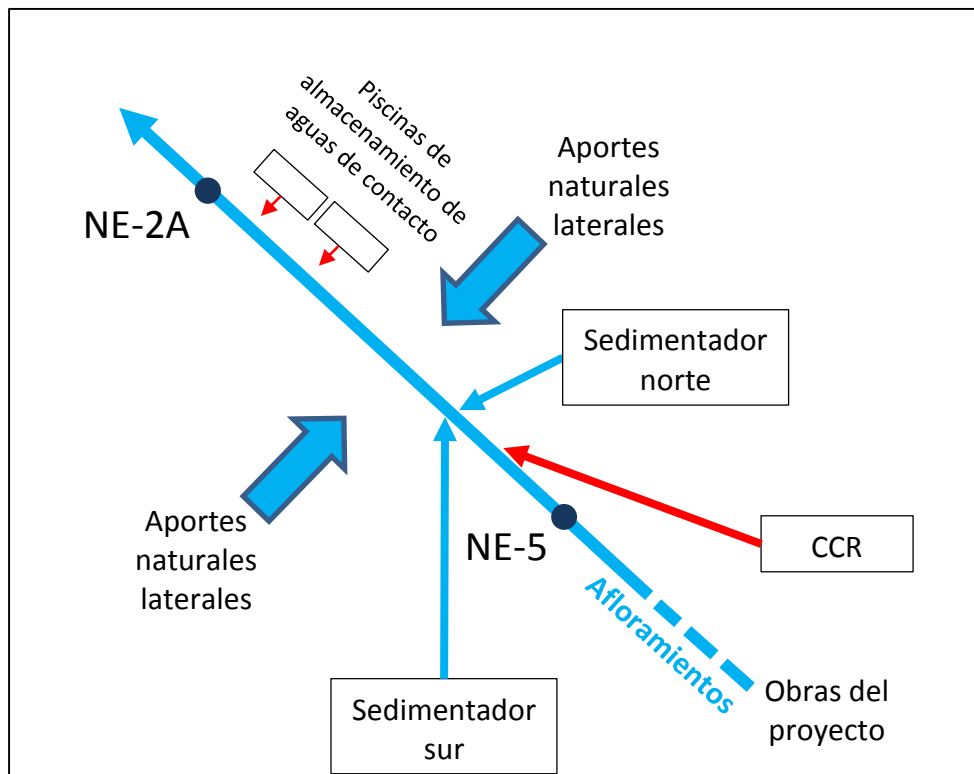


Figura 14. Flujos aportantes entre NE-5 y NE-2A (elaboración propia).

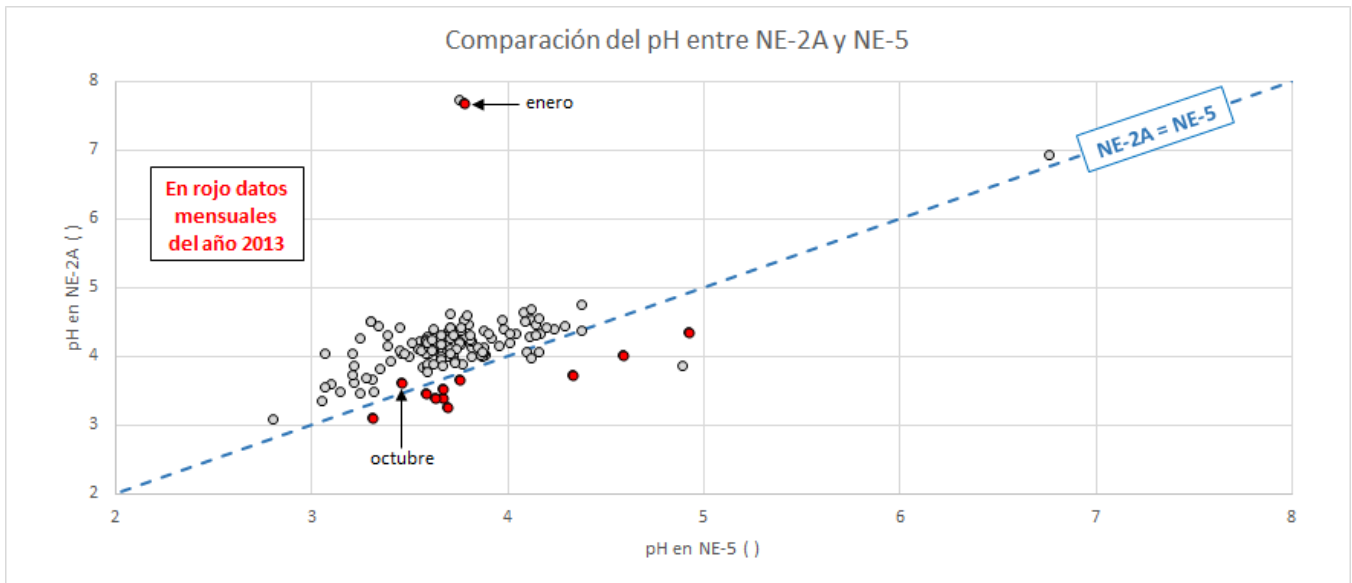


Figura 15. Relación entre el pH en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

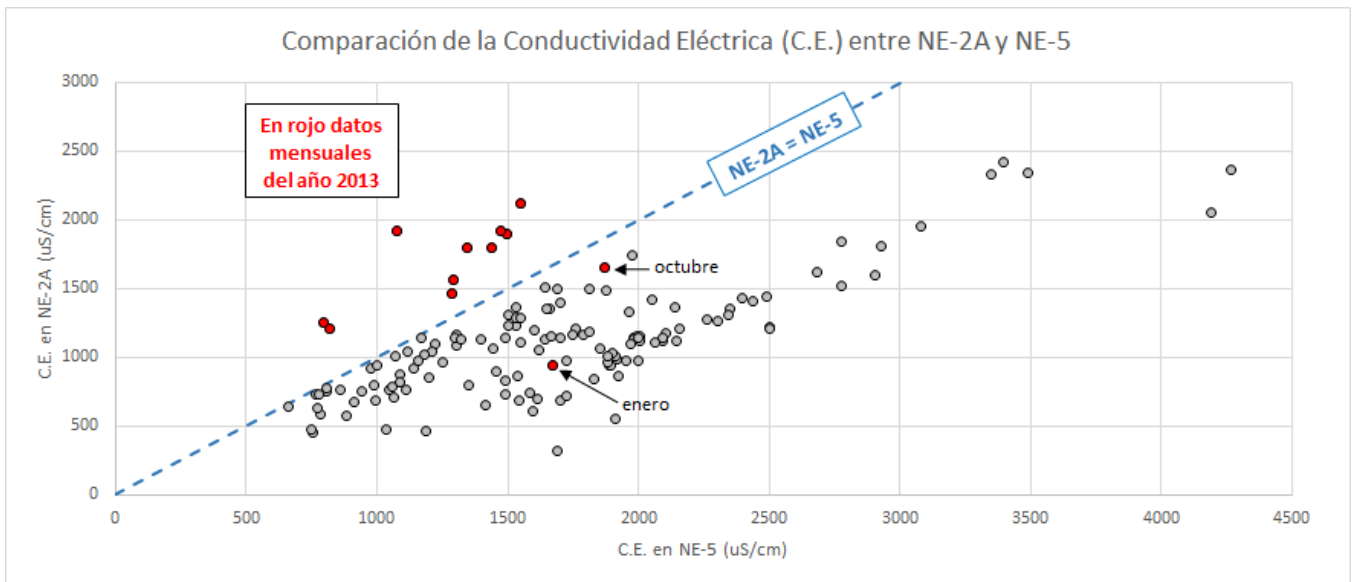


Figura 16. Relación entre la Conductividad Eléctrica en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

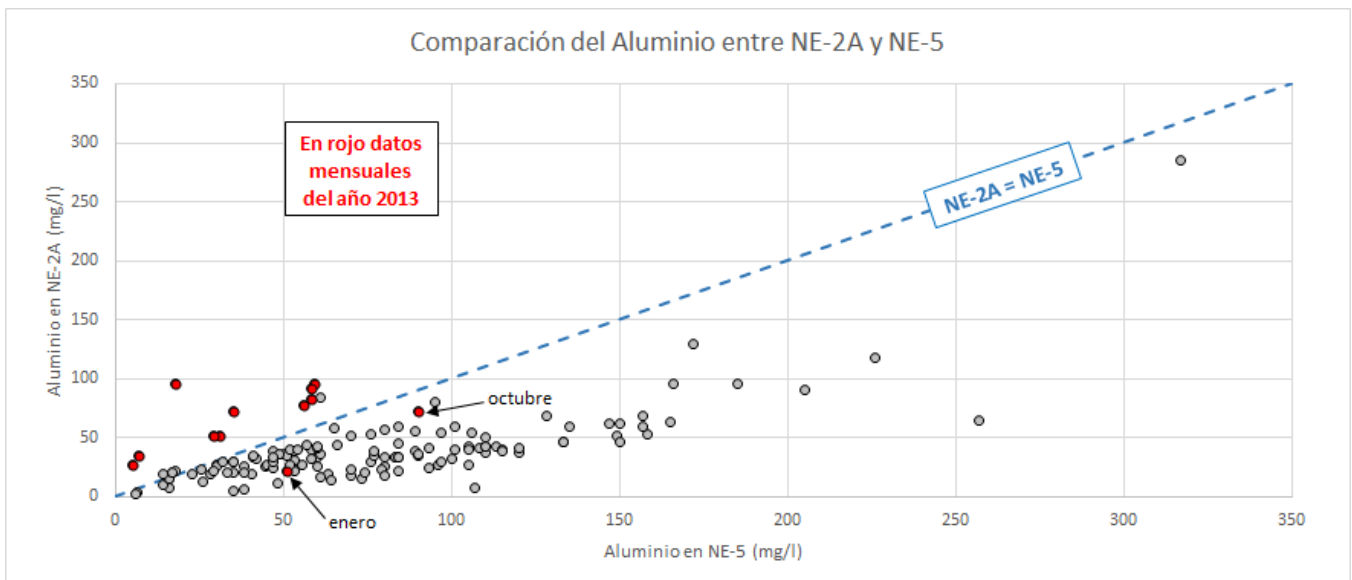


Figura 17. Relación entre el Aluminio en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

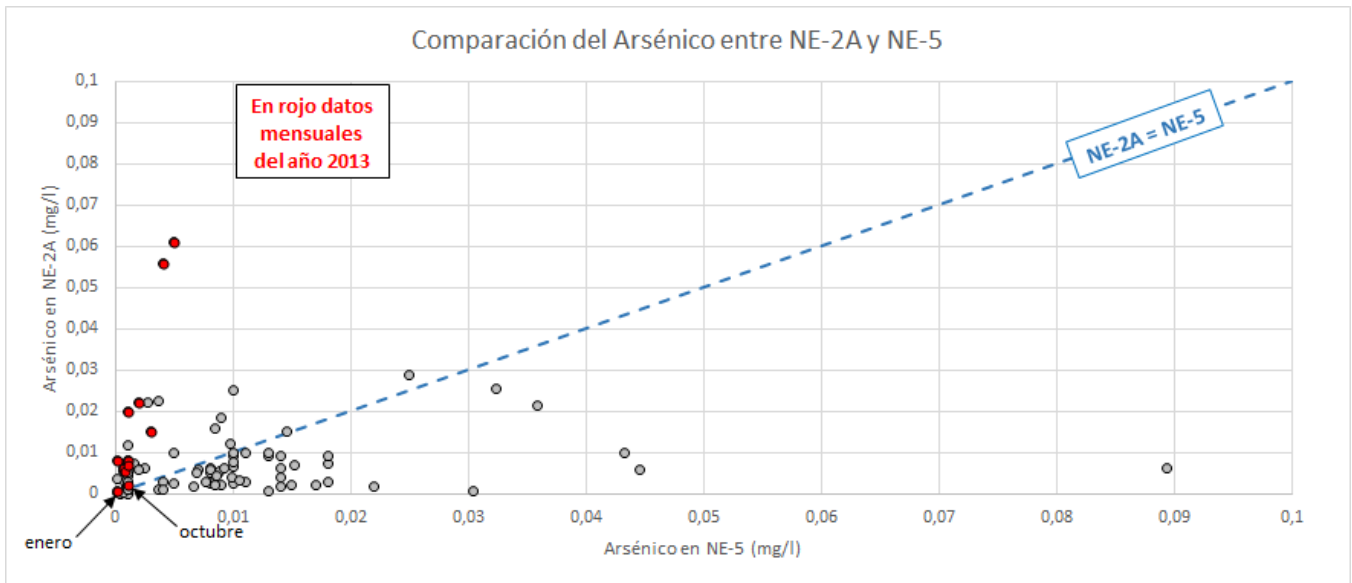


Figura 18. Relación entre el Arsénico en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

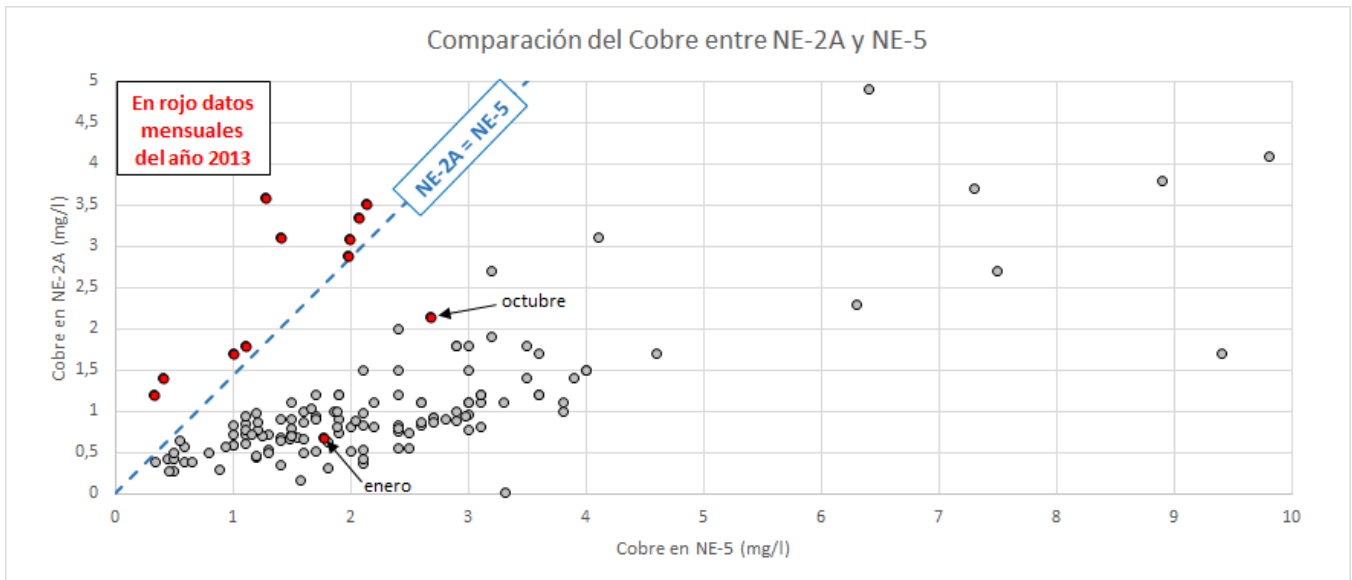


Figura 19. Relación entre el Cobre en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

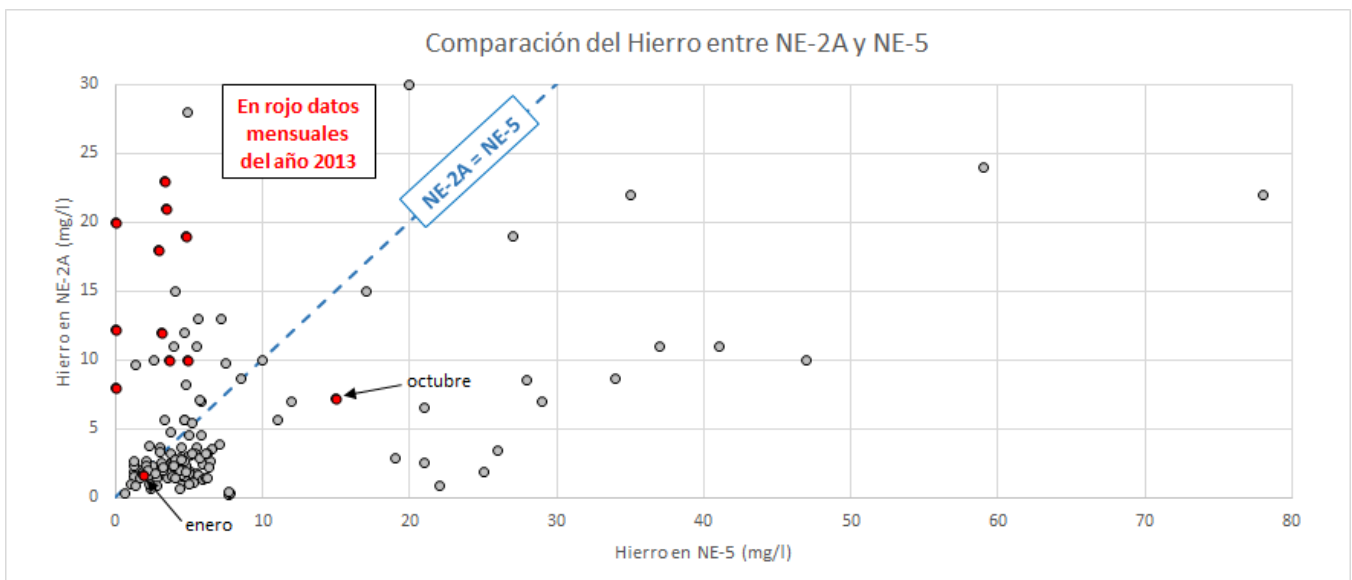


Figura 20. Relación entre el Hierro en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

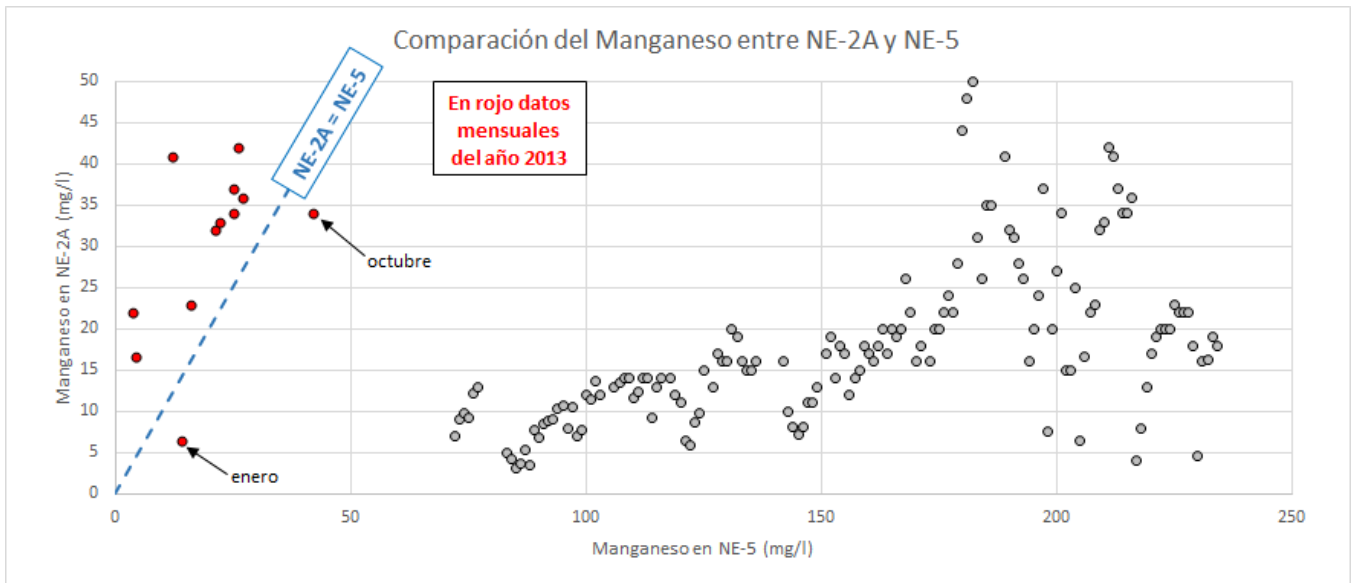


Figura 21. Relación entre el Manganeso en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

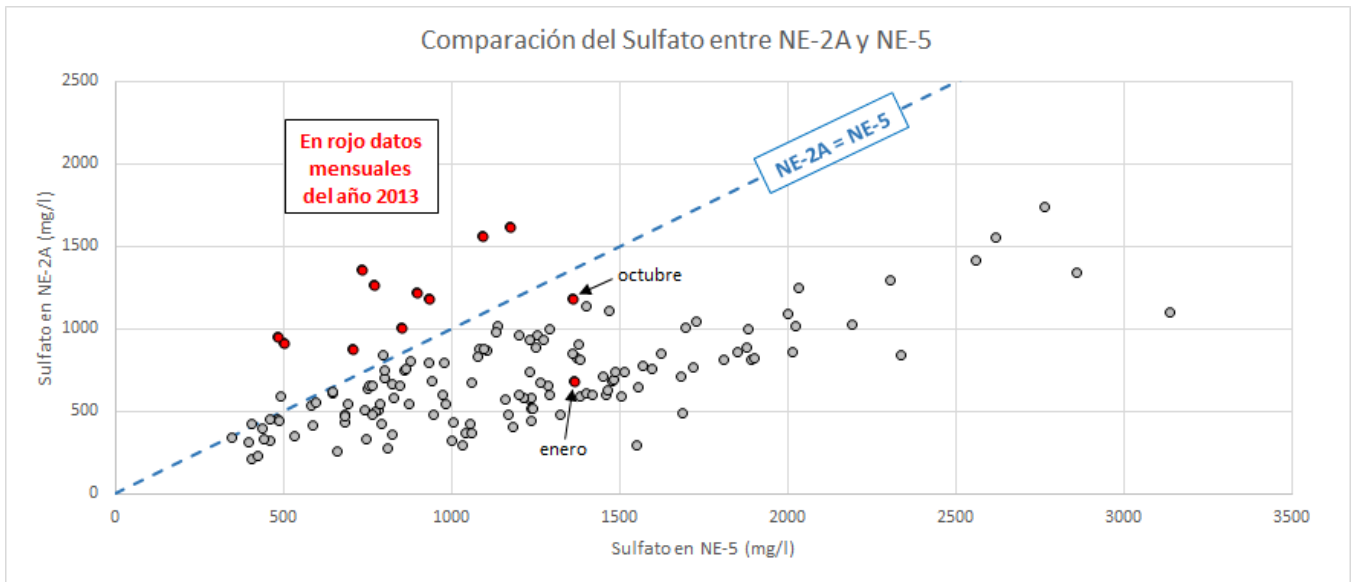


Figura 22. Relación entre el Sulfato en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

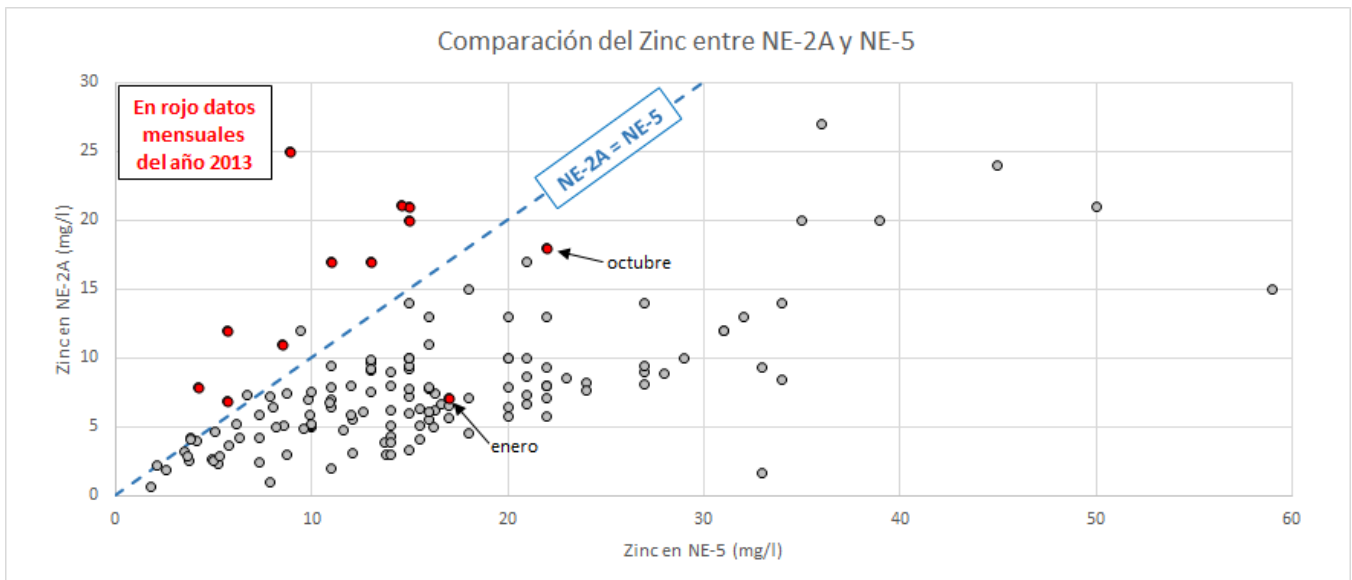


Figura 23. Relación entre el Zinc en NE-2A y NE-5 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 24. Fecha de muestreo de calidad del agua en NE-2A en relación con los caudales descargados desde la CCR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental y caudales informados en Carta PL 036/2017).

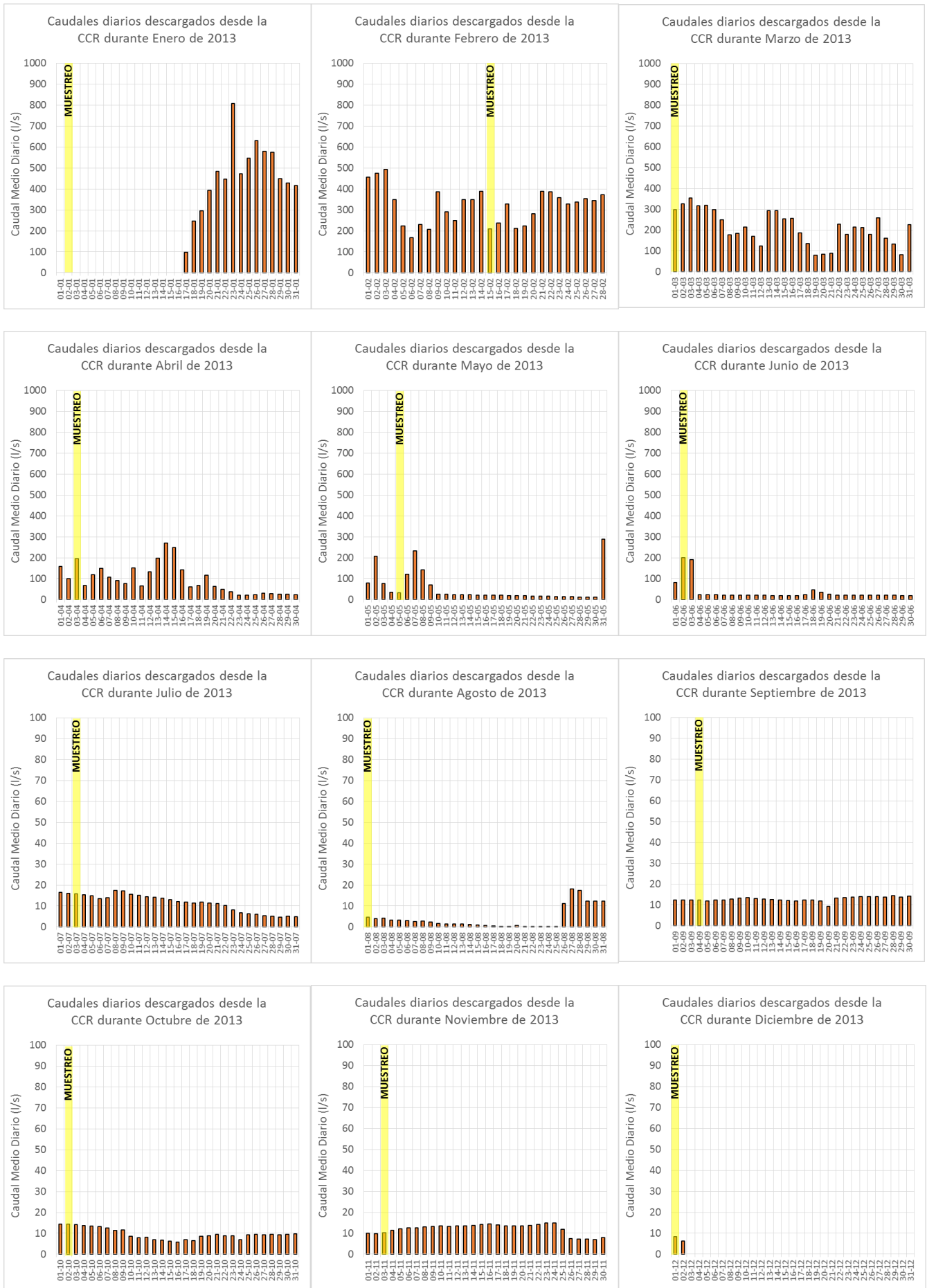


Figura 24 (continuación). Fecha de muestreo de calidad del agua en NE-2A en relación con los caudales descargados desde la CCR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental y caudales informados en Carta PL 036/2017).

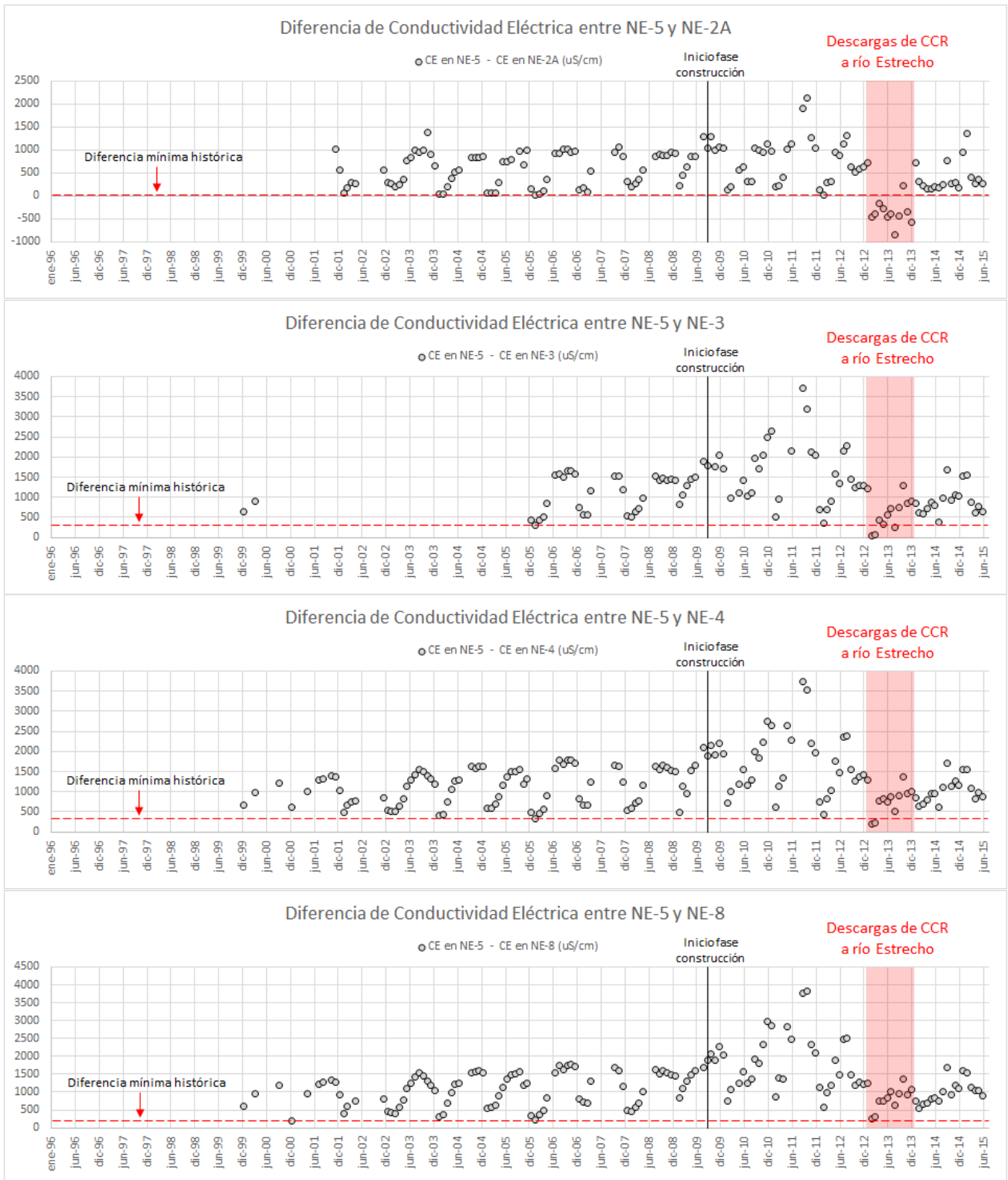


Figura 25. Diferencia entre la Conductividad Eléctrica medida en NE-5 y la medida en NE-3, NE-4 y NE-8 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 26. Diferencia entre el pH medido en NE-5 y el medido en NE-3, NE-4 y NE-8 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

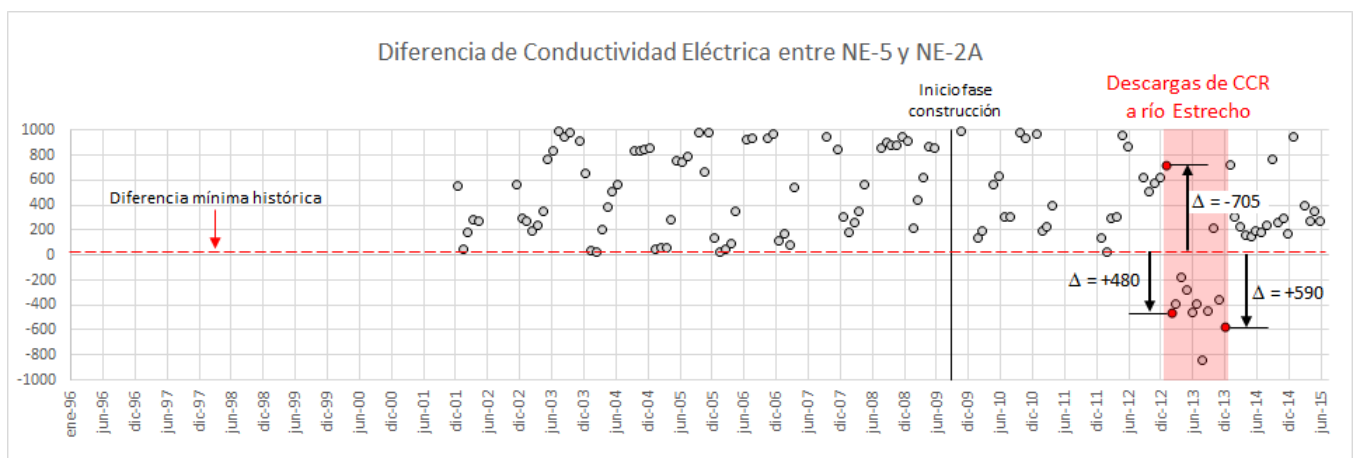


Figura 27. Explicación gráfica de la metodología utilizada para determinar el aporte introducido por las descargas desde la CCR, aplicada para los meses de enero, febrero y diciembre de 2013 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

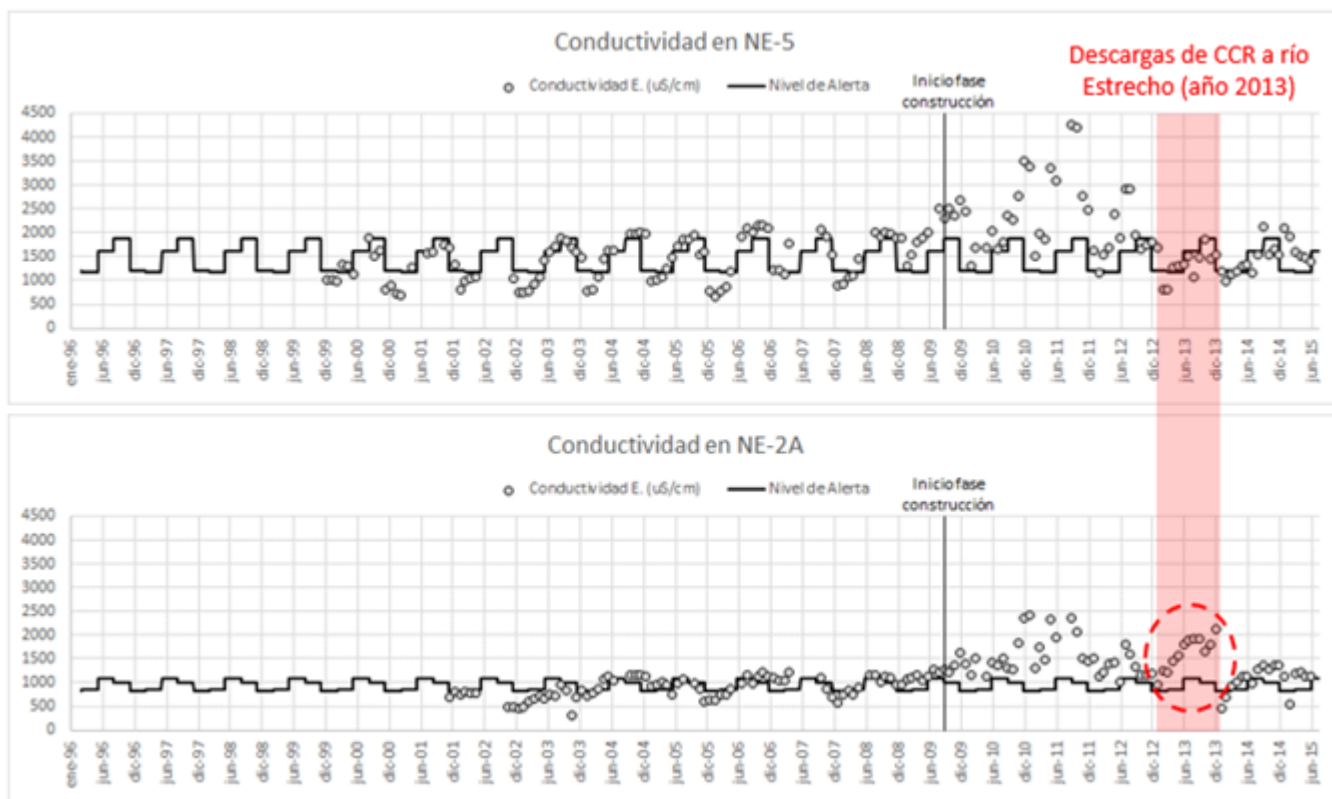


Figura 28. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

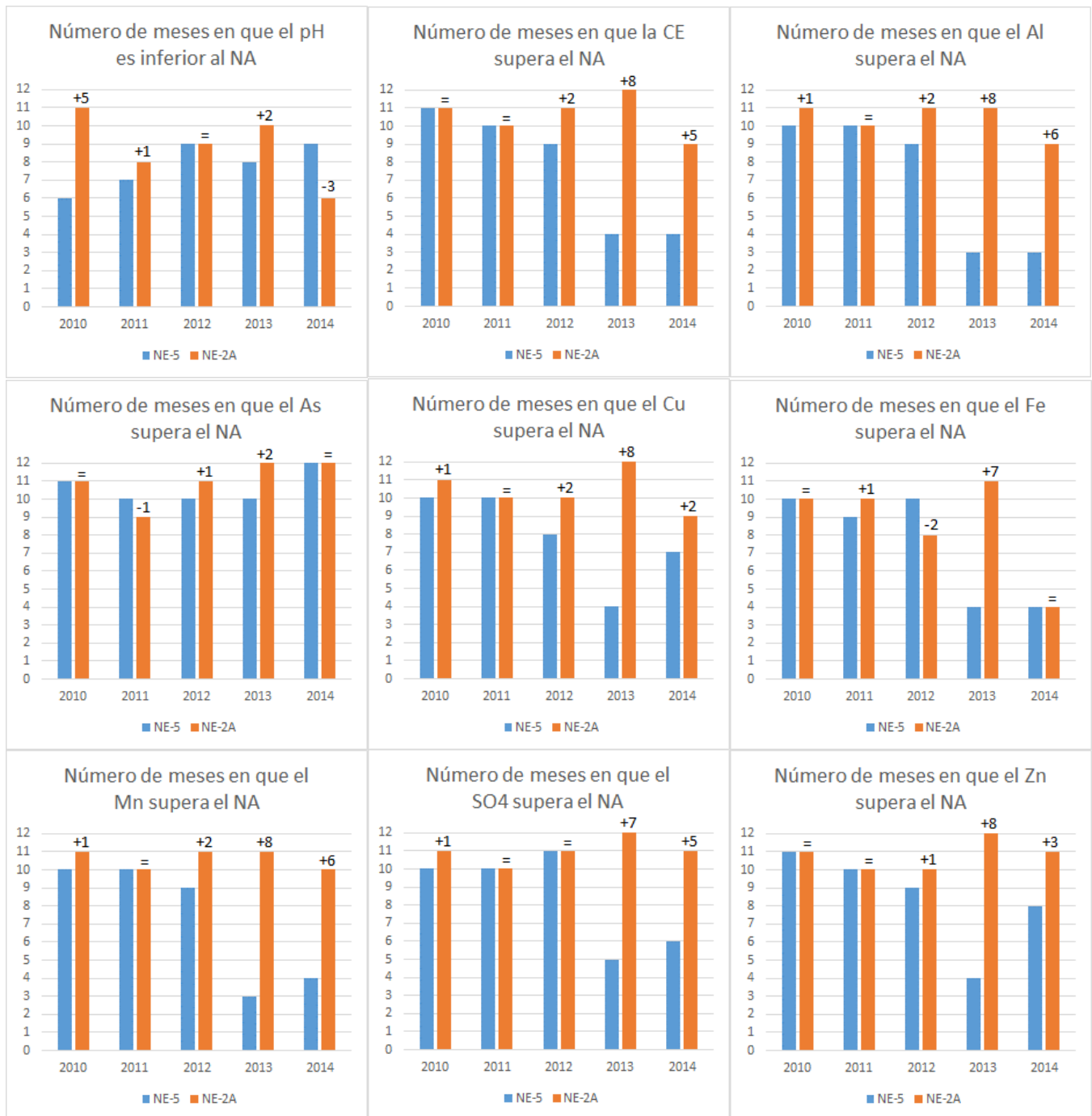


Figura 29. Número de meses en que fueron superados los Niveles de Alerta durante los años calendario 2010 a 2014, para cada parámetro DAR en NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

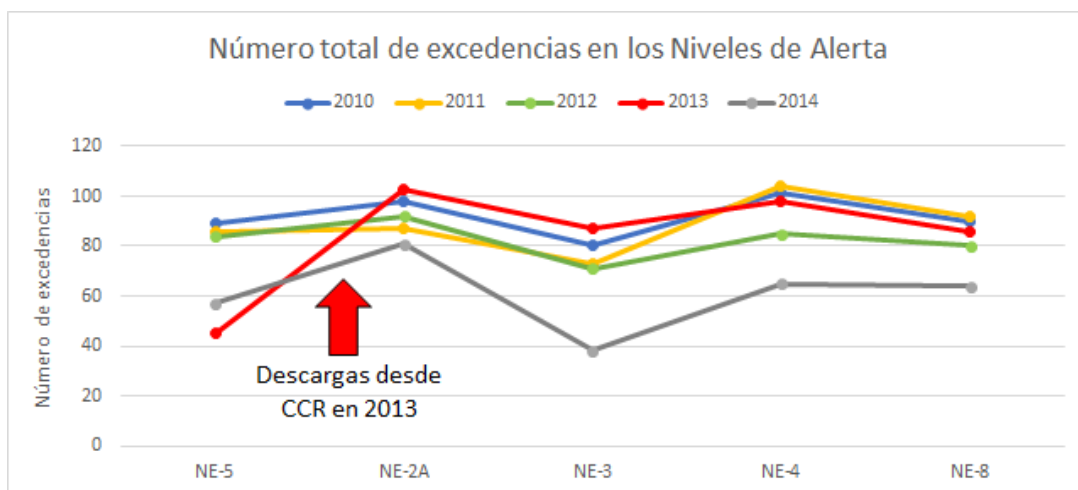


Figura 30. Número total de excedencias en los Niveles de Alerta medidas en cada estación para los años 2010 a 2014 (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

APÉNDICE 7-1: ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES EN RELACIÓN A LA ESTACIÓN DE MONITOREO NE-5

OBJETIVO: En el presente Apéndice se presentan los resultados de un análisis de imágenes satelitales de alta resolución que se extiende entre el año 2005 y el año 2014. El propósito fue determinar las variaciones que ha experimentado el cauce del río Estrecho en relación con la ubicación de la estación de monitoreo NE-5.

Las imágenes fueron obtenidas mediante un requerimiento de información realizado por medio de la Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N°199/2017, cuya respuesta fue remitida por el Titular en su Carta PL-036/2017.

Del análisis temporal de las imágenes se puede observar lo siguiente:

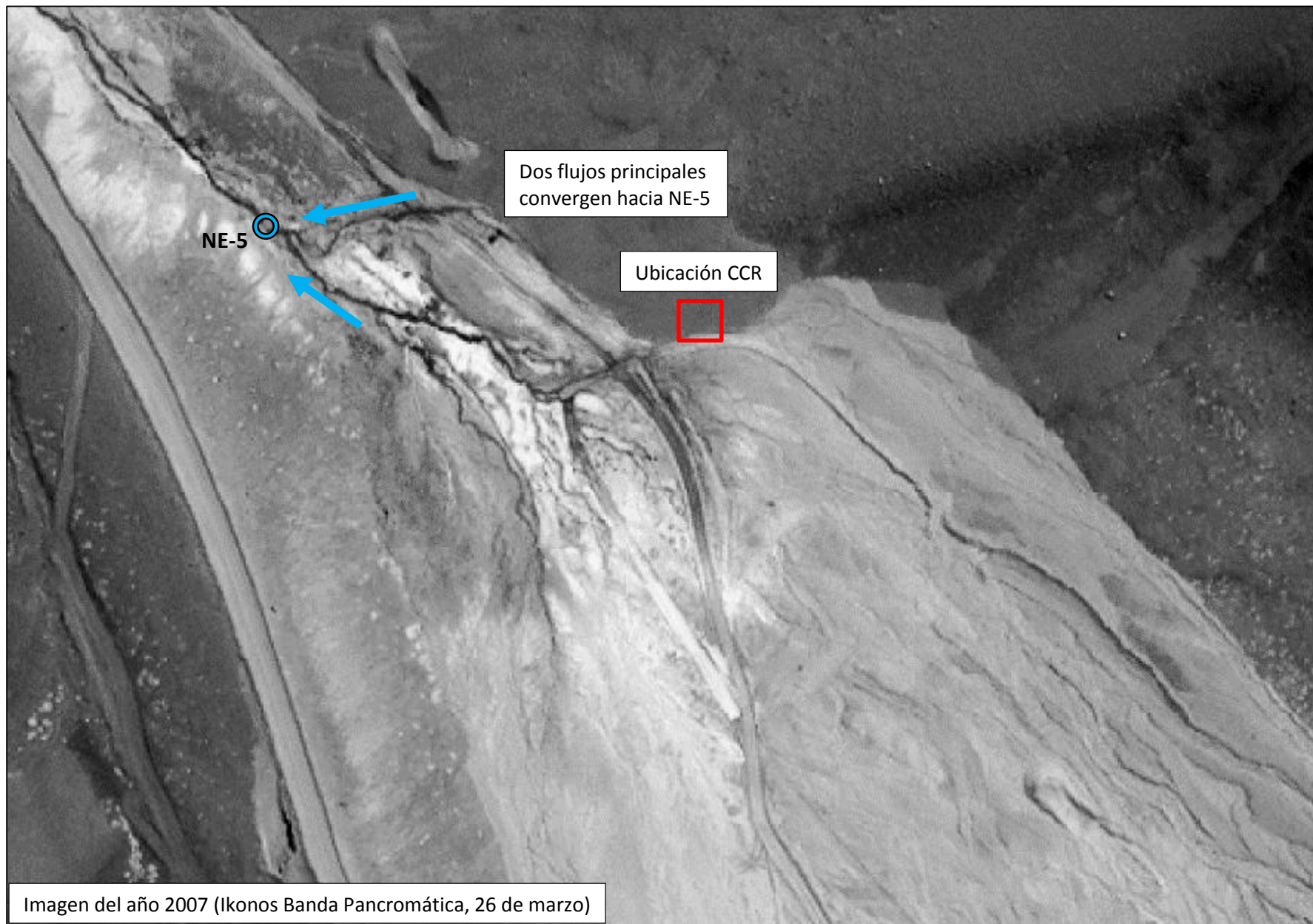
Respecto de la CCR

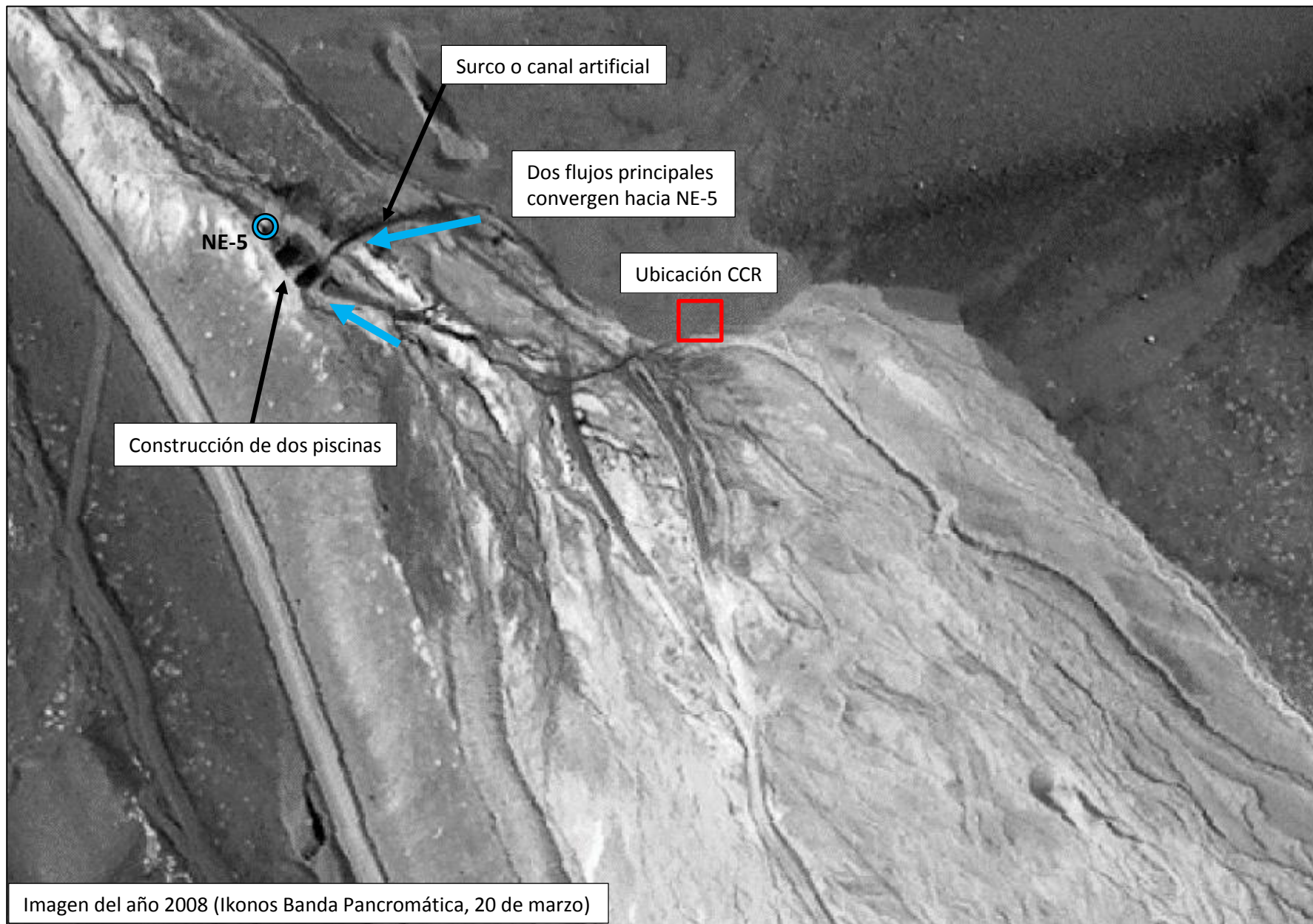
- La CCR se emplaza en un área que, dependiendo del año, puede formar parte de uno de los cursos de agua que componen al río Estrecho en esa sección.
- La CCR fue construida en algún momento entre febrero de 2011 y diciembre de 2012.
- En diciembre de 2012 y febrero de 2013 la CCR se encontraba descargando al río Estrecho.
- En abril de 2014 no se observan descargas desde la CCR hacia el río Estrecho.

Respecto de la estación de monitoreo NE-5

- Entre el año 2005 y el año 2009 existen principalmente dos cursos de agua en el río Estrecho que se unen y pasan a través de la estación NE-5. En la imagen de marzo de 2008 se observa una intervención en el cauce aguas arriba de NE-5 que consiste en encauzamiento del curso norte (por medio de un surco o canal) y la construcción de dos obras tipo piscinas donde se unen ambos cursos.
- En la imagen de abril de 2010 se observa que el curso de agua que escurre por el norte cambia de dirección y pasa por el norte de la estación NE-5, por lo que su caudal ya no es cuantificado en dicha estación.
- En la imagen de febrero de 2011 los cursos de agua se ramifican, desviándose unos hacia el sur y otros hacia el norte de la estación NE-5. El caudal de estos últimos cursos no es cuantificado en la estación NE-5.
- En la imagen de diciembre de 2012 se observa una intervención del cauce en el cual se habrían canalizado los escurrimientos en dos cauces, uno que pasa por el norte de la estación NE-5 y otro que escurre a través de la estación, previo a su paso por cuatro obras tipo piscinas. Esta configuración se mantuvo durante los años 2013 y 2014.







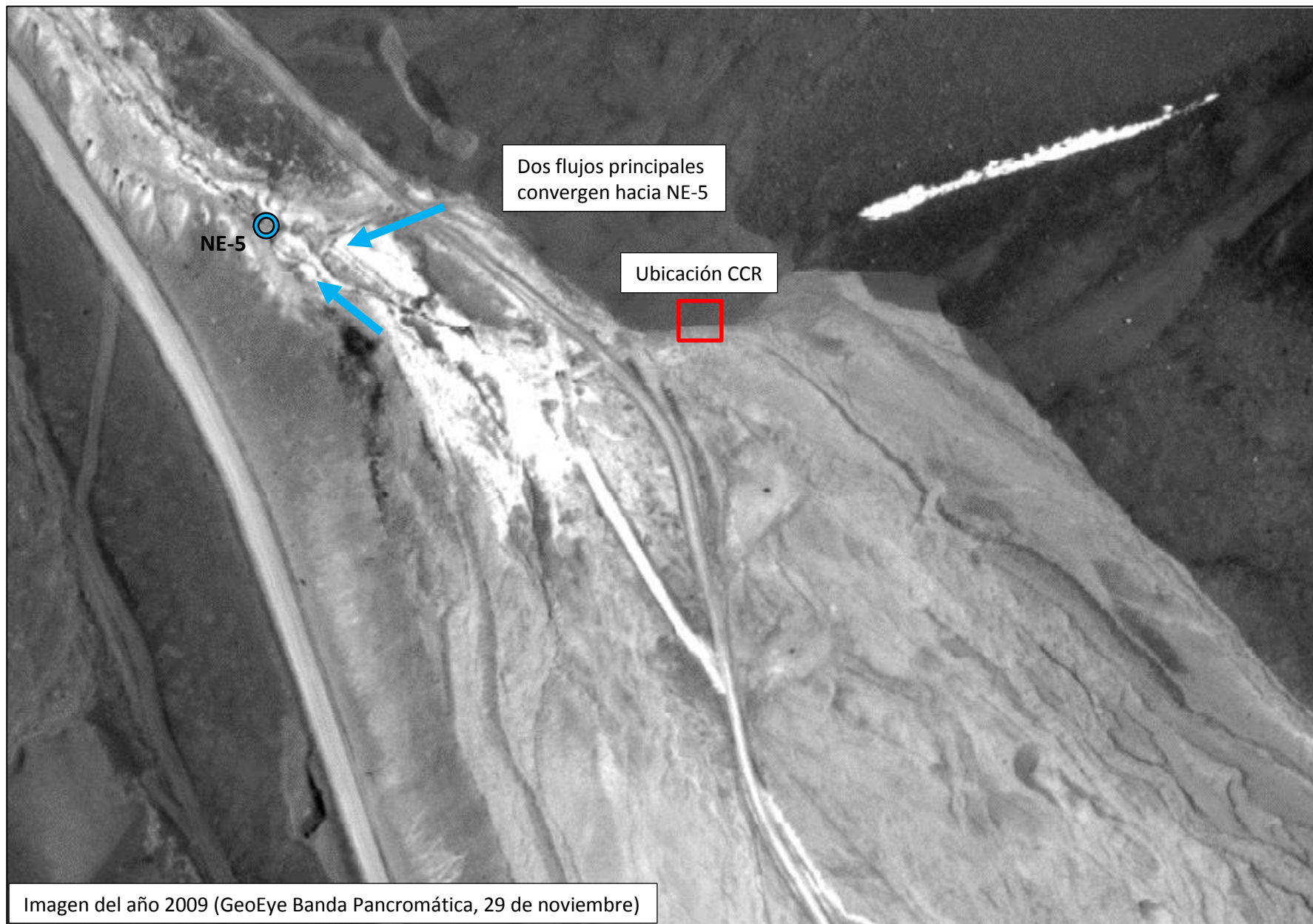
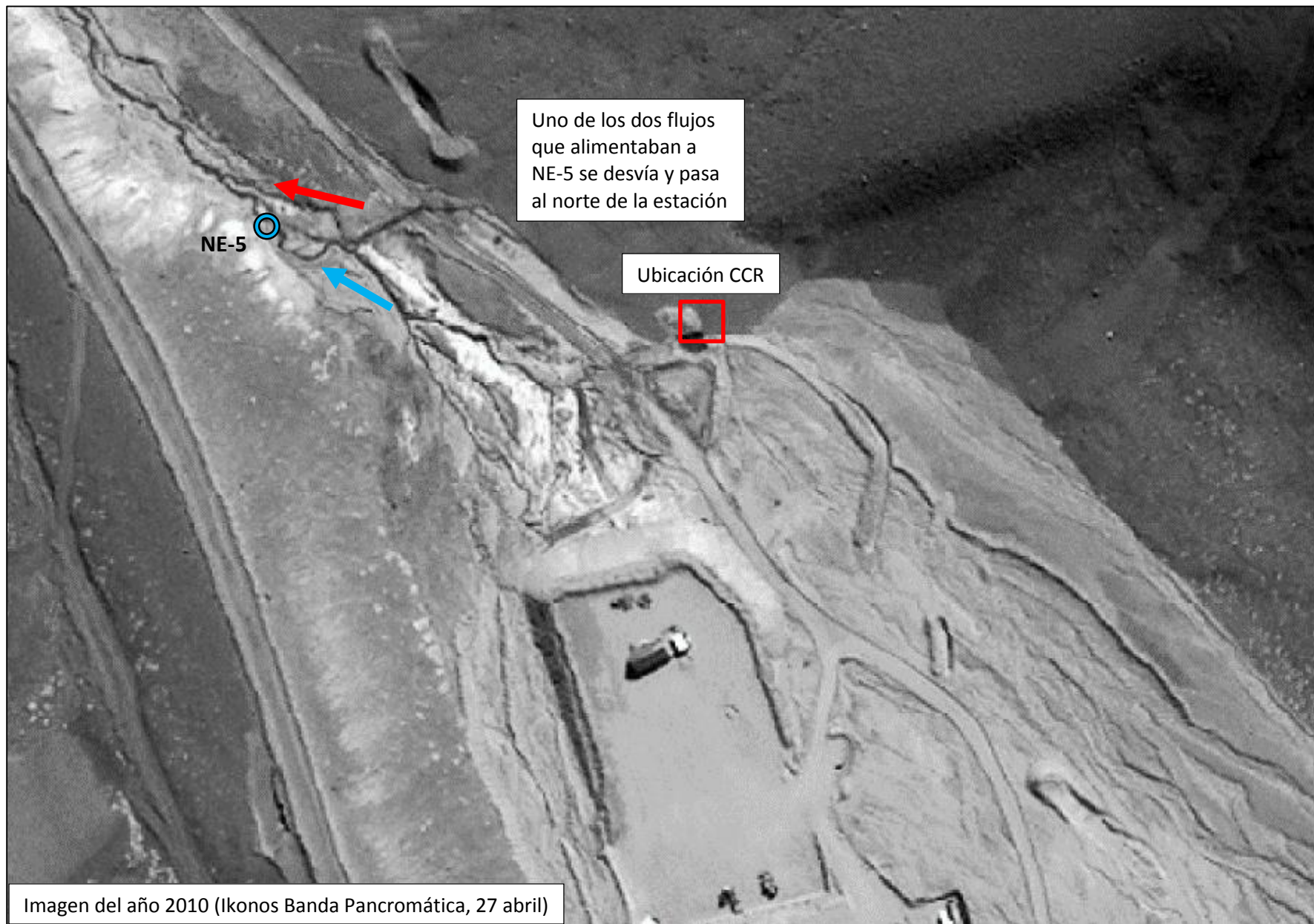
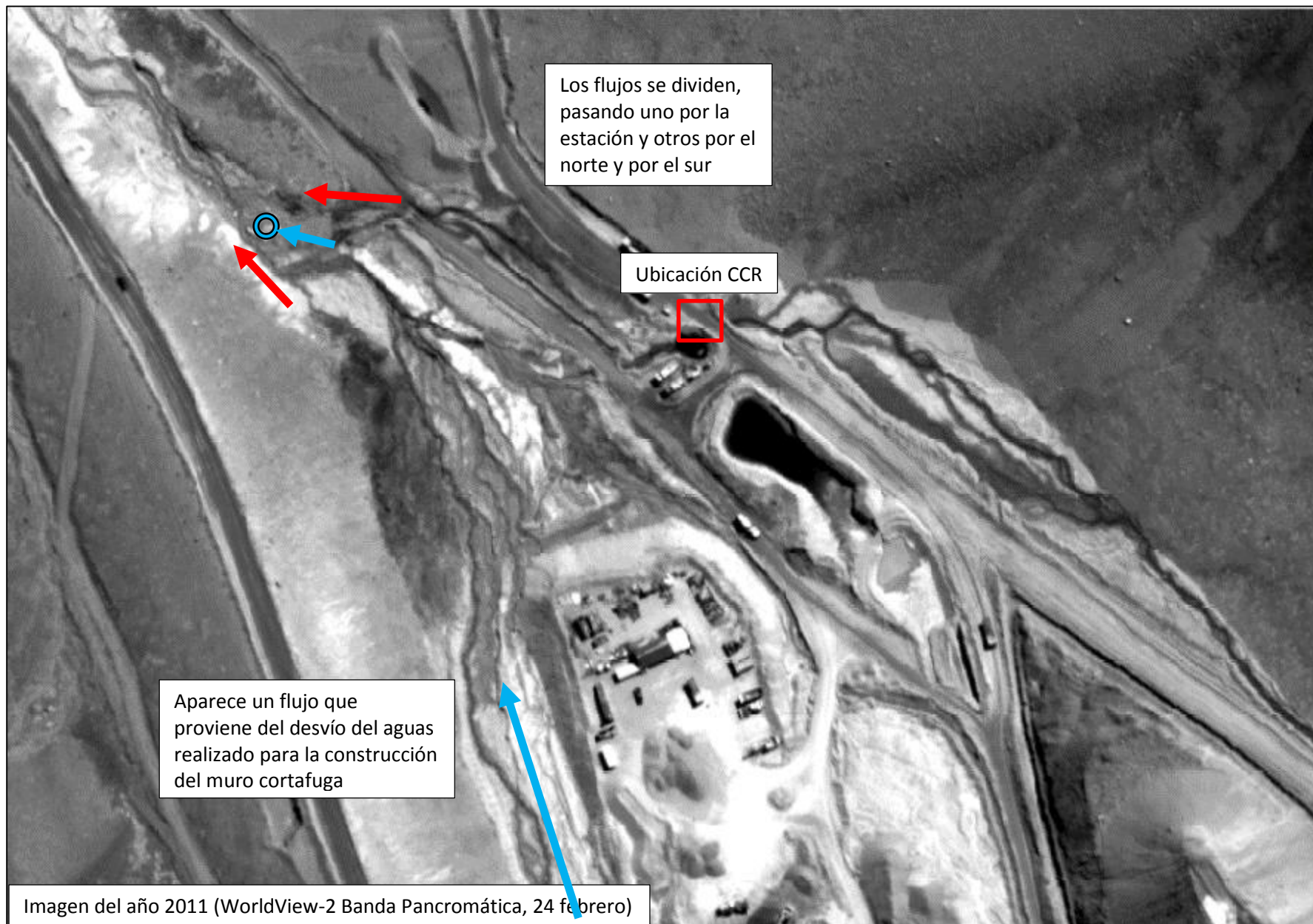
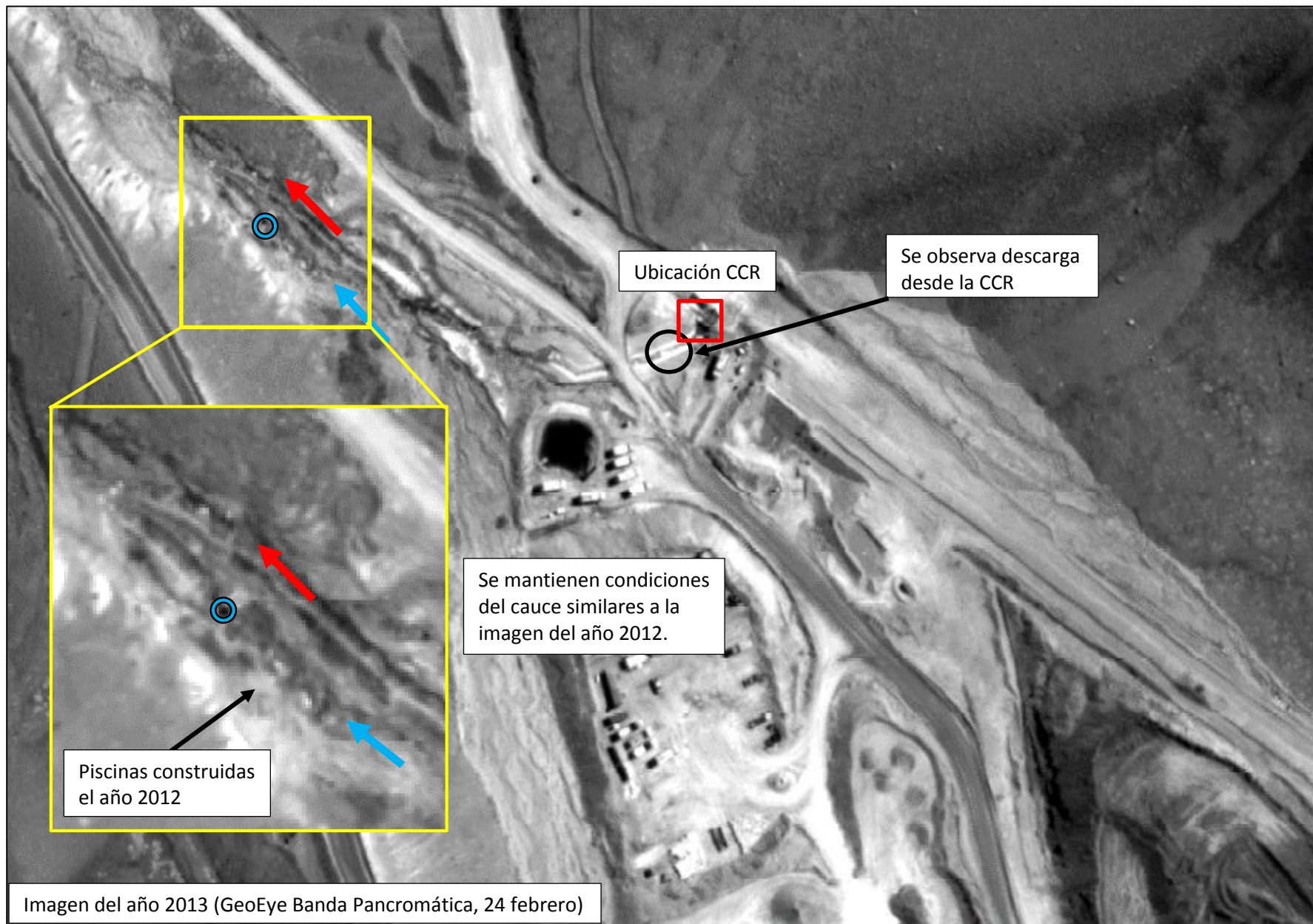


Imagen del año 2009 (GeoEye Banda Pancromática, 29 de noviembre)









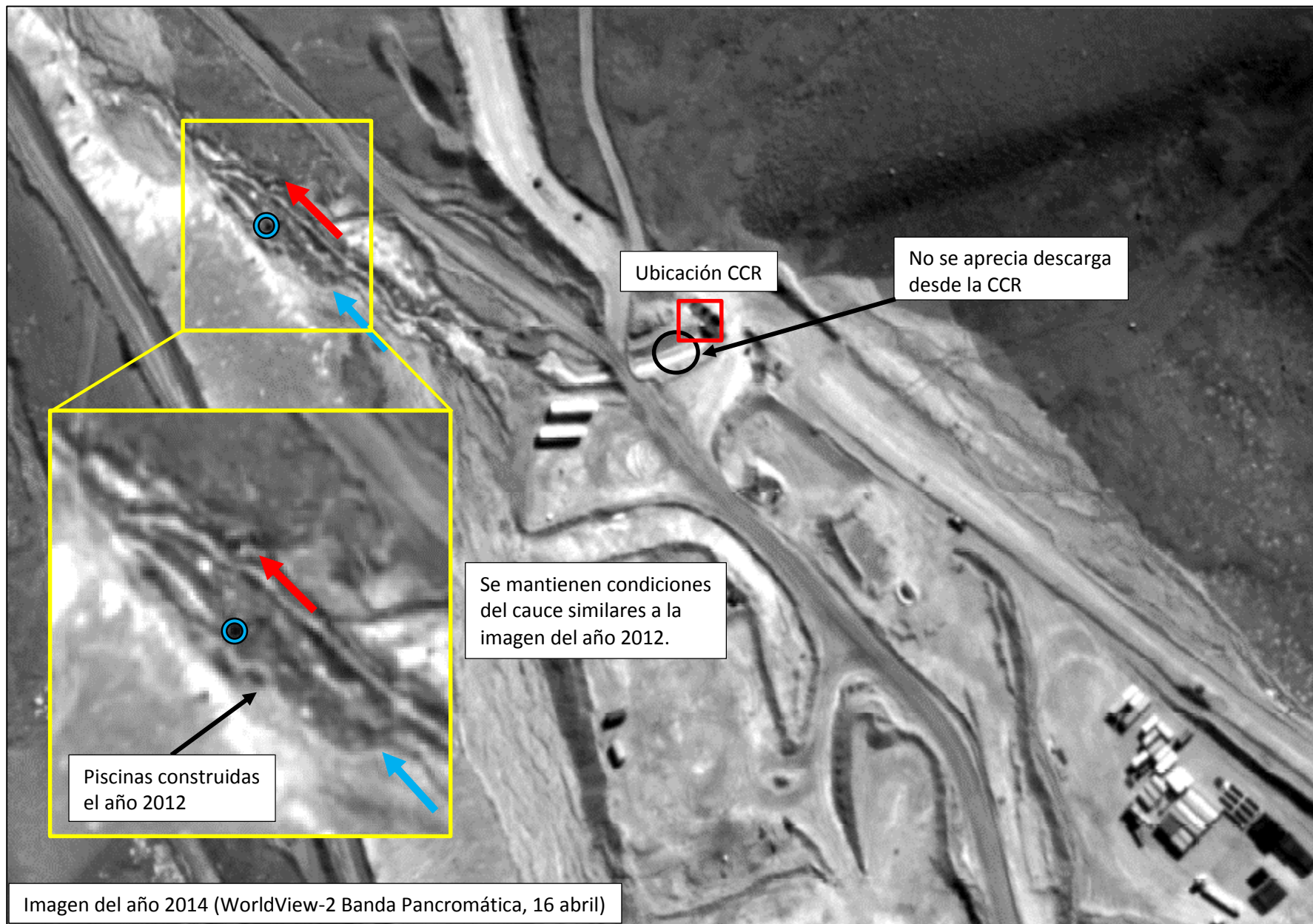
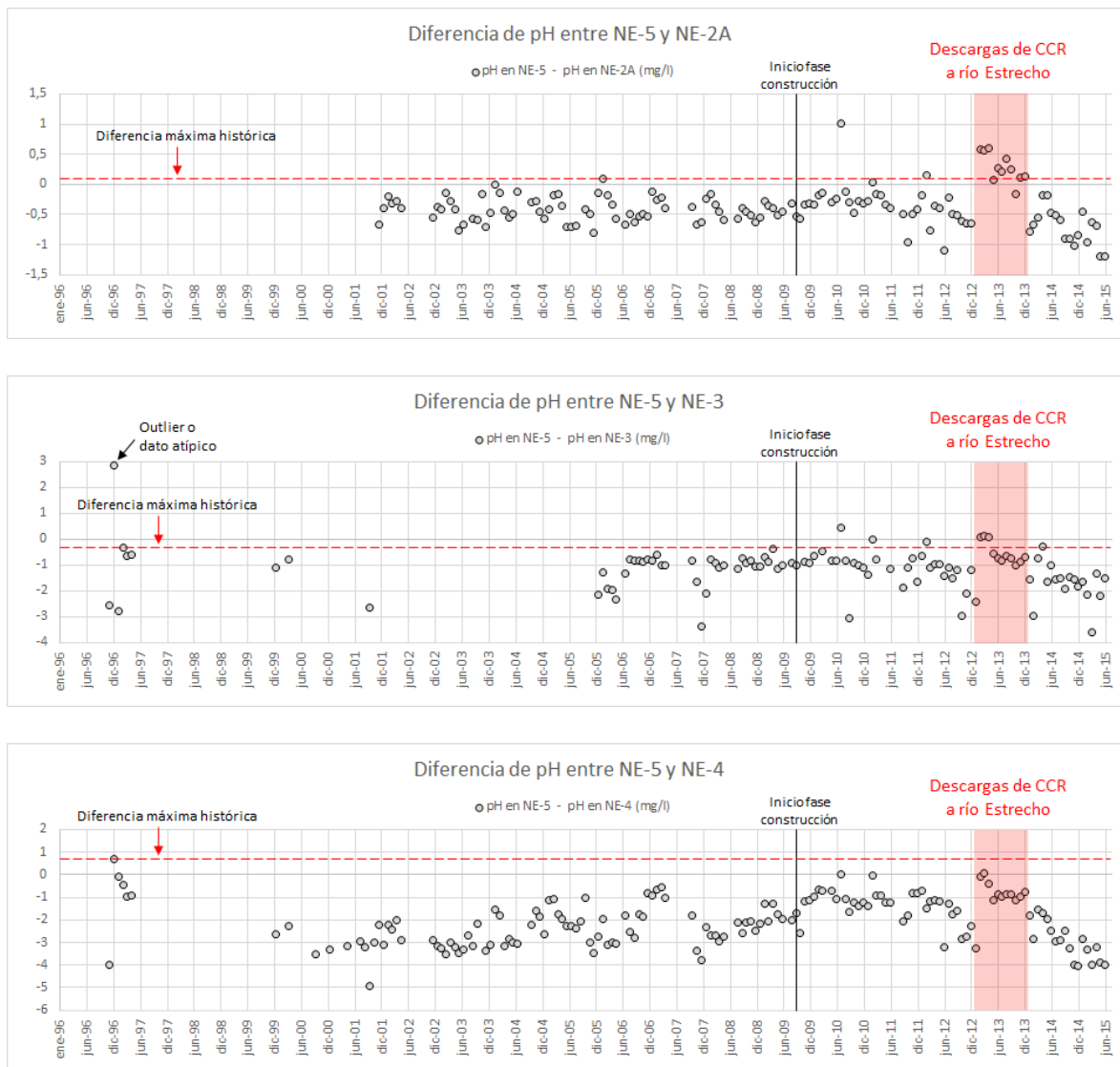


Imagen del año 2014 (WorldView-2 Banda Pancromática, 16 abril)

APÉNDICE 7-2: ANÁLISIS DE LA DIFERENCIA EXISTENTE ENTRE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DAR EN NE-5 Y NE-2A

OBJETIVO: En el presente Apéndice se entrega un análisis que apunta a evidenciar el incremento que se produjo en las concentraciones de los distintos parámetros DAR producto de las descargas desde la CCR. Para ello se definió como punto de control la estación NE-5 (ubicada aguas arriba de las descargas), y se evaluó el comportamiento de NE-2A (punto afectado por las descargas) en relación a ella. De esta forma, las Figuras pares contienen gráficos que representan la diferencia entre NE-5 y NE-2A, entre NE-5 y NE-3, entre NE-5 y NE-4, y entre NE-5 y NE-8, en los cuales se indica la diferencia mínima histórica (máxima histórica para el pH) medida en el período de línea de base. Para cuantificar la magnitud del aporte debido a las descargas desde la CCR, se utilizó como indicador la distancia que existe entre la diferencia de concentraciones de cada estación con NE-5, y el valor mínimo histórico de dicha diferencia (máximo histórico para el pH), lo cual se grafica para cada mes del año 2013 en las Figuras impares.

1. Comportamiento del pH en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5



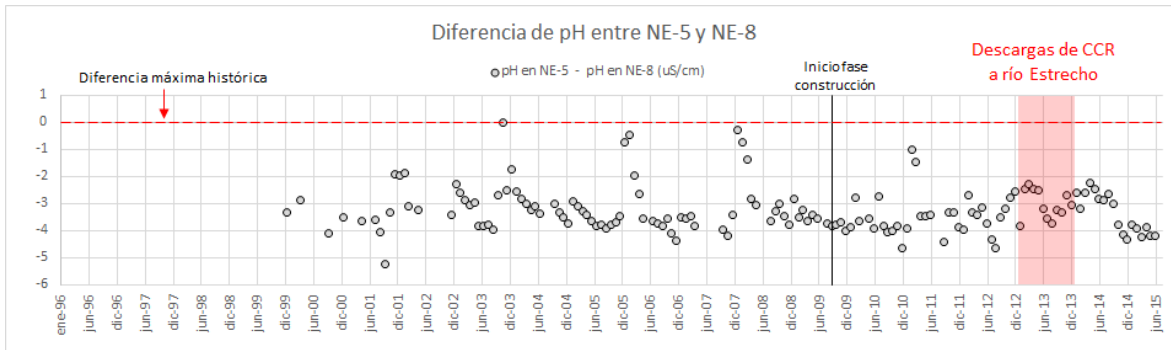


Figura 1. Evolución temporal de la diferencia de pH entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 2. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de pH entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia máxima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

2. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

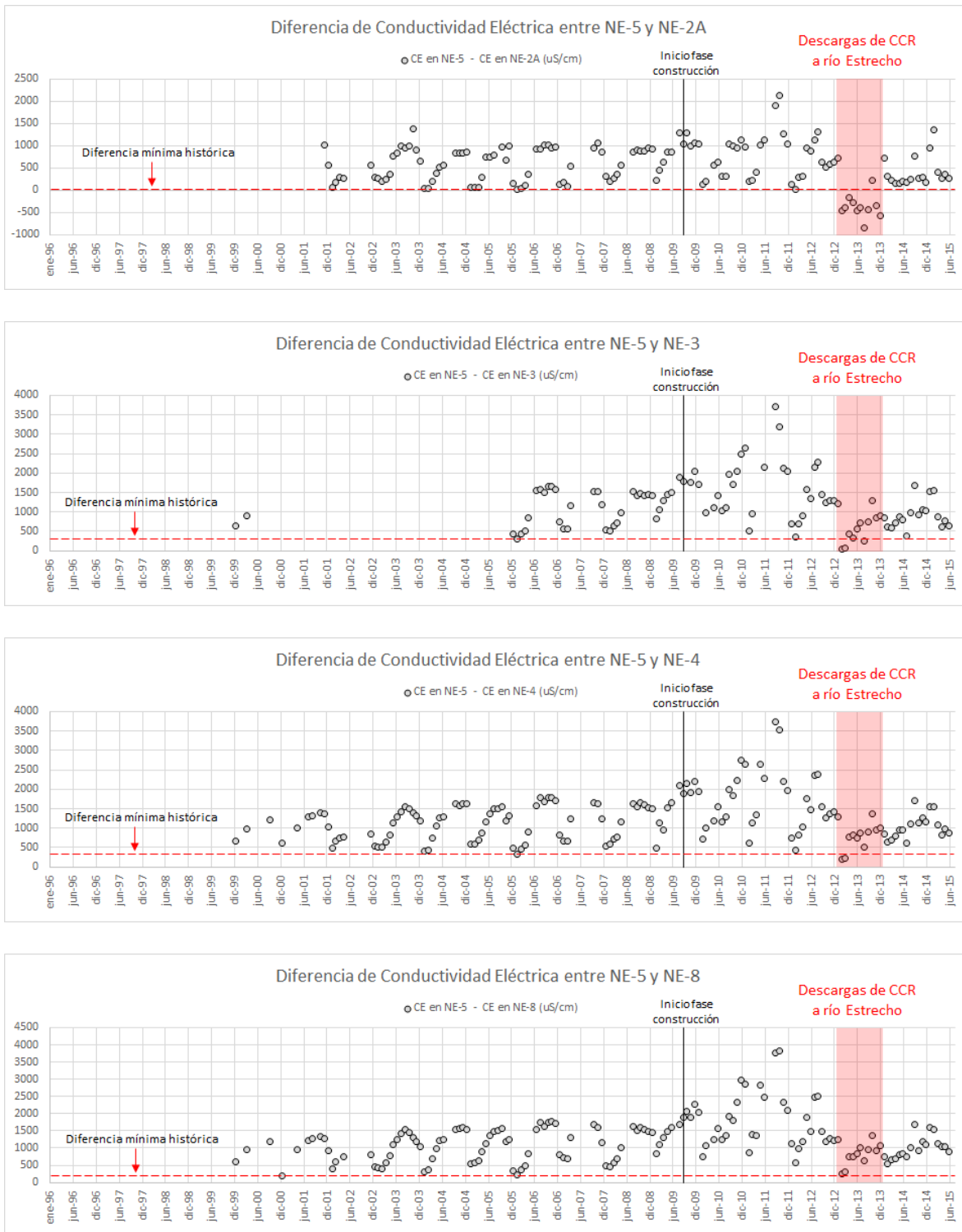


Figura 3. Evolución temporal de la diferencia de Conductividad Eléctrica entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 4. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Conductividad Eléctrica entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

3. Comportamiento del Aluminio en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

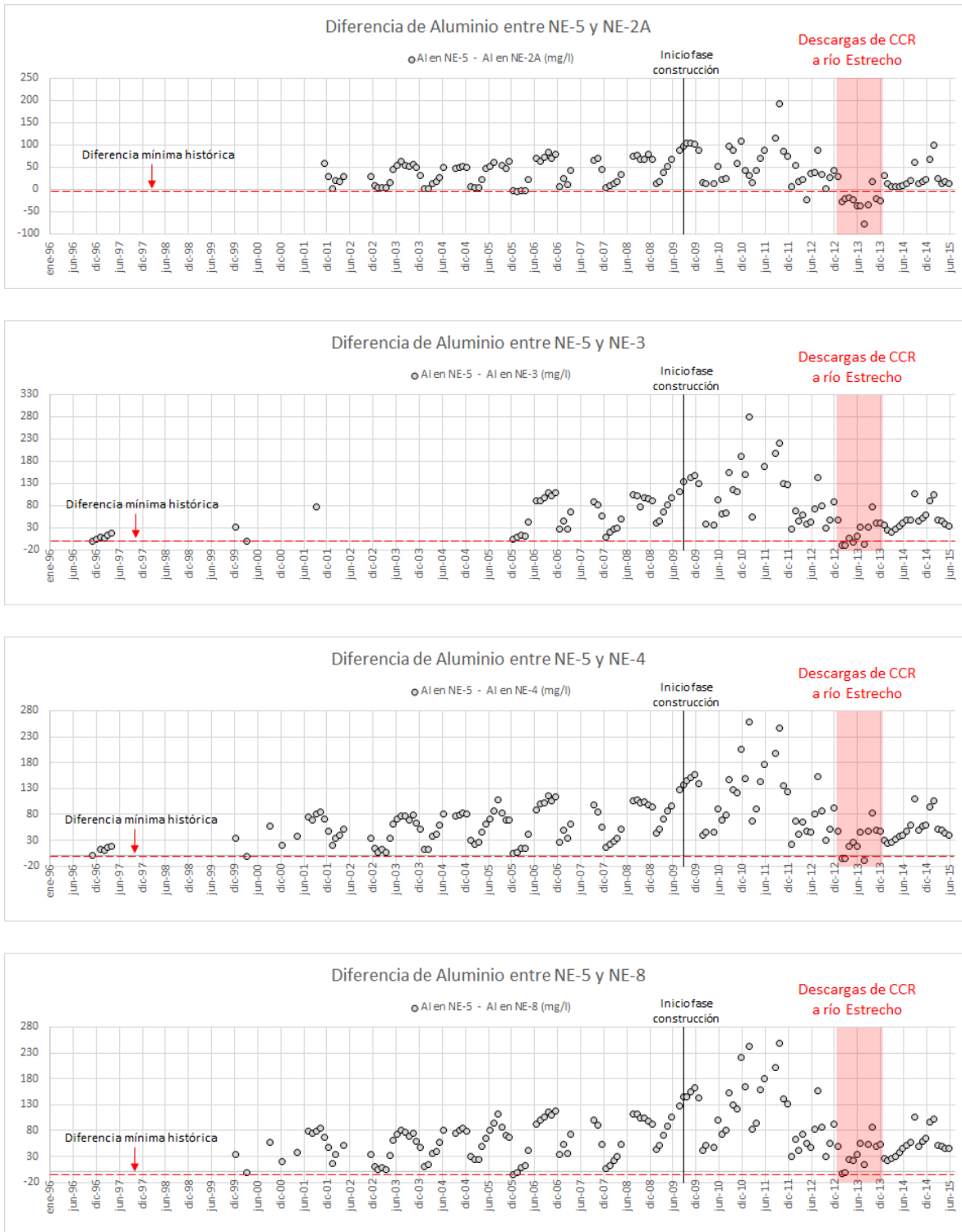


Figura 5. Evolución temporal de la diferencia de Aluminio entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 6. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Aluminio entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

4. Comportamiento del Arsénico en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

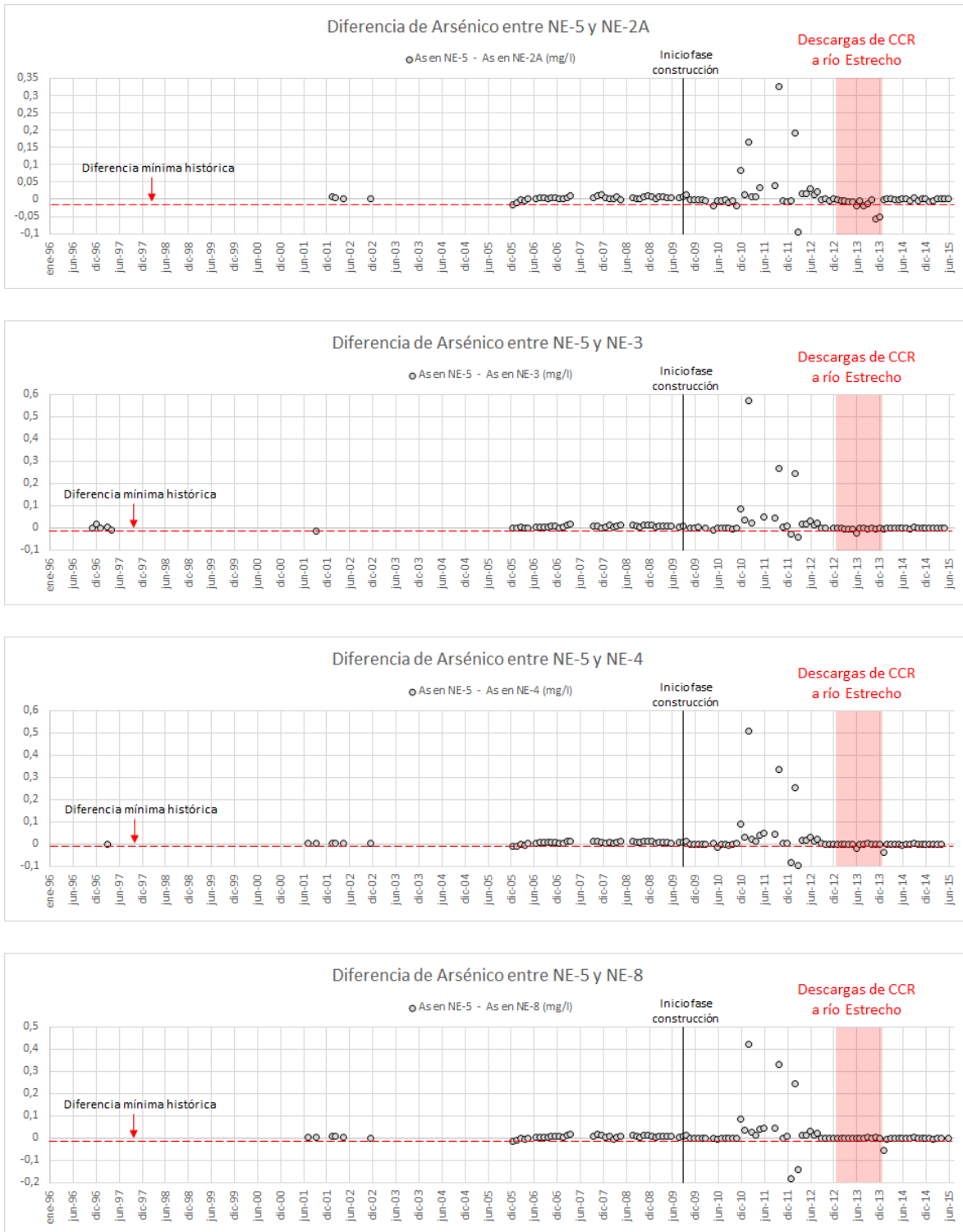


Figura 7. Evolución temporal de la diferencia de Arsénico entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 8. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Arsénico entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

5. Comportamiento del Cobre en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

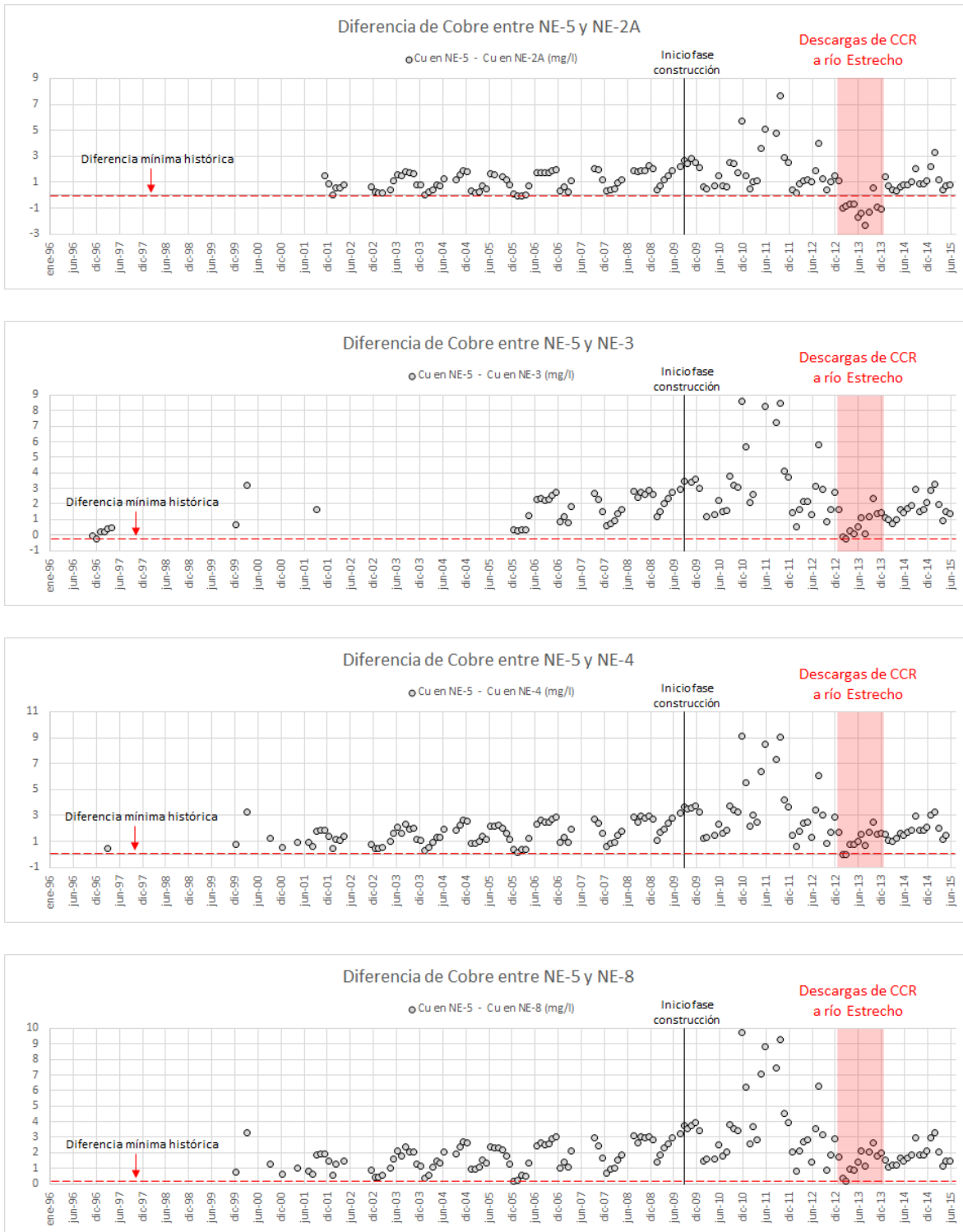


Figura 9. Evolución temporal de la diferencia de Cobre entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 10. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Cobre entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

6. Comportamiento del Hierro en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

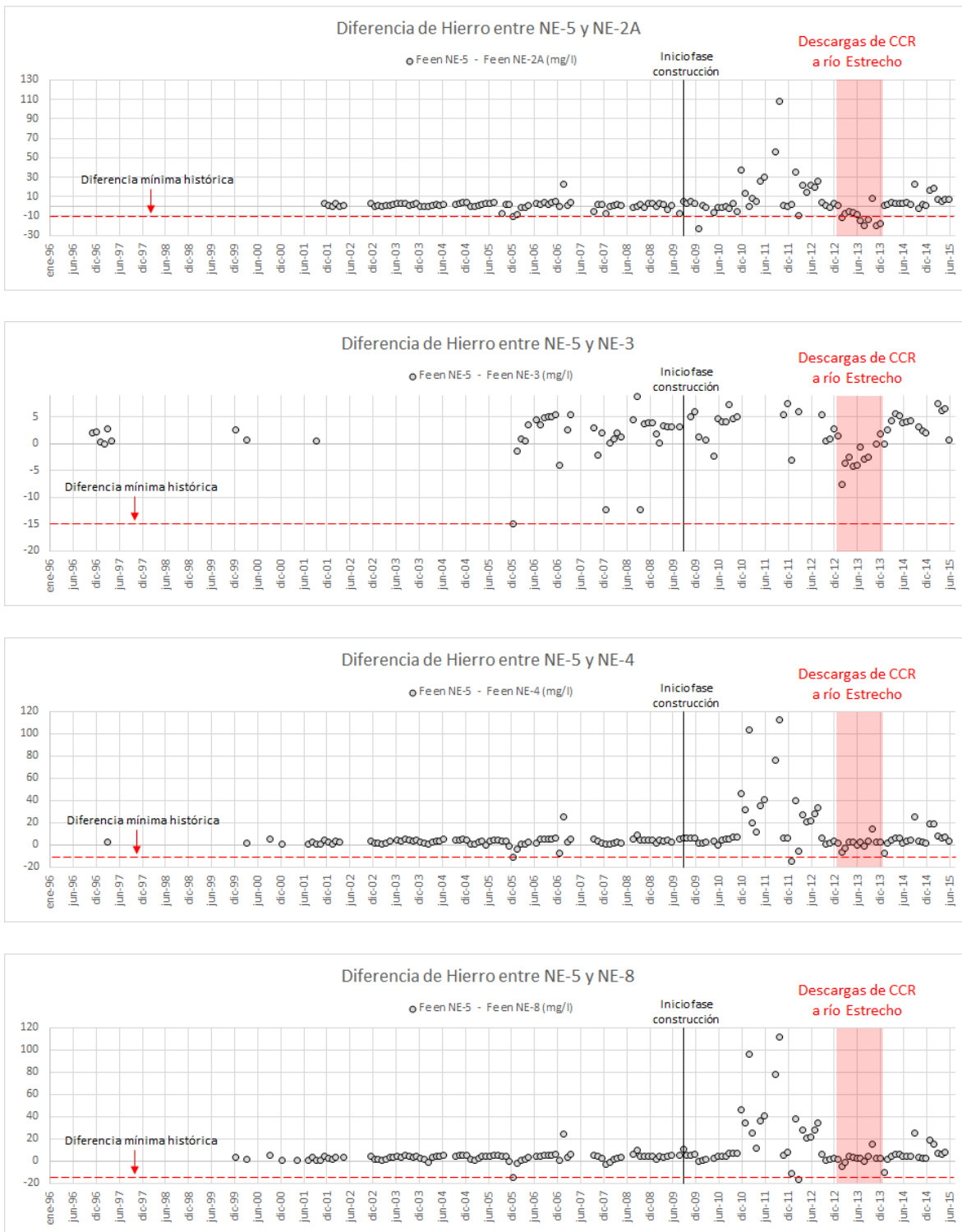


Figura 11. Evolución temporal de la diferencia de Hierro entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 12. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Hierro entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

7. Comportamiento del Manganeso en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

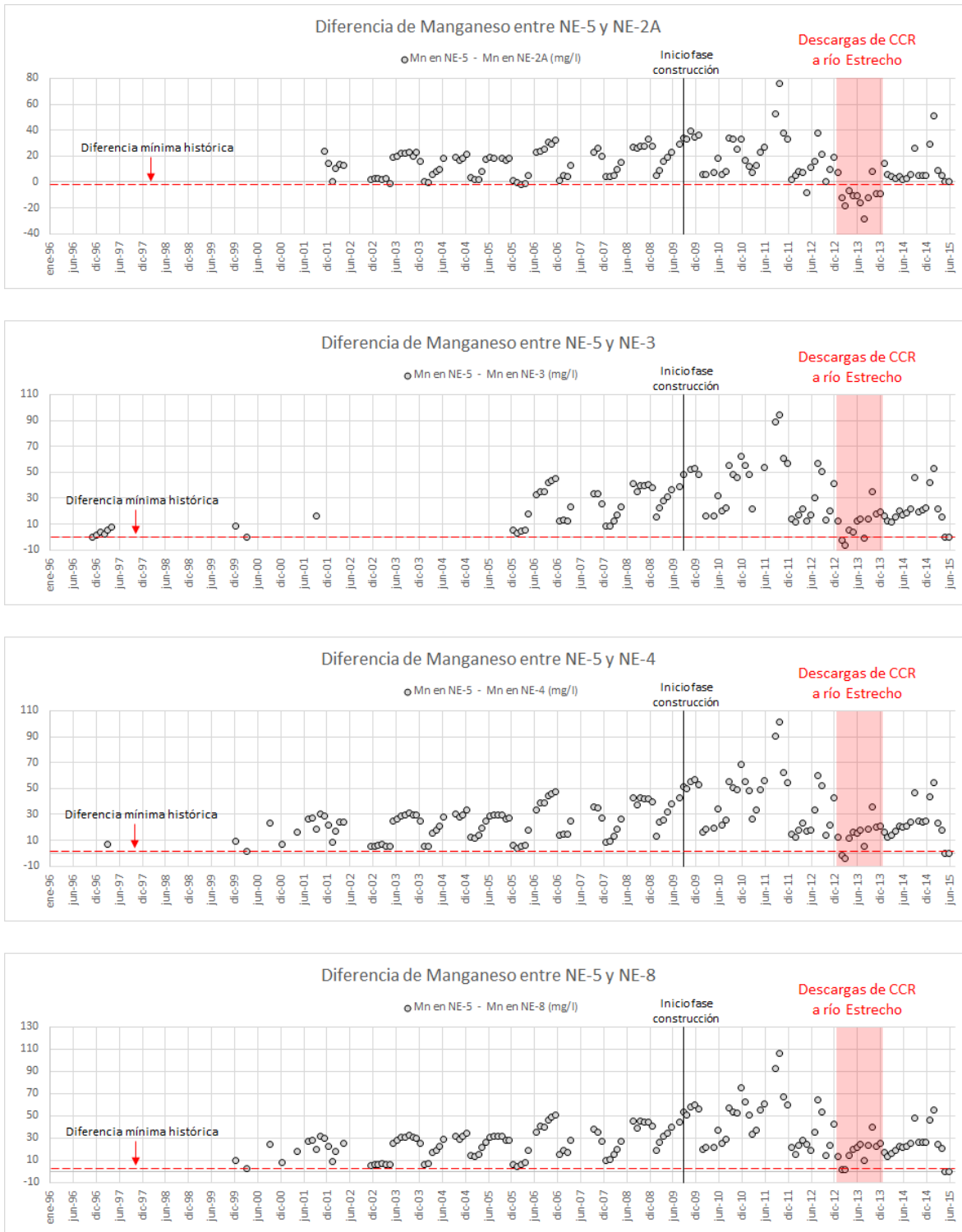


Figura 13. Evolución temporal de la diferencia de Manganeso entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 14. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Manganeso entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

8. Comportamiento del Sulfato en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

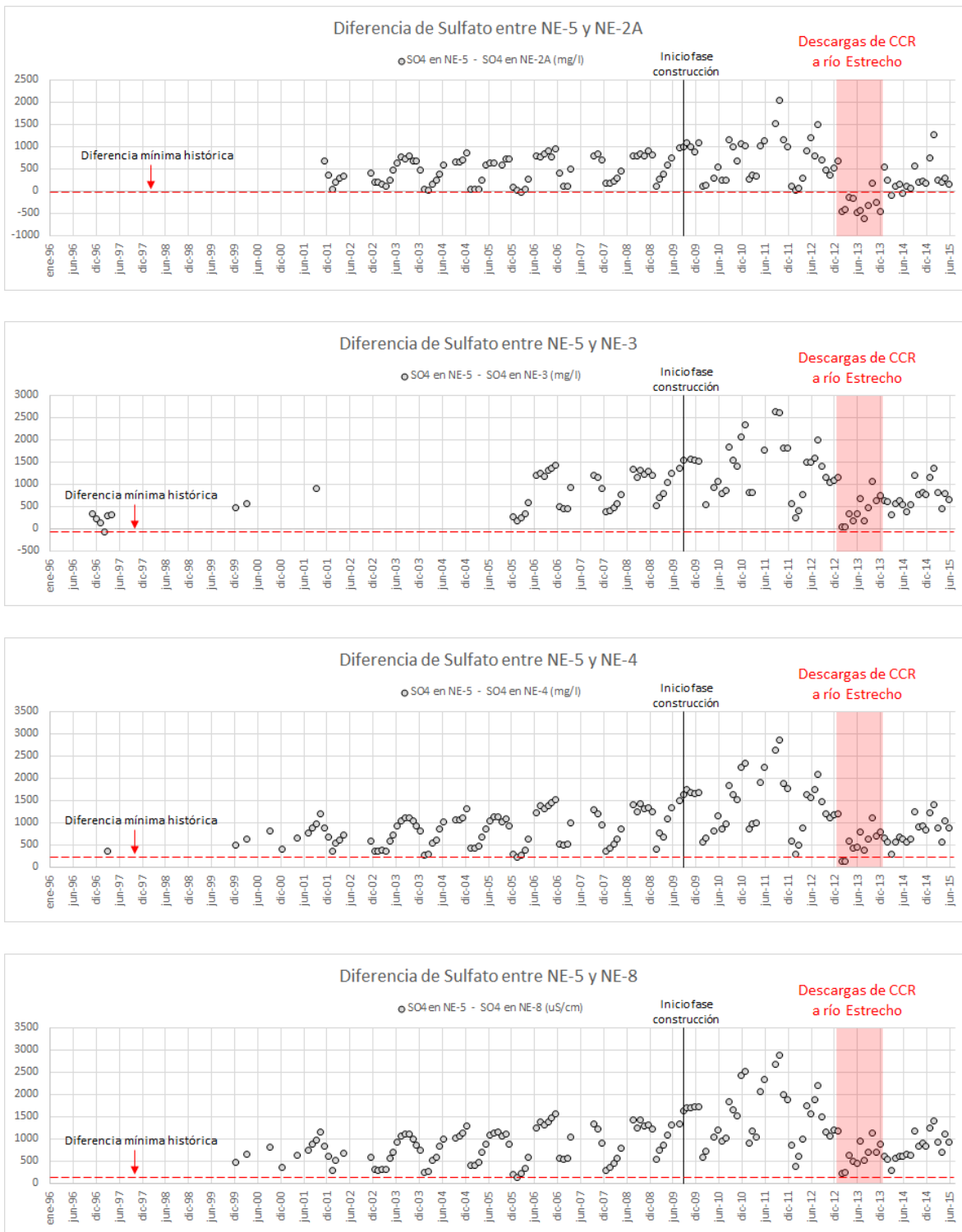


Figura 15. Evolución temporal de la diferencia de Sulfato entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 16. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Sulfato entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

9. Comportamiento del Zinc en las estaciones DAR en función de su diferencia con NE-5

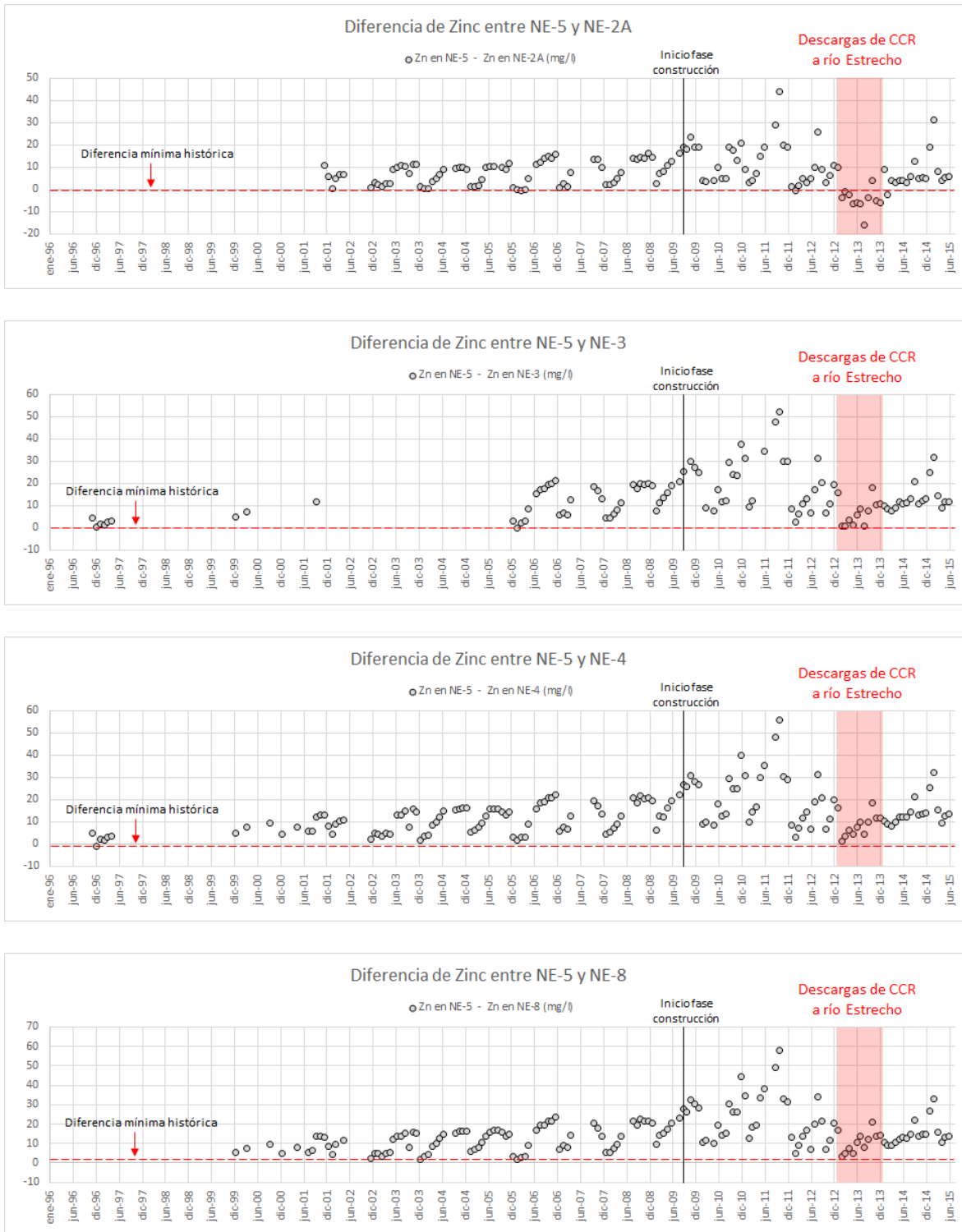


Figura 17. Evolución temporal de la diferencia de Zinc entre NE-5 y las demás estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).



Figura 18. Estado mensual (año 2013) de la diferencia de Zinc entre NE-5 y las demás estaciones DAR, comparado con la respectiva diferencia mínima histórica (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

APÉNDICE 7-3: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DAR EN FUNCIÓN DE SU NIVEL DE ALERTA PARA NE-5 Y NE-2A

OBJETIVO: En el presente Apéndice se presentan los resultados de un análisis gráfico, que permite evaluar el grado de cumplimiento de los umbrales de Niveles de Alerta de los parámetros DAR, fijados en la RCA N°024/2006, para las estaciones de monitoreo NE-5 y NE-2A. El objetivo es determinar si las descargas realizadas durante el año 2013 desde la CCR al río Estrecho, tuvieron un impacto en el cumplimiento de los Niveles de Alerta en NE-2A.

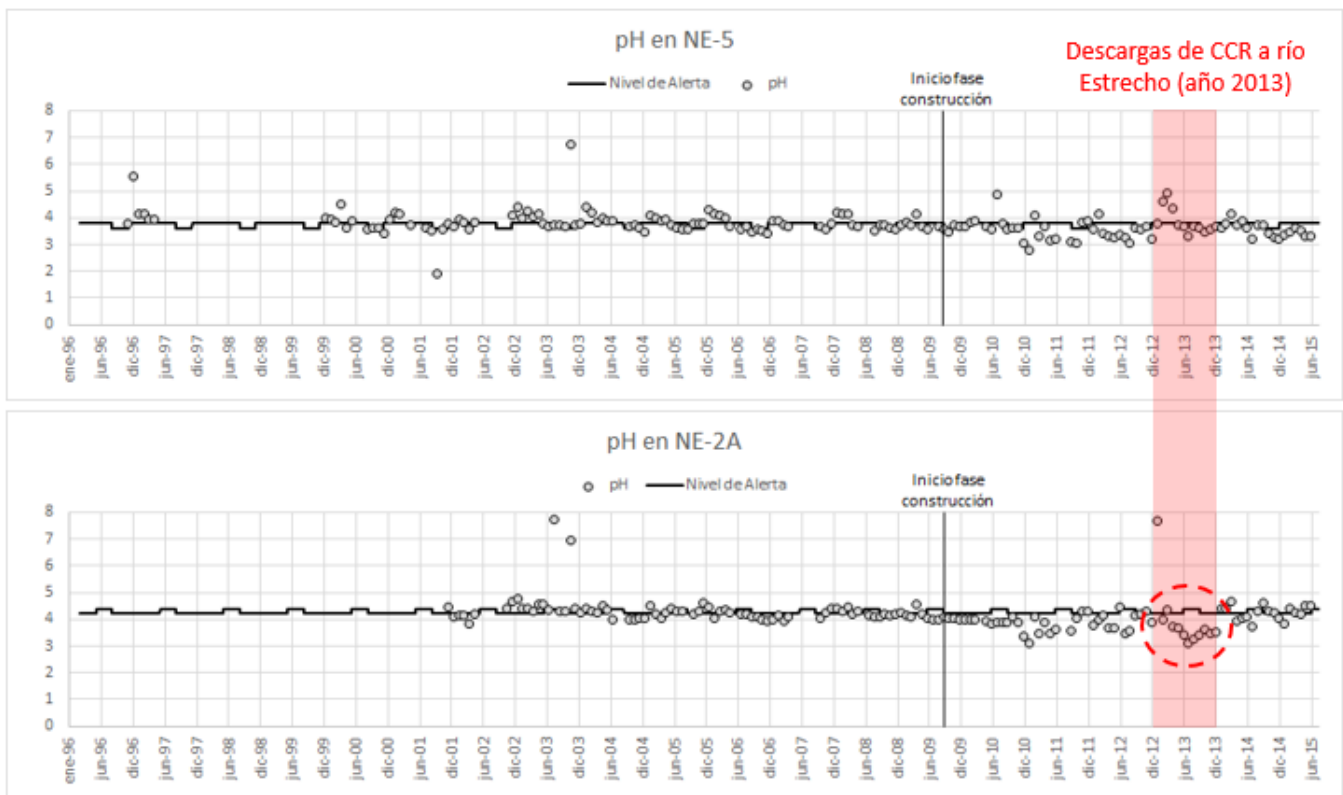


Figura 1. Comportamiento de pH en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

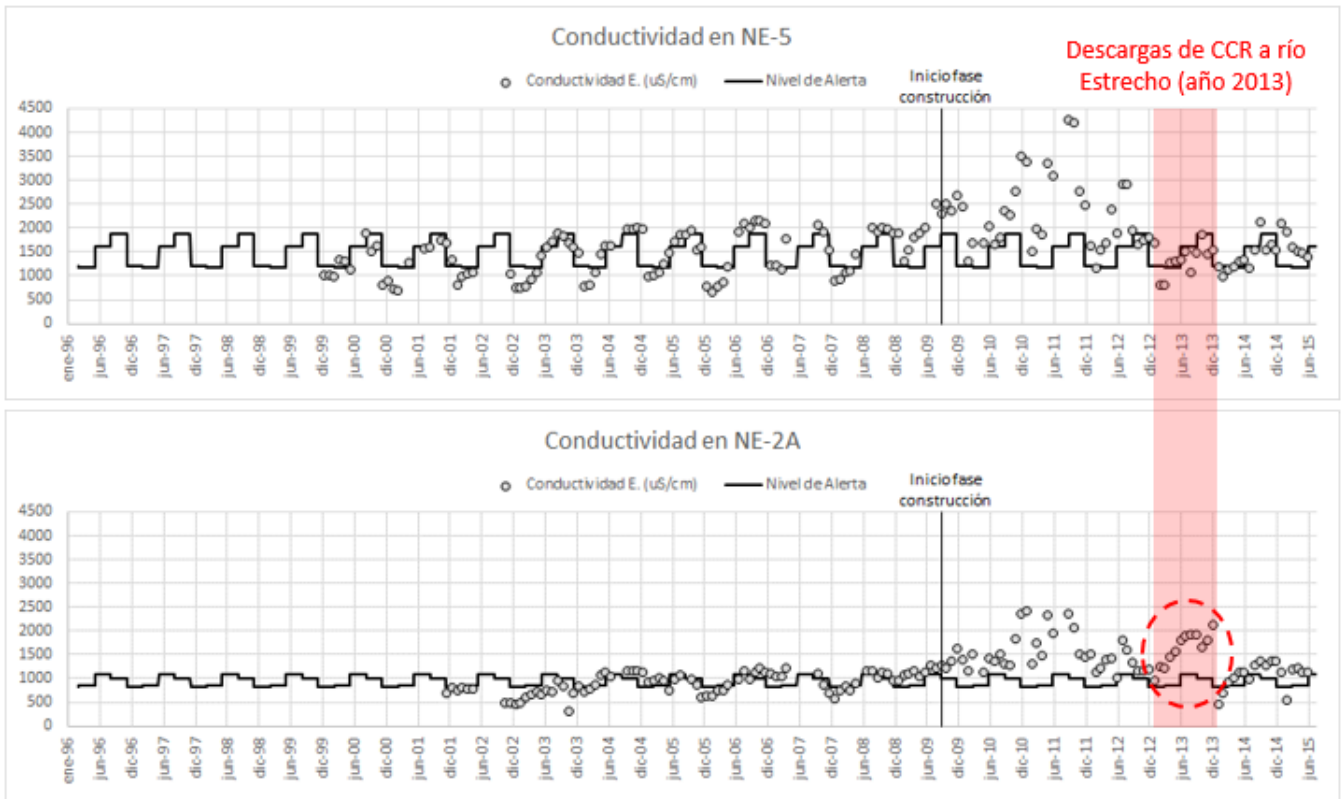


Figura 2. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

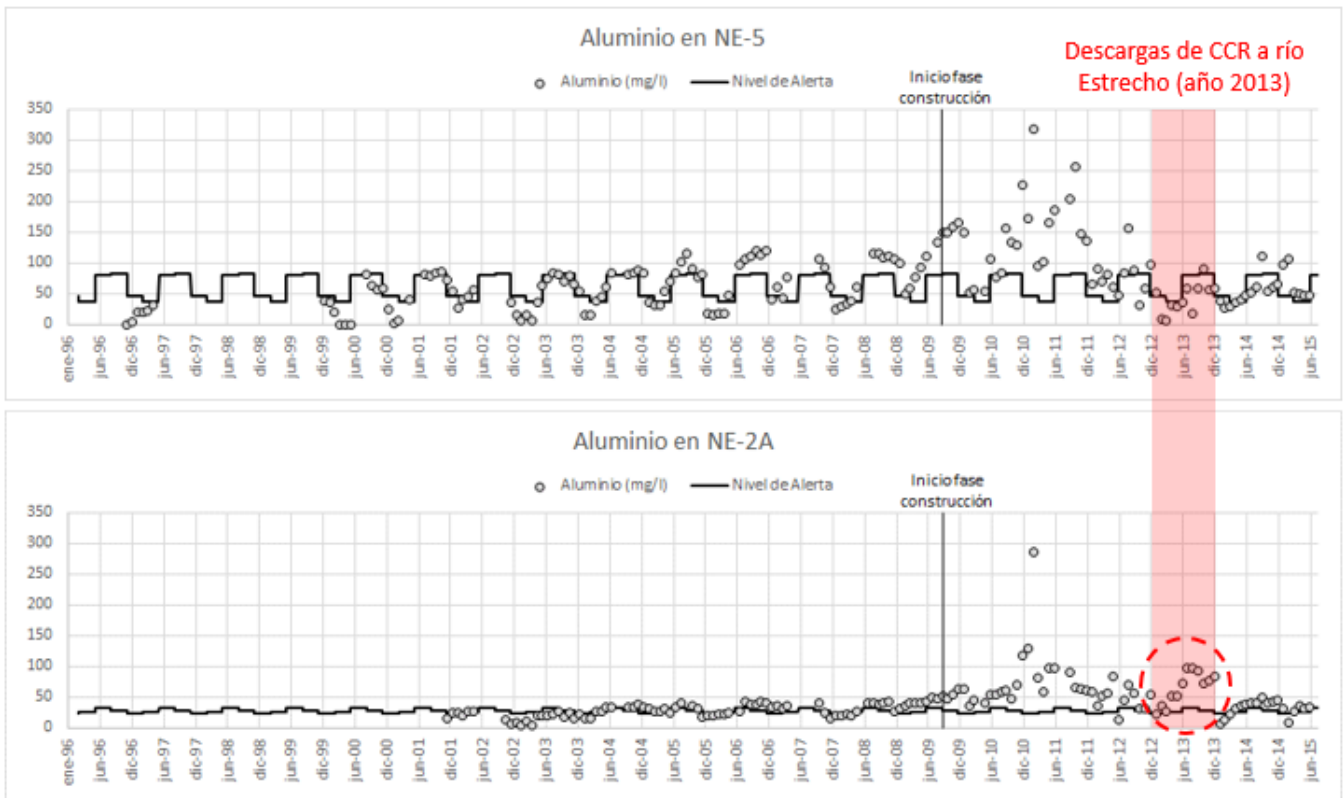


Figura 3. Comportamiento del Aluminio en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

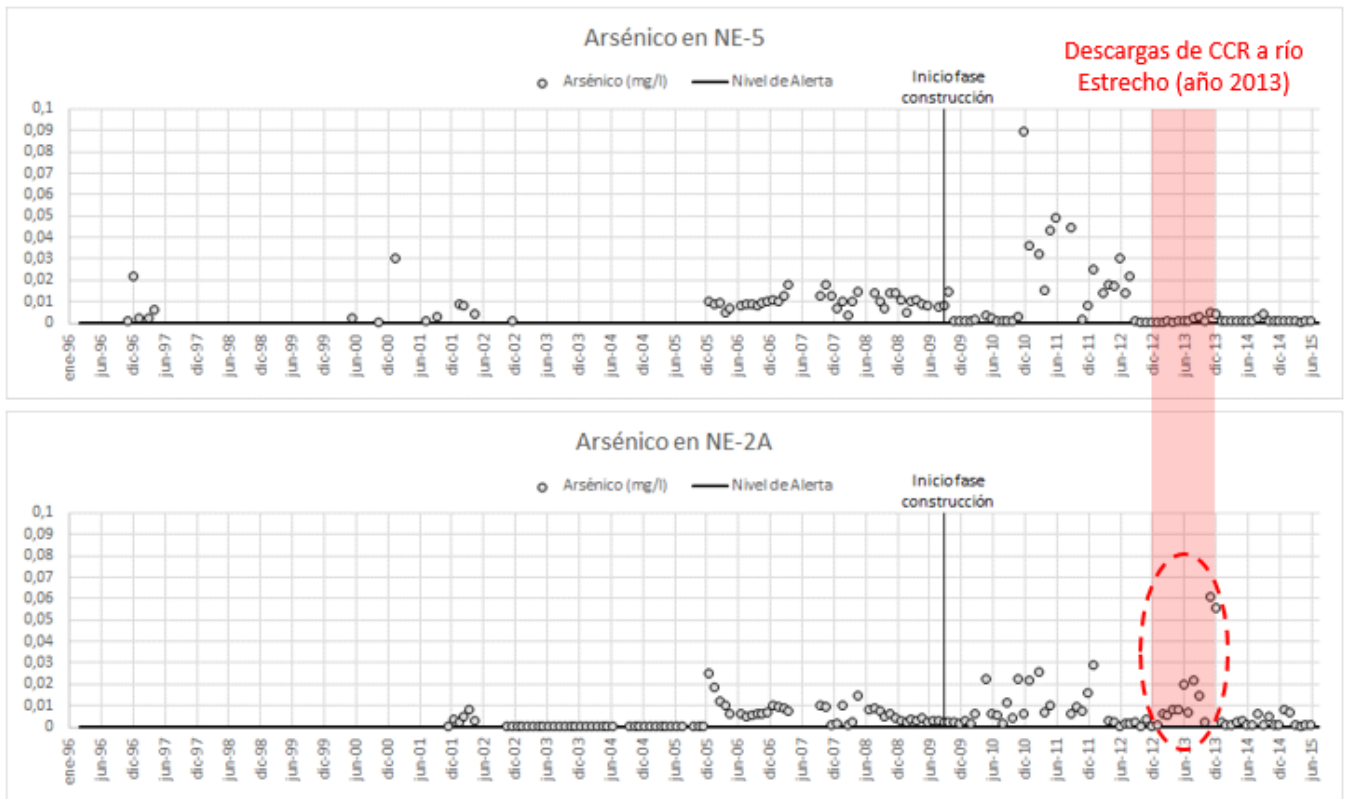


Figura 4. Comportamiento del Arsénico en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

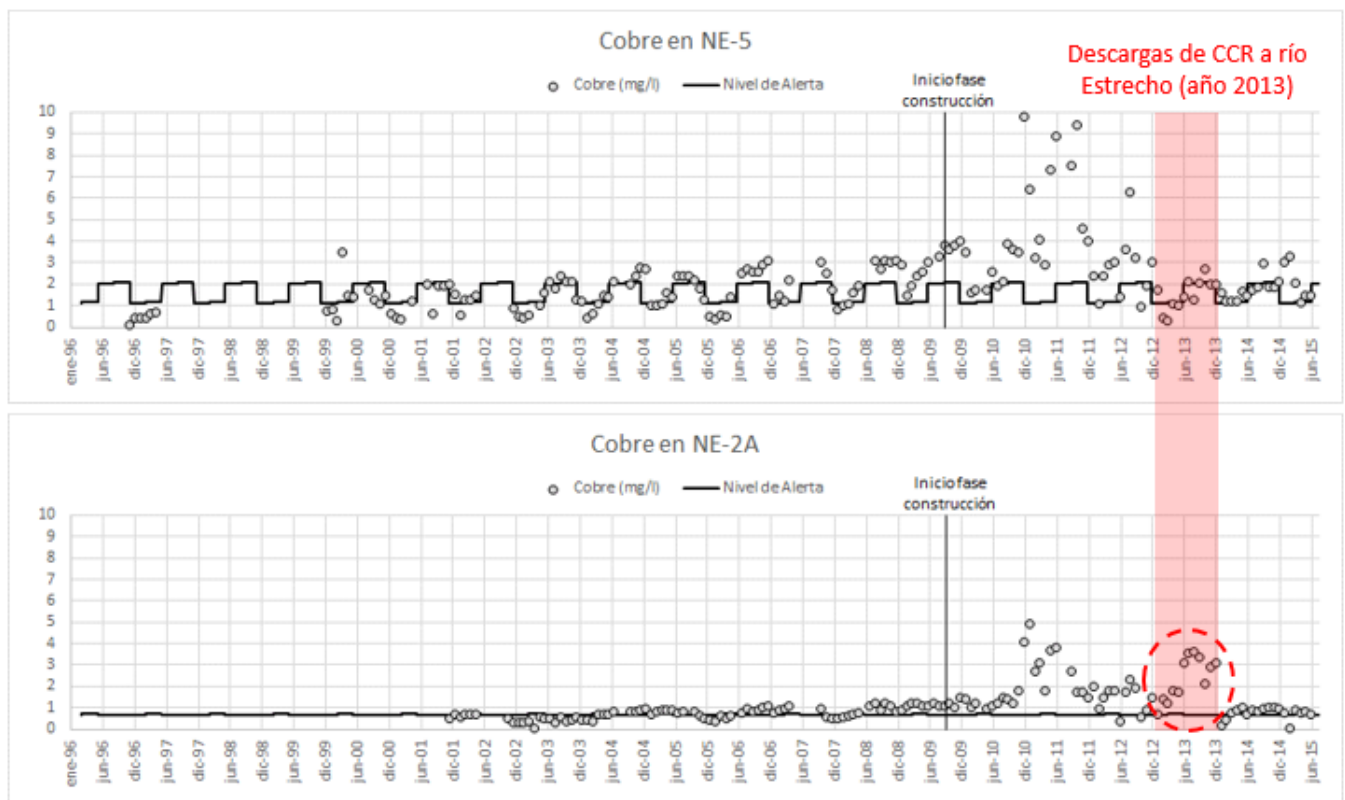


Figura 5. Comportamiento del Cobre en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

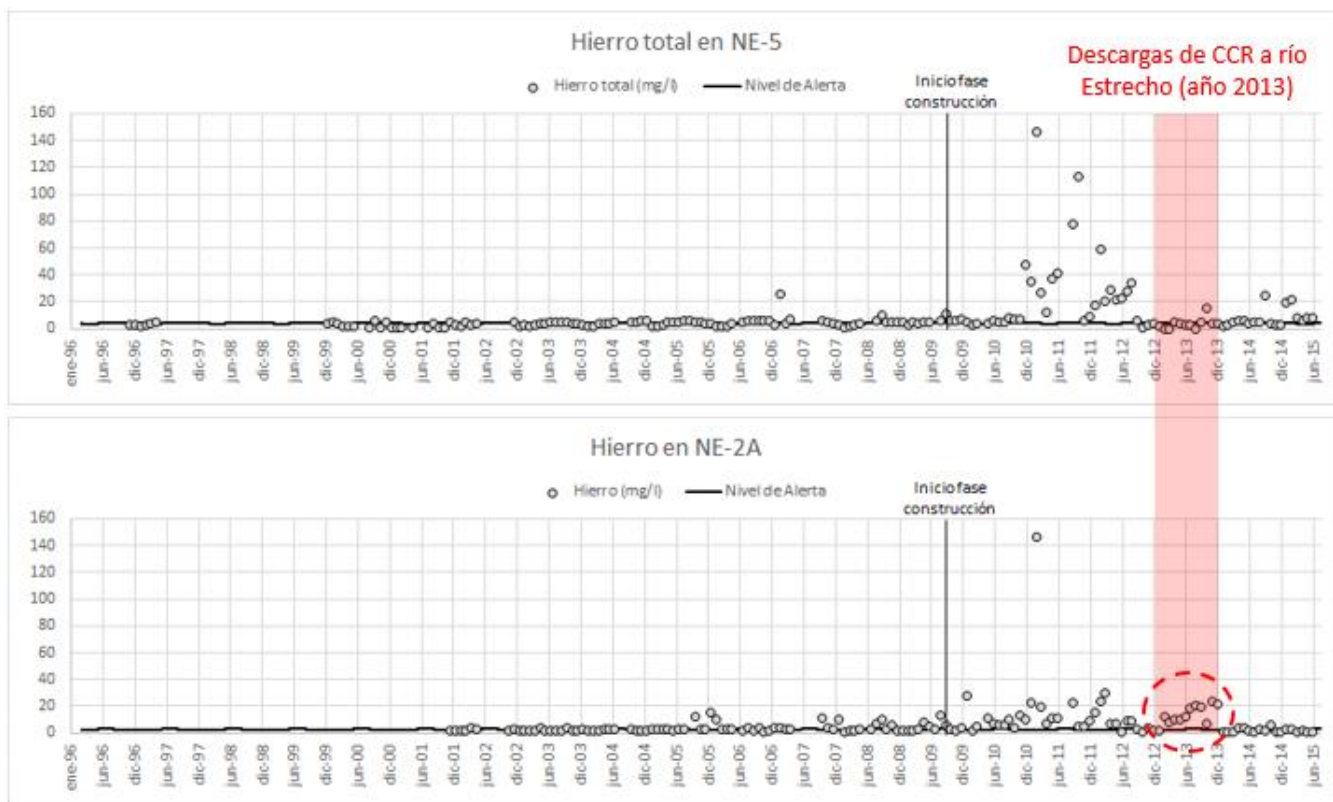


Figura 6. Comportamiento del Hierro en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

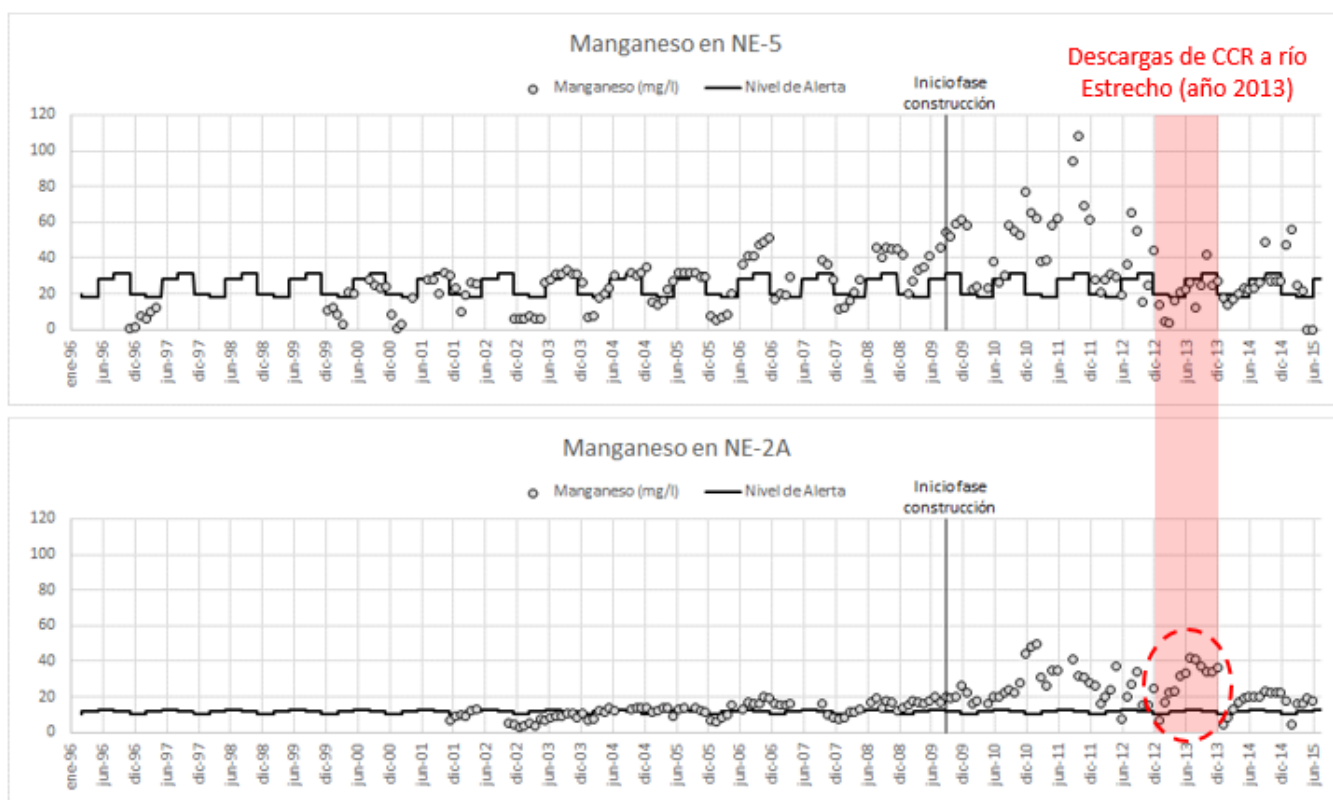


Figura 7. Comportamiento del Manganese en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

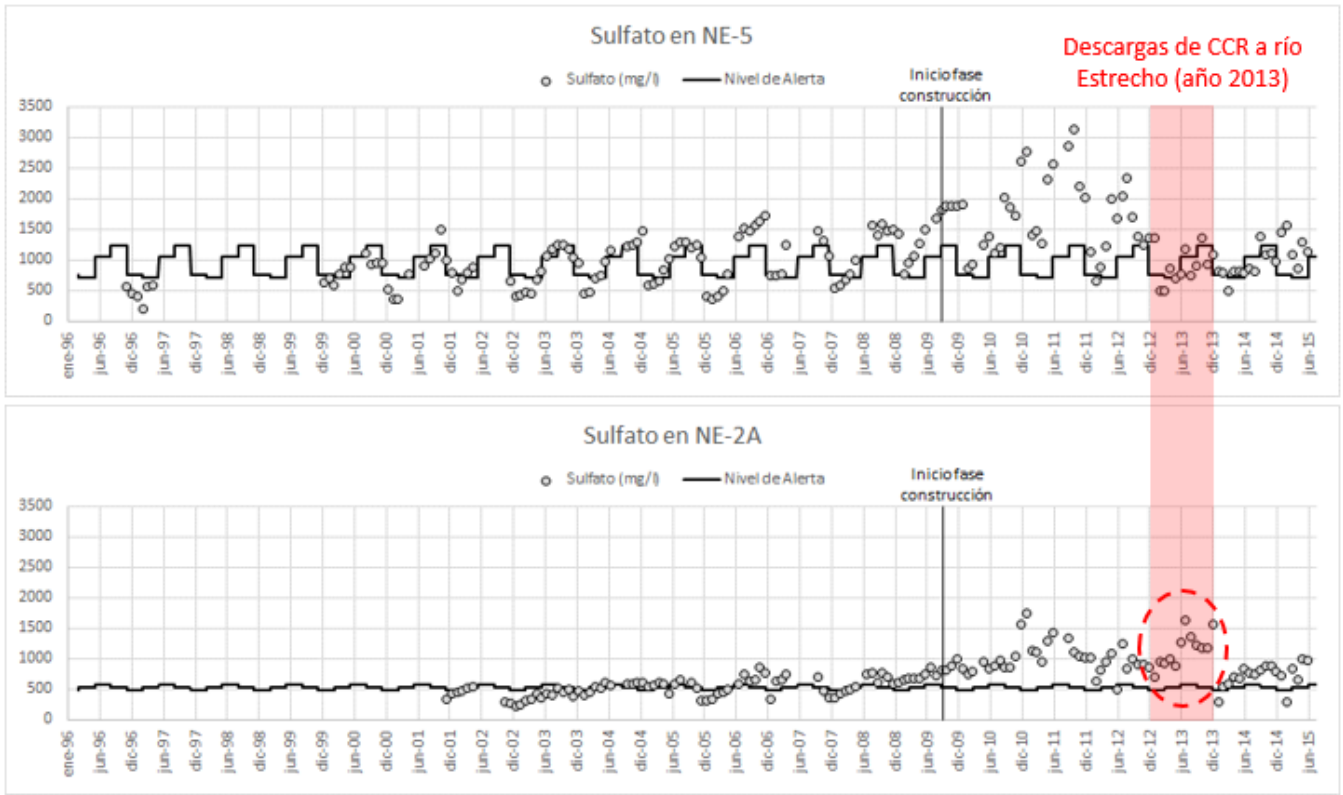


Figura 8. Comportamiento del Sulfato en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

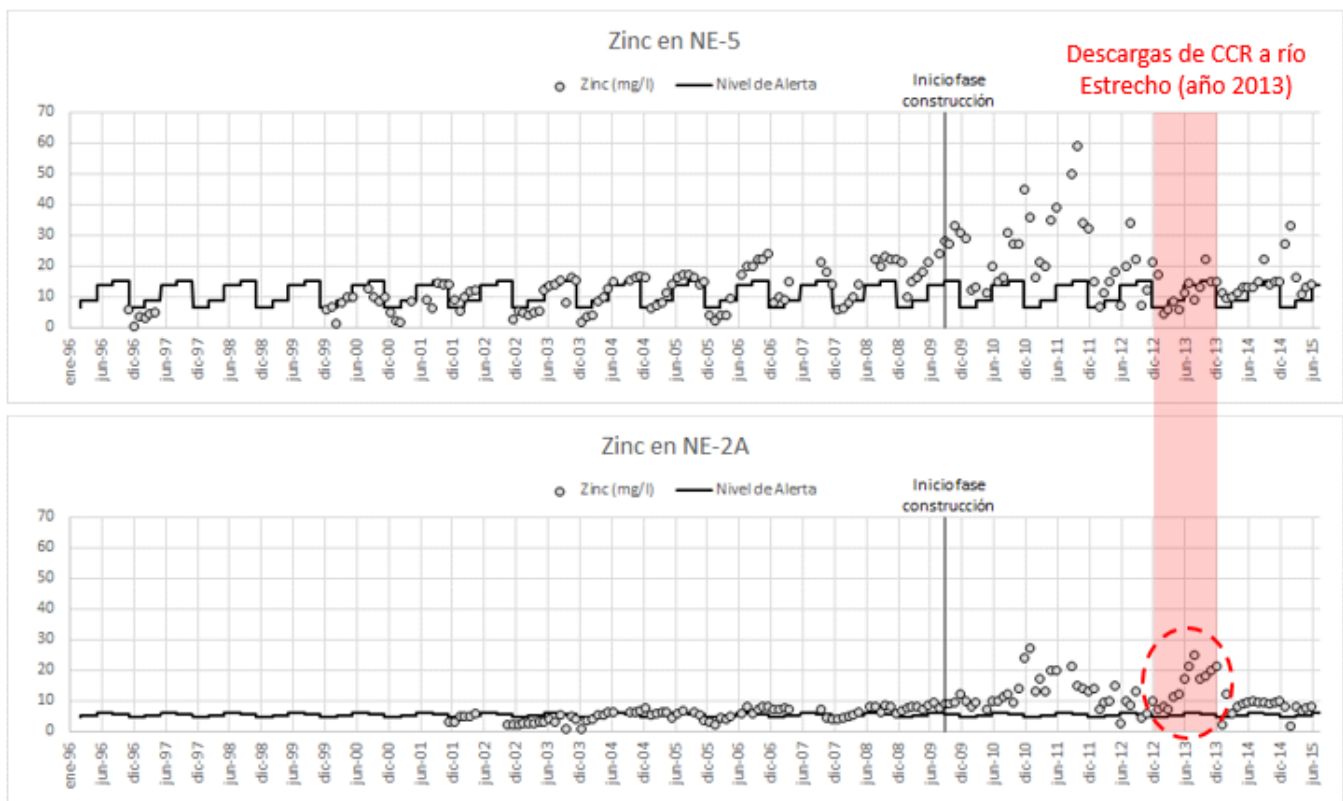


Figura 9. Comportamiento del Zinc en comparación con los Niveles de Alerta definidos en la RCA N°24/2006 para NE-5 y NE-2A (Fuente: elaboración propia en base a datos de seguimiento ambiental reportados).

ANEXO 8: EFECTOS DERIVADOS DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ESTRECHO

OBJETIVO: En el presente Anexo se exponen los resultados de la investigación realizada sobre los efectos que se derivaron de la ejecución del proyecto en la calidad del agua superficial, en la cuenca del río Estrecho. En particular, responde al objetivo de determinar si los cambios detectados en la calidad del agua en el río Estrecho, durante la ejecución del proyecto, pueden ser vinculados a fluctuaciones de origen natural, efectos derivados del proyecto, o una combinación de ambos.

1. Antecedentes: afectación a la calidad del agua del río Estrecho según los niveles de alerta de la RCA N°024/2006

Conforme a lo mandado por el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental en el considerando 91° de su sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, causa Rol R-6-2013, se compararon los monitoreos contra los niveles de alerta calculados conforme a la RCA N°024/2006, tal como lo realizara el mismo Tribunal en la Tabla N°2 de la referida Sentencia. El análisis realizado fue ampliado a la totalidad de las estaciones DAR¹ y cubriendo desde el año 1996 hasta junio de 2015, lo cual se muestra en la Figura 1. A objeto de contar con una mejor resolución en el período de tiempo cercano al que caracteriza los hechos infraccionales, se incluye la Figura 2 que abarca únicamente los años 2012 y 2013.

Los resultados confirman lo expuesto por el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental en el considerando 92° de su sentencia, en cuanto a que existe un número elevado de excedencias a los estándares de calidad correspondientes. En efecto, si se consideran los períodos anuales 2012 y 2013 (incluyendo los 9 parámetros DAR, las 5 estaciones de monitoreo y los 24 meses), se obtiene un nivel de excedencia de los umbrales que alcanza un 63,9% y un 64,1% respectivamente. Ahora bien, si se desagrega por estación de monitoreo, se obtiene que el nivel de excedencia alcanzó un 86,1%, 85,2%, 65,7%, 46,3% y 36,1% durante el año 2012, y un 48,1%, 95,4%, 80,6%, 58,3% y 38,0% durante el año 2013, para las estaciones NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8 respectivamente. El hecho de que el mayor nivel de excedencia se de en las estaciones ubicadas en la cabecera (NE-5 y NE-2A) refuerza el nexo causal que existe con la ejecución del proyecto. Además, el hecho de que el mayor nivel de excedencia se traslade desde NE-5 en el año 2012 a NE-2A durante el año 2013, apunta claramente a la ocurrencia de efectos asociados específicamente a las descargas desde la CCR, que se incorporan al río Estrecho precisamente entre NE-5 y NE-2A, y que ocurrieron mayoritariamente durante dicho año (para mayor detalle consultar el Anexo 7).

Para dotar de mayor contexto el análisis anterior se realizó un análisis complementario en base a ciertos criterios técnicos que se describen a continuación, y cuyo desarrollo y resultados se presentan a lo largo del presente Anexo.

2. Metodología

Para indagar en los posibles efectos que se derivaron de la ejecución del proyecto se deben tener en cuenta diversos aspectos, entre ellos, las obras y acciones llevadas a cabo por el proyecto con el potencial de generar efectos en la calidad del agua, y las fluctuaciones que puedan haber ocurrido por causas naturales (principalmente climáticas²). Conociendo lo anterior, resulta posible analizar e interpretar los registros de calidad del agua (en este

¹ Las estaciones NE-5 y NE-3 no fueron incluidas en el análisis realizado por el Tribunal. Los umbrales utilizados en este caso para estas estaciones corresponden a los niveles de alerta, de forma coherente con lo realizado por el Tribunal para las otras estaciones, en particular para NE-2A.

² En el Anexo 2 se presenta un análisis de precipitaciones y caudales, cuyos resultados demuestran que ha habido una merma en los recursos hídricos en la zona.

caso específicamente los 9 parámetros DAR) para determinar si los cambios observados pueden responder a efectos del proyecto, fluctuaciones naturales, o una combinación de ambos.

Las principales obras y acciones asociadas a la ejecución del proyecto, junto con la temporalidad en que se desarrollaron, se describen en el Anexo 3. Sin perjuicio de lo anterior, más adelante se reproducen los aspectos más relevantes para el análisis del presente caso. En cuanto a las fluctuaciones de origen natural, éstas se estiman en base a la información generada por las estaciones de monitoreo ubicadas en cuencas laterales, ajenas a la intervención del proyecto, y que se denominan estaciones de “control”.

En el presente Anexo se analiza el comportamiento en cada estación de monitoreo del río Estrecho, que contaba, según la RCA N° 24/2006, con umbral para activar planes de alerta (NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8, denominadas estaciones DAR). En base a ello se busca caracterizar el comportamiento de la cuenca, y determinar si existe una respuesta que pueda relacionarse con las obras y acciones ejecutadas por el proyecto. Asimismo, se analiza el comportamiento en cada estación control (NE-1A, PX-1, CN-2 y NE-7) para evaluar su influencia en la calidad del agua del río Estrecho, y determinar si existen cambios relevantes que puedan asociarse a fenómenos climáticos o de otra índole no relacionados con el proyecto. La ubicación de las distintas estaciones de monitoreo mencionadas se muestra en la Figura 3.

3. Fuentes de información utilizadas

Los datos de calidad del agua en las estaciones DAR (NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8) y en las estaciones control (NE-1A, PX-1, CN-2 y NE-7) fueron obtenidos de la información anexa a la Carta PL-0006/2014, remitida al SEA en el marco del procedimiento de revisión de la RCA N°024/2006³. Los datos contenidos en dicha carta abarcan hasta el mes de abril del año 2012, por lo que los datos posteriores a ello fueron obtenidos de los informes de seguimiento ambiental, remitidos periódicamente en cumplimiento de la RCA N°024/2006.

Los registros de calidad del agua en el pozo RE-17S fueron obtenidos de la Carta PL-020/2016, disponible en el expediente del procedimiento sancionatorio Rol A-002-2013⁴.

4. Obras y acciones identificadas con potencial de alterar la calidad del agua

En el Anexo 3 se identificaron las principales obras y acciones asociadas a la construcción del sistema de manejo de aguas contemplado en la Resolución de Calificación Ambiental N°24/2006, y los períodos en que se ejecutaron. Los potenciales efectos derivados de estas obras en la calidad del agua fueron expuestos en el Anexo 4, destacándose dos mecanismos mediante los cuales el proyecto incidió en la calidad del agua del río Estrecho. El primero de ellos consiste en una alteración directa producto de descargas de aguas ácidas al río Estrecho y a la intervención de sus nacientes⁵, mientras que el segundo mecanismo se refiere a la alteración indirecta por medio de la alteración del sistema de aguas subterráneas⁶, lo cual influye luego en la calidad del agua del río Estrecho, puesto que el sistema subterráneo se encuentra íntimamente vinculado con el sistema superficial en la parte alta de la cuenca (más detalles en el Anexo 4).

En lo que se refiere a la alteración directa, las obras y acciones identificadas son las siguientes:

- El proyecto realizó descargas superficiales de aguas subterráneas de mala calidad (aguas ácidas naturalmente), bombeadas con el fin de deprimir el acuífero durante la construcción del muro cortafuga. De acuerdo al Anexo 3, éstas ocurrieron entre diciembre de 2010 y junio de 2011.

³ SEA. [en línea] <<http://www.sea.gob.cl/rca/modificaciones-proyecto-pascua-lama>>

⁴ SMA. [en línea] <<http://snifa.sma.gob.cl/v2/Sancionatorio/Ficha/1>>

⁵ El río Estrecho en NE-5 se forma por el afloramiento de aguas subterráneas que forman varios cursos de agua de pequeña magnitud, o “nacientes”, que luego convergen para formar el cauce principal que luego es monitoreado en NE-5.

⁶ Tal como se plantea en el Anexo 4, existe una estrecha relación entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales en la parte alta de la cuenca. De hecho, el agua que pasa por la sección donde se ubica NE-5 proviene netamente de afloramientos de aguas subterráneas. De esta forma, se puede decir que el nacimiento del río Estrecho es en esencia una manifestación en superficie de las aguas subterráneas locales. Por lo tanto, si es que existe una alteración en la cantidad y calidad de estas aguas subterráneas ubicadas aguas arriba de NE-5, es esperable que exista también un efecto en la cantidad y calidad del agua superficial, al menos en NE-5 y NE-2A, que son las estaciones de monitoreo que presentan una influencia significativa de las aguas subterráneas según el modelo conceptual.

- Intervención de las nacientes por movimiento de tierra (excavaciones y depositación de material), establecimiento de infraestructura (plataformas, piscinas, acopio de materiales, galpones, otros) y por la alteración de los afloramientos (modificación del trazado, encauzamiento). La magnitud de esta intervención puede apreciarse al comparar la Figura 4 con la Figura 5. De acuerdo al Anexo 3, las obras habrían comenzado durante el segundo semestre del año 2010.
- Descarga superficial de aguas subterráneas captadas por los pozos de alivio previo a su conexión con el sistema de manejo de aguas de contacto. De acuerdo al Anexo 3, se estima que las descargas habrían ocurrido entre noviembre de 2011 y abril de 2012.
- Descarga directa al río Estrecho desde la CCR, luego de que entrara en funcionamiento el sistema de manejo de aguas de contacto. Desde mayo de 2012 a diciembre de 2013.

En lo que se refiere a la alteración indirecta, en el Anexo 6 se realizó un análisis de los efectos que ocurrieron en las aguas subterráneas producto de la ejecución del proyecto. Fruto de dicho análisis se llegó a la conclusión de que el proyecto generó un impacto en la calidad del agua subterránea acotado a la parte alta de la cuenca (aguas arriba de la restitución de las aguas no contactadas), el cual tuvo su origen inicialmente en las actividades de construcción del muro cortafuga, y posteriormente asociado al funcionamiento normal del sistema de manejo de aguas. Si bien se espera que el impacto asociado a lo último sea de carácter permanente, por sus características (ubicación, extensión y magnitud) se estima que no reúne las condiciones para ser calificado como significativo. De esta forma, también fruto de lo anterior resulta esperable que exista un impacto que se transmita a las aguas superficiales, pero que sea localizado y de baja magnitud.

Por otra parte, y tanto en lo que se refiere a alteración directa como indirecta, resulta conveniente realizar ciertas distinciones en relación con la localización en la cual pueden generarse ciertos efectos asociados al proyecto. En particular, resulta relevante conocer si determinados efectos se pueden originar aguas arriba de NE-5, o bien entre NE-5 y NE-2A. En la Figura 6 se presenta un diagrama esquemático en el cual se propone que la intervención asociada a la construcción del sistema de manejo de aguas ocurre en las nacientes, esto es aguas arriba de NE-5, mientras que las descargas específicamente asociadas a la CCR ocurren entre NE-5 y NE-2A. Esto último es relevante puesto que permite separar los efectos en función de la respuesta que se observe en las estaciones NE-2A y NE-5.

5. Cambios en la calidad del agua debido a factores naturales

Tal como se expuso en el Anexo 2, la situación hídrica de la zona se caracterizó por una disminución del recurso a partir del año 2009, lo cual coincide con el inicio de la construcción del proyecto. Según la dinámica propia de la parte alta de la cuenca del río Estrecho (expuesta en el Anexo 4), se espera que una reducción en las precipitaciones se traduzca en la pérdida de parte de la capacidad de dilución de la cuenca, con el consecuente aumento en las concentraciones de los parámetros DAR (disminución en el caso del pH). En el caso de las cuencas laterales de control, si bien su dinámica interna no es conocida, en términos generales también es esperable que una reducción en las precipitaciones se traduzca en un aumento en las concentraciones de los parámetros DAR. Lo anterior se comprueba en la Figura 7, donde se observa que la Conductividad Eléctrica aumentó tanto en las cuencas laterales de control como en las estaciones DAR ubicadas en la cuenca del río Estrecho. Atendido lo anterior, queda en evidencia que los registros de calidad del agua en las estaciones DAR no solo pueden reflejar los impactos derivados del proyecto, sino también la evolución de la calidad natural del cuerpo de agua⁷ siendo esperable que se haya visto desmejorada en cierta medida por los factores climáticos expuestos.

Para evaluar con mayor detalle la magnitud del efecto natural, se analizó el comportamiento de las cuencas laterales según los períodos hidrológicos en los cuales se tiene información de cada una. En la Figura 8 puede apreciarse el comportamiento de la conductividad eléctrica en dichas cuencas, que muestra efectivamente una tendencia al alza consistente. Si se toma como referencia el período hidrológico 2006/2007⁸, y se comparan los períodos siguientes (hasta 2015) en base a éste, es posible apreciar que el incremento alcanzó valores máximos que van de un 11,7% en CN-2 hasta un 37,3% en NE-1A (ver Figura 9). Si se realiza el mismo ejercicio para las

⁷ Tal como se indica en el considerando N°13 de la Res. Ex. N°094/2016 de la Comisión de Evaluación de la región de Atacama, que resolvió el proceso de revisión de la RCA N°24/2006, la variable "calidad del agua superficial del río Del Estrecho" ha variado sustantivamente en relación a lo proyectado.

⁸ Se seleccionó este período como referencia puesto que es el más antiguo en que existen suficientes datos en todas las cuencas de control consideradas.

estaciones DAR, se aprecia que el incremento alcanzó valores máximos que van de un 18,6% en NE-5 hasta un 81,9% en NE-4 (ver Figura 10). Resulta entonces evidente que el incremento en la cuenca del río Estrecho, en el mismo período de tiempo, es mayor que en las cuencas laterales, lo cual puede evidenciar un efecto combinado de factores naturales e influencia del proyecto.

6. Efectos inducidos por el proyecto en la calidad del agua del río Estrecho

Tal como se expuso, los datos recabados en las estaciones de monitoreo NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8 reflejan simultáneamente tanto los potenciales efectos del proyecto, como los cambios naturales que ocurren producto de la evolución de la calidad natural.

La única fuente de información respecto de la magnitud de los cambios naturales viene dada por el comportamiento de las cuencas de control. Por lo tanto, si se combina la información derivada de estas cuencas con la del río Estrecho, resulta posible estimar, al menos cualitativamente, si el comportamiento en el río Estrecho responde únicamente a condiciones naturales o no. Ahora bien, para combinar esta información se debe recurrir a comparaciones sitio-específicas que tengan sentido respecto de la hidrología del lugar. En función de este criterio, las comparaciones más idóneas que se pueden realizar con la información disponible son las que se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 1. Relación entre las estaciones de monitoreo del río Estrecho y las estaciones de control (Fuente: elaboración propia).

Estación en río Estrecho	Influencia de escurrimientos laterales	Influencia proveniente desde aguas arriba
NE-5	En NE-5 el agua superficial es una manifestación de las aguas subterráneas que afloran a poca distancia aguas arriba, por lo que no se considera que exista una influencia lateral relevante, la cual, además, se reduce drásticamente con la entrada en funcionamiento de los canales perimetrales.	El pozo RE-17S se ubica 200m aguas arriba de NE-5, por lo que se considera la fuente de información más fiable para caracterizar las aguas subterráneas que afloran en la zona y conforman el escurrimiento en NE-5.
NE-2A	La distancia entre NE-5 y NE-2A es del orden de 2 km, en los cuales se incorporan los aportes provenientes de quebrada La Olla por el sur-oeste, y de ciertas laderas por el nor-este (complementadas posteriormente por descarga del canal perimetral norte). El agua de quebrada La Olla puede ser caracterizada en base al pozo BT-1 ⁹ , mientras que las laderas del nor-oeste no tienen punto de monitoreo asociado.	La influencia proveniente desde aguas arriba puede ser caracterizada por NE-5.
NE-3	La distancia entre NE-2A y NE-3 es del orden de 4 km, en los cuales el mayor aporte lateral viene dado por quebrada Barriales, cuya calidad es monitoreada en NE-1A.	La influencia proveniente desde aguas arriba puede ser caracterizada por NE-2A.
NE-4	La distancia entre NE-3 y NE-4 es del orden de 8 a 9 km, en los cuales la mayor cuenca lateral aportante es Qda. Agua de la Falda, monitoreada en PX-1. Si bien existe una cantidad relevante de laderas que aportan	La influencia proveniente desde aguas arriba puede ser caracterizada por NE-3.

⁹ Para caracterizar el agua de quebrada La Olla se utiliza un pozo como mejor estimación disponible, puesto que no existe monitoreo de agua superficial.

Estación en río Estrecho	Influencia de escurrimientos laterales	Influencia proveniente desde aguas arriba
	lateralmente, no existe información respecto de ellas, por lo que solo se considera a PX-1.	
NE-8	La distancia entre NE-4 y NE-8 es del orden de 13 km, en los cuales las mayores cuencas laterales aportantes son el río Del Toro y río Blanco, monitoreadas en CN-2 y NE-7 respectivamente. Si bien existe una cantidad relevante de laderas que aportan lateralmente, no existe información respecto de ellas, por lo que solo se considera a CN-2 y NE-7 como fuentes de información.	La influencia proveniente desde aguas arriba puede ser caracterizada por NE-4.

Según lo expuesto en la Tabla, para cada estación DAR en el río Estrecho se evalúa la influencia natural evidenciada por la información de las estaciones de control, la influencia proveniente desde aguas arriba en el mismo río Estrecho, y la influencia de eventuales aportes externos. Con ello se busca discriminar entre 3 situaciones:

- I. El comportamiento responde a lo observado en las cuencas de control, por lo que puede ser asociado a fenómenos naturales.
- II. El comportamiento no responde a lo observado en las cuencas de control, pero sí a lo observado en el mismo río Estrecho, aguas arriba, en cuyo caso se trata de un comportamiento influenciado mayoritariamente desde aguas arriba (ya sea de origen natural o bien derivado de efectos debido a la ejecución del proyecto).
- III. El comportamiento no responde a lo observado en las cuencas de control ni a lo observado aguas arriba en el río Estrecho. En este caso la explicación puede estar radicada en aportes laterales significativos no cuantificados, o bien en factores antrópicos ajenos a la dinámica natural, es decir, a efectos derivados de la ejecución del proyecto e infracciones cometidas por CMNSpA.

Para evaluar la situación, se construyeron gráficos para cada par de estaciones cuya comparación permite derivar conclusiones respecto del origen de las fluctuaciones observadas. En total se analizaron 10 pares de estaciones conforme a la Tabla 1, siendo estos RE-17S/RE-5, BT-1/NE-2A, NE-5/NE-2A, NE-1A/NE-3, NE-2A/NE-3, PX-1/NE-4, NE-3/NE-4, CN-2/NE-8, NE-7/NE-8, y NE-4/NE-8. Para cada par de estaciones se construyó un gráfico de la evolución en el tiempo de cada parámetro DAR por separado, un gráfico que muestra la correlación existente para cada parámetro entre ambas estaciones, y un gráfico que muestra la evolución en el tiempo de forma conjunta en base a un ajuste de escalas¹⁰. La totalidad de los gráficos se incluye en el Apéndice 8-1.

En base a lo anterior se compararon tres atributos en cada par de estaciones seleccionadas, a saber:

- i. Magnitud de la concentración de cada parámetro DAR.
- ii. Correlación (R^2 obtenido de una regresión lineal) entre ambas estaciones para cada parámetro DAR.
- iii. Tendencia comparativa observada en la evolución de cada parámetro DAR.

Un resumen de los resultados respecto de la magnitud puede observarse en la Figura 11. En ella se aprecia que las estaciones de control se caracterizan por concentraciones que son significativamente inferiores a las que se miden en las estaciones DAR cercanas, salvo NE-7 que presenta características similares a NE-8 en algunos parámetros DAR. Con ello, es esperable que entre la cabecera de la cuenca y la estación NE-4 los aportes laterales contribuyan principalmente a diluir las concentraciones medidas en la cabecera. Siendo así, no resulta posible atribuir un aumento en la concentración de parámetros DAR del río Estrecho a aportes desde las cuencas laterales monitoreadas, al menos entre la cabecera y la estación NE-4.

¹⁰ Las escalas de ambos ejes verticales, para cada parámetro DAR analizado, siguen la misma relación que las medianas de éstos calculadas en base al registro histórico disponible.

Las correlaciones obtenidas entre los pares de estaciones analizadas se presentan en la Tabla 2 y 3. Los resultados confirman lo anterior, por cuanto se observa una muy baja correlación entre el comportamiento de las estaciones ubicadas en cuencas laterales y las estaciones DAR, en comparación con la correlación que existe entre las estaciones DAR consecutivas.

En cuanto al análisis comparado de tendencia, se aprecia claramente un vínculo entre el comportamiento de las estaciones DAR consecutivas, y no así entre las estaciones DAR y las estaciones de control, salvo el par NE-7/NE-8. En el caso de NE-7, pese a no tener una buena correlación con NE-8, se distingue cualitativamente cierto grado de vinculación entre en el comportamiento de ciertos parámetros entre ambas estaciones, tales como conductividad eléctrica, sulfato, aluminio, arsénico y hierro.

Tabla 2. Correlación de parámetros DAR entre estaciones DAR consecutivas (coeficiente R² de regresión lineal). En verde se indican los valores superiores a 0,1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

DAR / DAR	NE-5 / RE-17	NE-2A / NE-5	NE-3 / NE-2A	NE-4 / NE-3	NE-8 / NE-4
pH	0,0275	0,2125	0,2306	0,3606	0,0006
C.E.	0,0016	0,4455	0,4554	0,6516	0,4029
Al	0,0100	0,4461	0,3794	0,4424	0,5076
As	0,0001	0,7166	0,3368	0,6144	0,9458
Cu	0,0052	0,3761	0,5531	0,7415	0,5167
Fe	0,0880	0,4636	0,2091	0,4864	0,8201
Mn	0,0006	0,3245	0,5190	0,7140	0,6585
SO ₄	0,0001	0,3364	0,4698	0,6324	0,4779
Zn	0,0000	0,3094	0,5156	0,7502	0,6042

Tabla 3. Correlación de parámetros DAR entre estaciones DAR y estaciones de control asociadas (coeficiente R² de regresión lineal). En verde se indican los valores superiores a 0,1 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

DAR / CONTROL	NE-2A / BT-1	NE-3 / NE-1A	NE-4 / PX-1	NE-8 / CN-2	NE-8 / NE-7
pH	0,0005	0,0467	0,0030	0,0563	0,3188
C.E.	0,3424	0,3322	0,0119	0,1582	0,1963
Al	0,0007	0,0057	0,0131	0,0306	0,0739
As	0,0008	0,0847	0,0014	0,0011	0,0008
Cu	0,0597	0,0461	0,0380	0,0001	0,0499
Fe	0,0030	0,2516	0,0848	0,0562	0,0423
Mn	0,0187	0,0065	0,0222	0,0006	0,0002
SO ₄	0,2355	0,0049	0,1422	0,0265	0,1734
Zn	0,0110	0,0331	0,0008	0,0077	0,0090

A continuación se presenta una interpretación de los resultados en cada estación DAR:

NE-5: Al comparar los parámetros DAR de NE-5 con los de RE-17S se obtienen coeficientes de correlación inferiores a 0,1. Sin embargo, se observa que existe una evidente relación entre ambas series, lo cual surge de realizar una comparación de orden cualitativo, y se encuentra además respaldado por el modelo conceptual (ver Anexo 4). Esta diferencia se debe a que RE-17S caracteriza al sistema subterráneo somero, mientras que NE-5 caracteriza al sistema superficial (que depende del sistema anterior). En esta sección de la cuenca existe además un importante efecto de la estacionalidad, que condiciona la respuesta de ambos sistemas de forma diferenciada. Debido a lo anterior, una correlación lineal no resulta necesariamente un buen indicador en este caso para evaluar la relación que existe entre ambas series de datos. Ahora bien, considerando que existe una relación en el comportamiento de ambas estaciones, es posible apreciar que a partir de diciembre del año 2010 el comportamiento de NE-5 muestra un aumento de todos los parámetros DAR (disminución en el caso del pH) que no puede ser explicado por la tendencia histórica ni por el comportamiento de RE-17S, que muestra por su parte valores particularmente bajos. Esta observación coincide exactamente con el inicio del bombeo intensivo desde el acuífero y la descarga en superficie de aguas subterráneas de mala calidad, y se extiende al menos hasta el momento del inicio del funcionamiento del sistema de manejo de aguas (mayo del año 2012). De esta forma es posible establecer un nexo causal claro entre las obras y acciones asociadas a la ejecución del proyecto, y el deterioro de la calidad del agua observado en NE-5.

NE-2A: Al comparar los parámetros DAR de NE-2A con los de BT-1 se obtienen coeficientes de correlación inferiores a 0,1, salvo para la conductividad eléctrica y el sulfato. Se aprecia también que la concentración de parámetros DAR en BT-1 es sustancialmente menor (mayor en el caso del pH), lo cual responde al distinto origen de las aguas. Pese a lo anterior, existen ciertos parámetros en que se observa una tendencia (fluctuaciones) similares, lo cual puede responder a factores locales (climáticos) que actúan tanto en BT-1 como en NE-2A. En cualquier caso, ni la magnitud de los valores medidos en BT-1, ni la tendencia que estos muestran, permite explicar el comportamiento observado en NE-2A a partir de diciembre del año 2010, cuando comenzó el bombeo intensivo desde el acuífero y la descarga en superficie de aguas subterráneas de mala calidad, aguas arriba de NE-5. Si se compara NE-2A con NE-5 se obtienen coeficientes de correlación que van entre 0,21 y 0,72. Cabe destacar que estos coeficientes se encuentran afectados por la estacionalidad de la zona, que no puede ser explicada de la mejor forma por una regresión lineal. En la Figura 12 se presenta el caso de la conductividad eléctrica, que presenta una mejor correlación entre ambas estaciones si se diferencia el período de deshielos, comparado con una estimación en base a una regresión lineal del total de los datos agrupados. Esta relación da cuenta de que el comportamiento observado en NE-5 se ve reflejado de buena forma en NE-2A, lo cual se confirma al realizar un análisis cualitativo en el resto de los parámetros DAR, siendo mayores los valores de la estación NE-5, ubicada más arriba (menores en el caso del pH). Con ello, se evidencia que el comportamiento de NE-2A responde principalmente a lo observado en NE-5, es decir, los efectos ya individualizados pueden transmitirse desde NE-5 hacia NE-2A, pero sujetos a la dilución y atenuación¹¹ que pueda ocurrir naturalmente entre ambas estaciones. Pese a lo anterior, al observar la evolución conjunta de los parámetros DAR en NE-5 y en NE-2A es posible percatarse de que en el período que va de febrero a diciembre de 2013 existe un aumento de todos los parámetros DAR (disminución del pH) en NE-2A, que no puede ser explicado por el comportamiento de NE-5. Considerando que en ese lapso de tiempo se realizaban descargas directas de aguas de mala calidad provenientes de la CCR, y que estas descargas se incorporaban al río Estrecho precisamente entre NE-5 y NE-2A, es posible establecer que existió un efecto en la calidad del agua específicamente derivado de esta acción.

Considerando la información expuesta referida a NE-5 y NE-2A es posible establecer que **existió un efecto derivado de la ejecución del proyecto, el cual se asocia a dos orígenes y dos períodos distintos, y que no puede ser explicado por factores naturales.** Un primero cuyo inicio se dio en diciembre del año 2010 y abarcó al menos hasta mayo de 2012, asociado a la construcción del sistema de manejo de aguas, y un segundo que se manifestó entre febrero y diciembre de 2013, asociado a las descargas directas de la CCR al río Estrecho.

NE-3: Al comparar los parámetros DAR de NE-3 con los de NE-1A se obtienen coeficientes de correlación inferiores a 0,1, salvo para la conductividad eléctrica y el hierro. Se aprecia también que la concentración de parámetros DAR en NE-1A es sustancialmente menor (mayor en el caso del pH), lo cual responde al distinto origen de las aguas. Dada la baja correlación que muestra NE-1A con NE-3, la diferencia en la magnitud de las concentraciones de los parámetros DAR, y la tendencia de éstos, no resulta posible explicar el comportamiento observado en NE-3 a partir de los datos de NE-1A.

Al comparar NE-3 con NE-2A se obtienen coeficientes de correlación que van entre 0,21 y 0,55. Cualitativamente se aprecia que existe una estrecha relación en el comportamiento de los parámetros DAR en ambas estaciones, siendo mayores los valores de la estación NE-2A, ubicada más arriba (menores en el caso del pH). Con ello, se evidencia que el comportamiento de NE-3 responde principalmente a lo observado en NE-2A, es decir, los efectos ya individualizados pueden transmitirse desde NE-2A hacia NE-3, pero sujetos a la dilución y atenuación que pueda ocurrir naturalmente entre ambas estaciones.

NE-4: Al comparar los parámetros DAR de NE-4 con los de PX-1 se obtienen coeficientes de correlación inferiores a 0,1, salvo para el sulfato. Se aprecia también que la concentración de parámetros DAR en PX-1 es sustancialmente menor (mayor en el caso del pH), lo cual responde al distinto origen de las aguas. Dada la baja correlación que muestra PX-1 con NE-4, la diferencia en la magnitud de las concentraciones de los parámetros DAR, y la tendencia de éstos, no resulta posible explicar el comportamiento observado en NE-4 a partir de los datos de PX-1.

Al comparar NE-4 con NE-3 se obtienen coeficientes de correlación que van entre 0,36 y 0,75. Cualitativamente se aprecia que existe una estrecha relación en el comportamiento de los parámetros DAR en ambas estaciones, siendo mayores los valores de la estación NE-3, ubicada más arriba (menores en el caso del pH). Con ello, se evidencia que el comportamiento de NE-4 responde principalmente a lo observado en NE-3, es decir, los efectos

¹¹ Para efectos de este anexo se entiende que la atenuación corresponde a la reducción de la concentración de un elemento en el flujo debido a motivos distintos a la simple dilución. Ello puede ocurrir por medio de distintos procesos físico-químicos que “secuestran” al elemento en cuestión del flujo.

ya individualizados pueden transmitirse desde NE-3 hacia NE-4, pero sujetos a la dilución y atenuación que pueda ocurrir naturalmente entre ambas estaciones.

NE-8: Al comparar los parámetros DAR de NE-8 con los de CN-2 se obtienen coeficientes de correlación inferiores a 0,1, salvo para la conductividad eléctrica. Se aprecia también que la concentración de parámetros DAR en CN-2 es sustancialmente menor (mayor en el caso del pH), lo cual responde al distinto origen de las aguas. Dada la baja correlación que muestra CN-2 con NE-8, la diferencia en la magnitud de las concentraciones de los parámetros DAR, y la tendencia de éstos, no resulta posible explicar el comportamiento observado en NE-8 a partir de los datos de CN-2.

Al comparar los parámetros DAR de NE-8 con los de NE-7 se obtienen coeficientes de correlación inferiores a 0,1, salvo para el pH, la conductividad eléctrica y el sulfato. En cuanto a la concentración de parámetros DAR en NE-7, ésta es similar a la de NE-8 en varios de ellos, por lo que no puede descartarse que pueda existir una influencia de NE-7 sobre NE-8. Además, el análisis cualitativo muestra que existen ciertos parámetros en que se observa una tendencia (fluctuaciones) similares, lo cual puede responder a factores locales (climáticos) que actúan tanto en NE-7 como en NE-8, o bien sobre NE-7 y se transmiten hacia NE-8.

Al comparar NE-8 con NE-4 se obtienen coeficientes de correlación que van entre 0,0006 y 0,95. Cualitativamente se aprecia que existe una estrecha relación en el comportamiento de los parámetros DAR en ambas estaciones, sin embargo resulta posible distinguir entre dos situaciones. Por una parte, existen parámetros cuya concentración en NE-8 es significativamente menor que en NE-4 (por ejemplo, el cobre), mientras que en otros casos pueden resultar muy similares e incluso mayores (por ejemplo, sulfato). Con ello, y considerando además lo observado respecto de la relación entre NE-8 y NE-7, se evidencia el hecho de que puedan existir aportes no despreciables entre NE-4 y NE-8, lo cual puede ocurrir de forma diferenciada según cada parámetro DAR.

Considerando el comportamiento observado en todas las estaciones analizadas, **es posible establecer que los efectos que se manifestaron en NE-5 y NE-2A se propagaron hasta al menos NE-4, experimentando una reducción progresiva de las concentraciones hacia aguas abajo.** La dinámica entre NE-4 y NE-8 es diferente, puesto que puede existir un efecto relevante asociado a los aportes laterales. Para ahondar en estos aspectos se realiza un análisis más detallado en el siguiente numeral.

7. Alcance de los efectos en la calidad del agua

Para complementar lo anterior se realizó un análisis del efecto de dilución considerando la información disponible de las estaciones en estudio. Para ello se consideraron los caudales medidos en el período que va de diciembre del año 2010 a diciembre del año 2013, que es cuando se manifestaron los efectos asociados al proyecto en NE-2A. En concreto, se realizó un balance de caudales en NE-3, NE-4 y NE-8¹², que se muestra en la Figura 13. Los resultados llevan a concluir lo siguiente:

- El caudal de NE-3 se compone de un 35% de caudal proveniente de NE-2A, un 20% de caudal proveniente de NE-1A (quebrada Barriales) y un 45% de caudal proveniente de fuentes no cuantificadas. Es decir, el caudal de NE-2A se diluye típicamente por un factor de 2,8 veces en NE-3.
- El caudal de NE-4 se compone de un 89% de caudal proveniente de NE-3 y un 11% de caudal proveniente de PX-1 (quebrada Agua de la Falda). Es decir, el caudal de NE-3 se diluye típicamente por un factor de 1,1 veces en NE-4.
- El caudal de NE-8 se compone de un 37% de caudal proveniente de NE-7 (río Blanco), un 25% de caudal proveniente de NE-4, un 21% de caudal proveniente de fuentes no cuantificadas y un 17% proveniente de CN-2 (río Del Toro). Es decir, el caudal de NE-4 se diluye típicamente por un factor de 4,0 veces en NE-8, y tiene una representatividad menor que el caudal de NE-7.
- Considerando lo anterior, en NE-8 la representatividad del caudal medido en NE-2A es de un 8%, o bien, el caudal de NE-2A se diluye típicamente por un factor de 12,6 veces en NE-8 durante el período analizado.

Los resultados anteriores se condicen plenamente con lo obtenido en el Anexo 5, en el cual se determinó el factor de dilución considerando toda la información histórica de caudales.

¹² No se incluyó un balance en NE-2A, puesto que ello requiere conocer los caudales en NE-5 y en Quebrada La Olla. Al respecto, consta que los caudales en NE-5 se vieron fuertemente alterados debido la intervención del proyecto, mientras que no se dispone de los caudales en Quebrada La Olla.

Un aspecto adicional que debe considerarse es que el transporte de los distintos elementos no necesariamente es conservativo. Tal como se plantea en la “Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras”¹³, del Servicio Nacional de Geología y Minería, se puede producir la precipitación de distintos aniones y cationes bajo la forma de minerales secundarios. Se indica también que la movilidad de los iones metálicos depende entre otros factores, de cómo estén contenidos en los minerales, de la solubilidad de cada elemento, así como del Eh y del pH del medio. En particular, la Guía precisa que la solubilidad de muchos elementos metálicos aumenta a medida que el pH disminuye hacia niveles por debajo de pH 7, y **de manera inversa a medida que el pH aumenta estos pueden precipitar en forma de óxidos e hidróxidos, o bien ser adsorbidos**. En el caso particular del proyecto Pascua Lama, consta que existe en la cabecera altas concentraciones de distintos elementos metálicos y no metálicos, y que el pH aumenta consistentemente desde la cabecera hacia aguas abajo, por lo que se dan las condiciones necesarias para la precipitación y/o adsorción de iones conforme a lo señalado por la mencionada Guía. Además, consta de las observaciones realizadas en terreno la ocurrencia de este tipo de fenómeno (ver Fotografía 1, 2 y 3), por lo que debe considerarse que la cantidad de metales presentes en el río Estrecho puede verse influenciada, en este caso reducida, por las condiciones propias de la zona.

Para dar cuenta de lo anterior se realizó un balance de masa considerando la mediana del caudal y de la concentración de los elementos durante el período que va de diciembre del año 2010 a diciembre del año 2013. En base a ello se calculó el flujo másico en cada estación de monitoreo para los parámetros aluminio, arsénico, cobre, hierro, manganeso, sulfato y zinc. No se incluyó la conductividad eléctrica ni el pH puesto que se miden en unidades respecto de las cuales no cobra sentido realizar un balance de masa. Los resultados se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 4. Flujo másico en estaciones de monitoreo. Los valores se calcularon en base a la mediana de caudal y a la mediana de los parámetros indicados, considerando los registros del período entre diciembre de 2010 y diciembre de 2013 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

Flujo másico (kg/d)	NE-2A	NE-1A	NE-3	PX-1	NE-4	CN-2	NE-7	NE-8
Aluminio	273,0	0,1	224,9	0,1	151,8	0,5	91,4	270,4
Arsenico	0,032	0,001	0,031	0,000	0,028	0,008	0,021	0,111
Cobre	7,9	0,01	7,1	0,005	5,3	0,01	0,10	4,8
Fierro Tot.	44,0	0,25	23,7	0,03	13,0	0,28	4,1	33,2
Manganeso	136,5	0,03	107,5	0,01	81,0	0,05	6,3	100,6
Sulfato	4531	309	5298	105	4003	179	5949	12276
Zinc	57,2	0,03	55,0	0,02	45,6	0,09	1,6	47,0

Los resultados muestran que la contribución másica de las estaciones de control NE-1A, PX-1 y CN-2 es marginal en todos los parámetros¹⁴, por lo que se confirma que su rol principal es contribuir a la dilución en el río Estrecho, sin introducir aportes de consideración al flujo del río. En cambio, la contribución de la estación NE-7 para el caso del aluminio, arsénico, hierro y en sulfato no resulta despreciable¹⁵, por lo que se espera que tenga incidencia en el comportamiento de NE-8.

En la Figura 14 se muestran los resultados de realizar un balance de flujo másico en cada sección del río Estrecho con los datos de la Tabla 4, fruto de lo cual es posible apreciar que existe una pérdida de masa para todos los parámetros entre NE-2A y NE-4, siendo de un 44% para el aluminio, 14% para el arsénico, 33% para el cobre, 71% para el hierro, 41% para el manganeso, 12% para el sulfato y 20% para el zinc. Entre estas estaciones se produce un aumento de pH desde un valor aproximado de 4 a 6, que puede favorecer la precipitación de distintas especies conforme a lo ya expuesto, explicando al menos en parte esta pérdida de masa en el flujo. Esta situación da cuenta de que **además del fenómeno de dilución, las concentraciones de los parámetros DAR se ven reducidas también por fenómenos de atenuación natural entre NE-2A y NE-4**.

¹³ SERNAGEOMIN [en línea] <<http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/cierrefaena/GuiaMetodologicaQuimica.pdf>>

¹⁴ En este caso se define que la contribución de una cuenca de control es “marginal” cuando el flujo másico de un determinado parámetro es menor al 10% del flujo másico del mismo, medido en la estación DAR ubicada inmediatamente aguas abajo.

¹⁵ En este caso se define que la contribución de una cuenca de control “no resulta despreciable” cuando el flujo másico de un determinado parámetro es igual o mayor al 10% del flujo másico del mismo, medido en la estación DAR ubicada inmediatamente aguas abajo.

Por otra parte, entre NE-4 y NE-8 se observa un aumento de un 78% para el aluminio, 301% para el arsénico, 156% para el hierro, 24% para el manganeso, y 207% para el sulfato. Este aumento se explica tanto por los aportes de NE-7, como por aportes otra(s) fuente(s) no determinada(s)¹⁶. En cuanto al cobre, éste sufre una pérdida de un 10%, mientras que el zinc no sufre un cambio significativo (aumenta en un 3%). En la Tabla 5 se incluye un balance de masa aplicado en NE-8, con el fin de determinar la contribución relativa de las distintas fuentes.

Tabla 5. Balance de masa en NE-8. Los valores se calcularon en base a la mediana de caudal y a la mediana de los parámetros indicados, considerando los registros del período entre diciembre de 2010 y diciembre de 2013. En rojo se destaca la fuente predominante para cada parámetro analizado (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

Origen del flujo másico en NE-8 (%)	NE-4	CN-2	NE-7	Otras fuentes
Aluminio	56,2	0,2	33,8	9,9
Arsenico	25,0	6,8	19,3	48,9
Cobre	≈ 100	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Fierro Tot.	39,1	0,9	12,2	47,8
Manganeso	80,5	0,0	6,3	13,2
Sulfato	32,6	1,5	48,5	17,5
Zinc	96,9	0,2	3,4	≈ 0

Conforme los resultados presentados en la Tabla, queda en evidencia que el aluminio, cobre, manganeso y zinc están representados mayoritariamente en NE-8 por los aportes provenientes desde NE-4 que, como ya se discutió, están íntimamente relacionados con lo que ocurre en la cabecera de la cuenca. En el caso del arsénico, hierro y sulfato existe una contribución de NE-4 a NE-8 que no es mayoritaria, pero que tampoco es despreciable. Se debe considerar también que estos valores responden a la mediana de los caudales y concentraciones, por lo que, en términos generales, se espera que la influencia proveniente desde la cabecera sea aun mayor durante los eventos específicos en que la intervención del proyecto fue más intensiva.

En el caso del pH y de la conductividad eléctrica, que son parámetros que responden de forma no-lineal, se realizó una comparación entre los registros de NE-8 y NE-7, y se analizó la correlación existente entre los registros de NE-8 y NE-4, todo lo cual se presenta en la Figura 15. Al respecto, se aprecia lo siguiente:

pH: La relación entre el pH de NE-4 y el de NE-8 es relativamente plana, es decir que el pH en NE-8 se mantiene cercano al neutro frente a una amplia gama de valores que puede adoptar el pH en NE-4. Dicho de otro modo, el pH en NE-8 es poco sensible a fluctuaciones que puedan ocurrir del pH en NE-4. No obstante lo anterior, se observan 2 valores cercanos a 5 que no responden a lo que ocurre en NE-7, pero que coinciden con valores cercanos a los menores medidos en NE-4, configurándose para este caso en particular en una relación entre ambos. Las fechas en que ocurrieron esos dos valores, son en febrero y marzo de 2011.

Conductividad Eléctrica: Este parámetro muestra una respuesta no lineal de NE-8 frente a NE-4, en la cual incrementos del valor en NE-4 no necesariamente se traducen en incrementos relevantes en NE-8.

En virtud de todo lo expuesto, es posible afirmar que **los efectos inducidos por el proyecto, y que ya fueron constatados en NE-5 y NE-2A, son susceptibles de transmitirse hasta NE-8, con la salvedad de que experimentan procesos de dilución y atenuación que reducen su magnitud**. Esto último depende de la intensidad de la perturbación inducida, y de los mecanismos de dilución y atenuación que operen en el momento de la perturbación inducida.

Esta dinámica se aprecia claramente al comparar el comportamiento de cada parámetro DAR en las distintas estaciones del río Estrecho, tal como se hace en el Apéndice 8-2, y tal como lo hizo el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental en su sentencia causa Rol R-06-2013. Otro aspecto que refuerza el nexo causal con las actividades del proyecto es el hecho de que existen períodos de tiempo en que se observa una alteración de varios parámetros

¹⁶ Esta situación responde al hecho de que entre NE-4 y NE-8 hay del orden de 13 km de distancia, en los cuales existen solamente dos estaciones de monitoreo (CN-2 y PX-1), quedando una cantidad relevante de laderas que aportan lateralmente sin ser caracterizadas.

DAR simultáneamente, lo cual sugiere que provienen de un origen común, que en este caso solo puede ser la cabecera del río Estrecho, puesto que las quebradas laterales solo aportan algunos de los parámetros DAR.

8. Conclusiones

El análisis realizado pone en evidencia la coincidencia que existe a nivel temporal entre de los efectos detectados sobre la calidad del agua, y la ejecución del proyecto. En particular, cabe destacar lo siguiente:

- El proyecto realizó descargas superficiales de aguas subterráneas de mala calidad (aguas naturalmente ácidas), bombeadas con el fin de deprimir el acuífero durante la construcción del muro cortafuga. Si bien CMNSpA no cuenta con registros que indiquen la fecha exacta en que se inició esta actividad, estimó indirectamente que ello habría ocurrido en diciembre del año 2010¹⁷. Precisamente en ese mismo mes se observó un aumento significativo en todos los parámetros DAR en NE-5 y NE-2A, junto con una disminución del pH.
- El proyecto realizó descargas directas al río Estrecho desde la Cámara de Captación y Restitución, lo cual ocurrió hasta el mes de diciembre del año 2013. Precisamente a partir de ese mismo mes, en el cual cesaron las descargas, se observó una drástica disminución en todos los parámetros DAR en NE-2A, junto con un aumento en el pH.
- Entre los dos hitos anteriores (inicio del bombeo para deprimir el acuífero en diciembre de 2010, y término de descargas desde la CCR en diciembre de 2013) se desarrolló gran parte de la construcción del sistema de manejo de aguas, lo que implicó una intervención intensiva de las nacientes del río Estrecho, además de nuevas descargas en superficie de aguas subterráneas de mala calidad (provenientes de los pozos de alivio del sistema cortafuga y posteriormente de la CCR), y eventualmente otras obras o acciones con potencial de afectar la calidad del agua. Esta situación permite explicar los valores inusualmente elevados que se observaron entre NE-5 y NE-2A, y que no pueden ser asociados al comportamiento natural de la cuenca, evidenciado por la tendencia histórica y por el comportamiento de las cuencas de control.

En cuanto a la extensión espacial de los efectos, la dinámica natural de la cuenca es tal que entre NE-2A y NE-8 se dan procesos de dilución, de atenuación natural e incorporación de elementos desde cuencas laterales. Sin embargo, habiendo cuantificado lo anterior, queda en evidencia que los efectos pueden persistir hasta NE-8. En efecto, los registros de calidad del agua en NE-8 evidencian cambios asociados a la ejecución del proyecto bajo ciertas condiciones, aunque en una magnitud menor a lo detectado en NE-2A fruto de la dilución y atenuación natural.

Es importante recalcar que la información disponible no permite separar la ocurrencia de efectos en función de las distintas obras o acciones que se llevaron a cabo. Solamente es posible diferenciar los efectos cuyo origen se encuentra aguas arriba de NE-5, de los que tienen su origen entre NE-5 y NE-2A. Al respecto, cabe señalar que la construcción de obras, la intervención de las nacientes del río Estrecho y las descargas directas de aguas provenientes del bombeo y de los pozos de alivio, ocurrieron aguas arriba de NE-5, mientras que las descargas desde la Cámara de Captación y Restitución se localizaron entre NE-5 y NE-2A. Siendo así, es posible aislar únicamente los efectos derivados de las descargas de la CCR, lo cual fue analizado en detalle en el Anexo 7.

En cualquier caso, se asume que los efectos derivados de las diversas obras o acciones ejecutadas ocurrieron de forma simultánea, reflejándose en un efecto en la calidad del agua, que es lo que muestran los registros en las estaciones NE-5 a NE-8. Dicho efecto se manifestó en un horizonte de tiempo definido, entre diciembre de 2010 y diciembre de 2013, con los episodios puntuales intensivos ya descritos.

¹⁷ Consta en la Carta PL-036/2017 del expediente del procedimiento sancionatorio.

FIGURAS

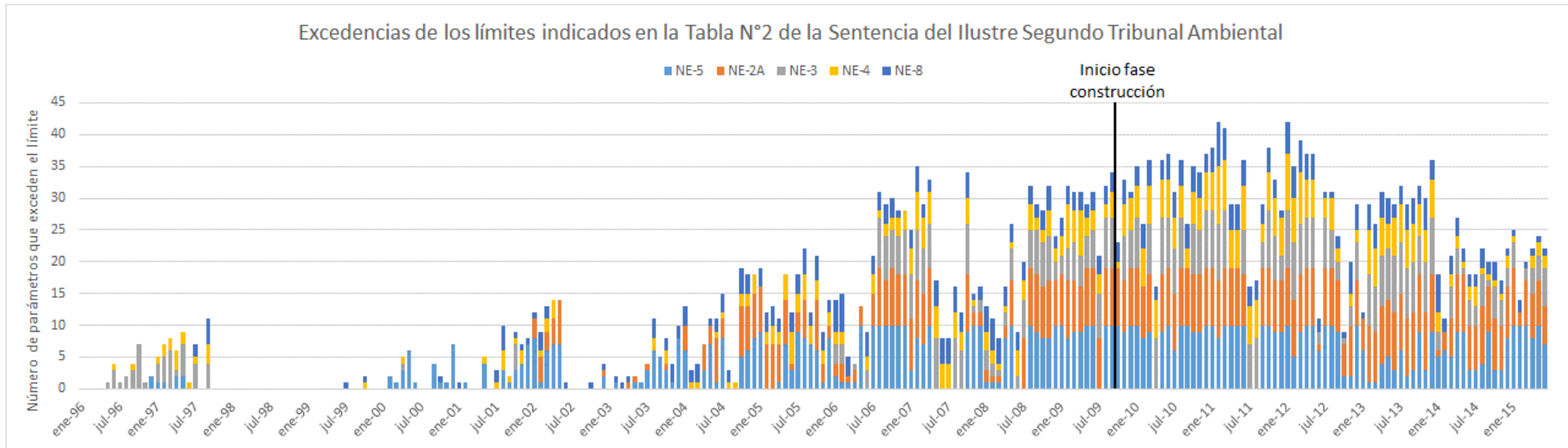


Figura 1. Número de excedencias en las estaciones DAR según criterio establecido en la Tabla N°2 de la Sentencia del Ilustre Segundo Tribunal Ambiental. Los umbrales para NE-5 y NE-3 corresponden a los niveles de alerta (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

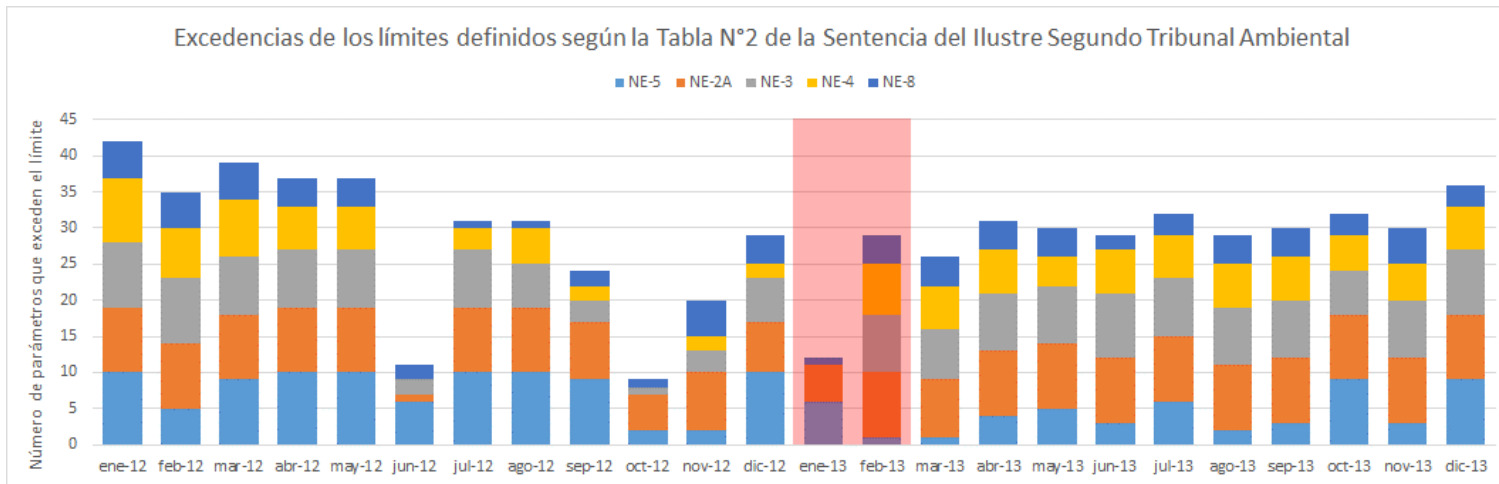


Figura 2. Número de excedencias en las estaciones DAR según criterio establecido en la Tabla N°2 de la Sentencia del Ilustre Segundo Tribunal Ambiental, año 2012 y 2013. Los umbrales para NE-5 y NE-3 corresponden a los niveles de alerta (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

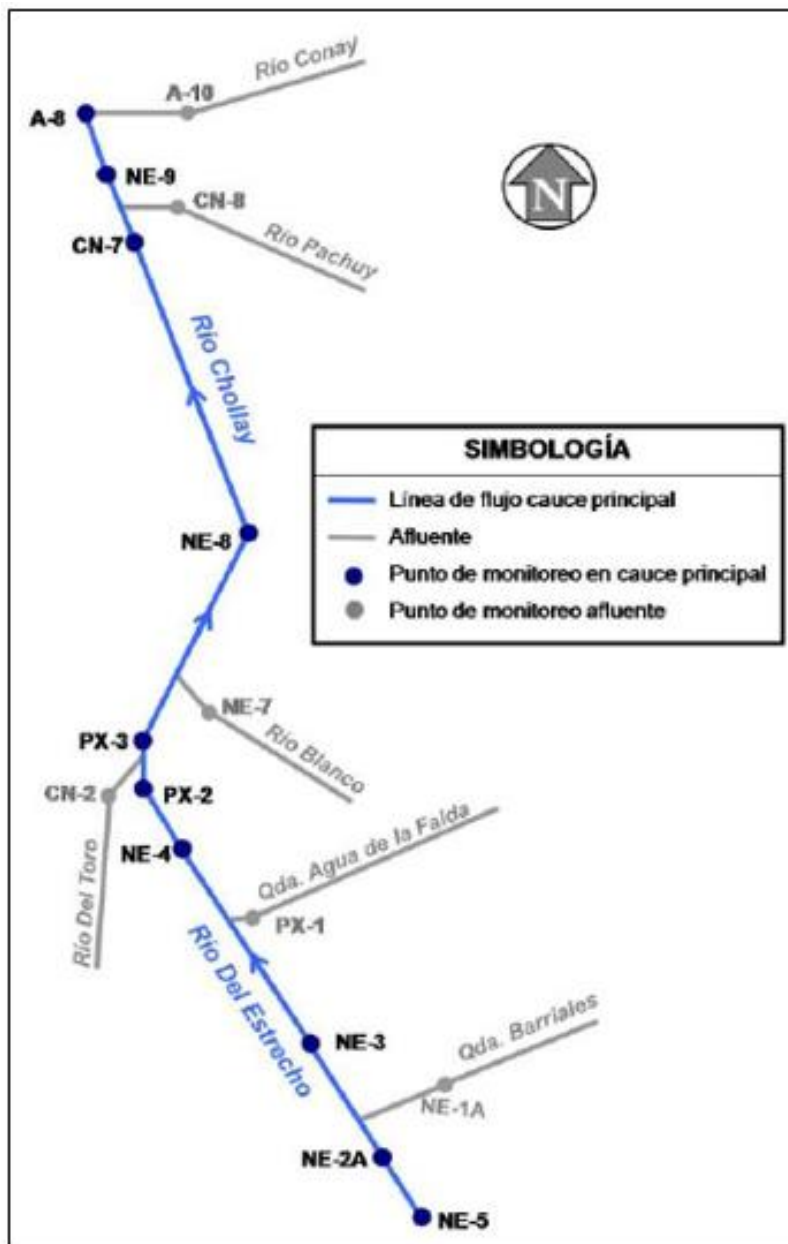


Figura 3. Diagrama unifilar con la ubicación de las estaciones de monitoreo (Fuente: Informe “Programa de monitoreo de aguas proyecto Pascua Lama Julio 2014 – Junio 2015”, remitido a través del sistema de seguimiento ambiental de RCA, código 37797).



Figura 4. Situación de las nacientes del río Estrecho previo a la intervención del proyecto (Fuente: Imagen del año 2005 Ikonos, no se especifica el mes)



Figura 5. Situación de las nacientes del río Estrecho durante la construcción del sistema cortafuga (Fuente: Imagen del año 2011 WorldView-2 Banda Pancromática, 24 febrero)

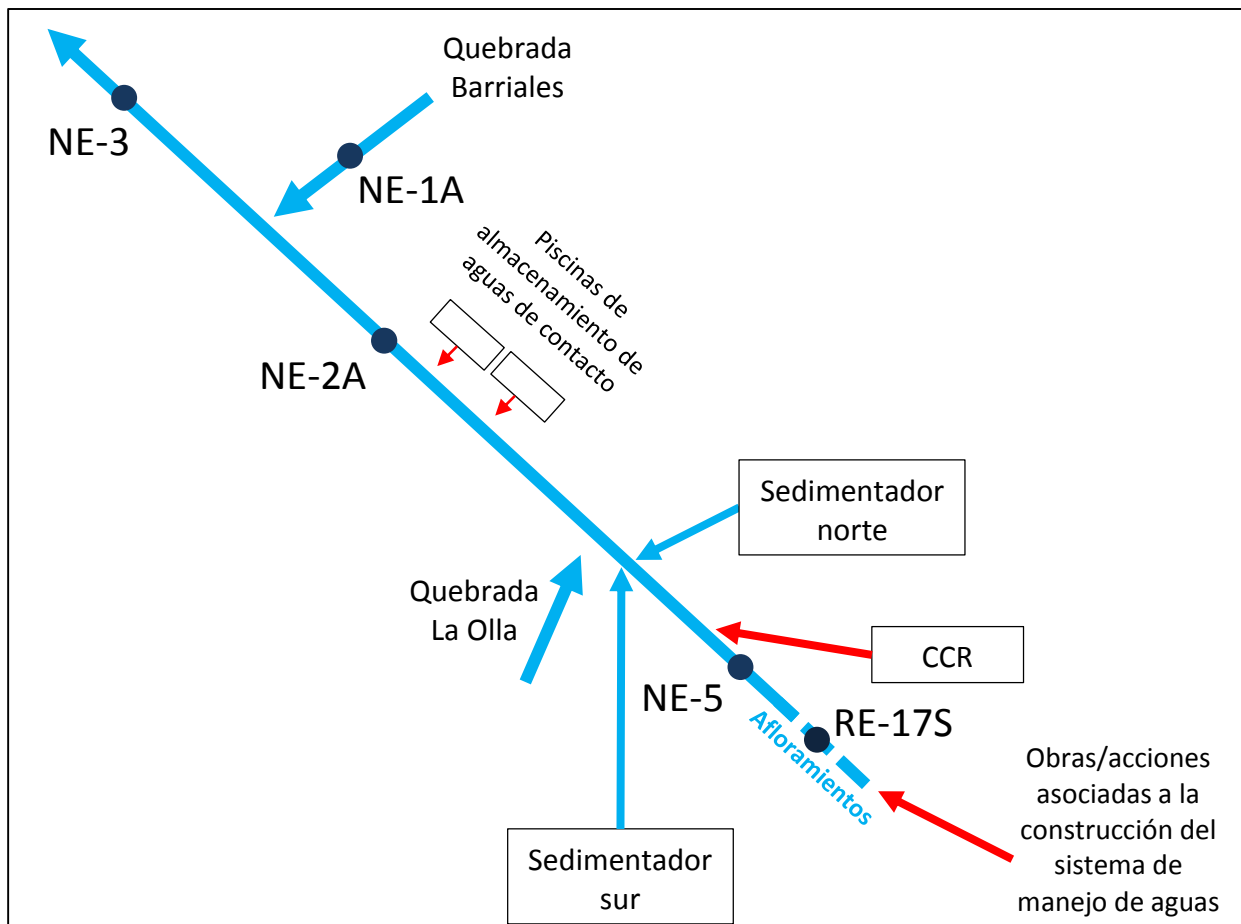


Figura 6. Localización de obras/acciones susceptibles de alterar la calidad del agua en relación con la ubicación de ciertas estaciones de monitoreo en la parte alta de la cuenca (Fuente: elaboración propia).

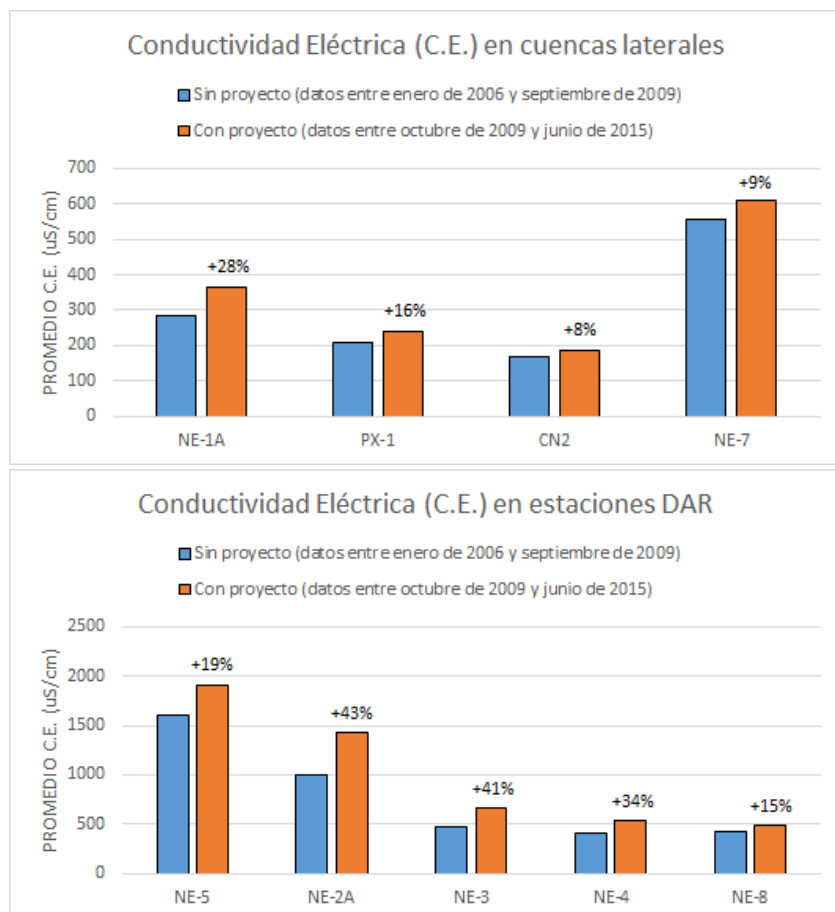


Figura 7. Comparación entre el aumento de la Conductividad Eléctrica observado en las cuencas laterales y en las estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

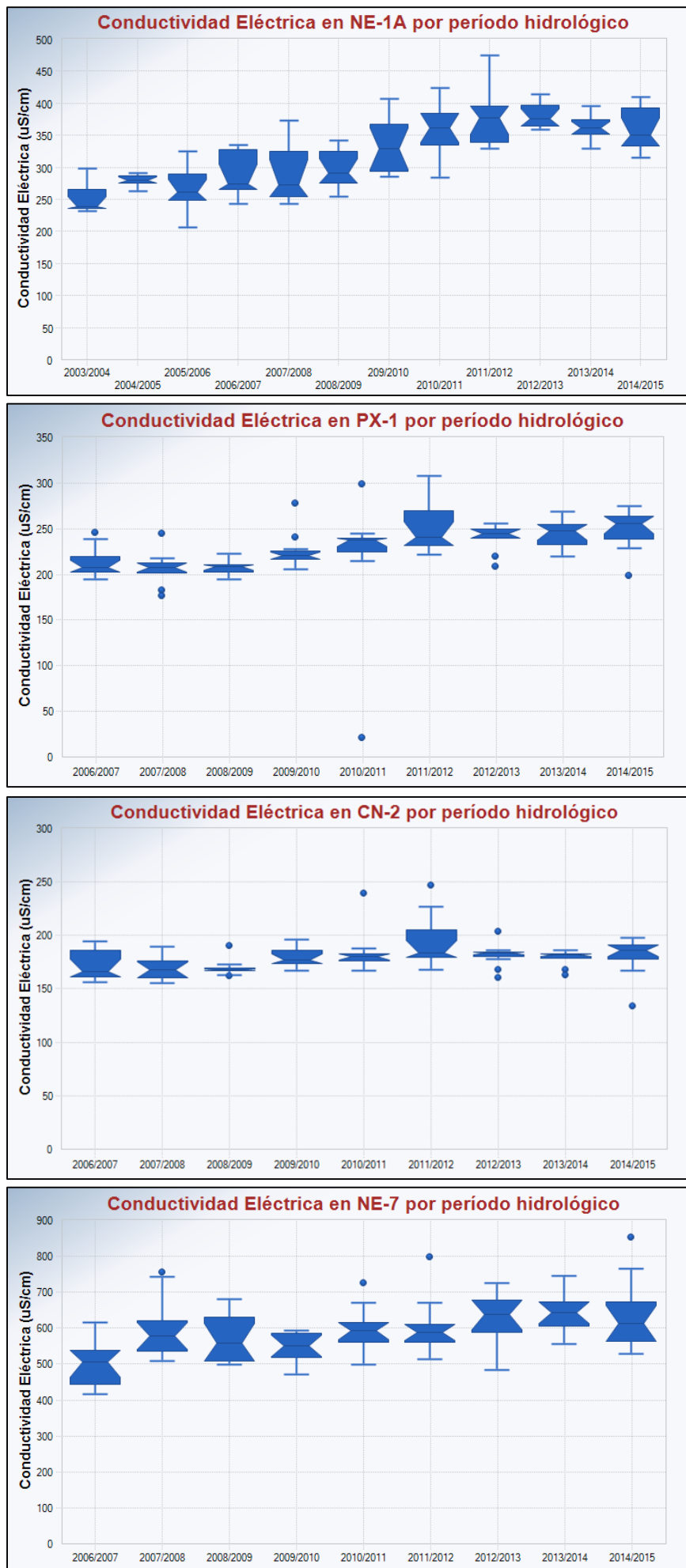


Figura 8. Conductividad Eléctrica por período hidrológico en estaciones de control (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

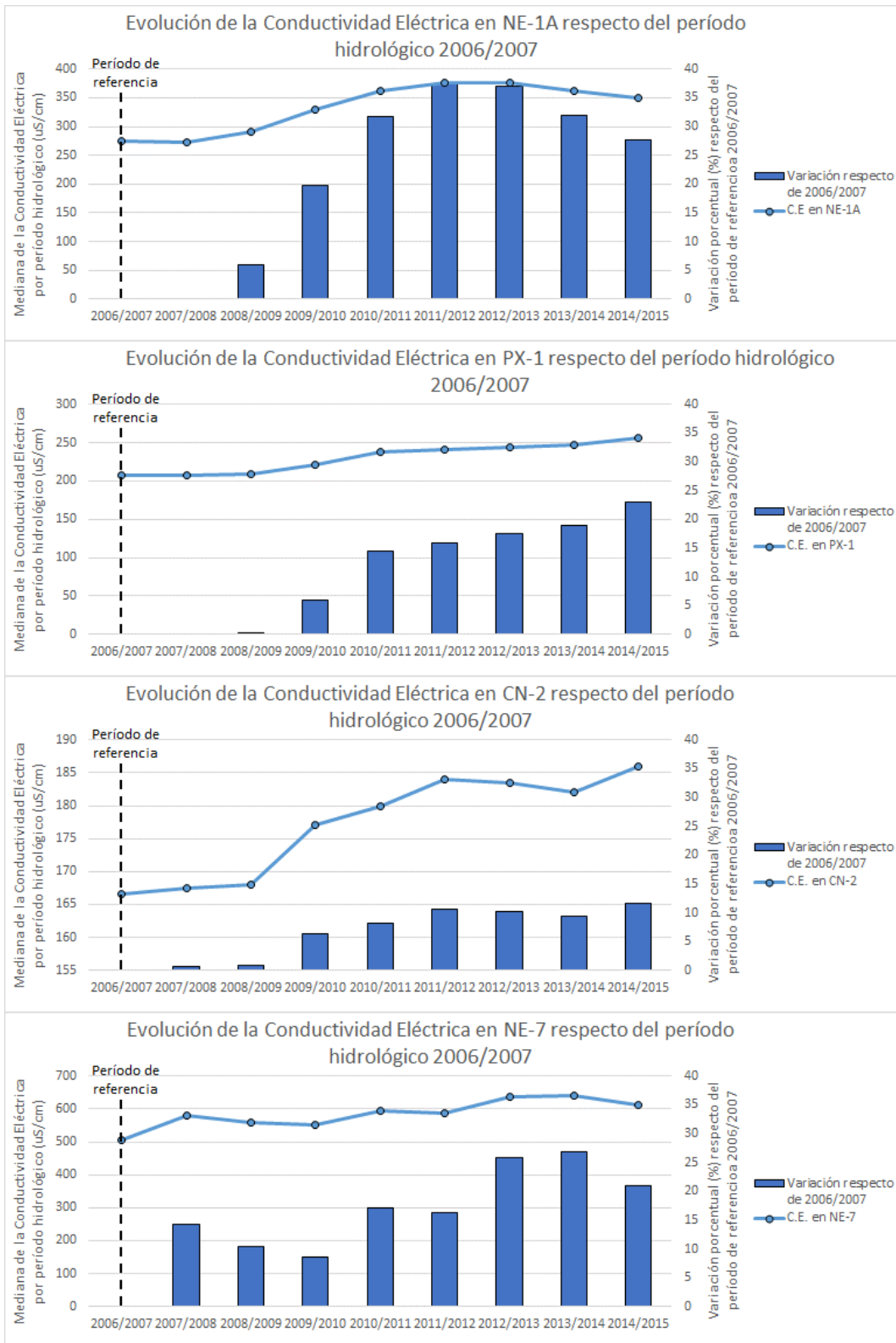


Figura 9. Variación de la Conductividad Eléctrica respecto del período hidrológico 2006/2007 en estaciones de control (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

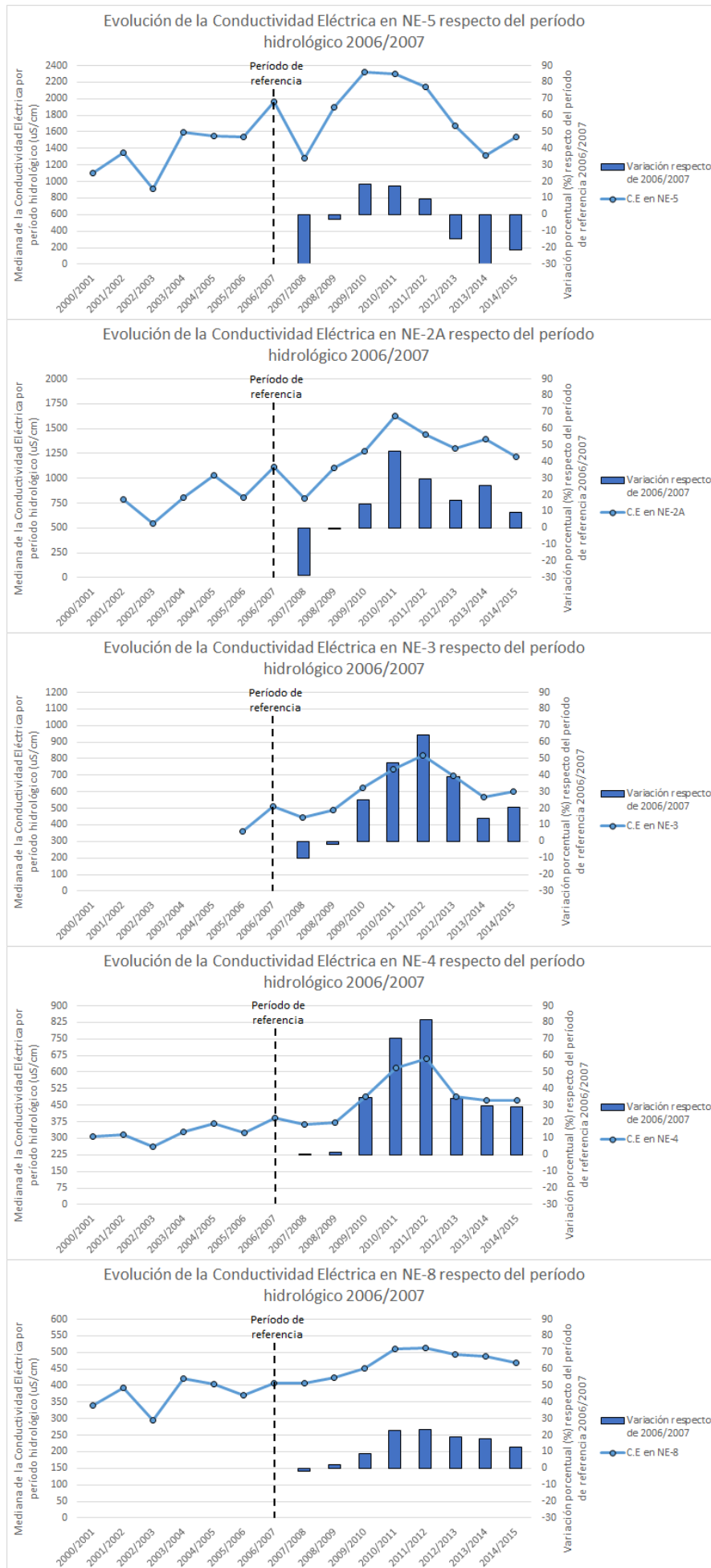


Figura 10. Variación de la Conductividad Eléctrica respecto del período hidrológico 2006/2007 en estaciones de control (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

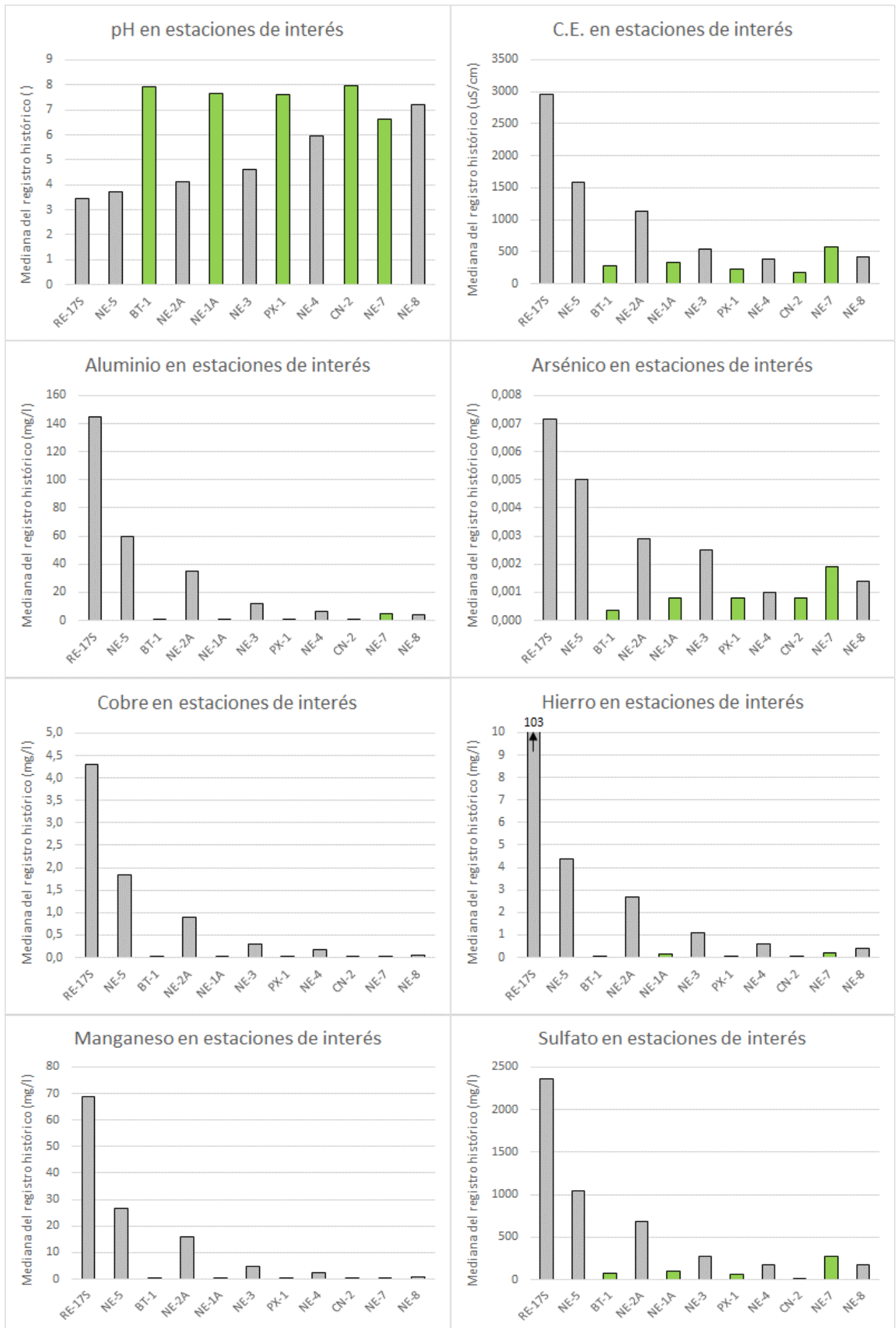


Figura 11. Concentración histórica (mediana) de parámetros DAR en estaciones de monitoreo (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

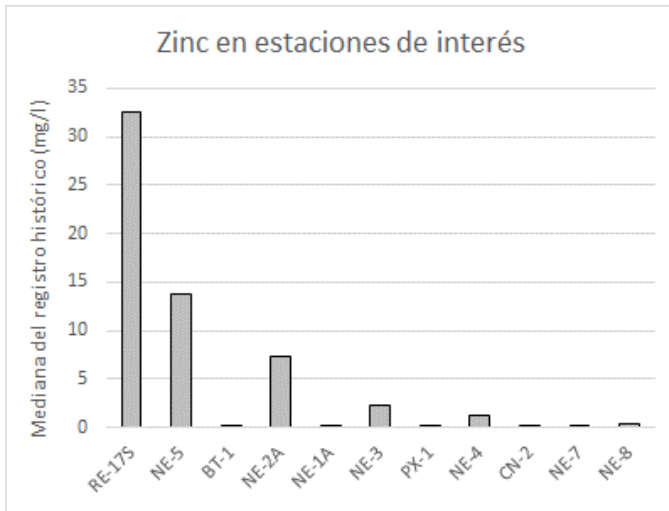


Figura 11 (continuación). Concentración histórica (mediana) de parámetros DAR en estaciones de monitoreo (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

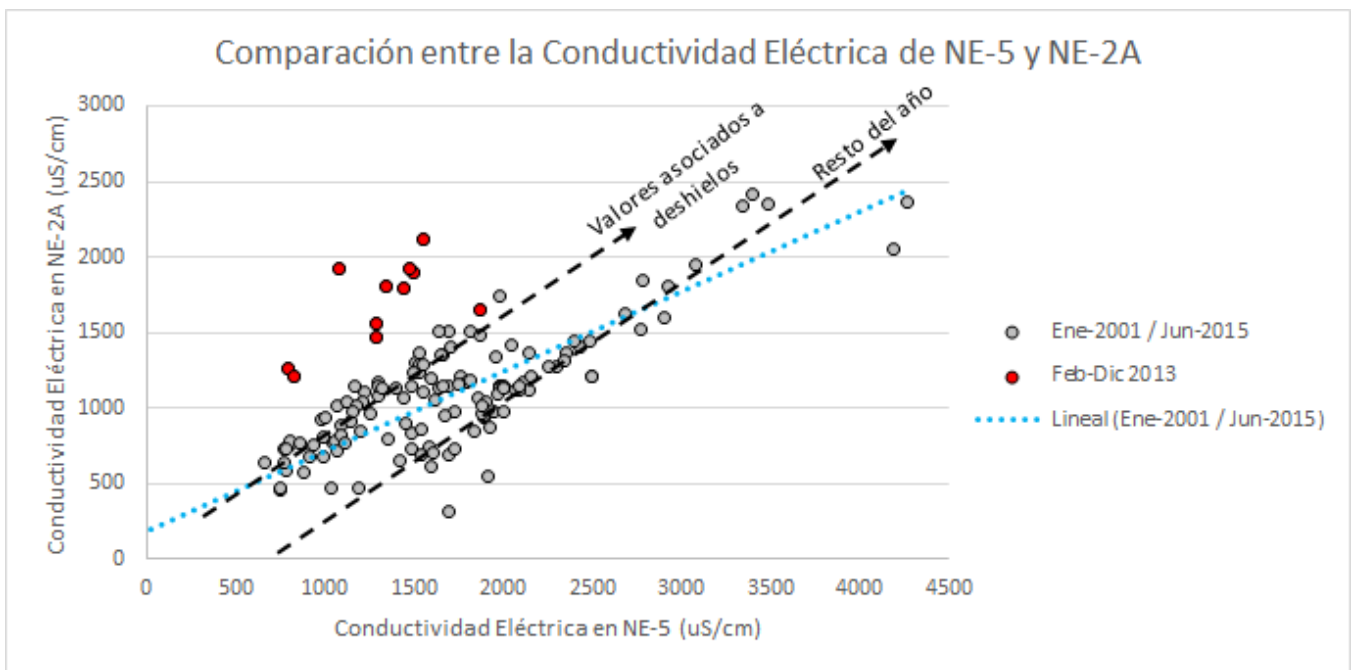


Figura 12. Concentración histórica (mediana) de parámetros DAR en estaciones de monitoreo (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

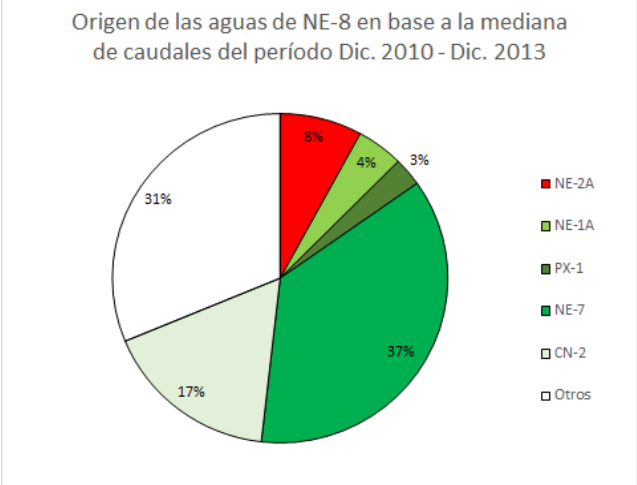
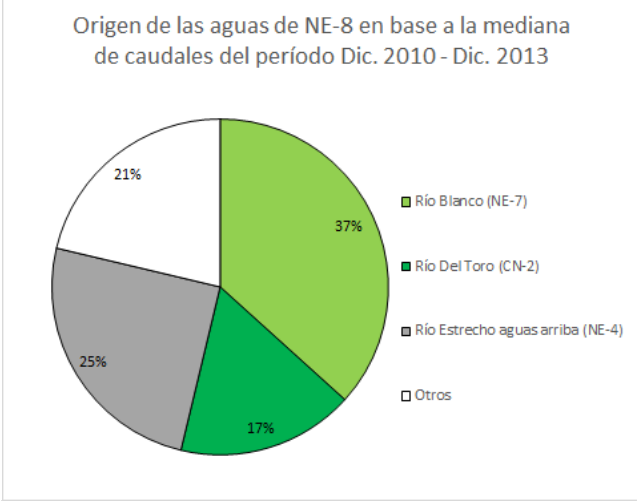
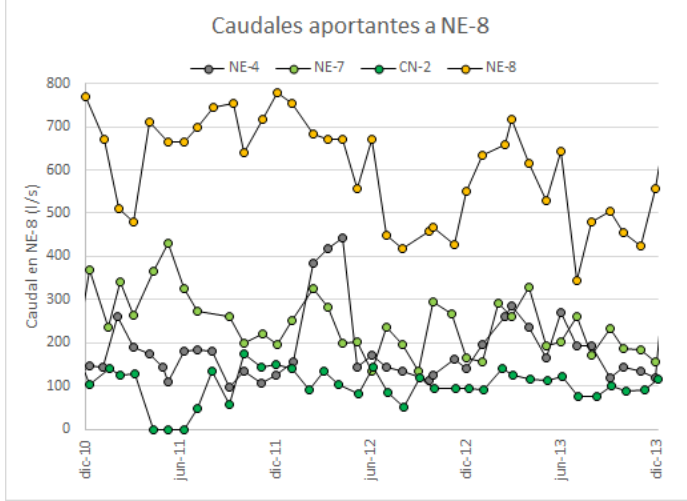
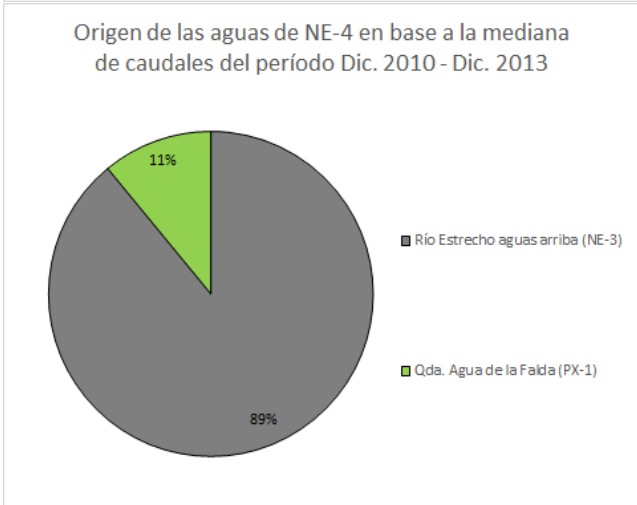
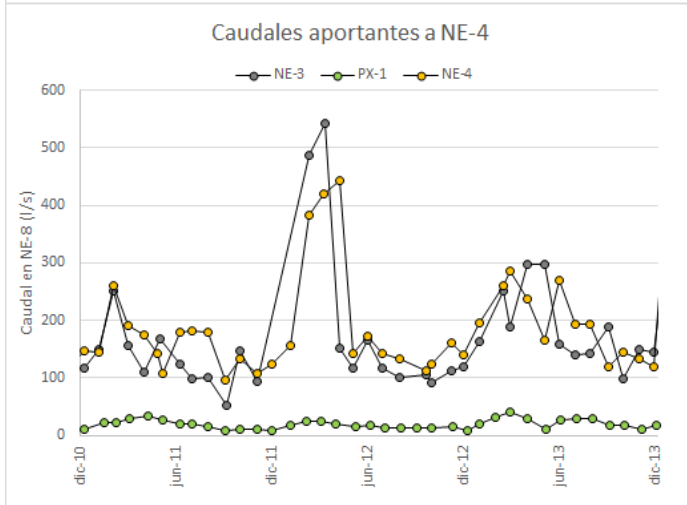
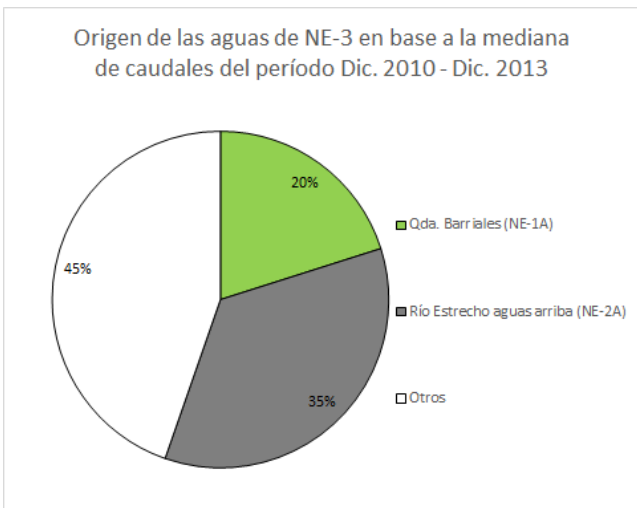
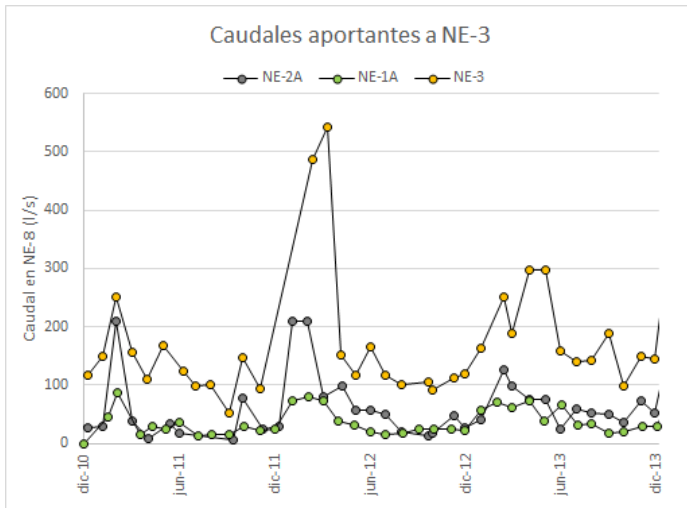


Figura 13. Balance de caudales para distintas secciones del río Estrecho (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).



Fotografía 1. Evidencia de ocurrencia de precipitación en el río Estrecho, entre NE-5 y NE-2A (fotografía capturada por funcionario de la SMA, 20 de enero de 2016).



Fotografía 2. Se observa el interior de la piscina de acumulación N°1 en la cual se observa la ocurrencia de precipitación (fotografía capturada por funcionario de la SMA, 20 de enero de 2016).



Fotografía 3. Evidencia de ocurrencia de precipitación (formación de sales eflorescentes) en sector cercano a la estación NE-5 (fotografía capturada por funcionario de la SMA, 19 de enero de 2016).

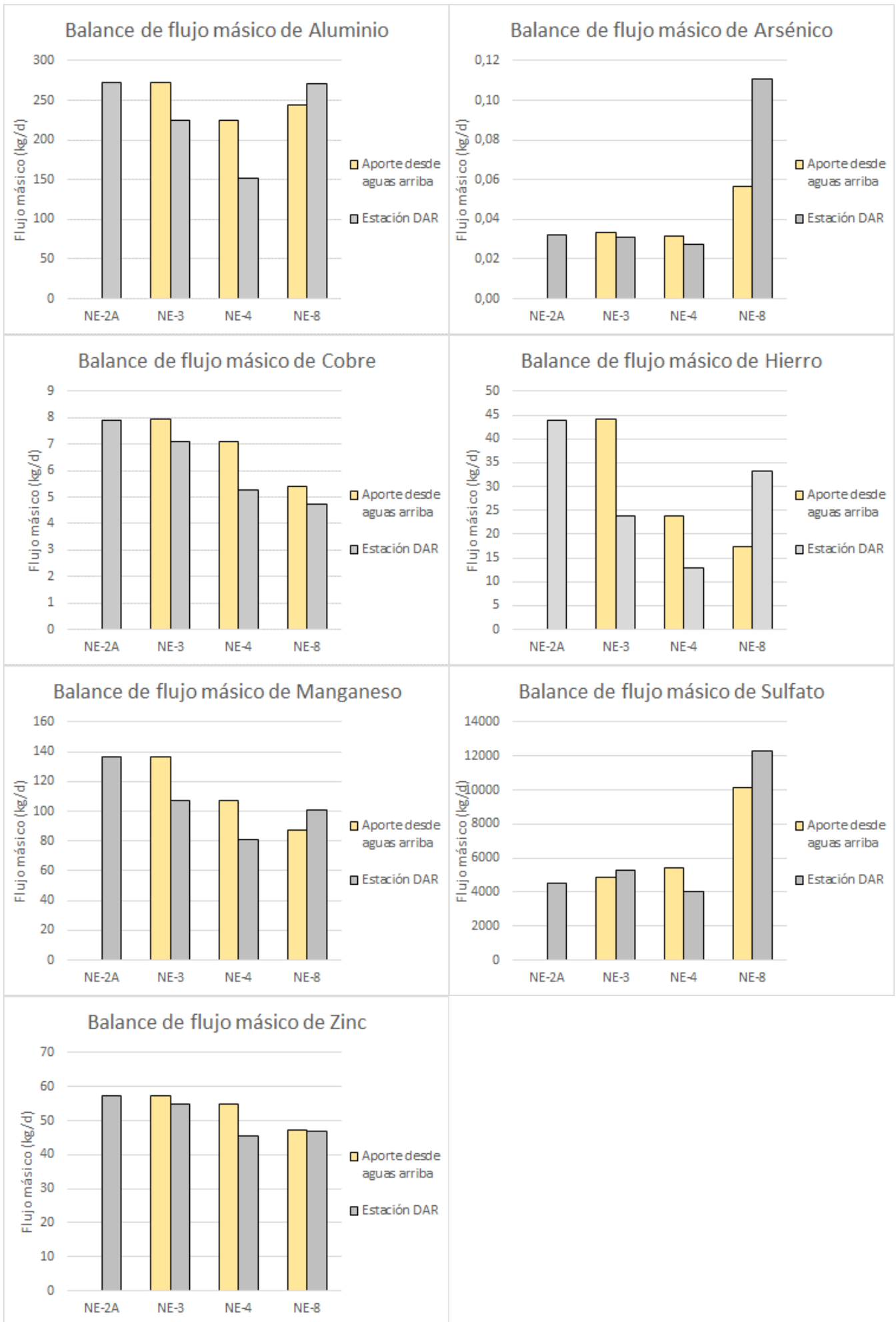


Figura 14. Balance de flujo másico en estaciones DAR (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

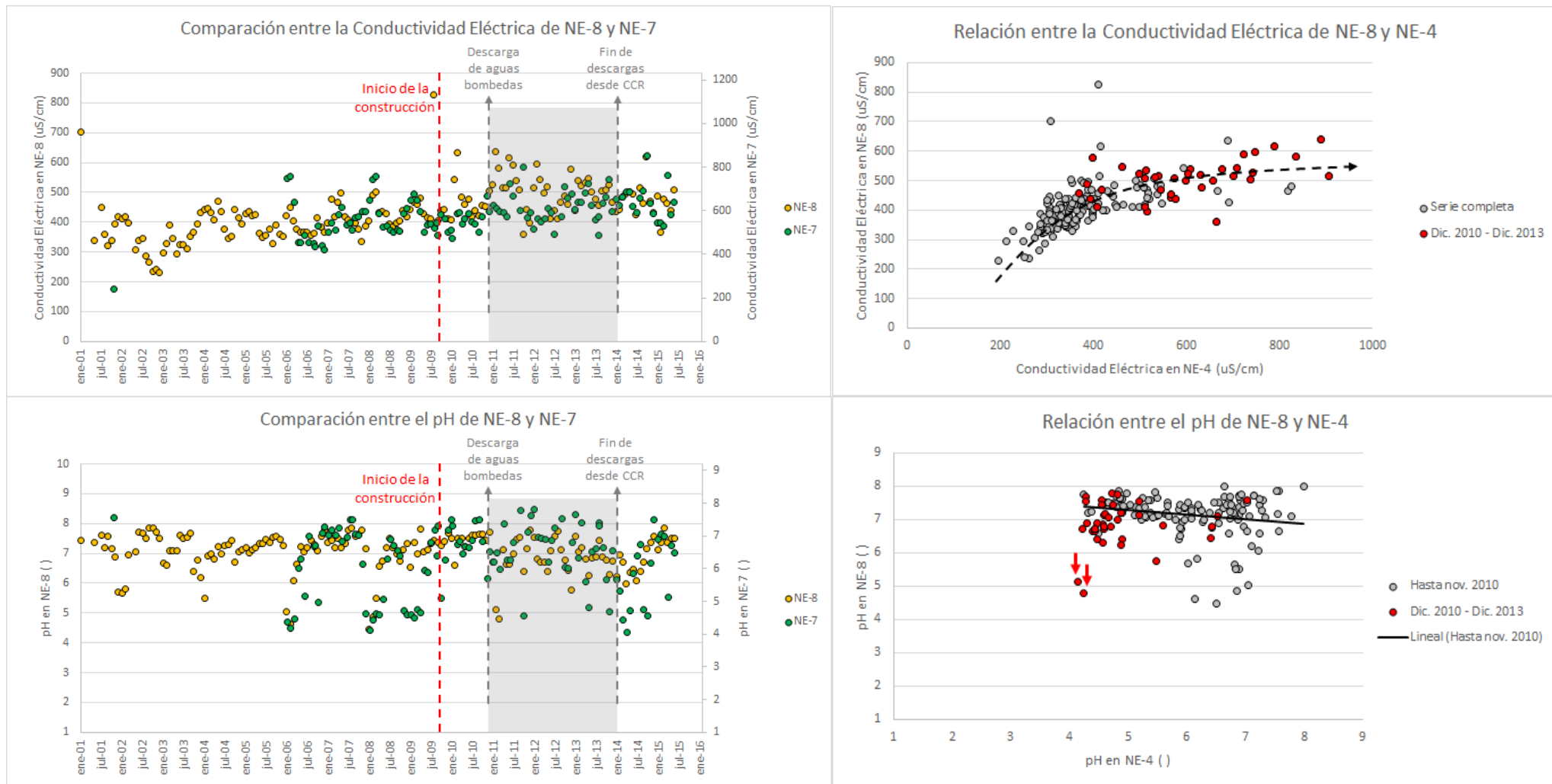


Figura 15. Comparación de los registros de conductividad eléctrica y sulfato entre NE-4, NE-7 y NE-8 (Fuente: elaboración propia en base a fuentes de información detalladas en el numeral 3 del presente Anexo).

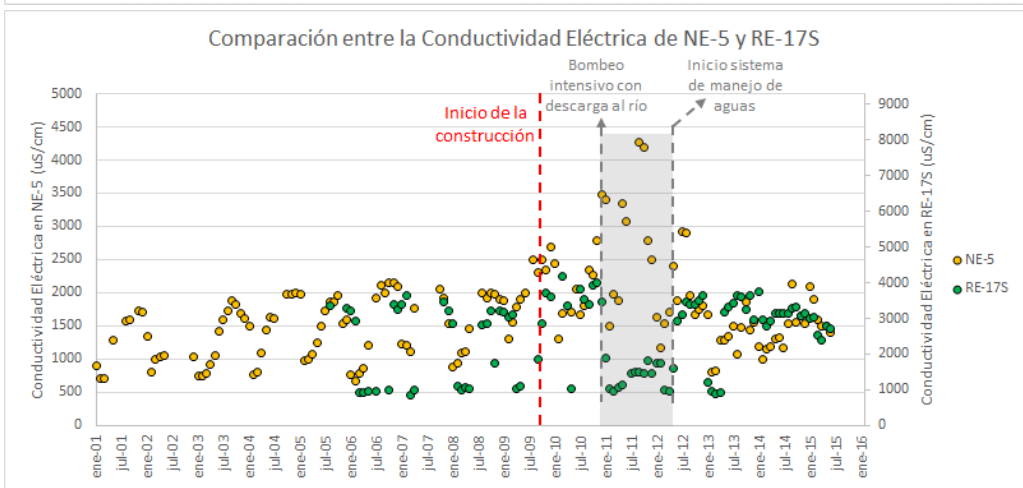
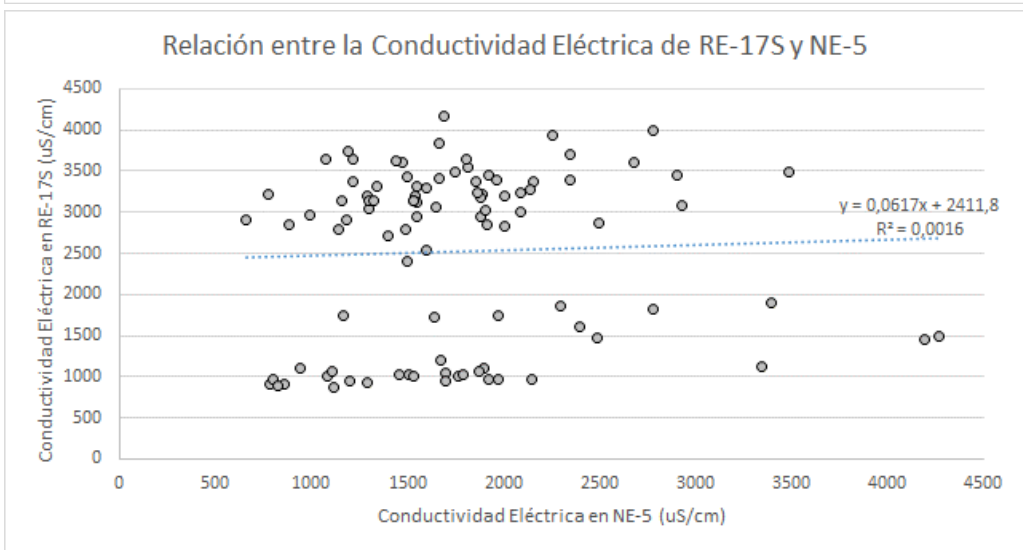
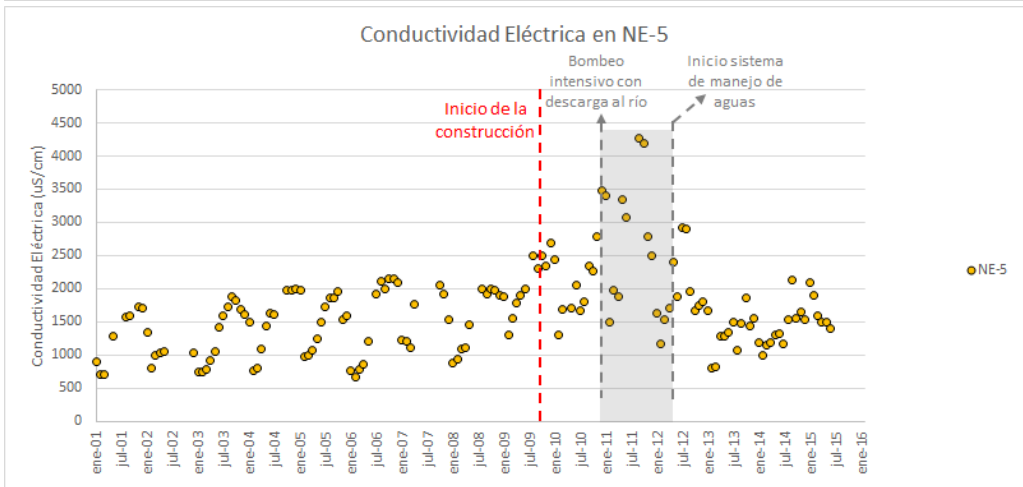
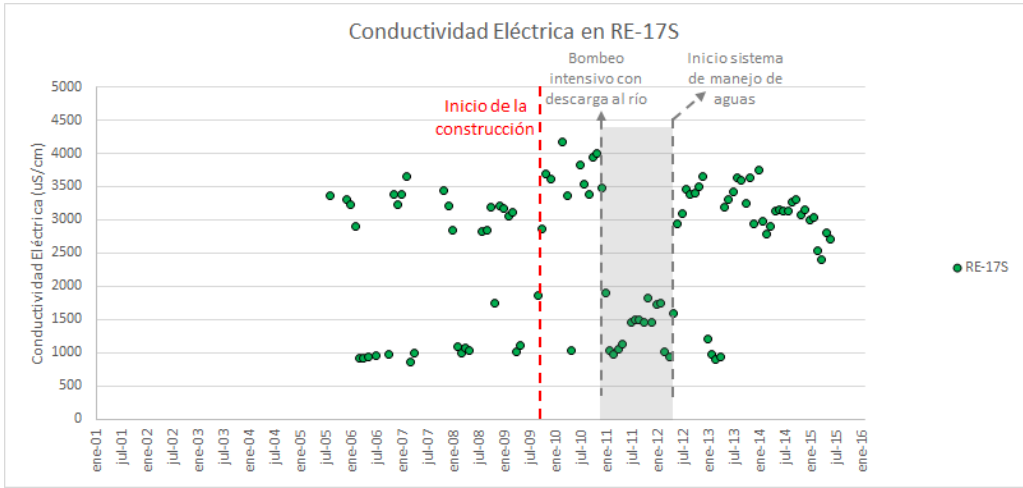
APÉNDICE 8-1: COMPARACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DAR DE DISTINTAS ESTACIONES DE MONITOREO SELECCIONADAS SEGÚN CRITERIOS HIDROLÓGICOS

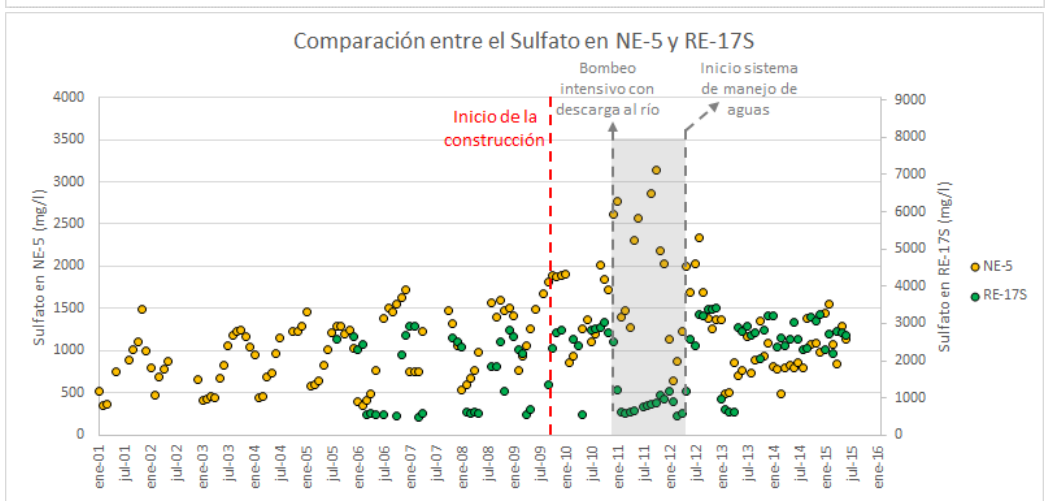
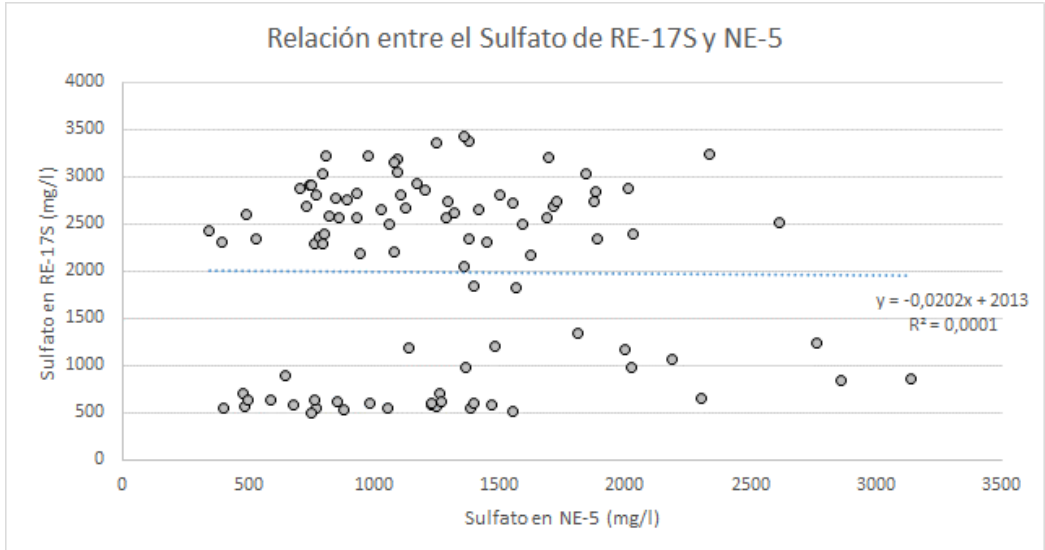
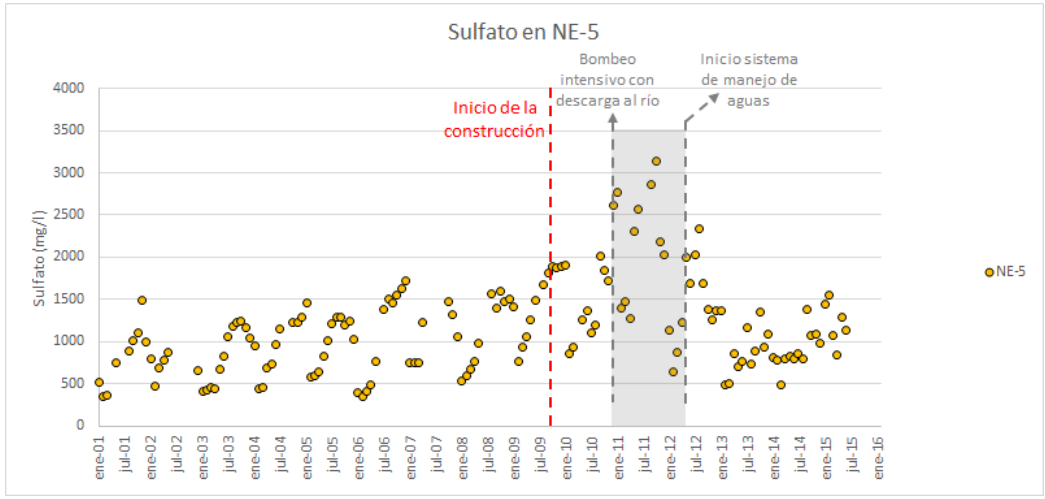
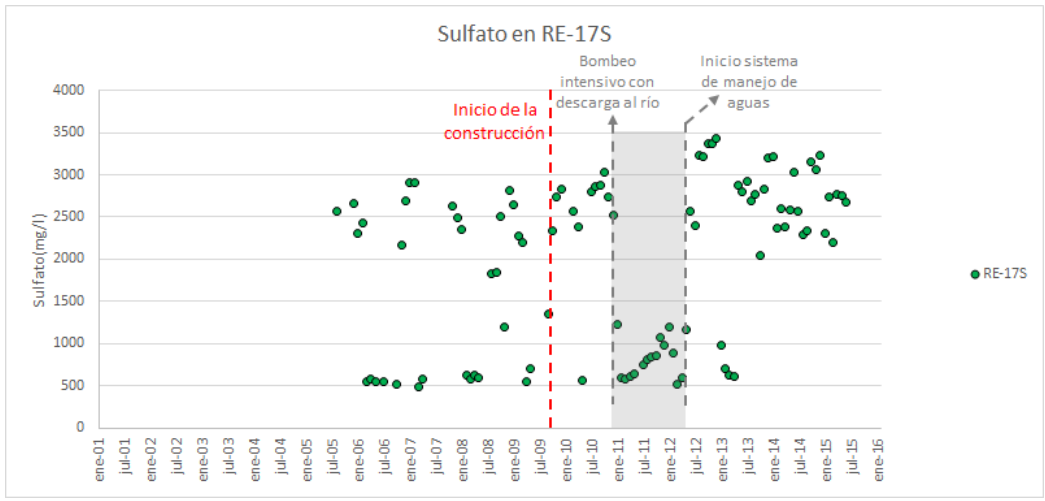
OBJETIVO: En el presente Apéndice se incluyen los gráficos construidos entre cada par de estaciones de monitoreo objeto de comparación. Conforme a los criterios hidrológicos expuestos en la Tabla 1 del Anexo 8, dichos pares de estaciones son RE-17S/RE-5, BT-1/NE-2A, NE-5/NE-2A, NE-1A/NE-3, NE-2A/NE-3, PX-1/NE-4, NE-3/NE-4, CN-2/NE-8, NE-7/NE-8, y NE-4/NE-8.

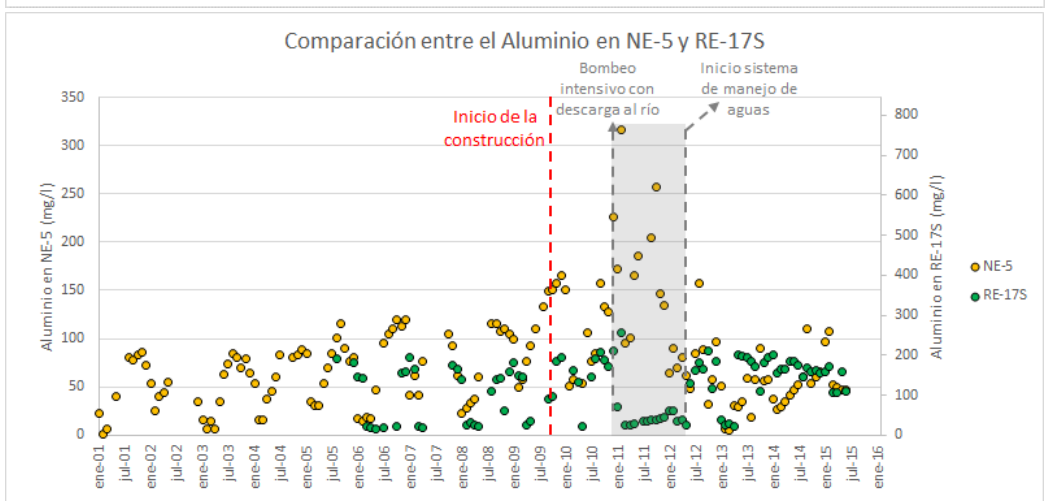
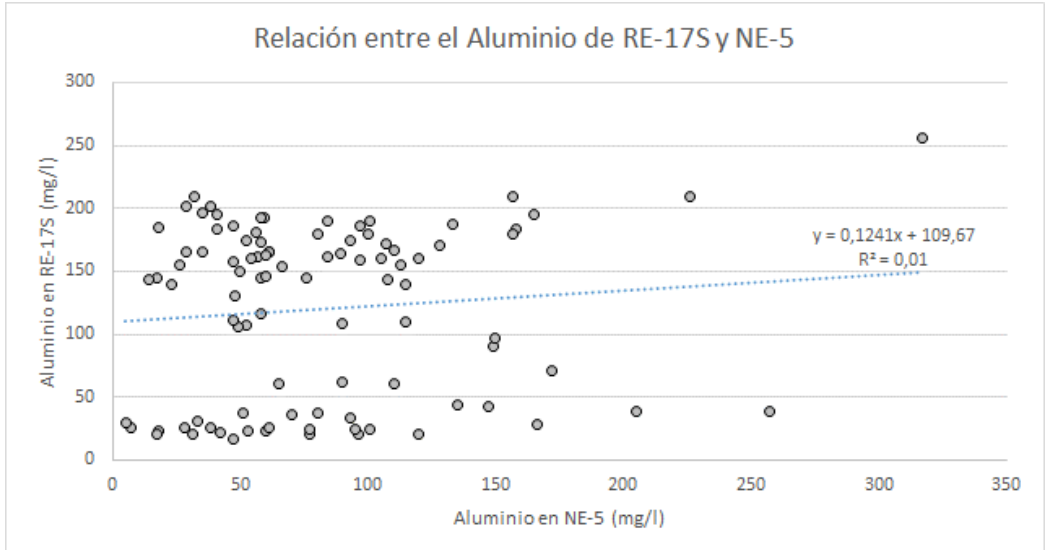
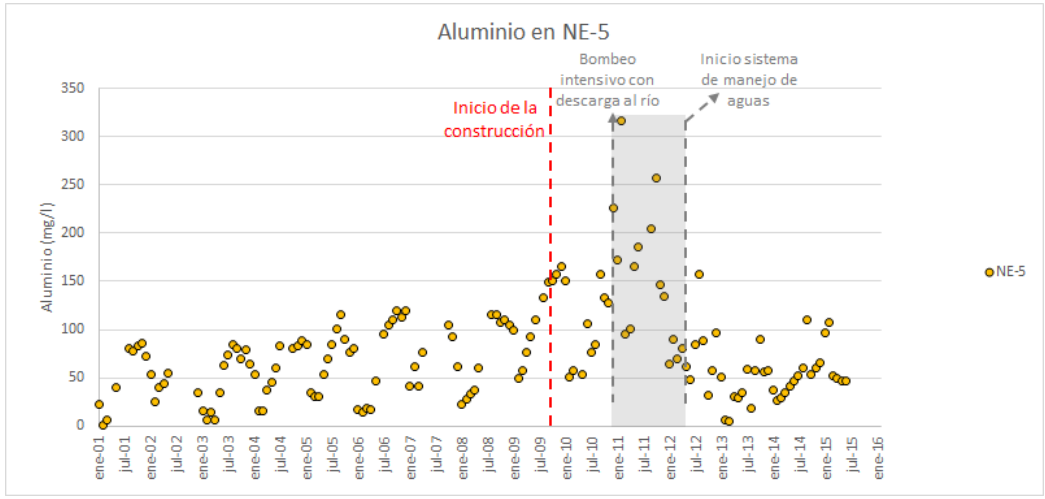
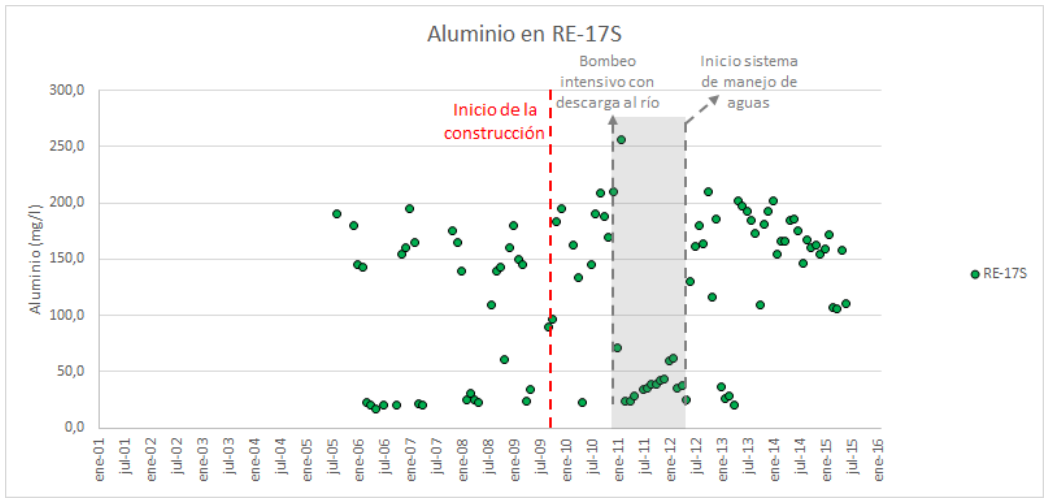
METODOLOGÍA: Para cada par de estaciones se incluyen gráficos asociados a cada parámetro DAR. Se presentan así cuatro gráficos para cada parámetro DAR, según se detalla a continuación:

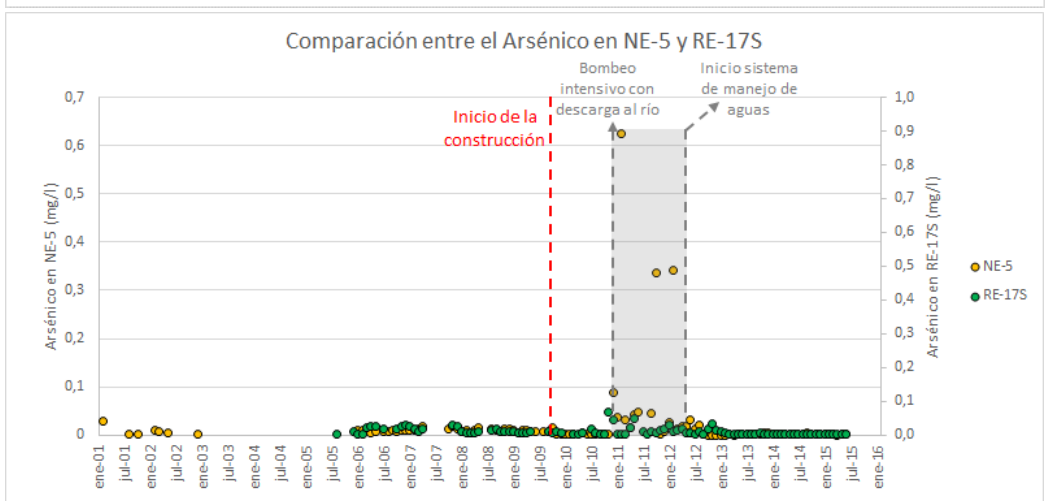
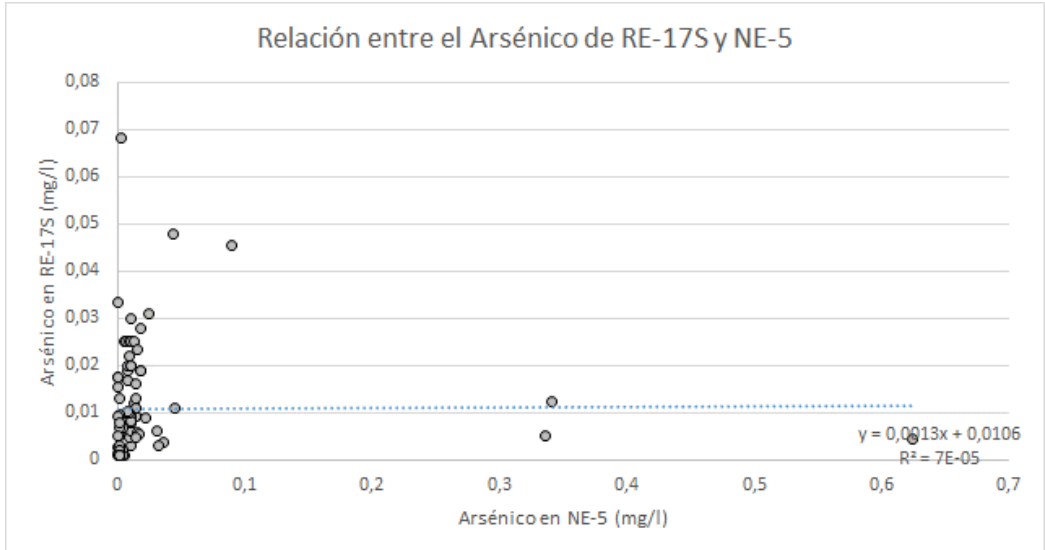
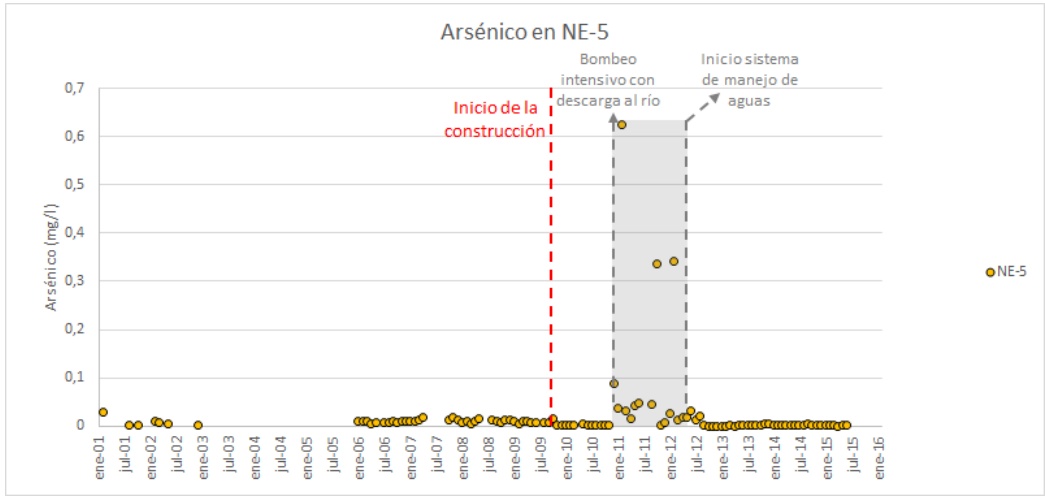
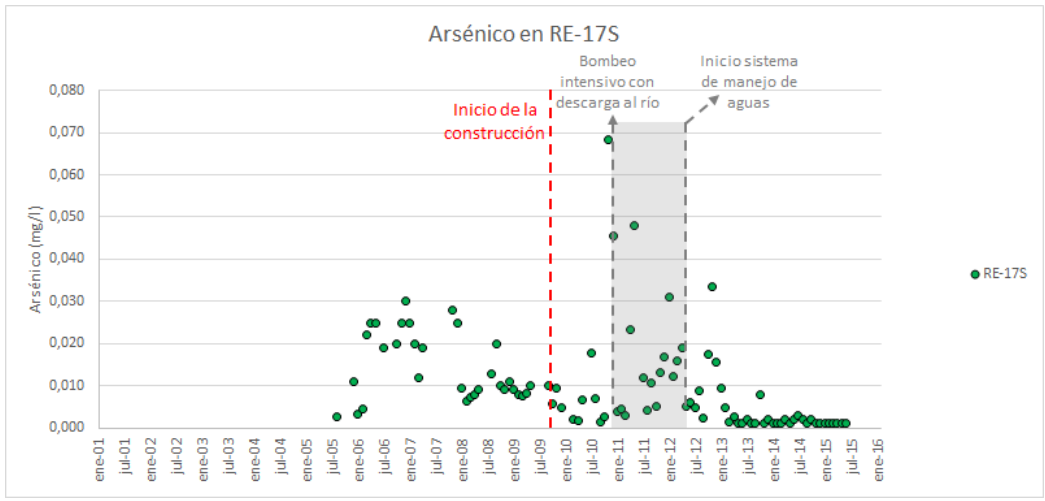
- Los primeros dos gráficos muestran la evolución del parámetro DAR en cuestión, respecto de cada una de las estaciones que componen el respectivo par bajo análisis.
- El tercer gráfico muestra la relación que existe para el parámetro DAR entre las dos estaciones. Para ello se grafica cada medición mensual que cuenta con registros en las dos estaciones, asignando un eje a cada estación. Se incluye una regresión lineal en la cual se indica el coeficiente de correlación R^2 y la ecuación de la recta.
- El cuarto gráfico incluye la evolución conjunta del parámetro DAR en ambas estaciones, asignándole un eje vertical a cada una. De esta forma es posible realizar un análisis cualitativo de la relación que existe entre ambas series de datos. Para una correcta visualización se ajustaron las escalas de ambos ejes verticales, de tal forma que siguen la misma relación que las medianas del registro histórico disponible del parámetro DAR en cuestión.

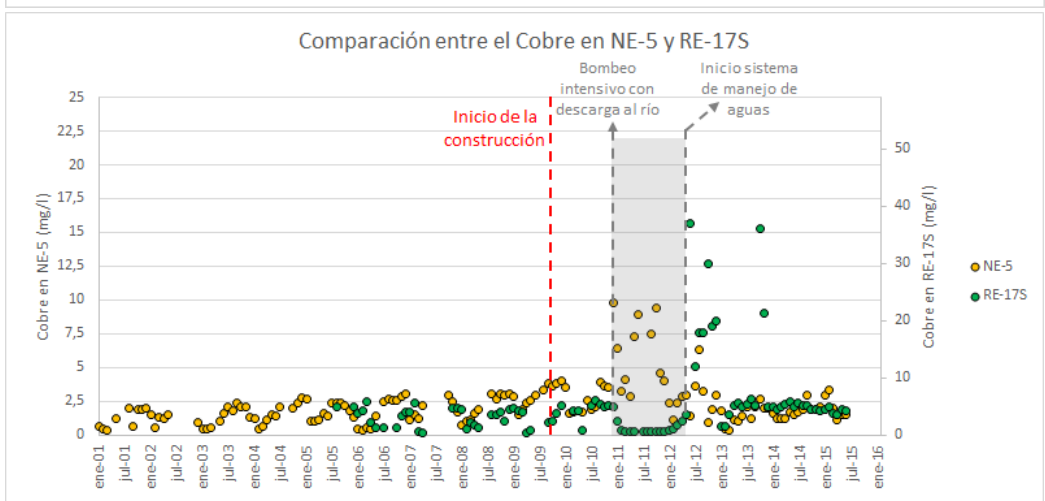
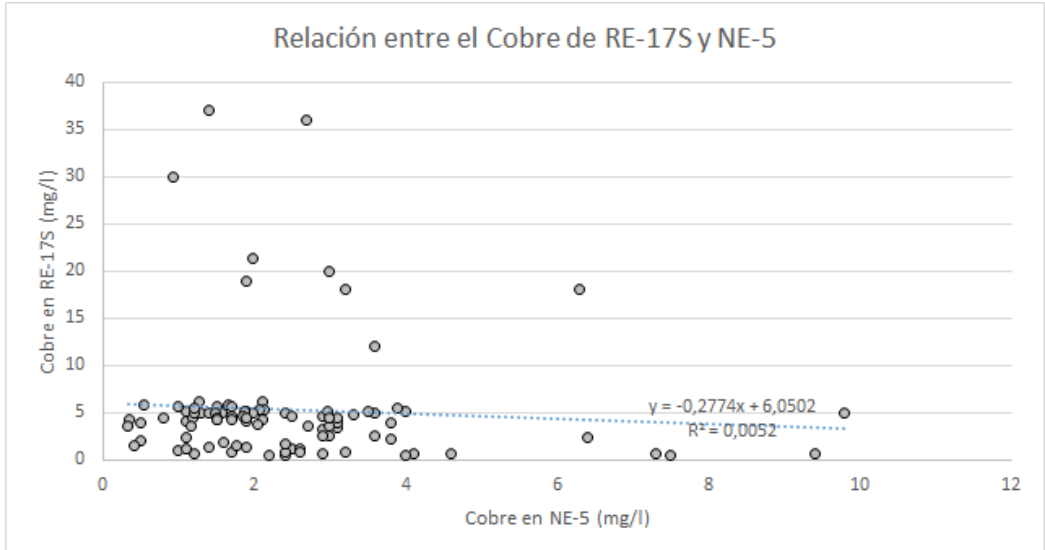
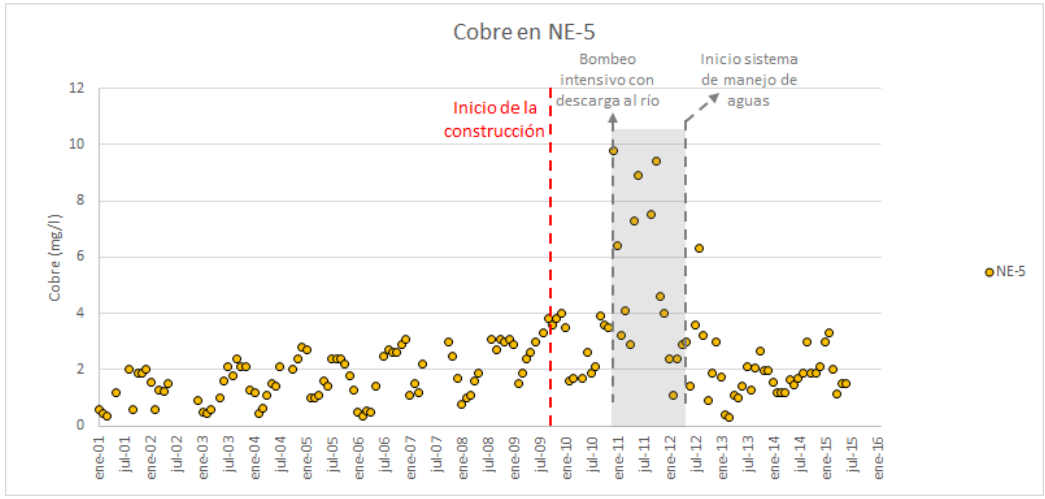
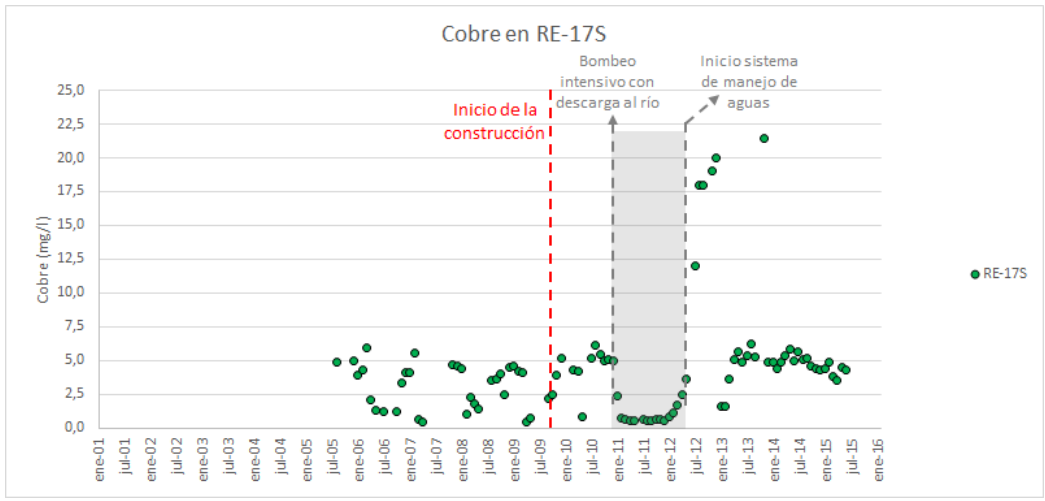
1. Comparación entre RE-17S (pozo somero) y NE-5

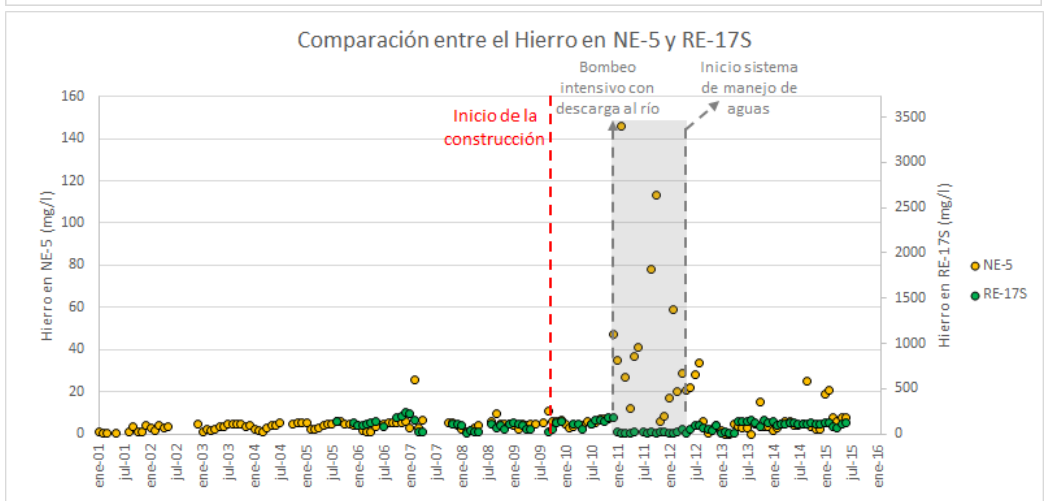
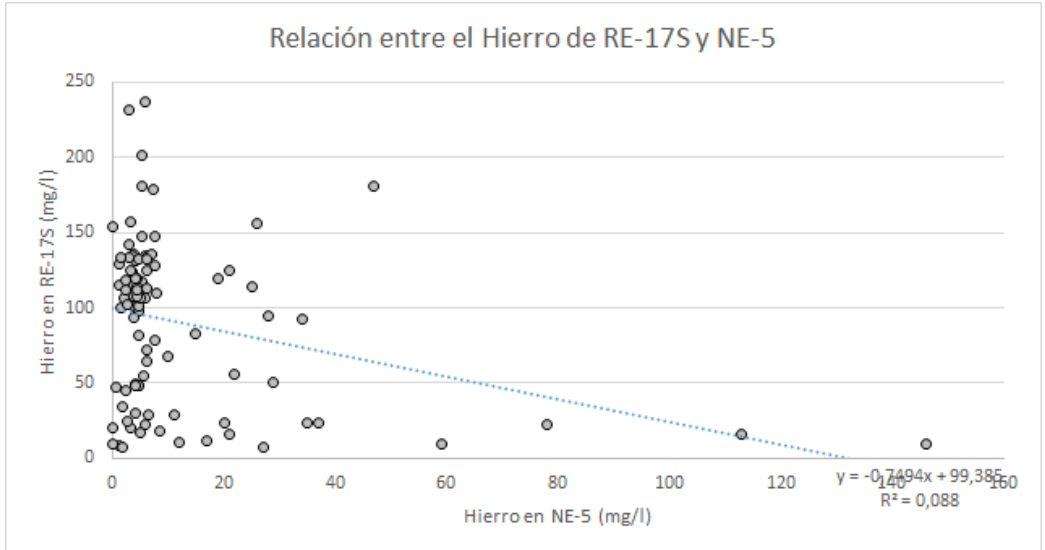
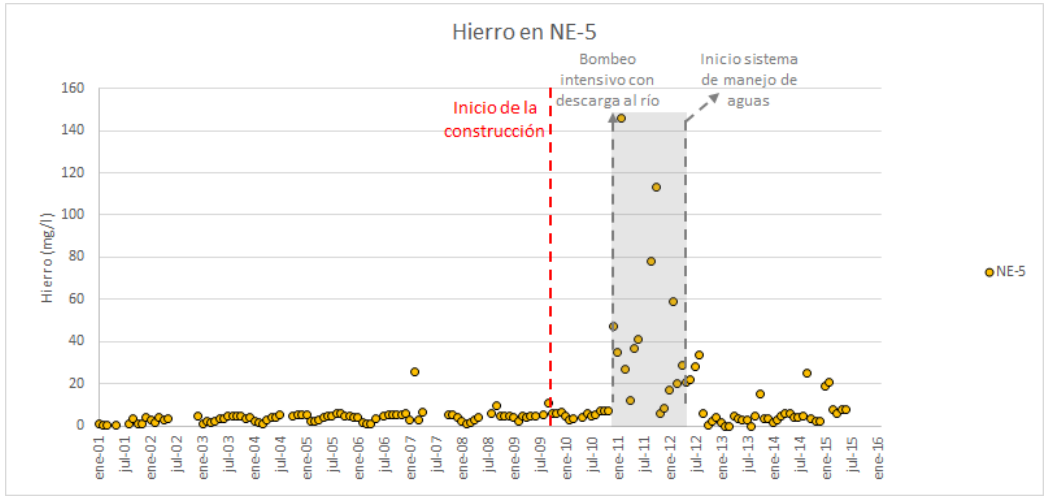
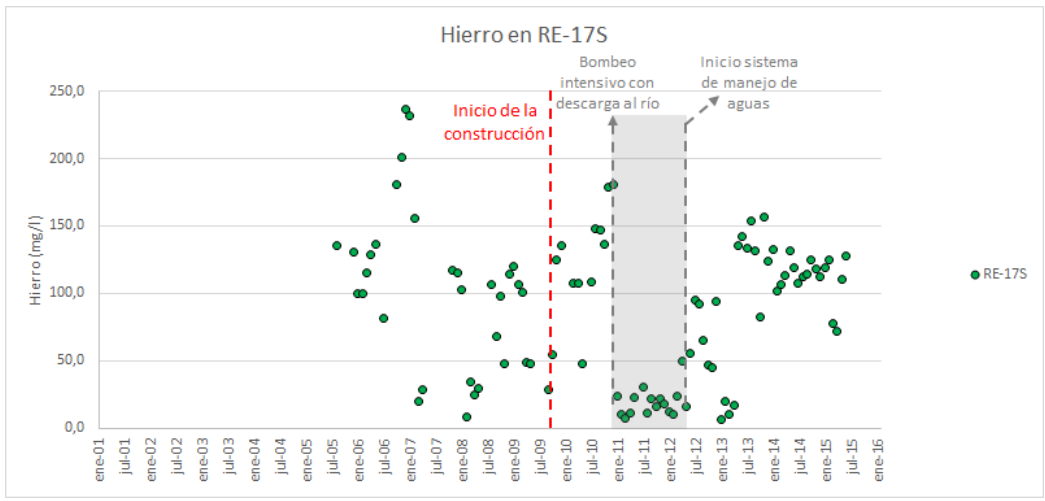


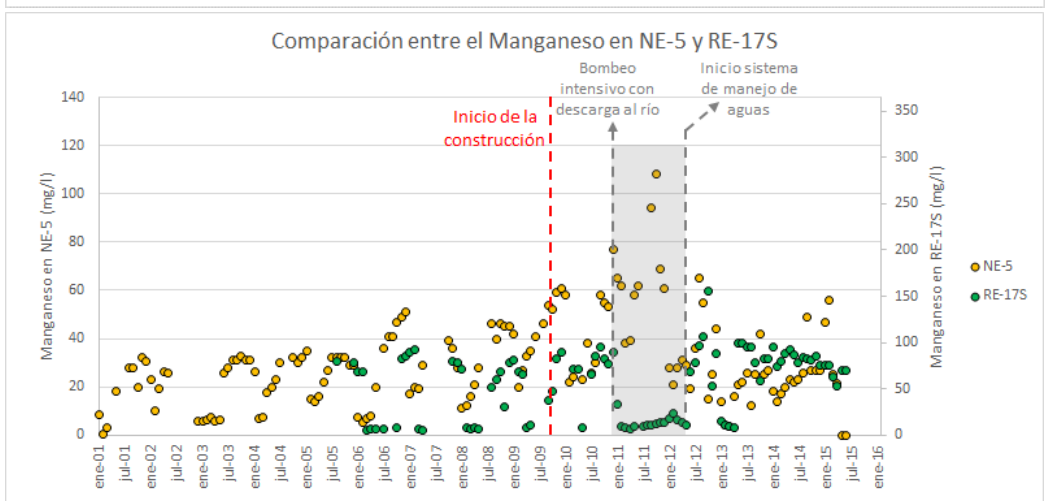
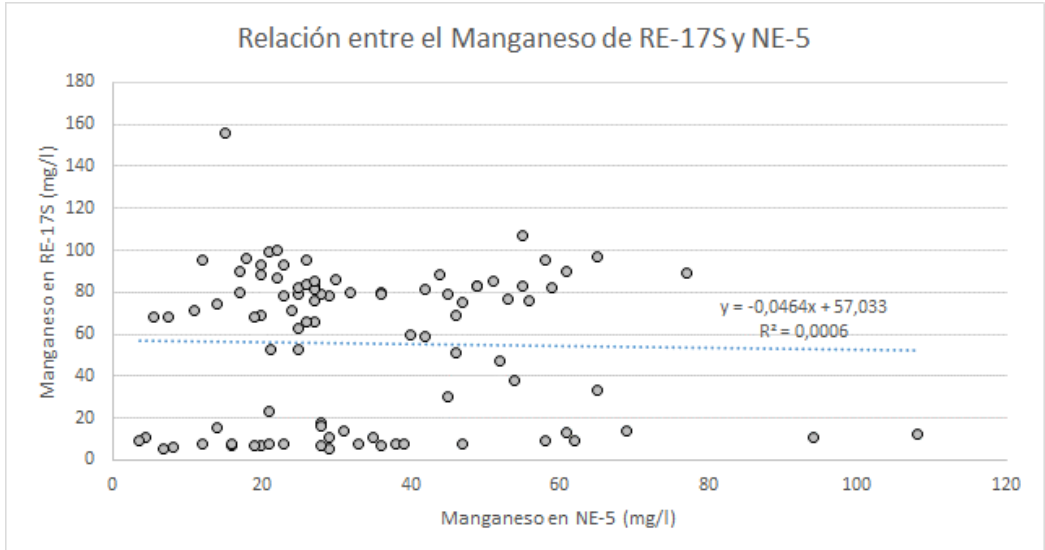
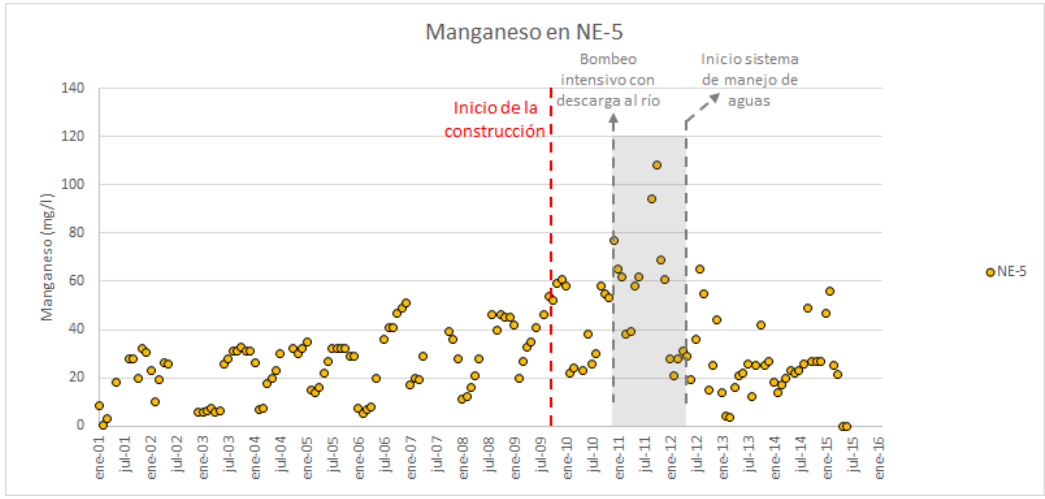
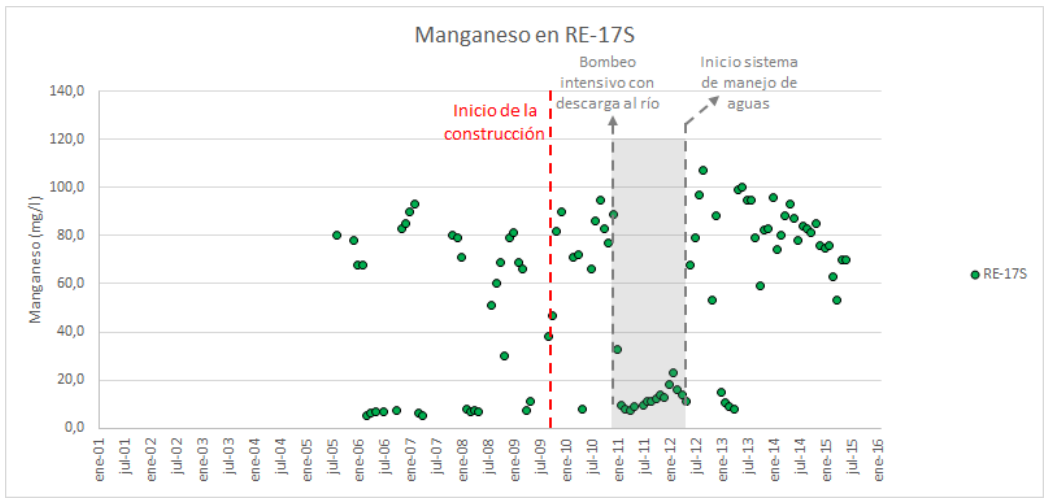


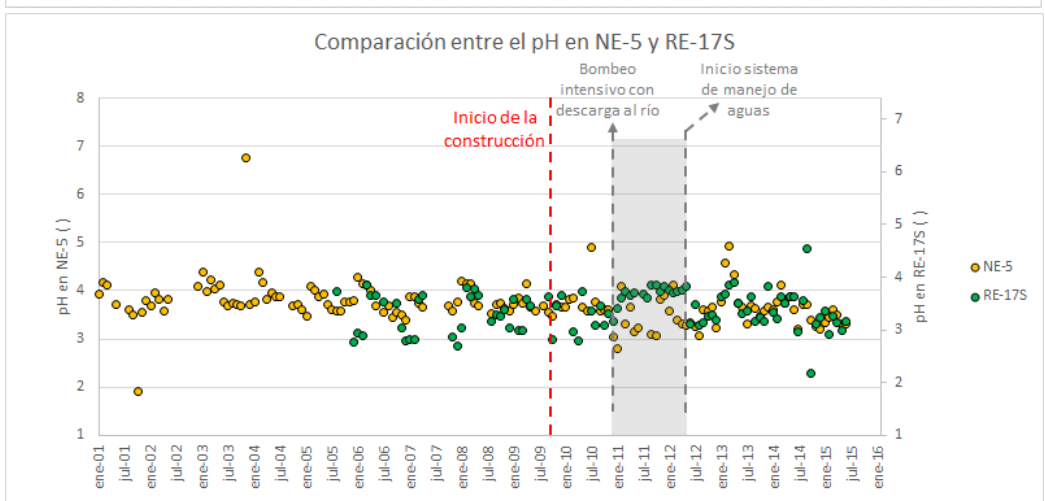
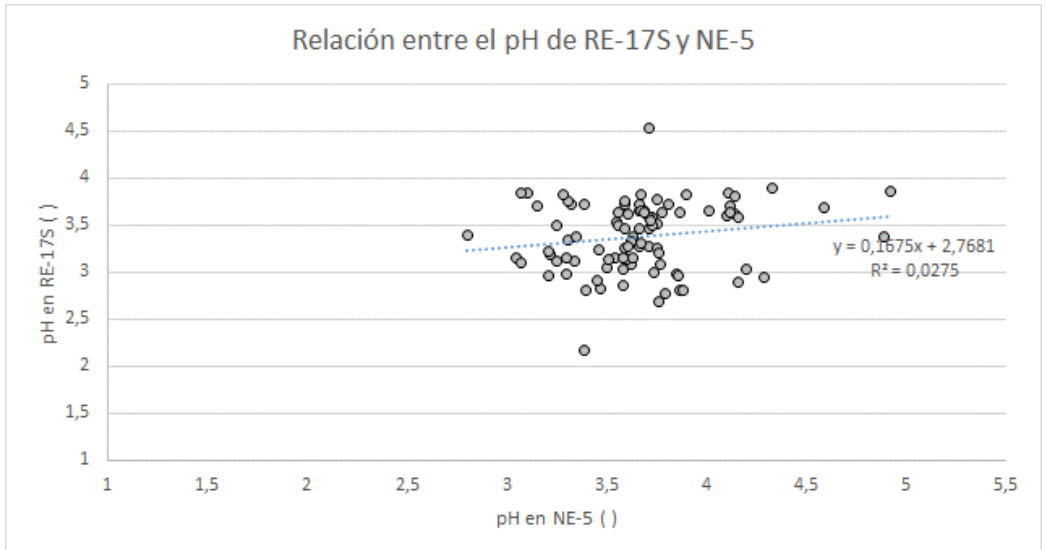
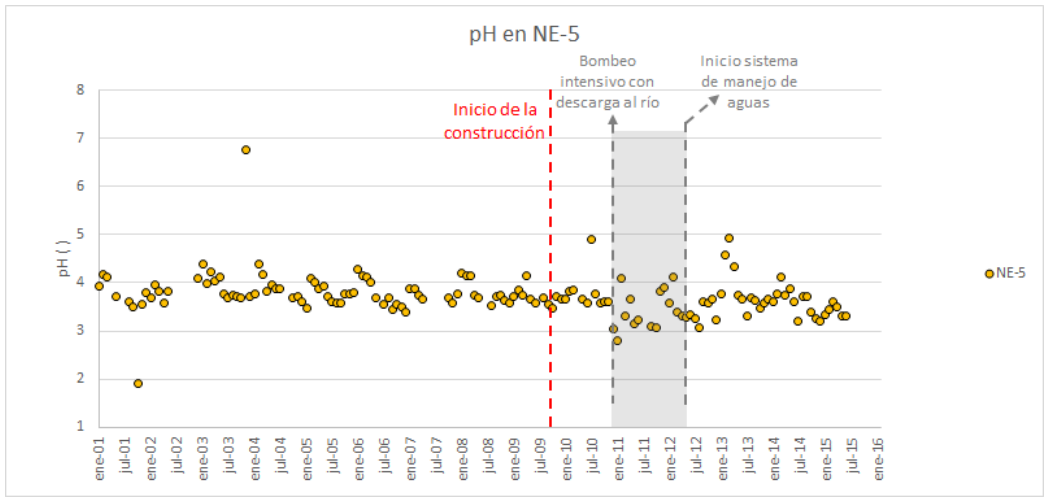
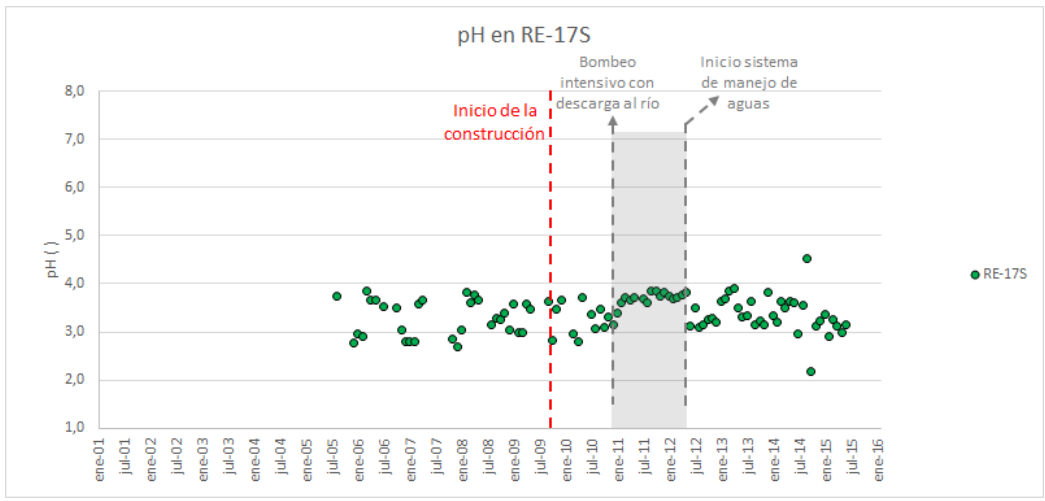


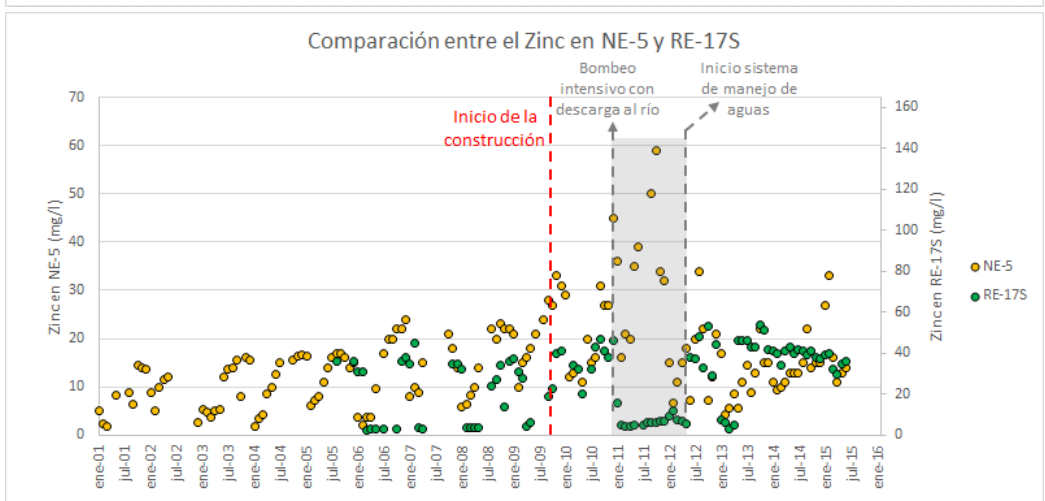
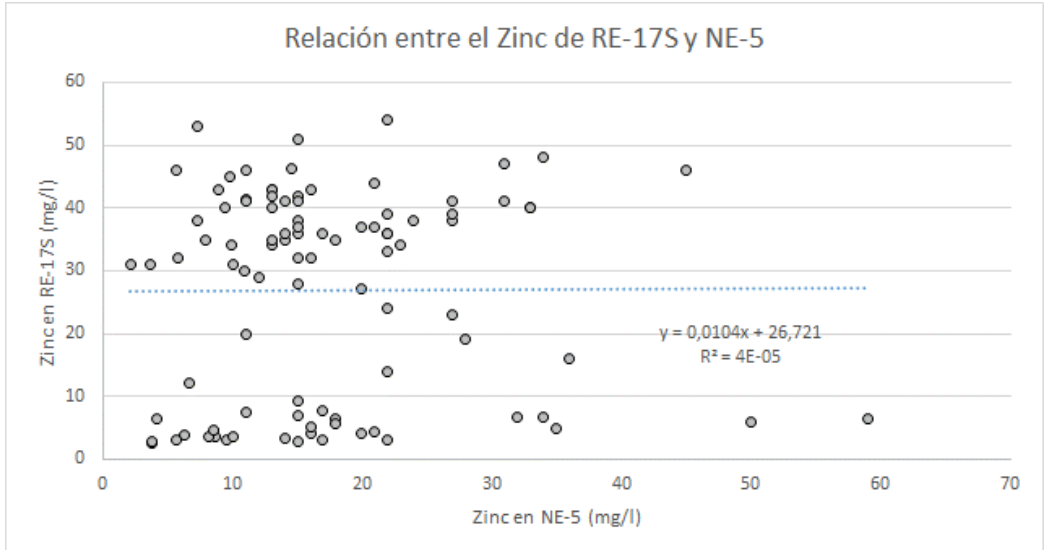
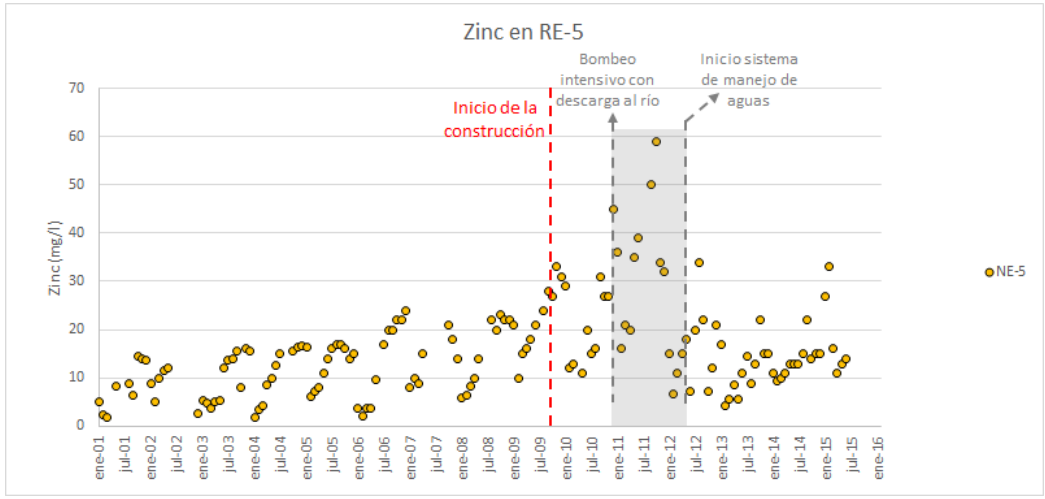
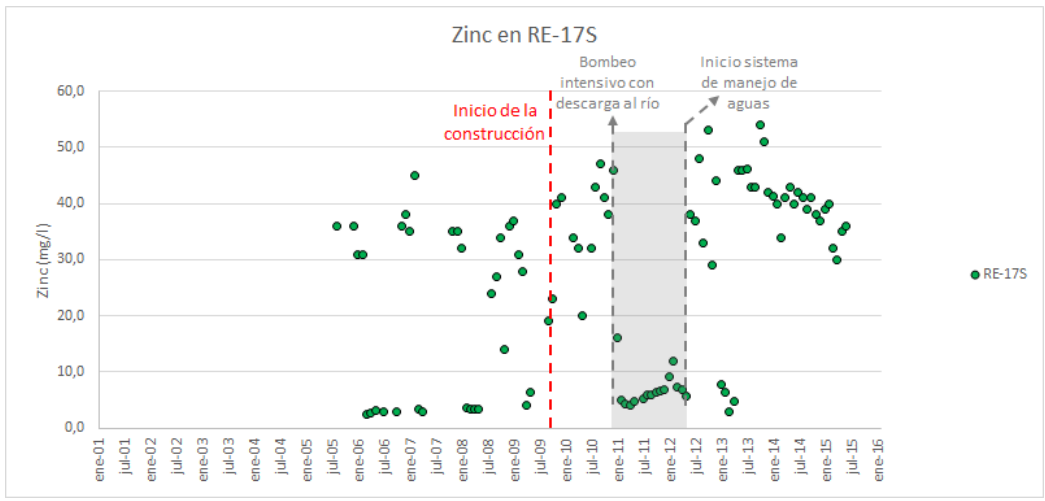




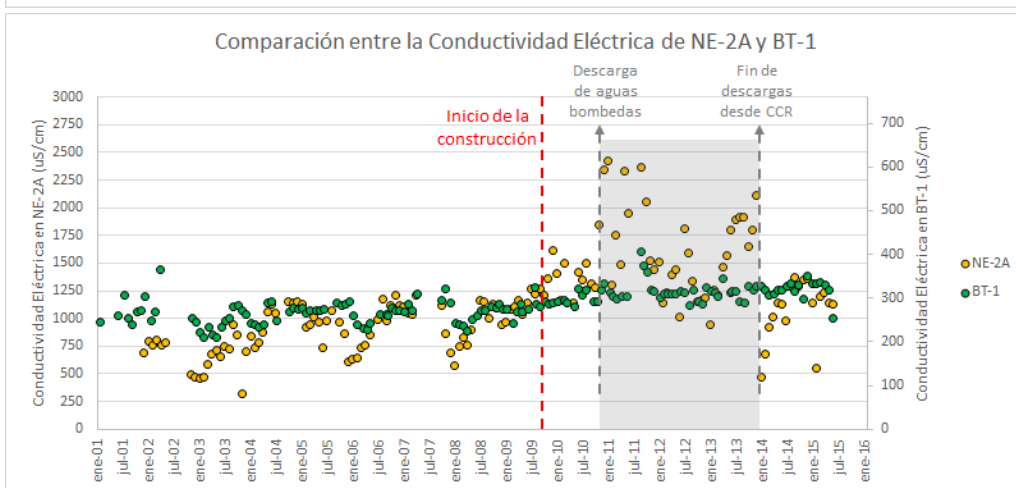
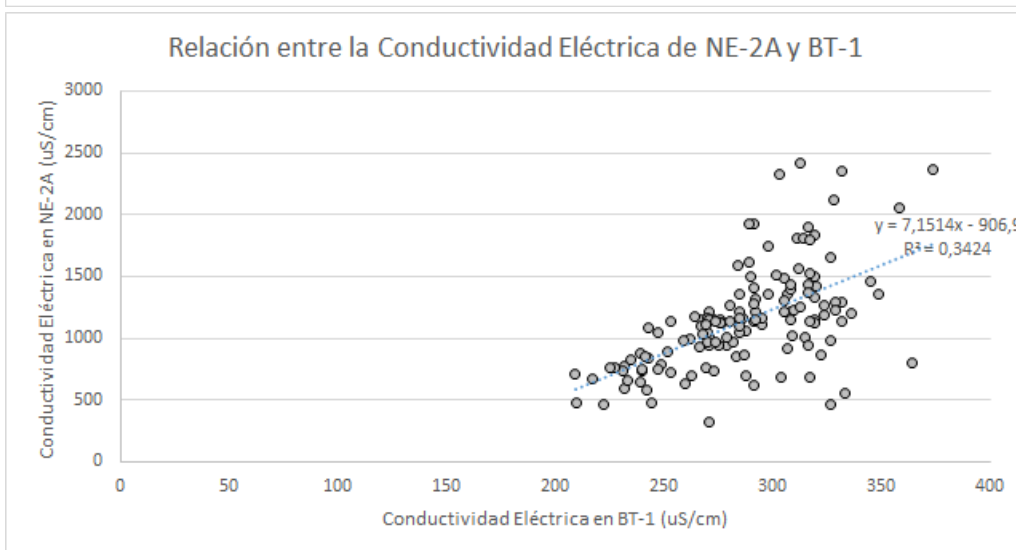
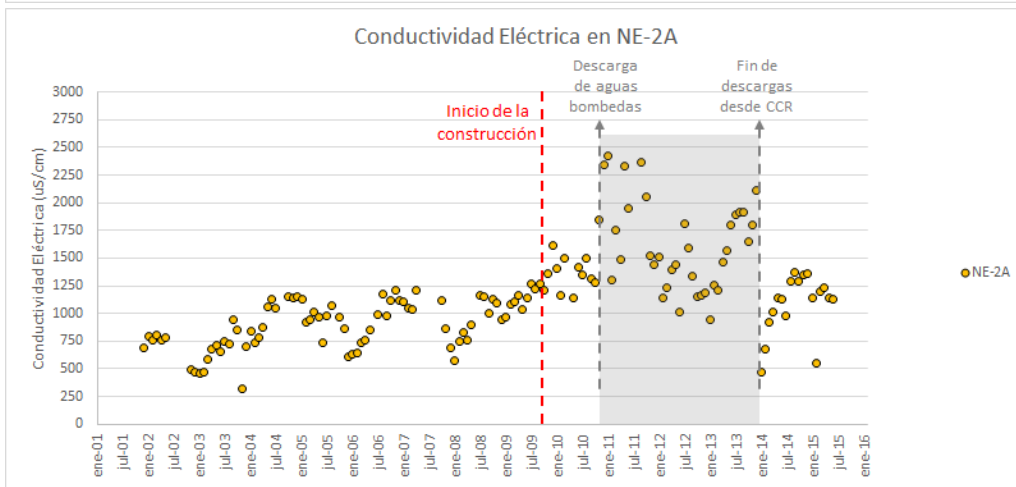
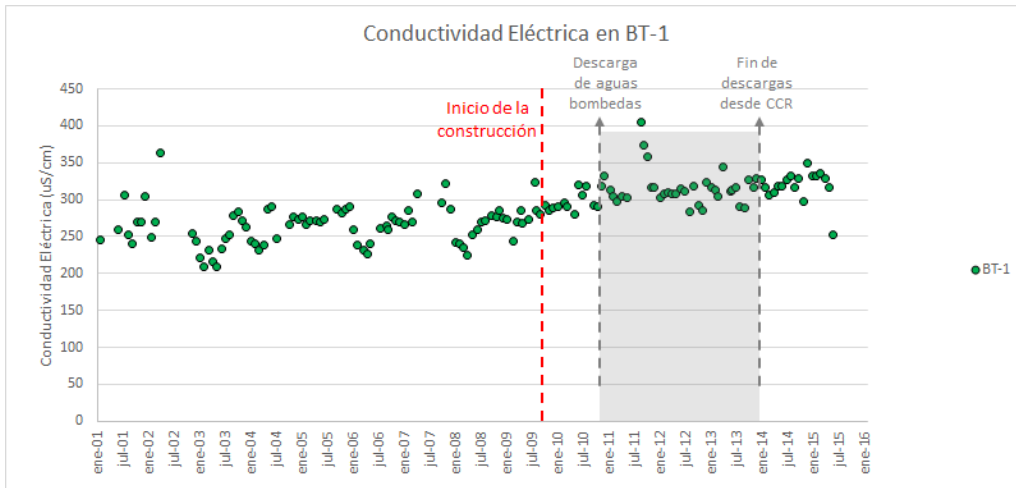


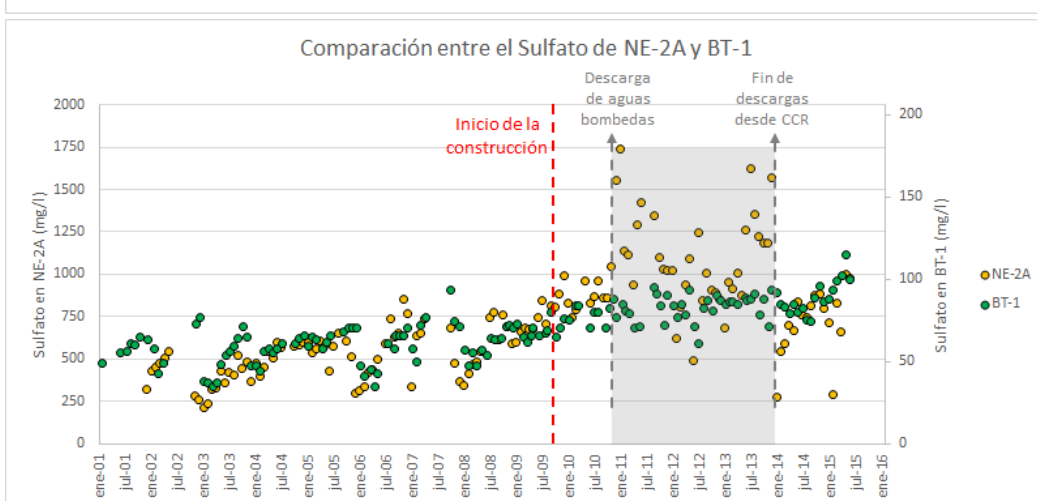
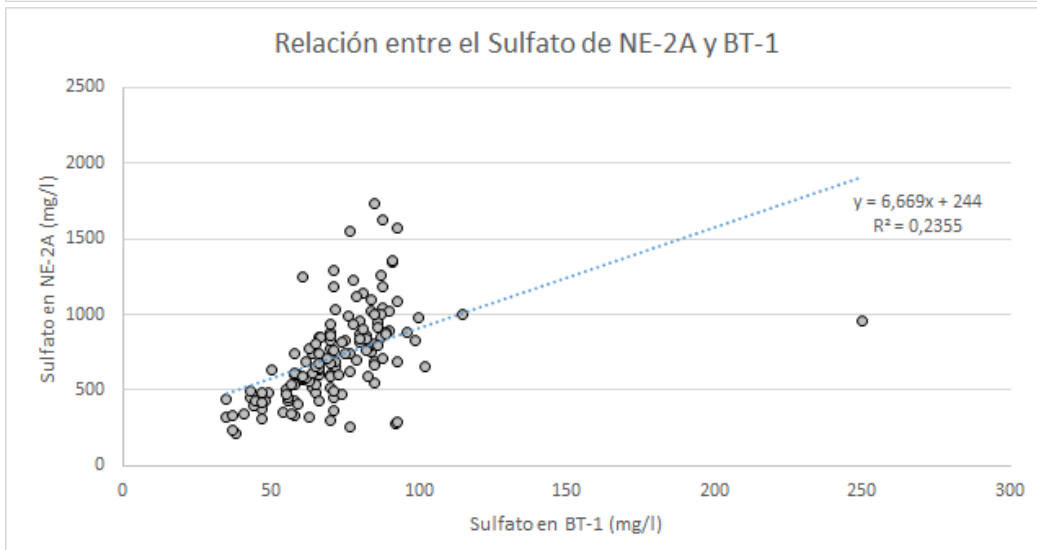
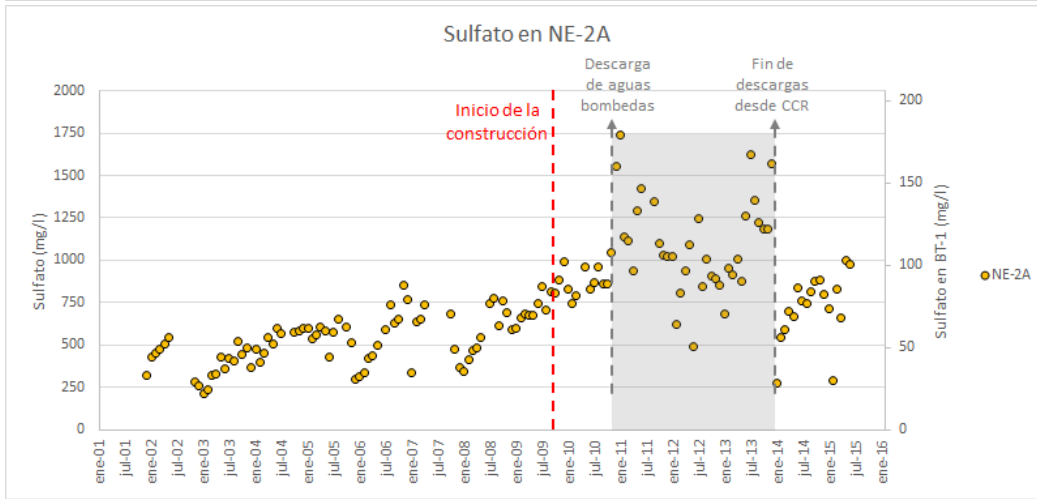
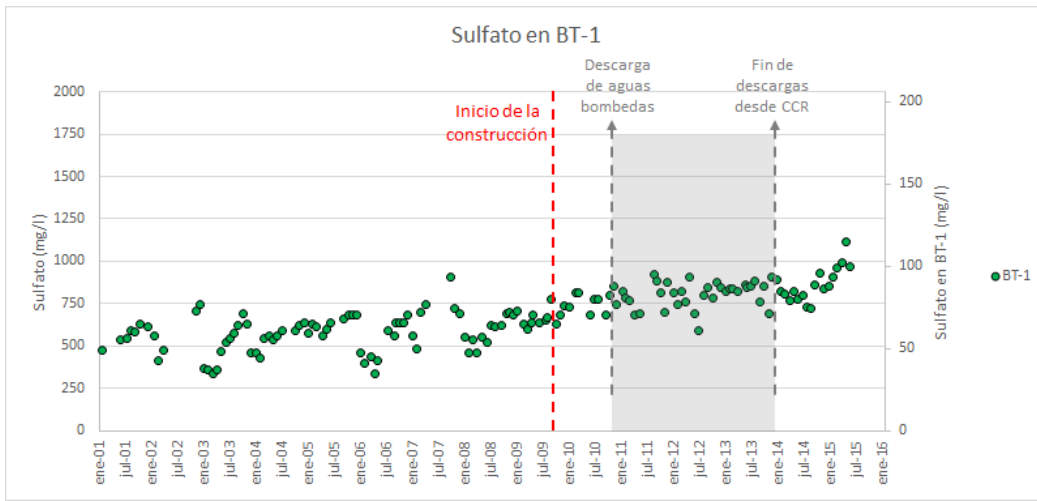


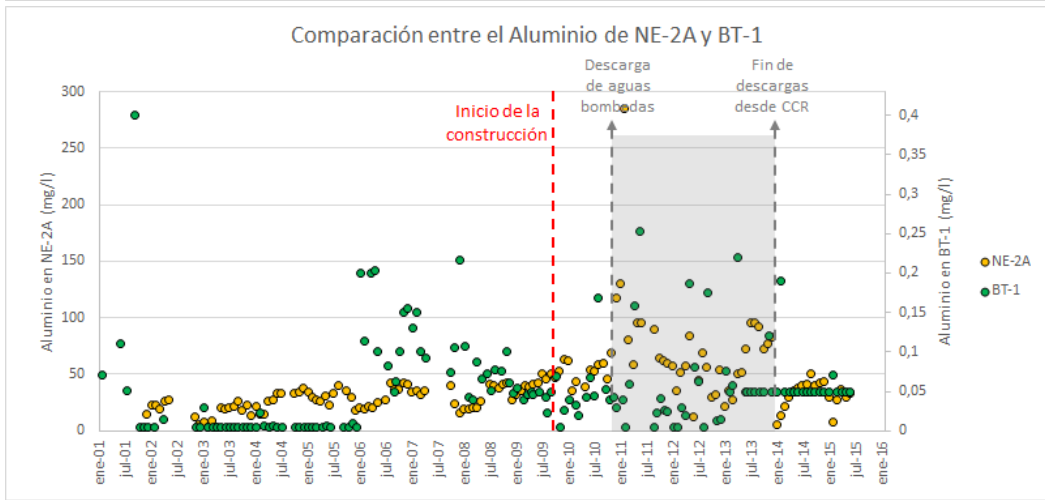
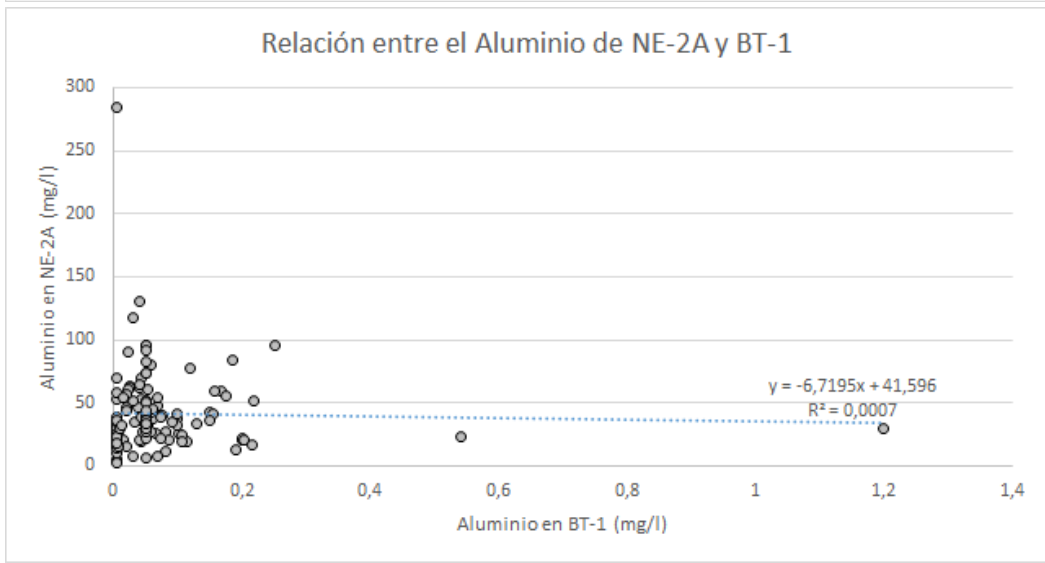
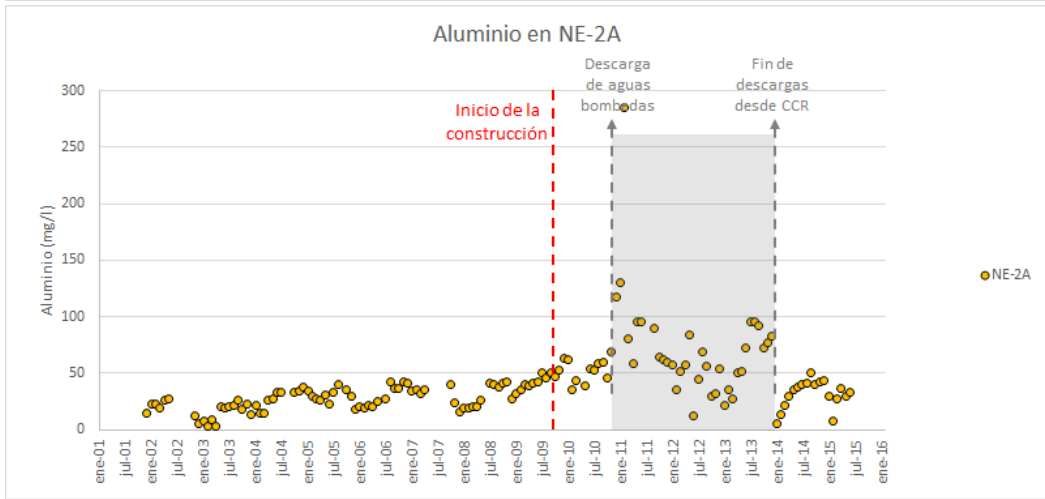
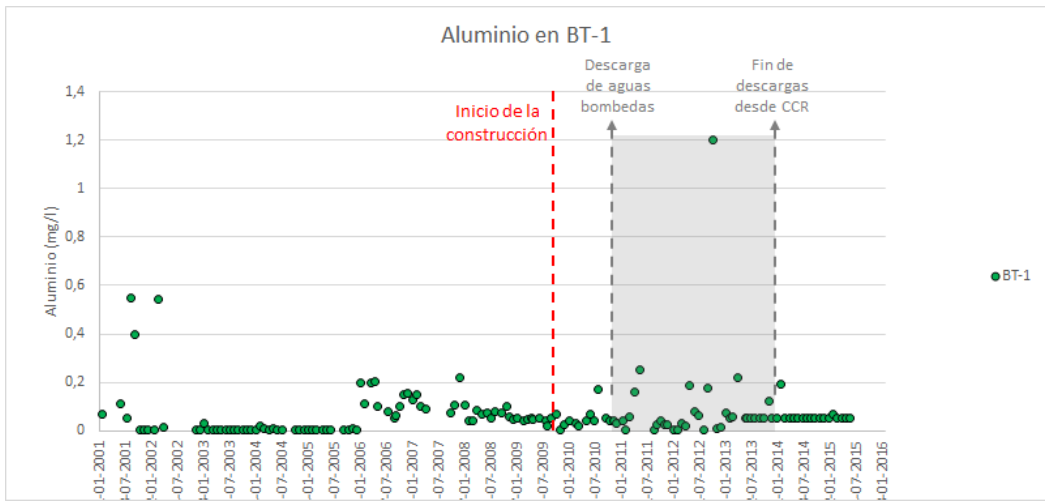


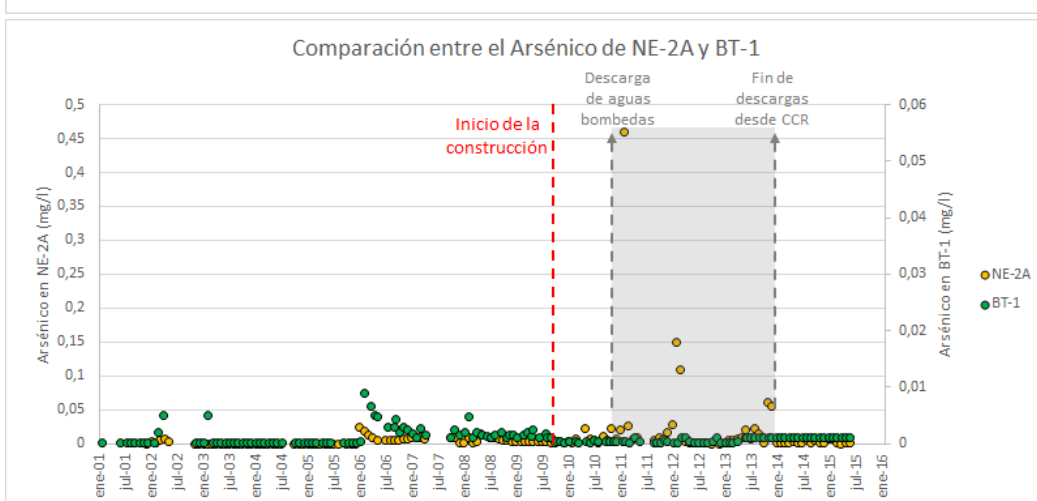
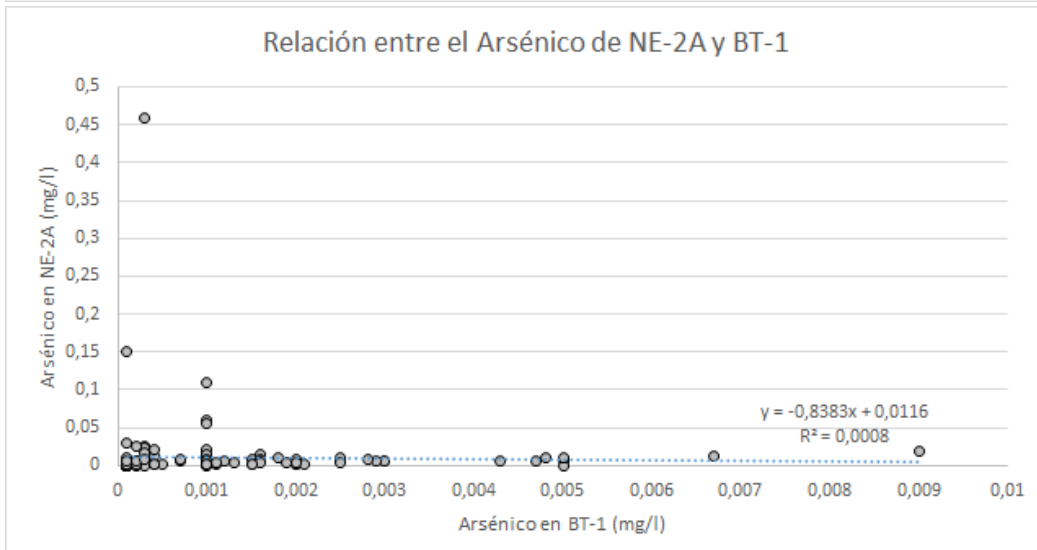
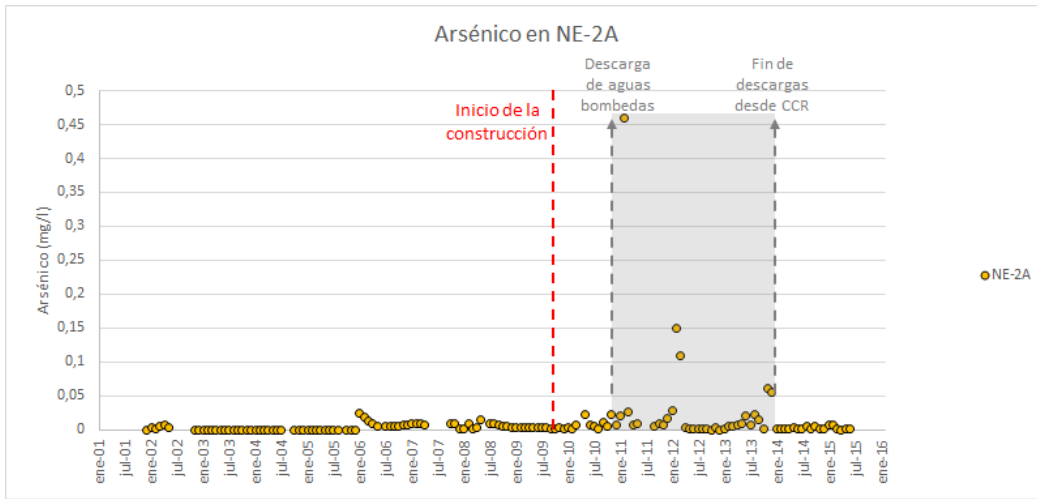
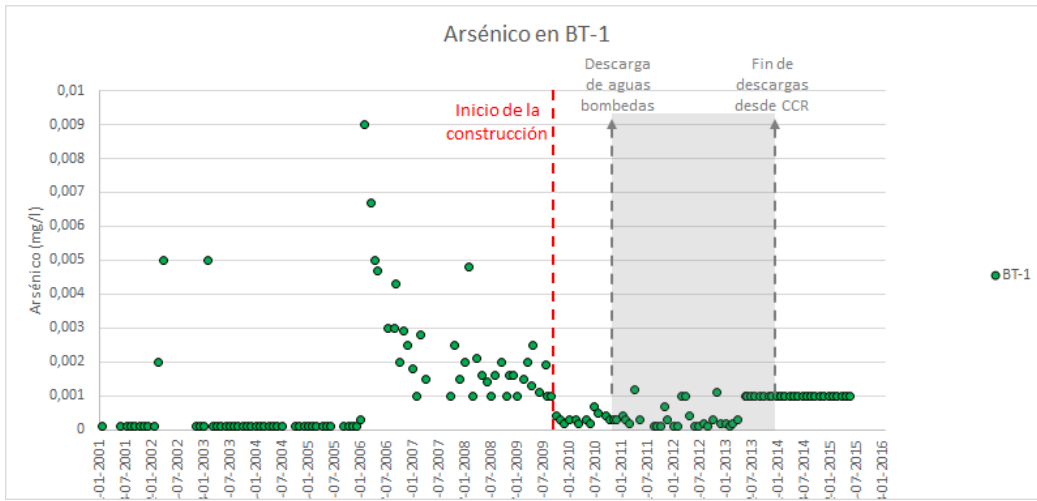


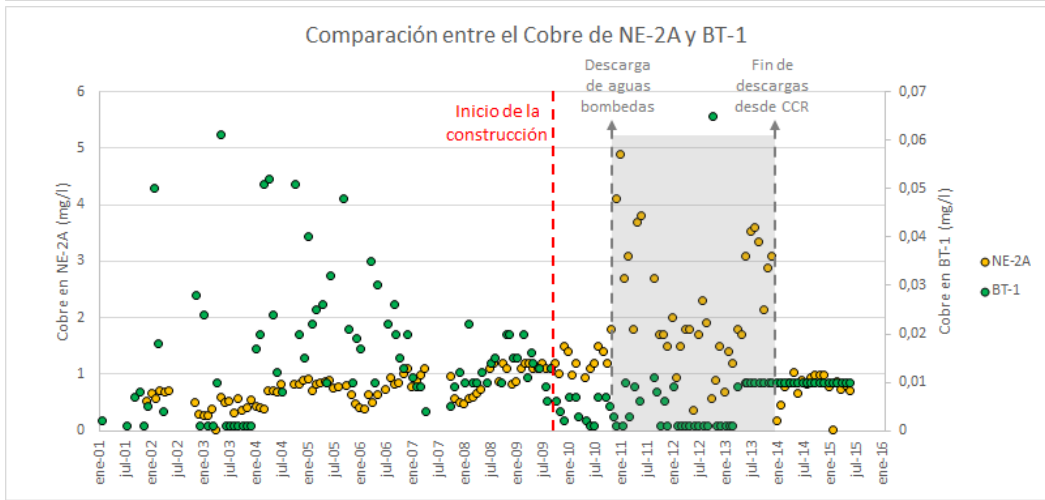
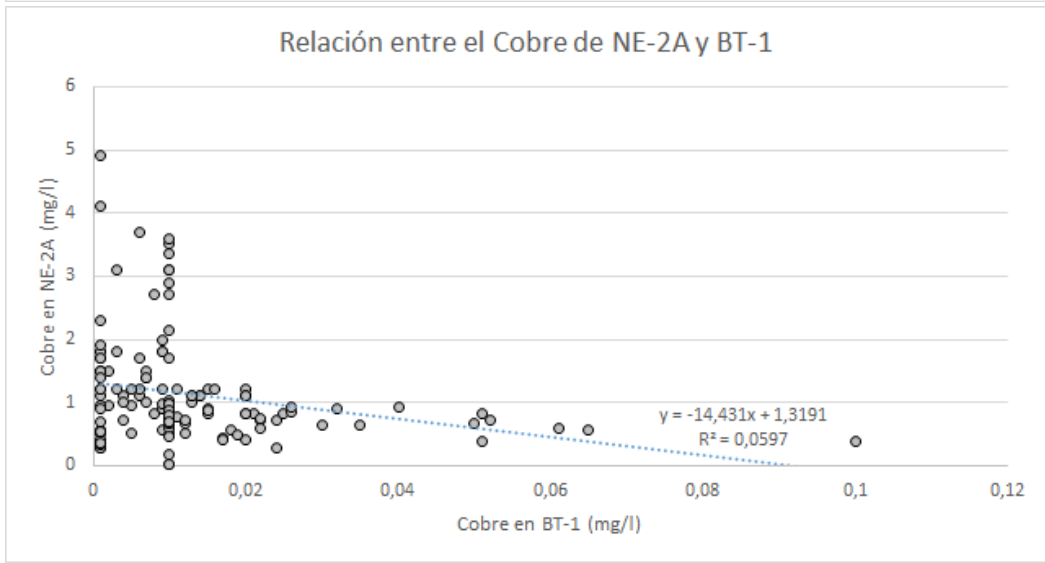
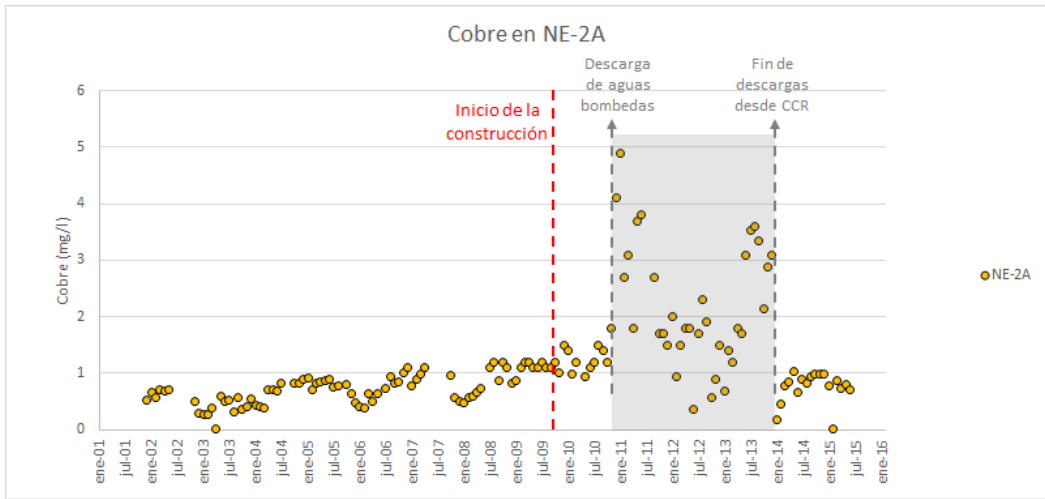
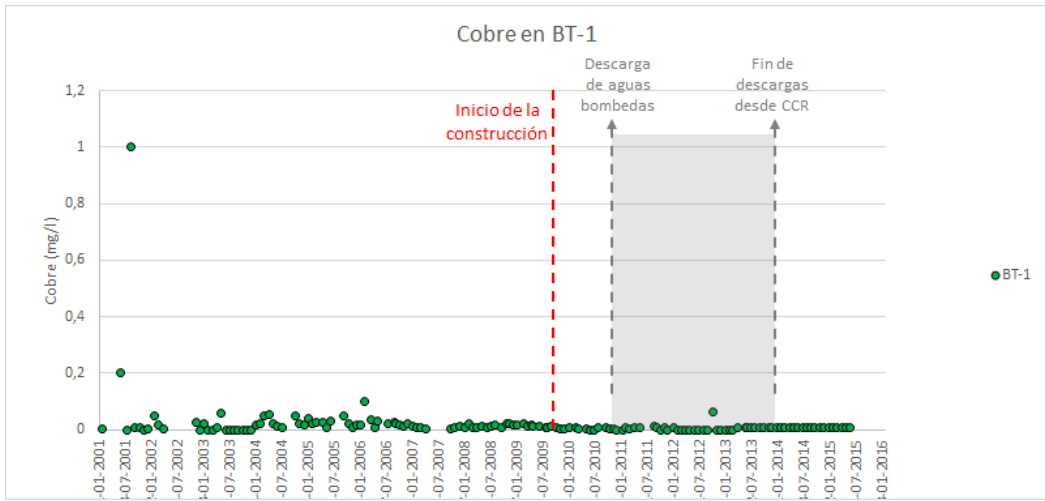
2. Comparación entre BT-1 (pozo surgente, Quebrada La Olla) y NE-2A

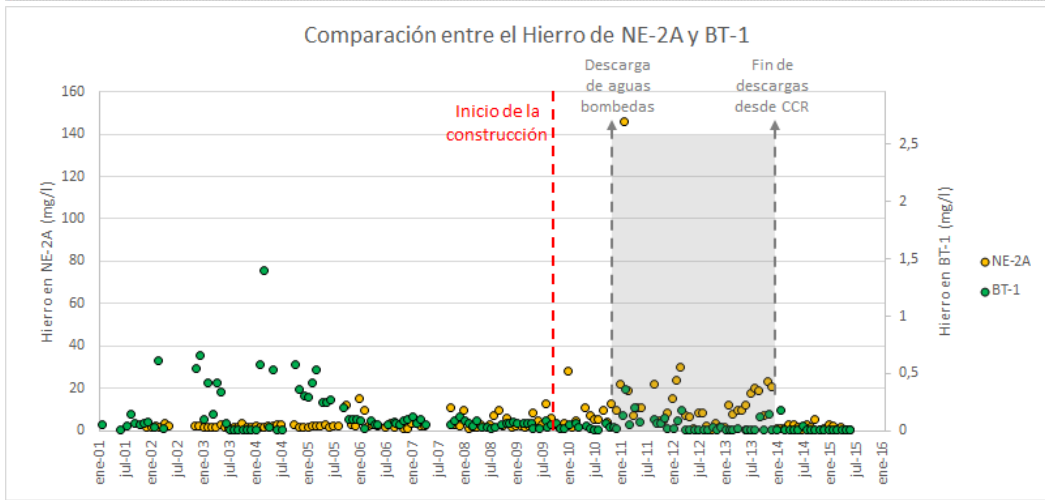
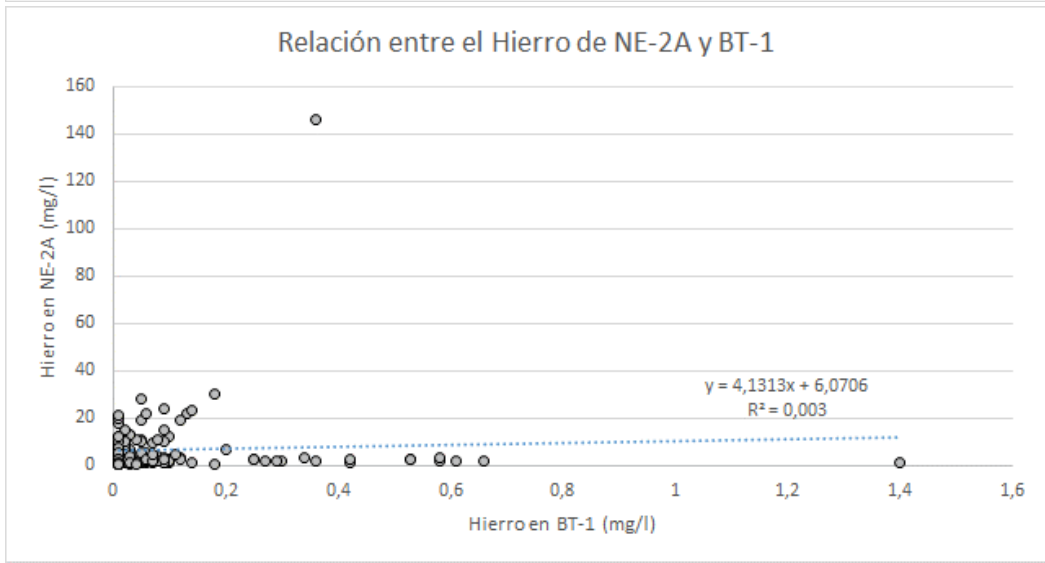
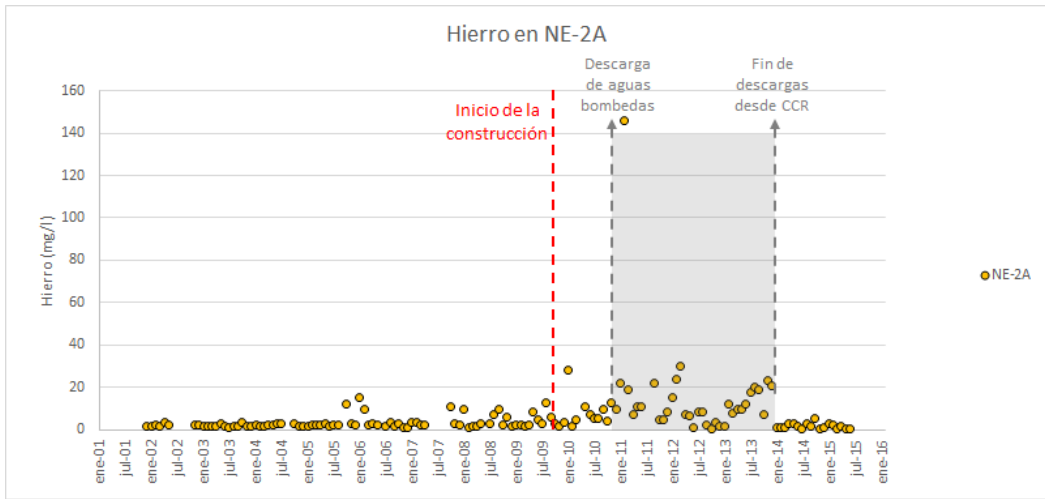
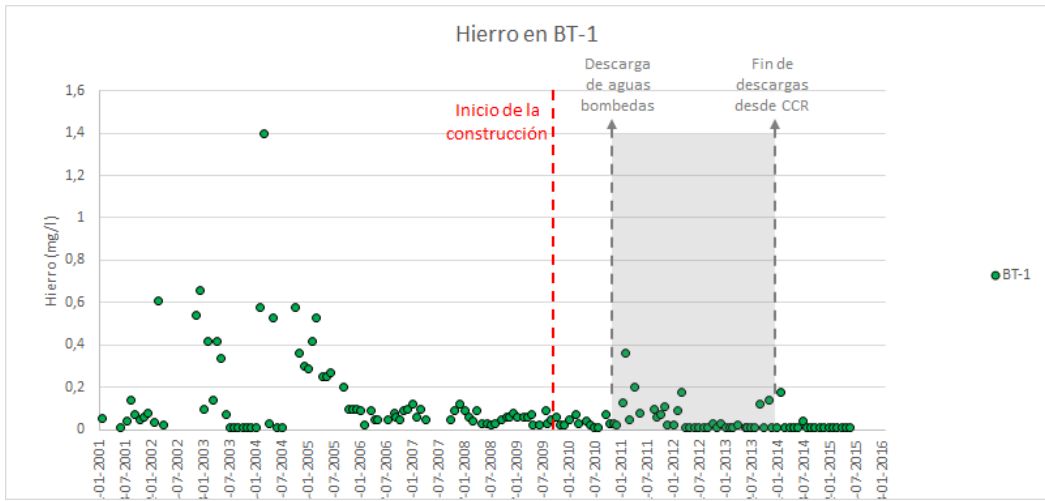


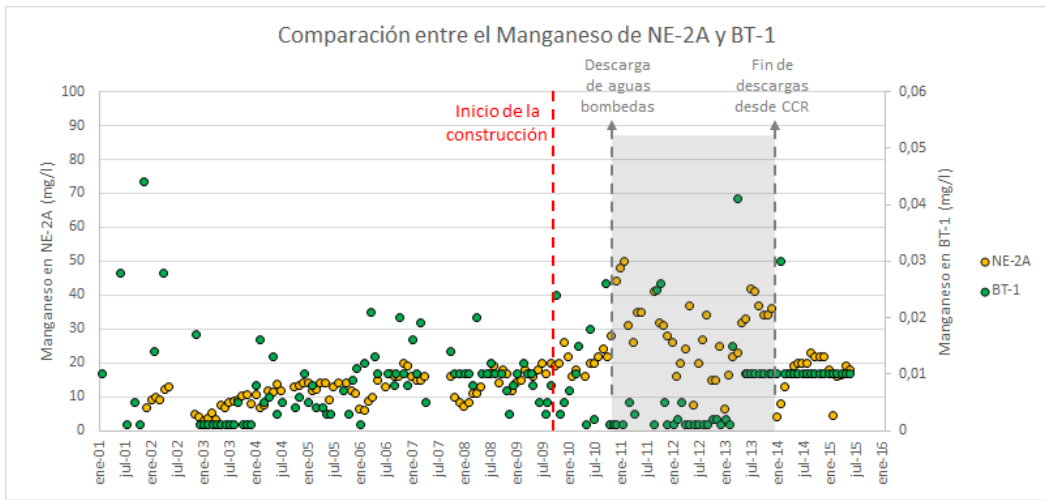
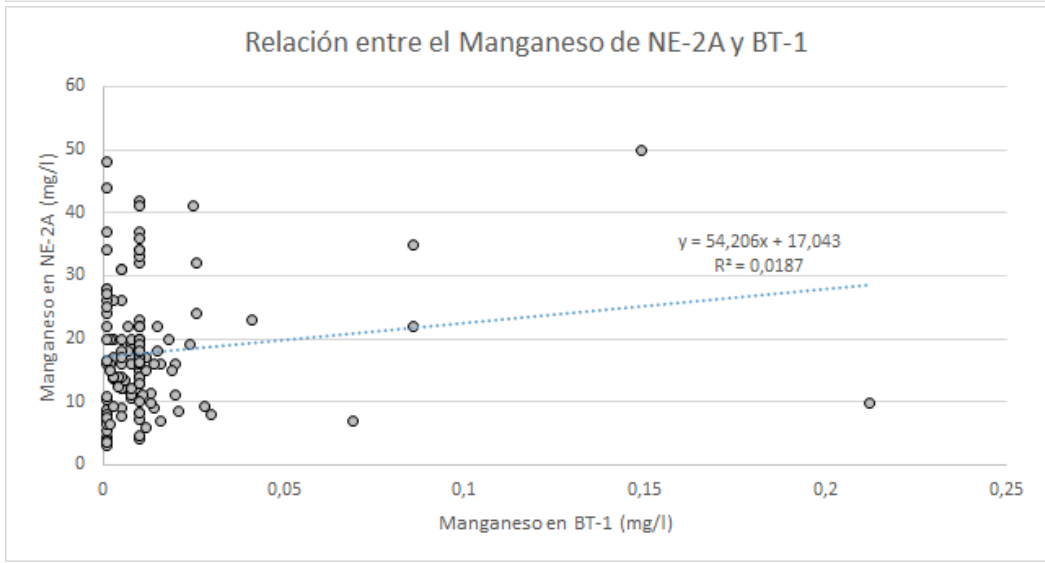
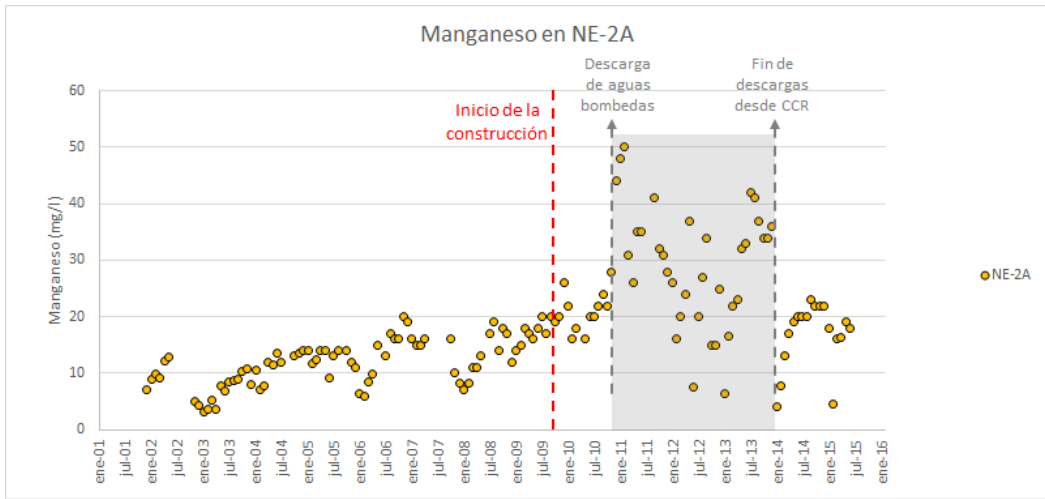
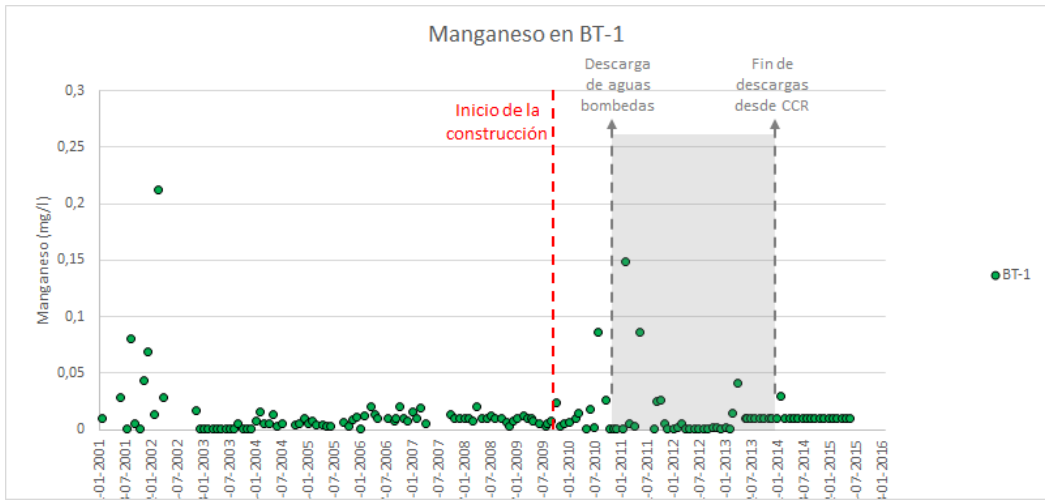


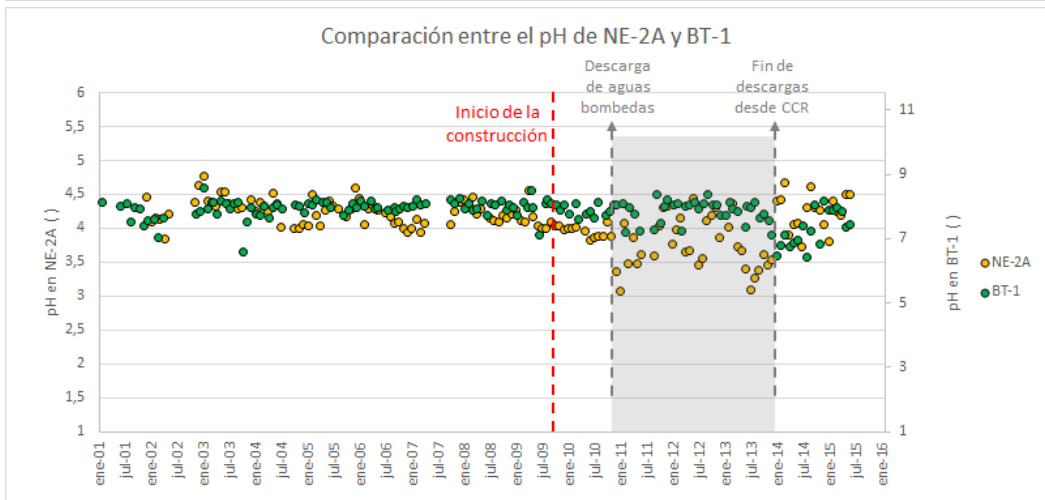
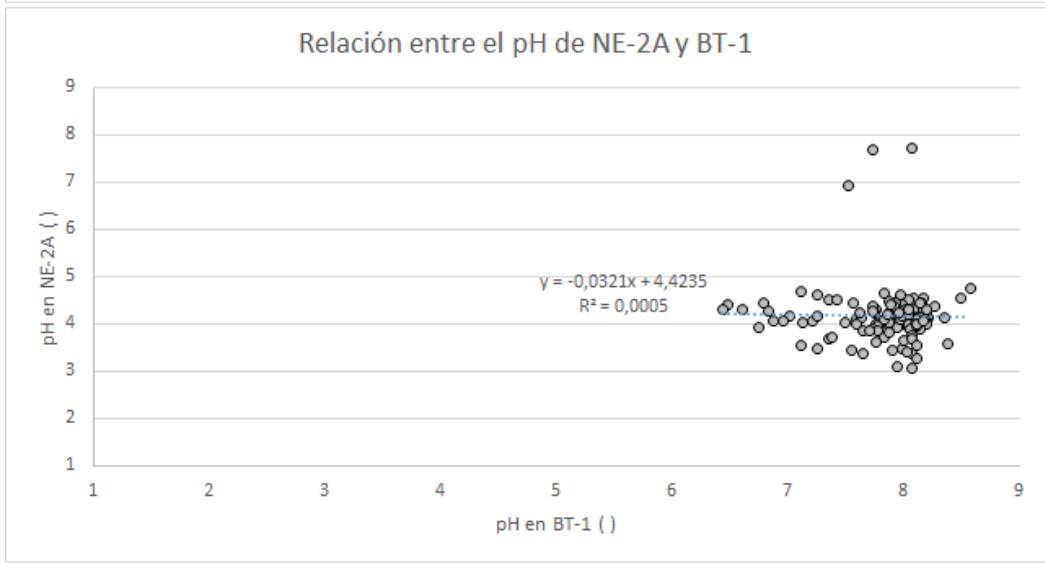
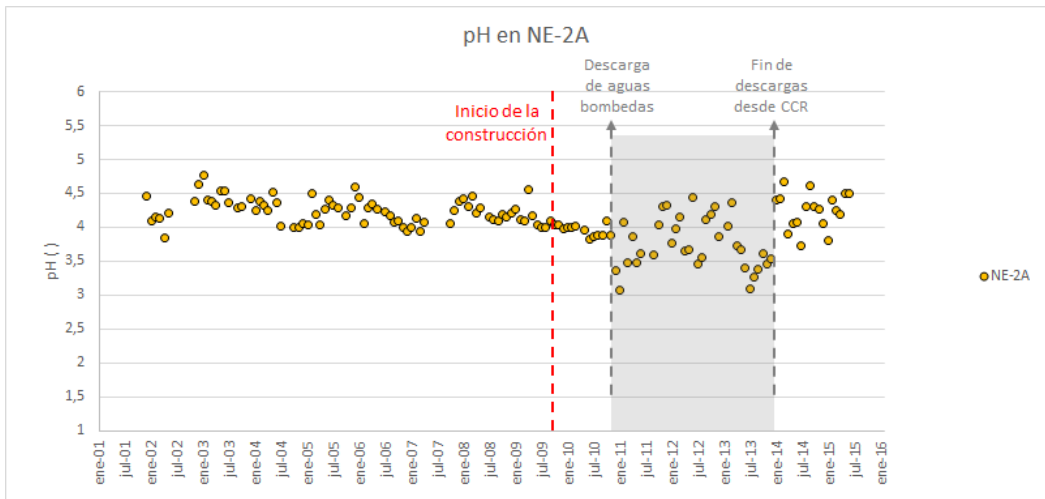
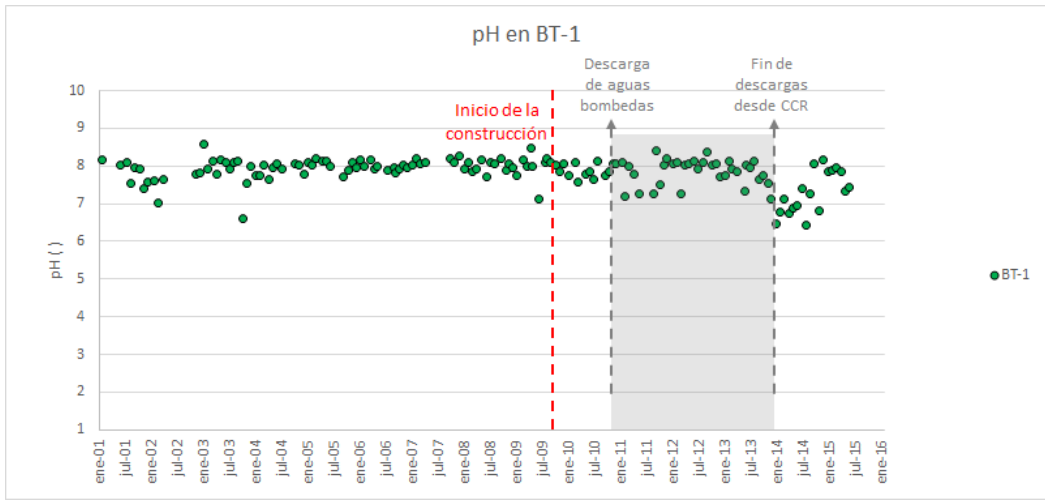


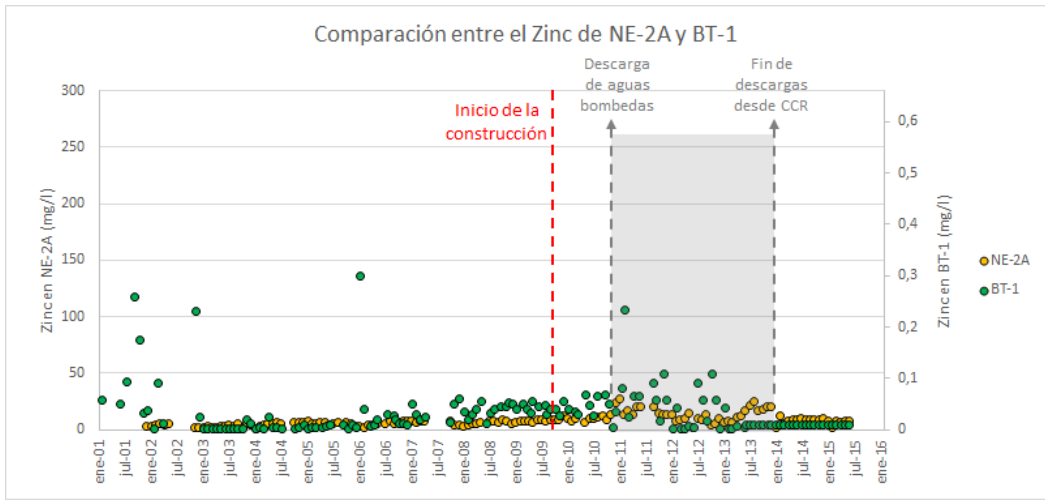
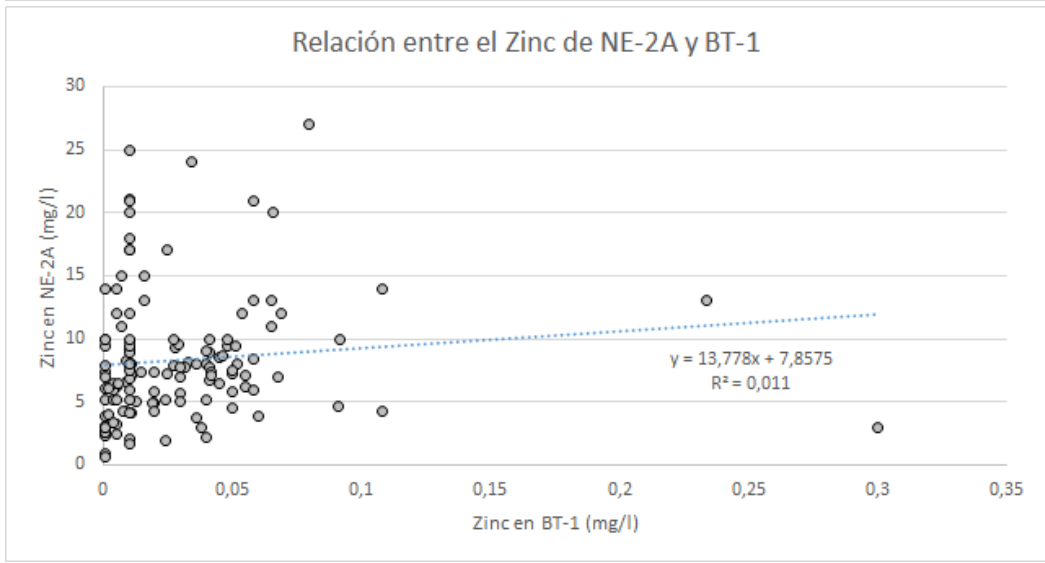
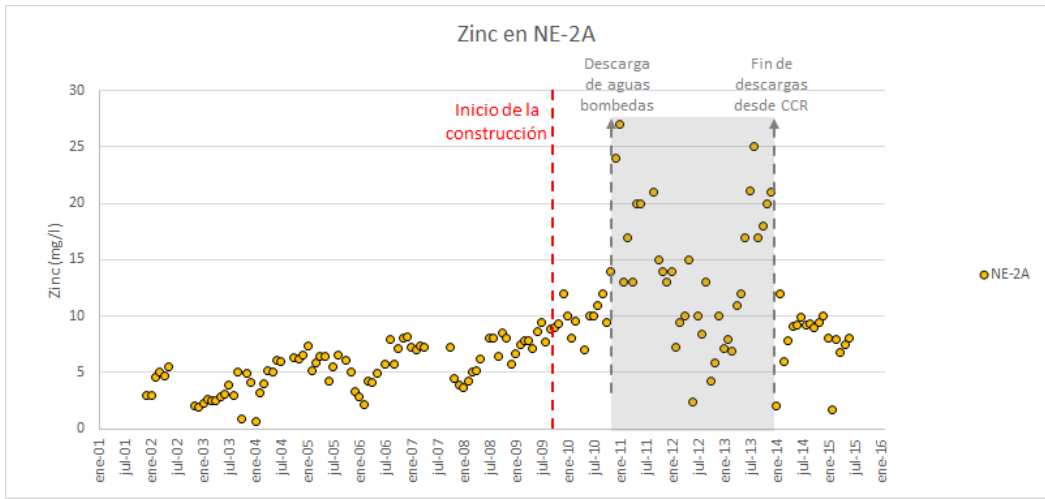
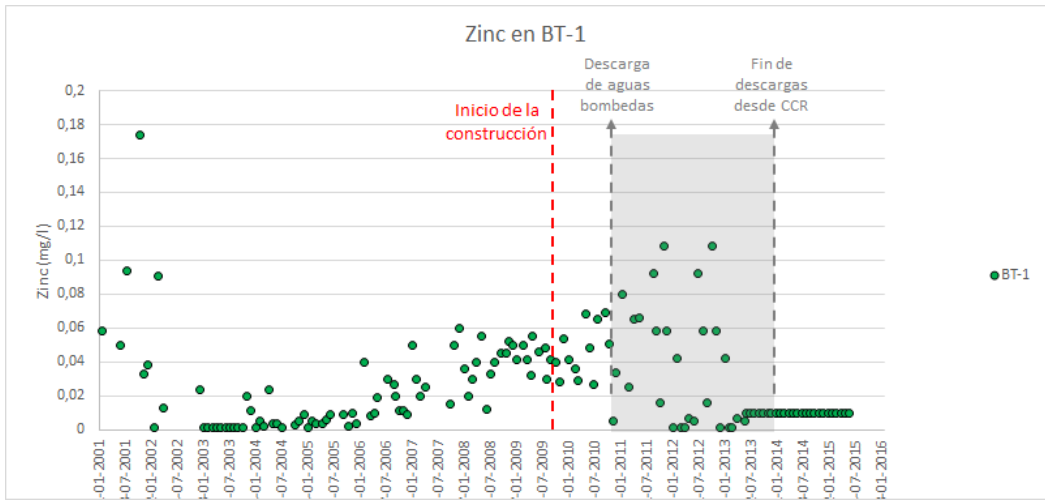




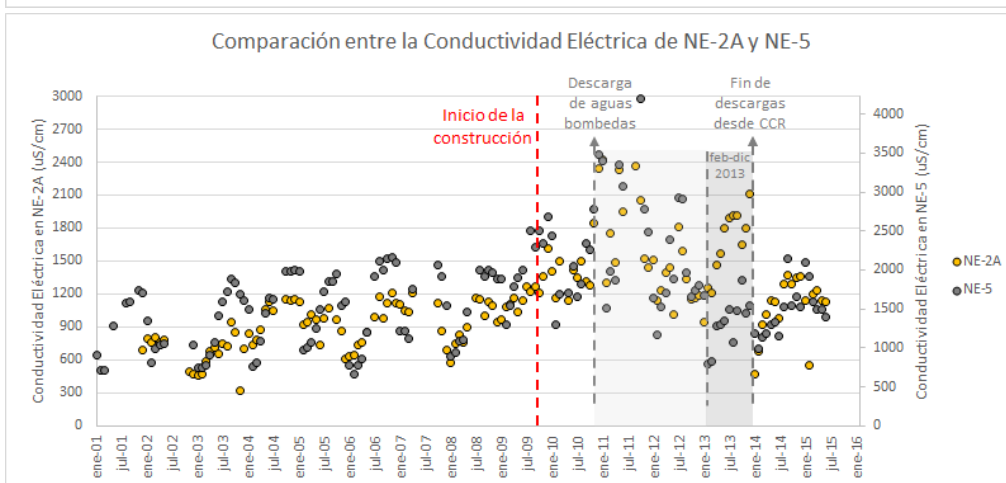
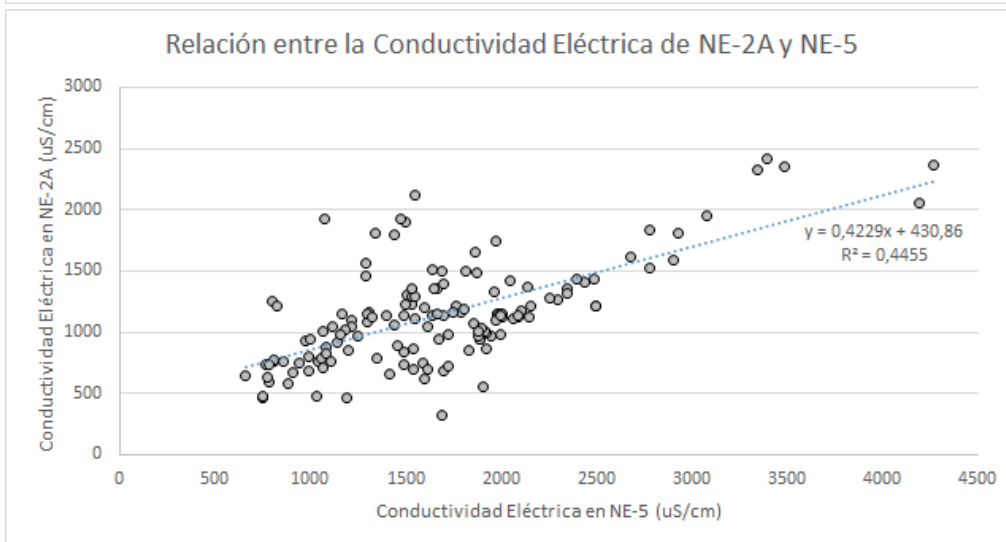
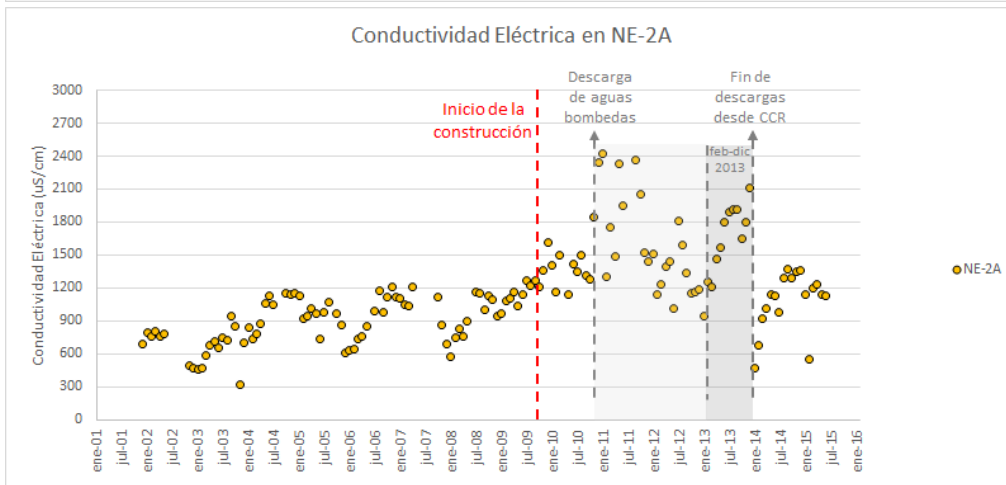
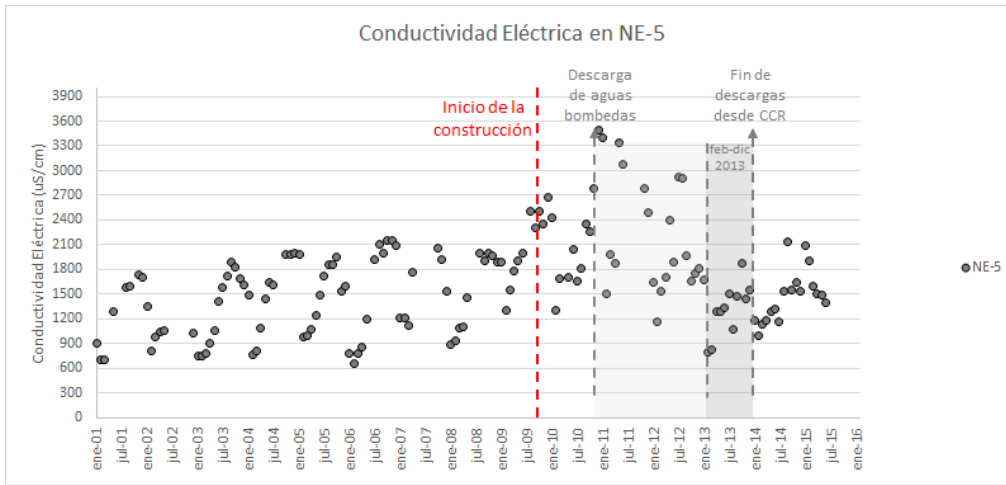


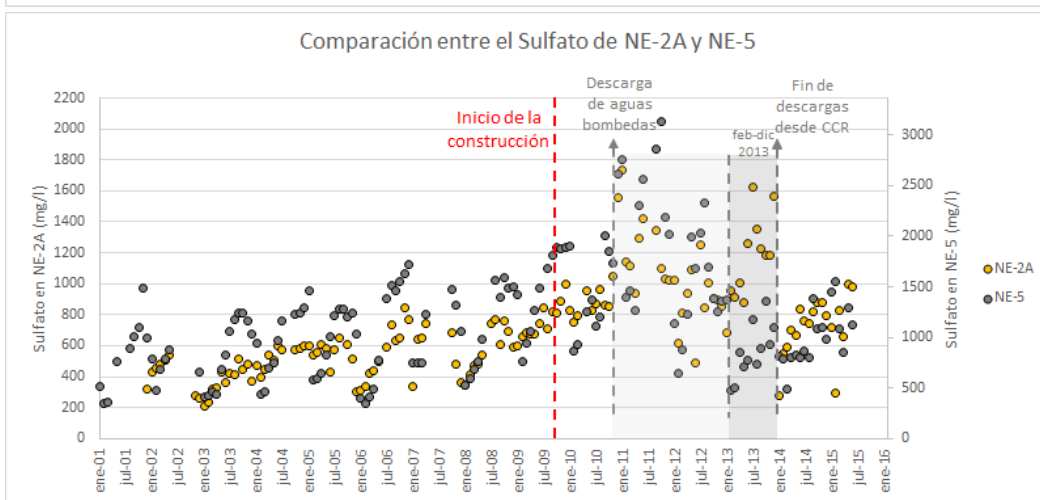
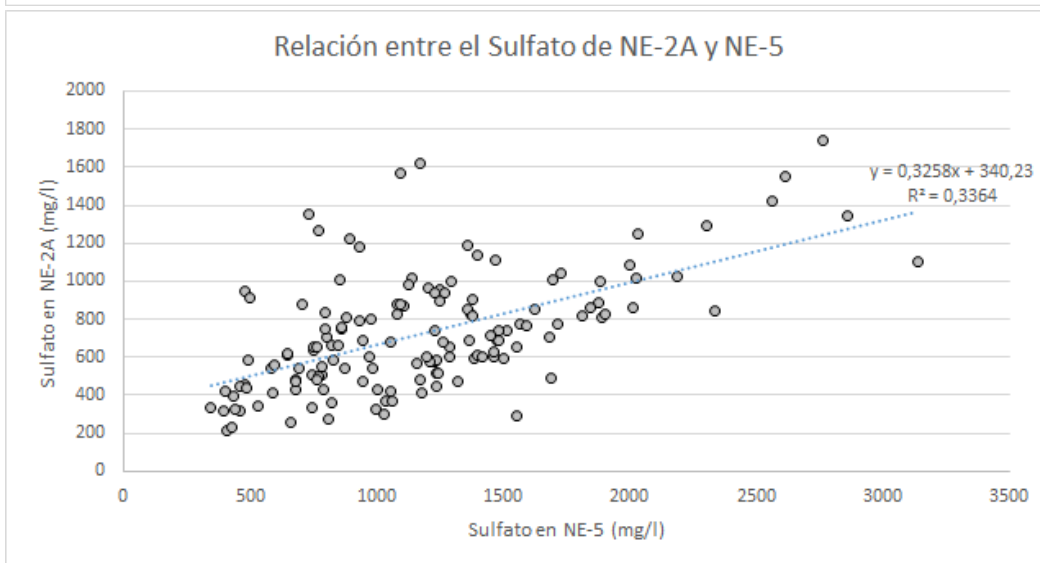
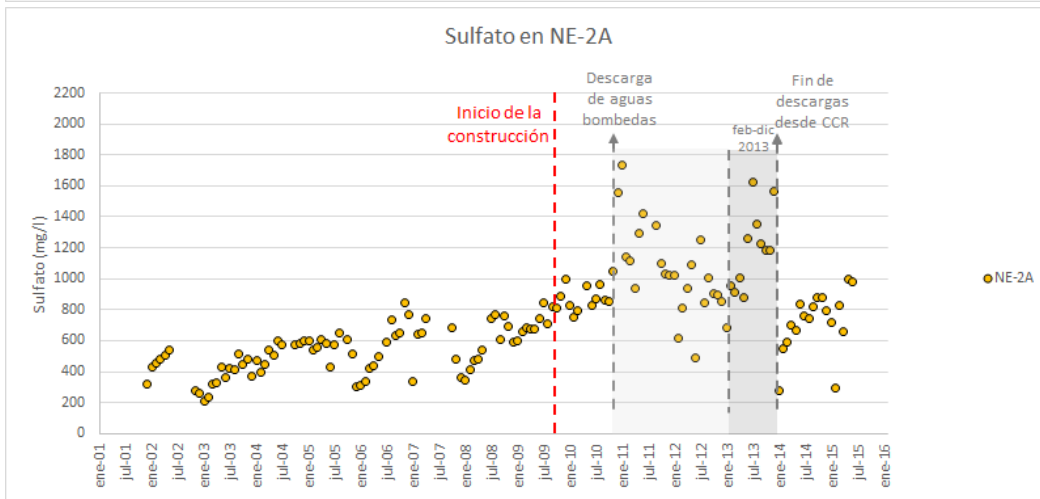
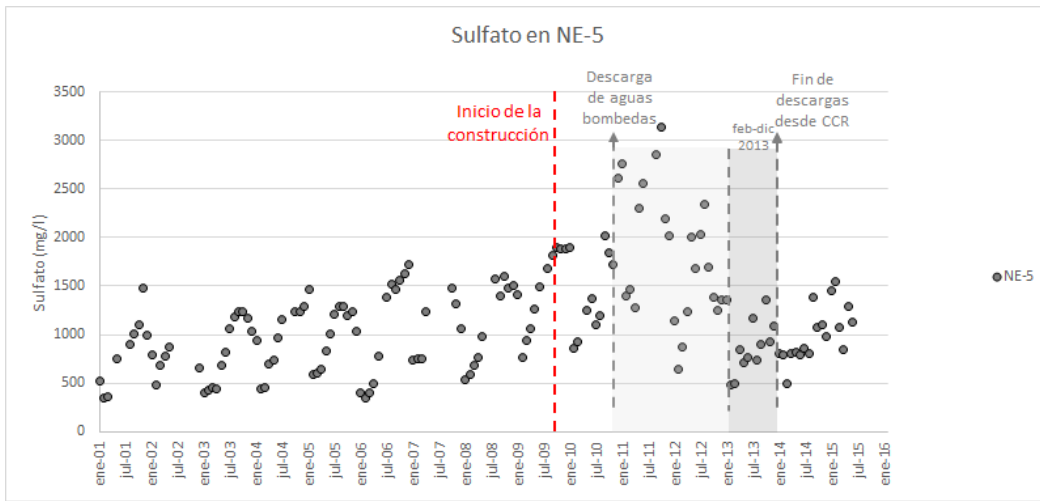


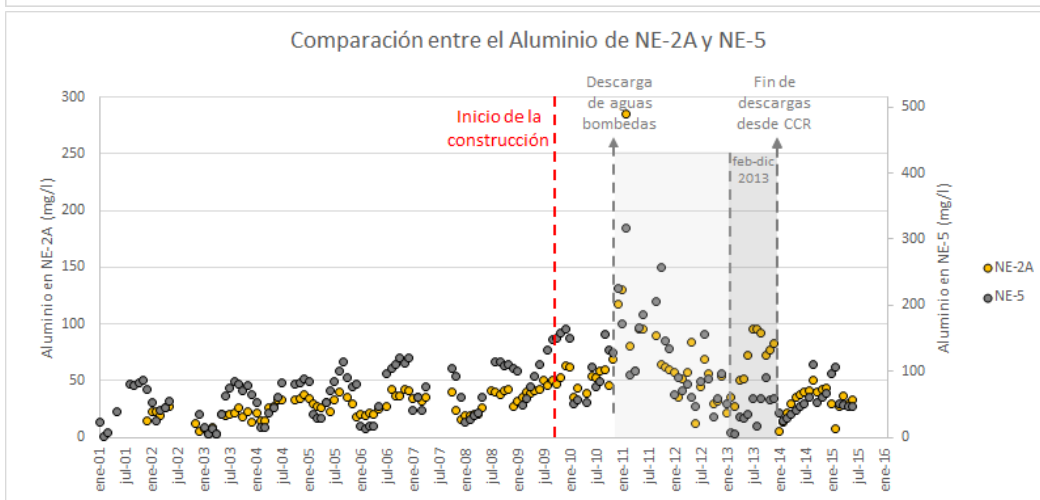
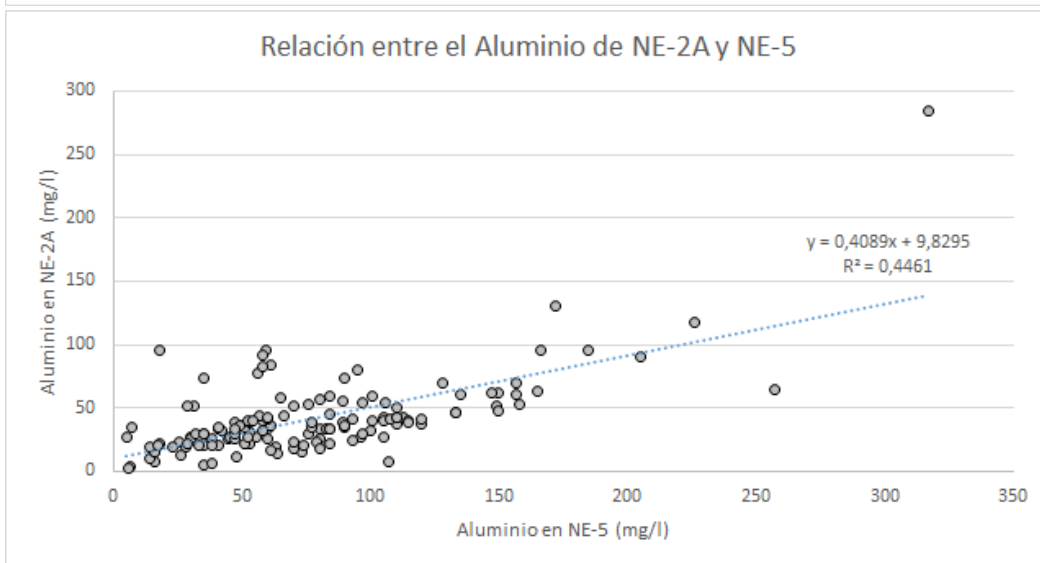
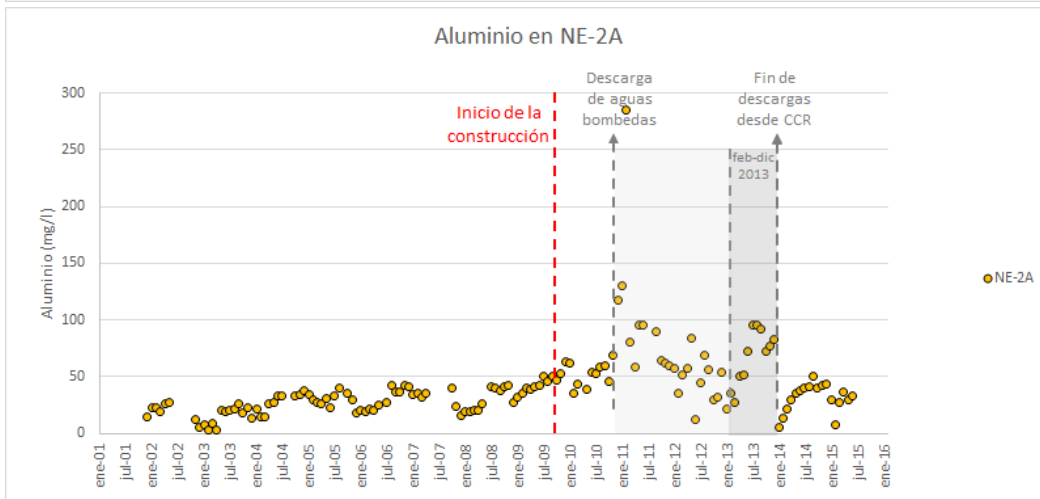
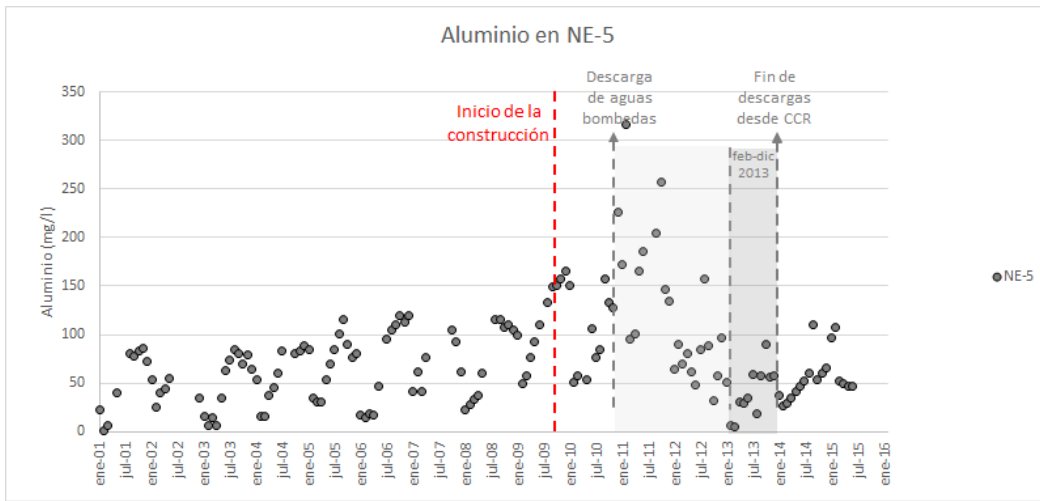


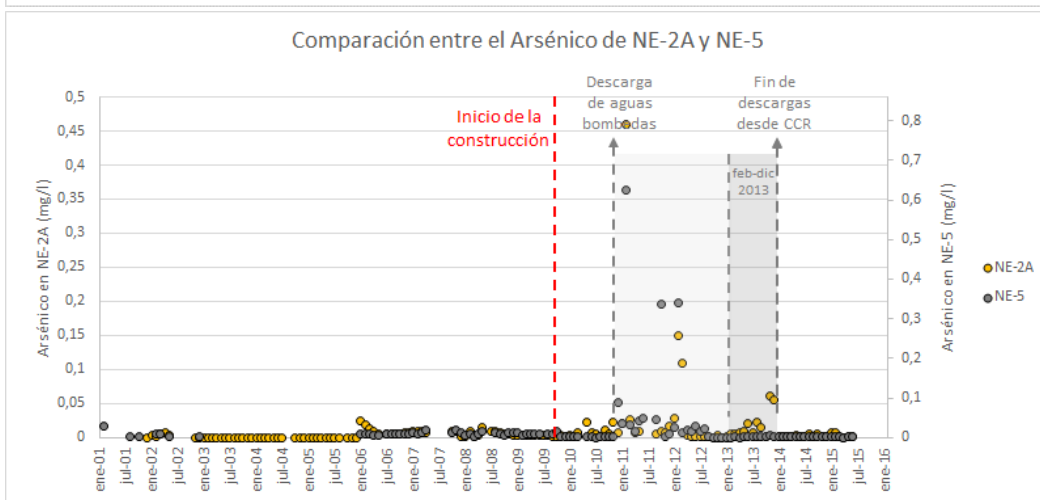
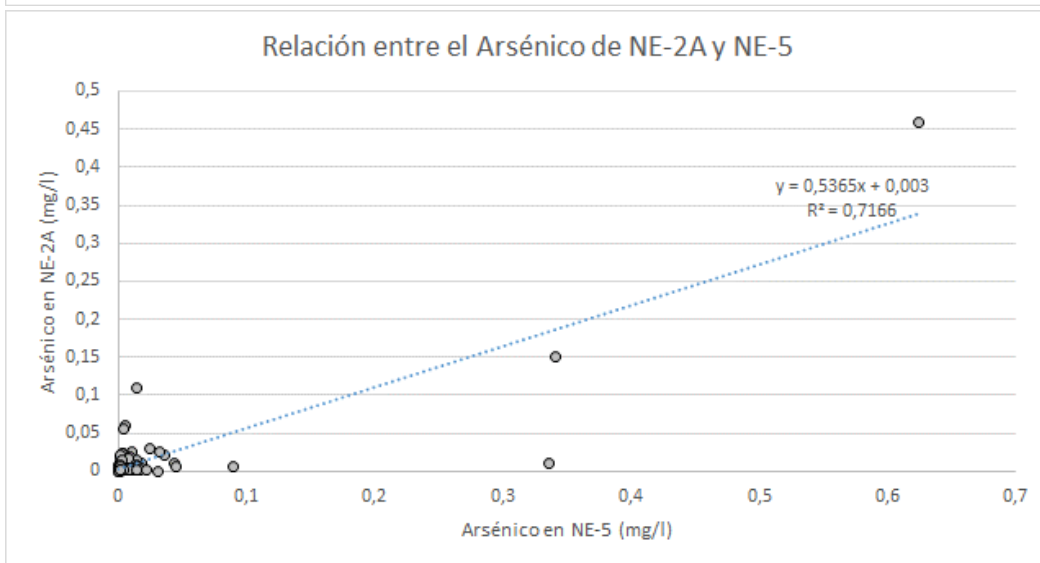
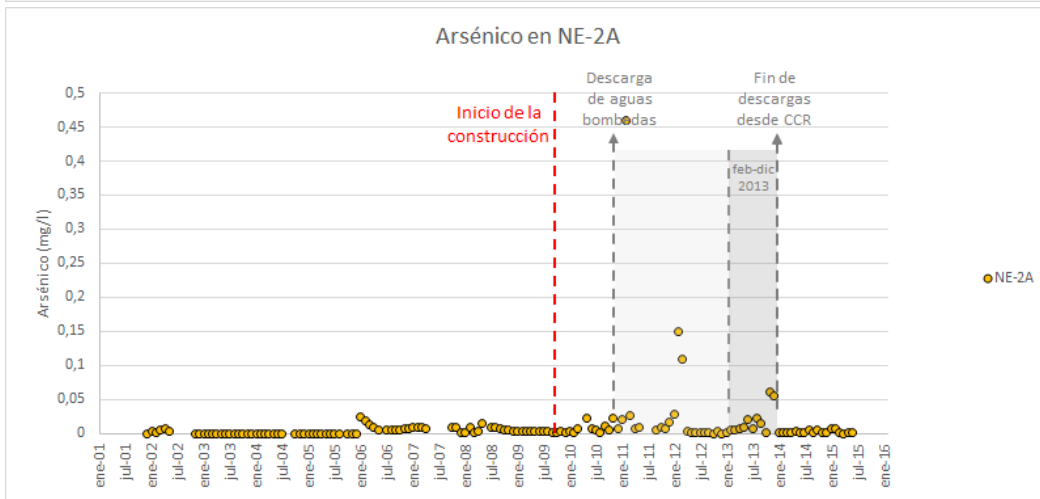
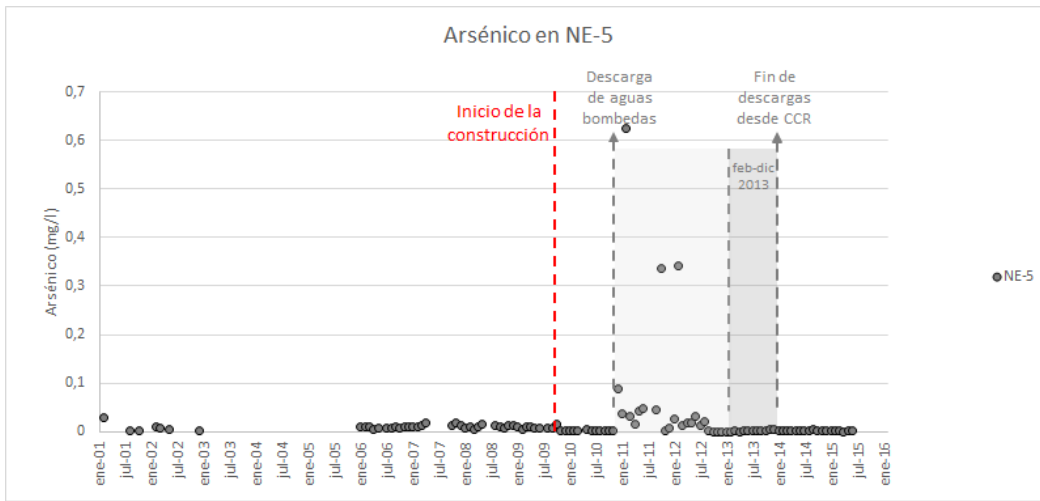


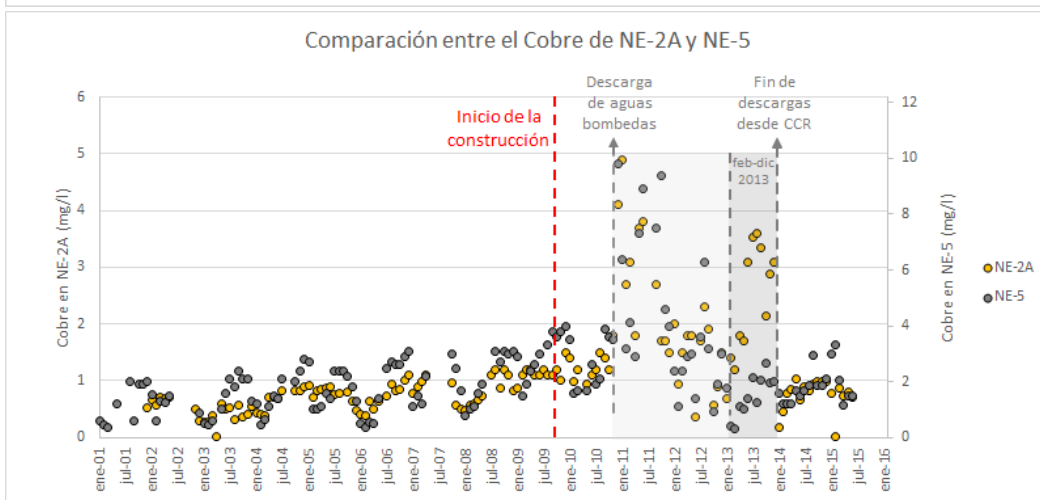
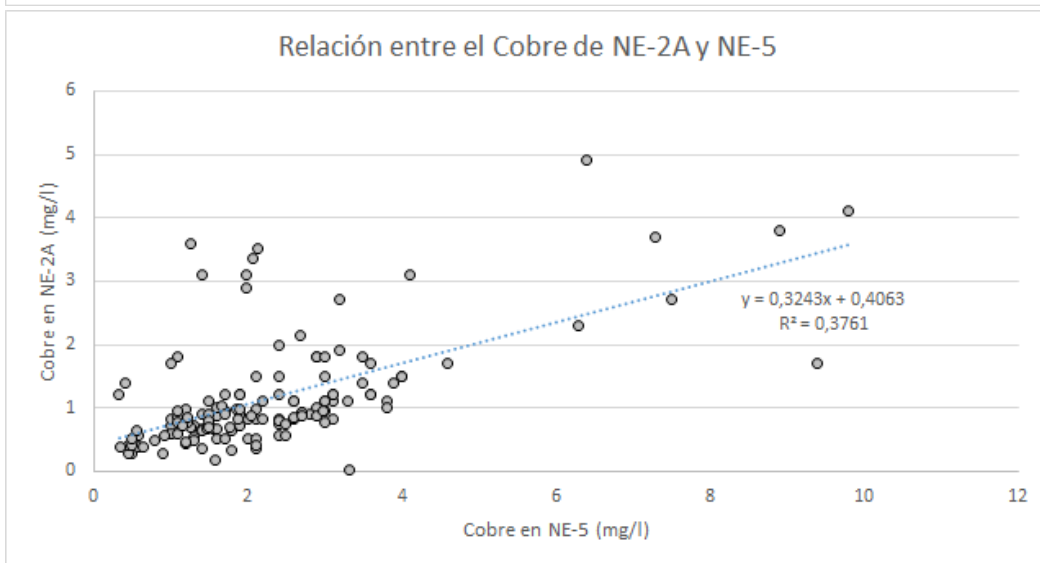
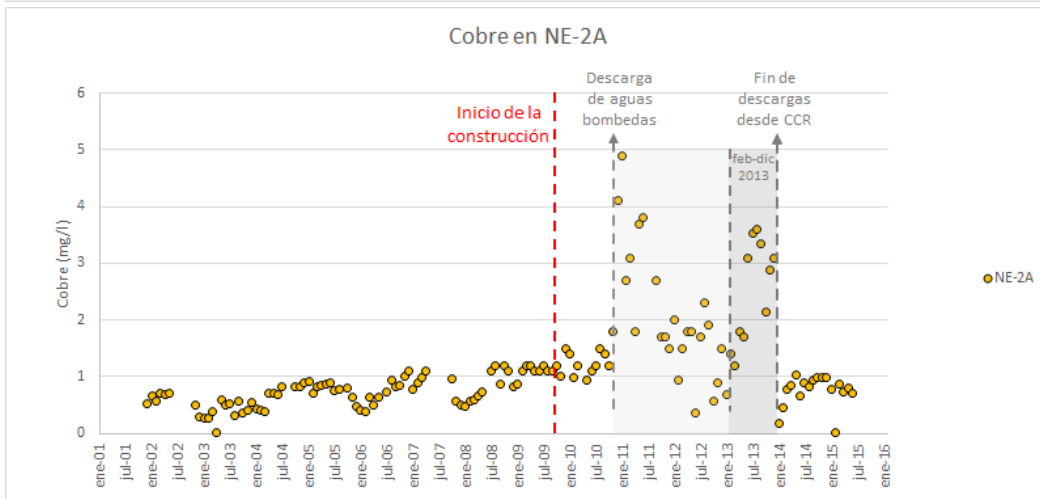
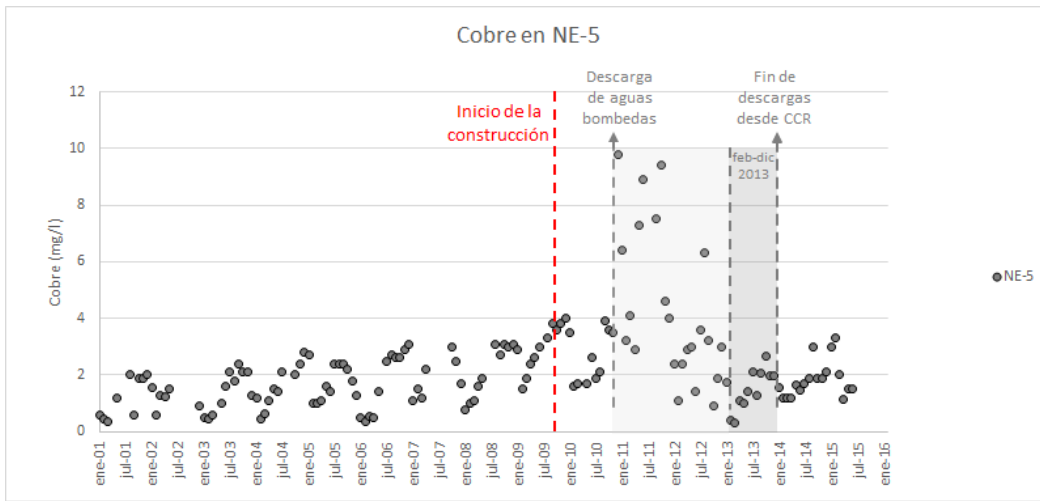
3. Comparación entre NE-5 y NE-2A

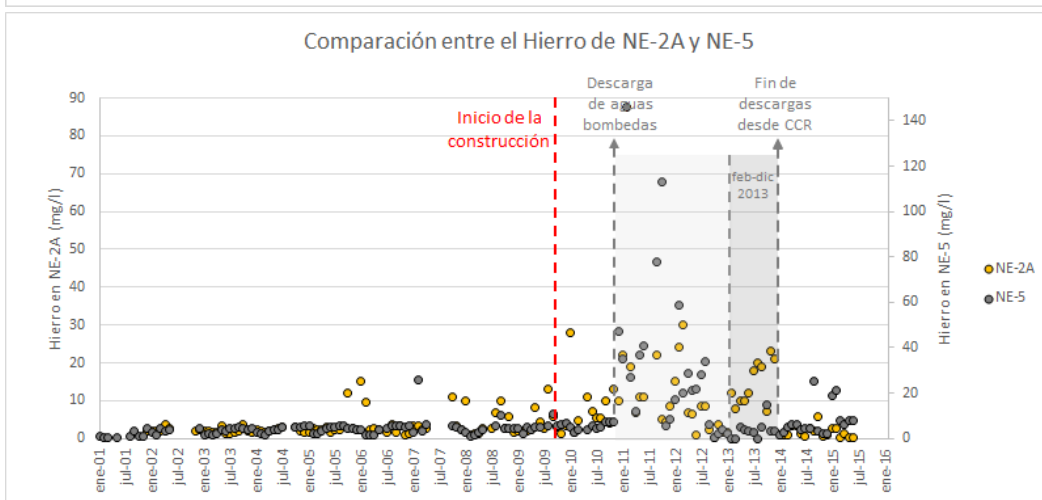
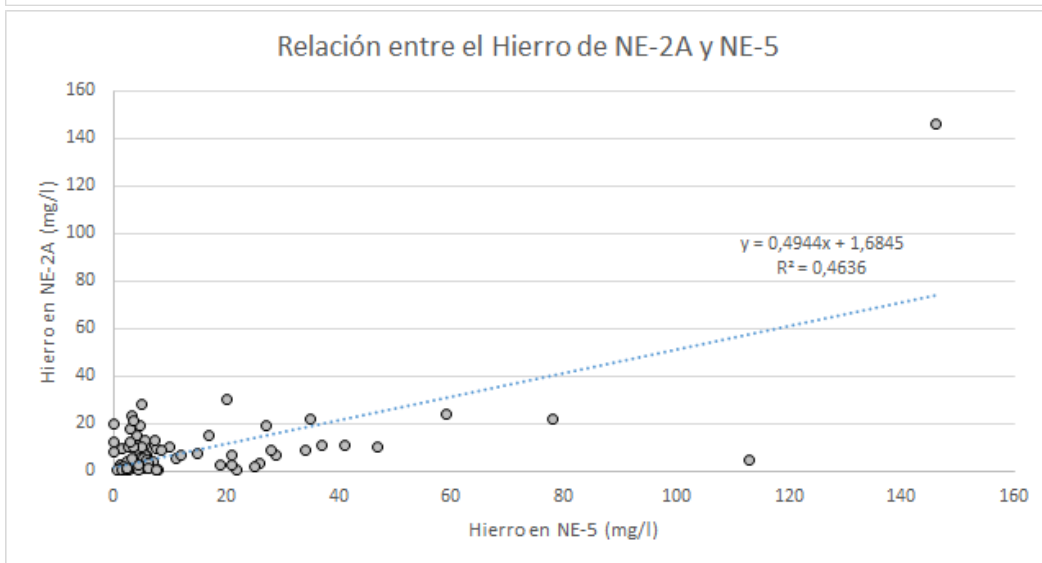
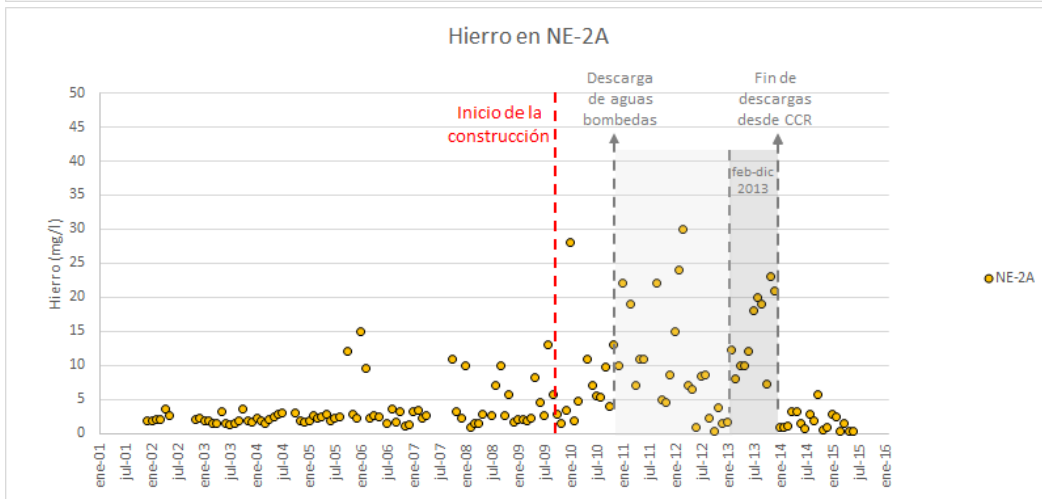
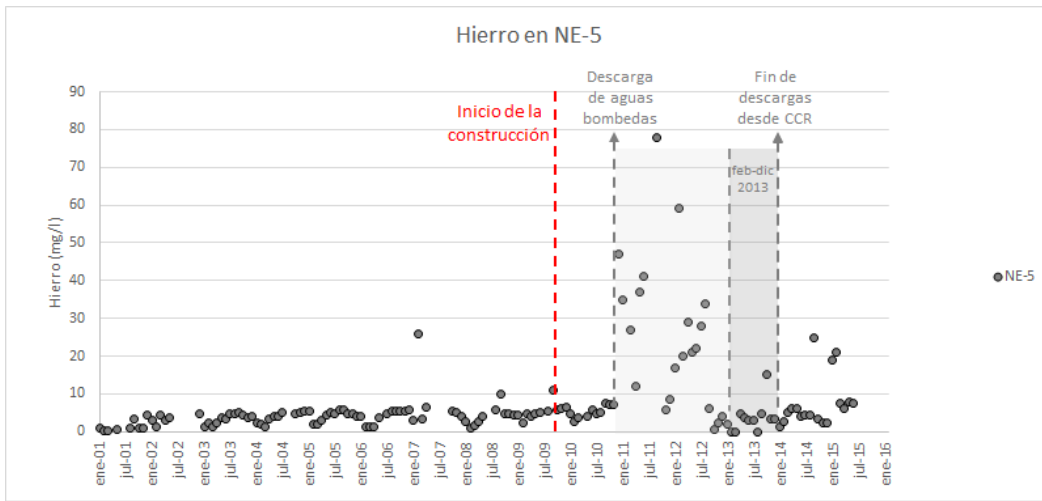


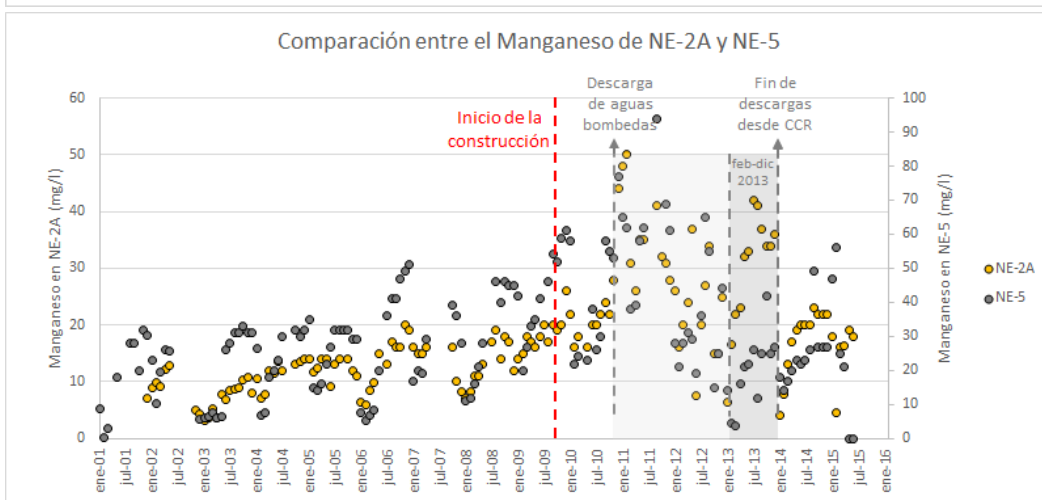
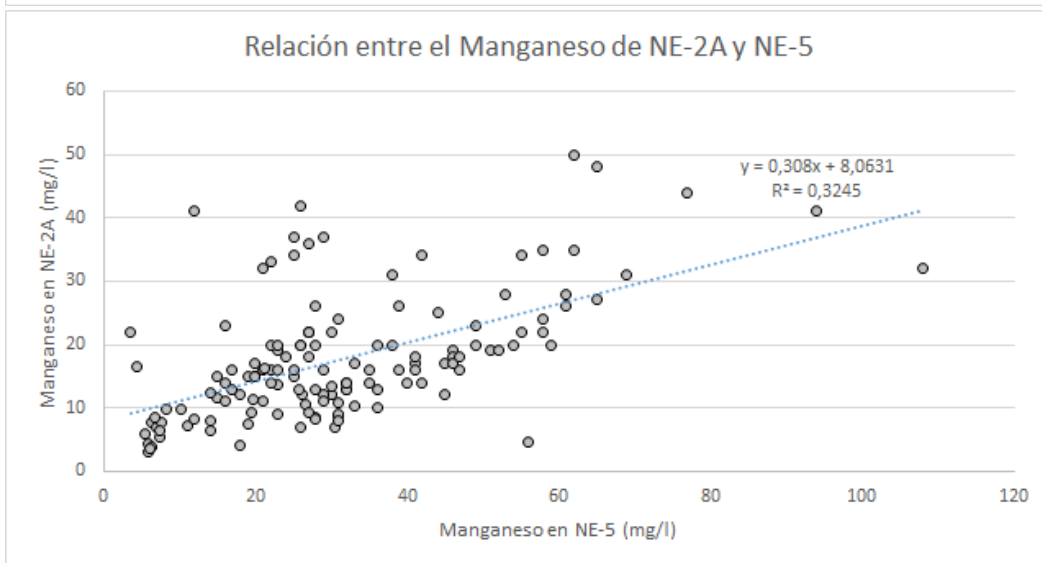
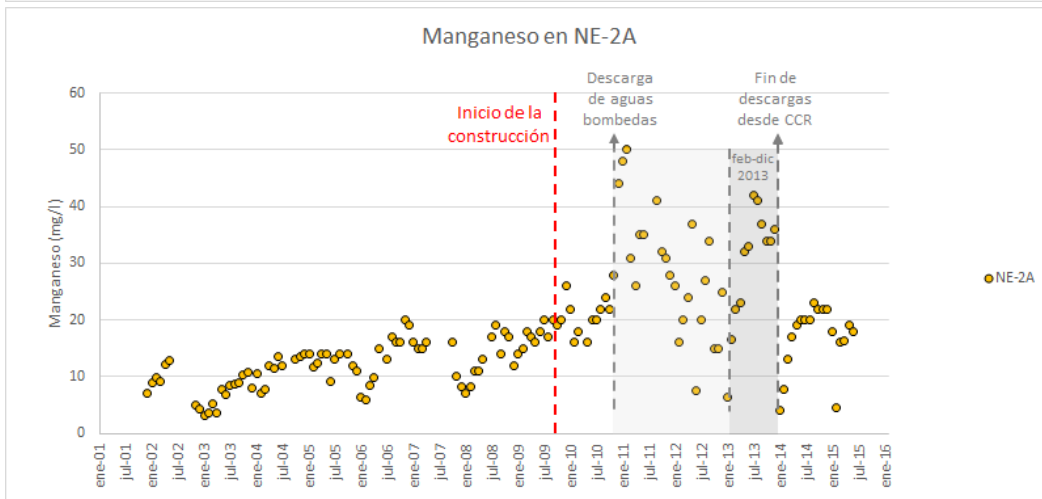
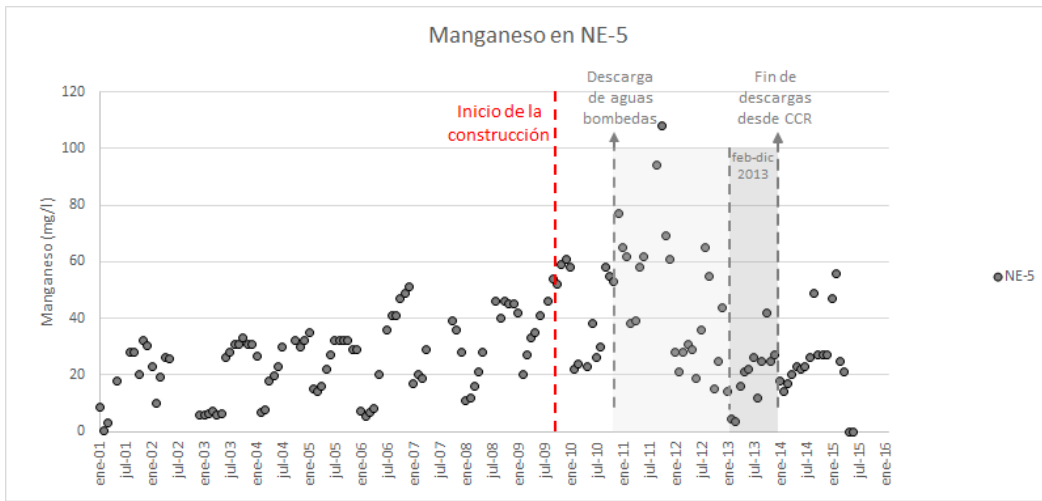


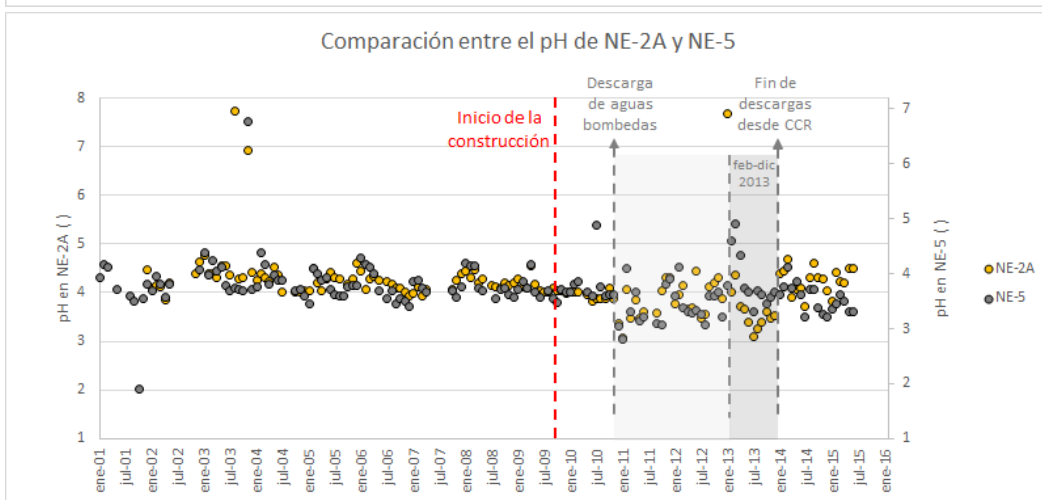
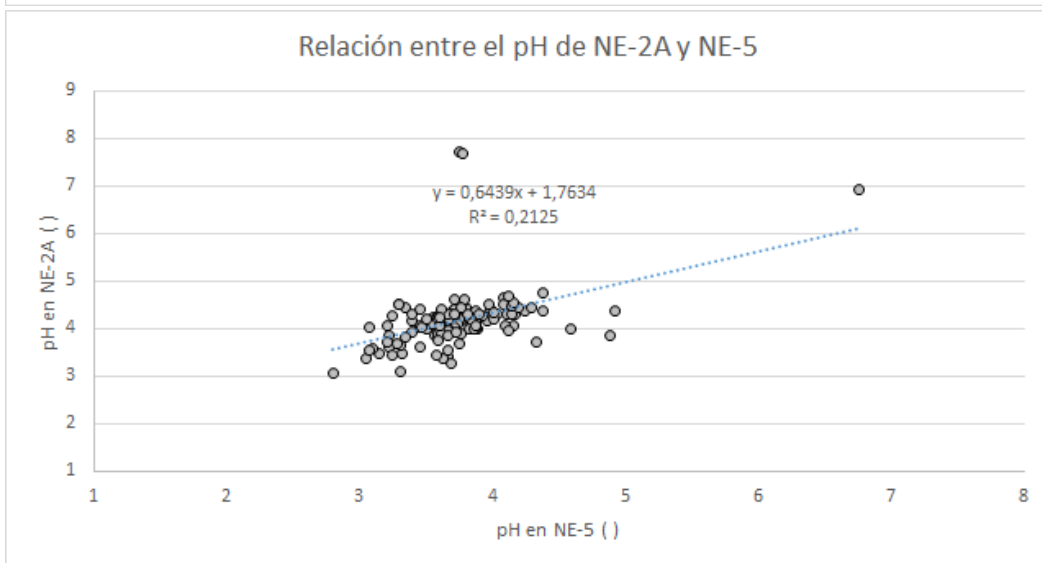
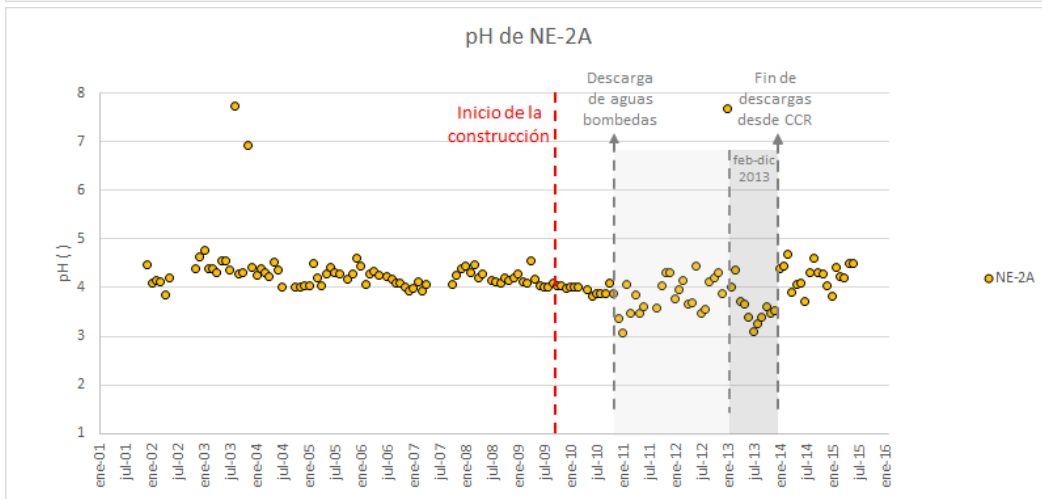
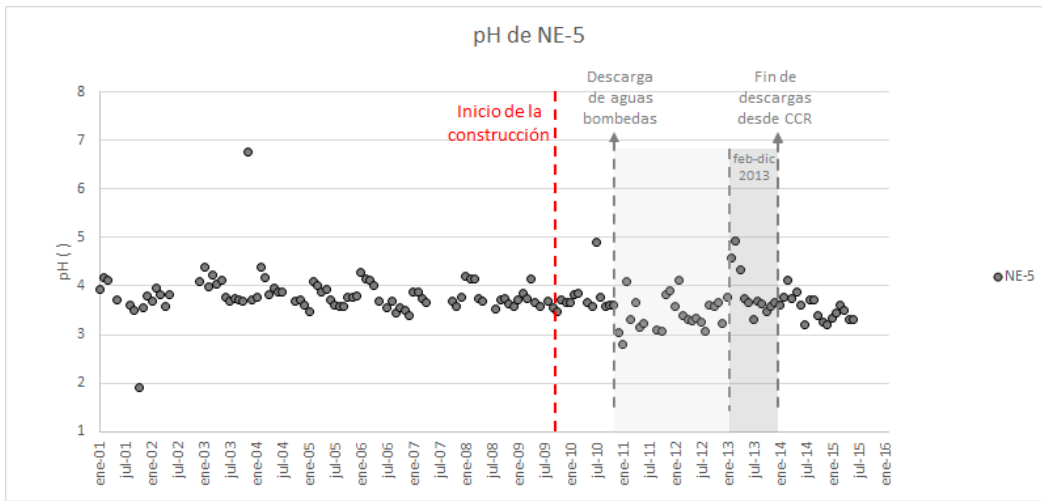


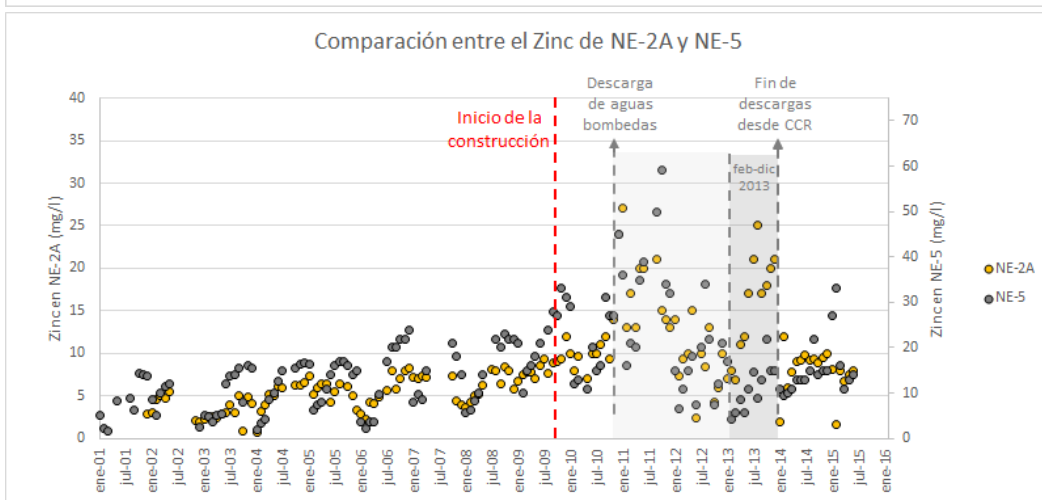
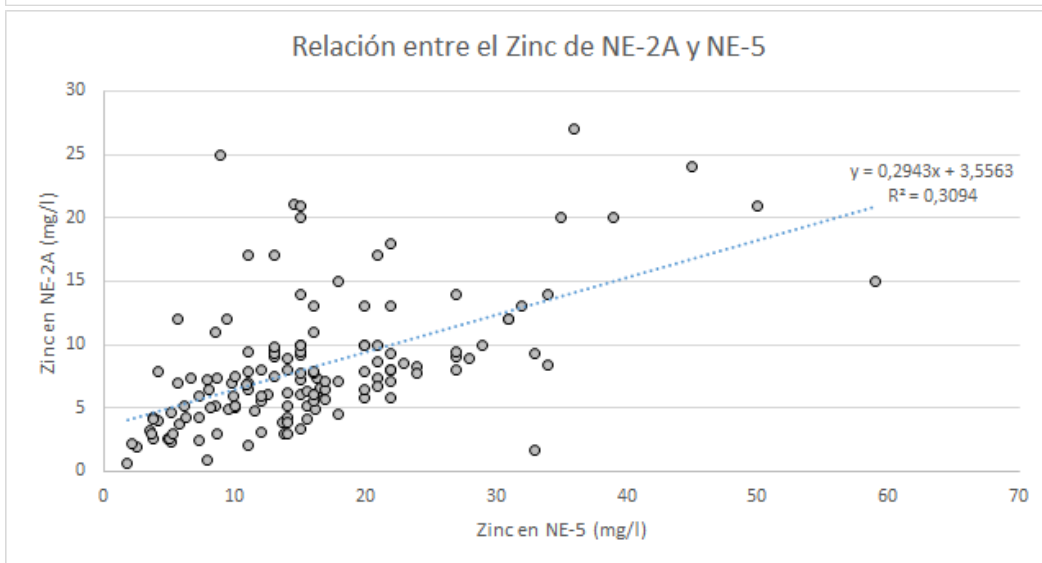
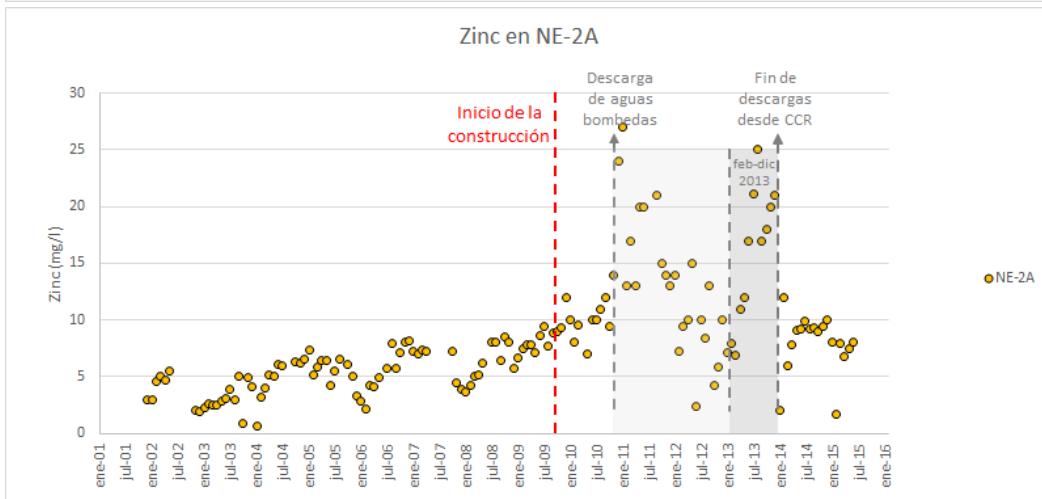
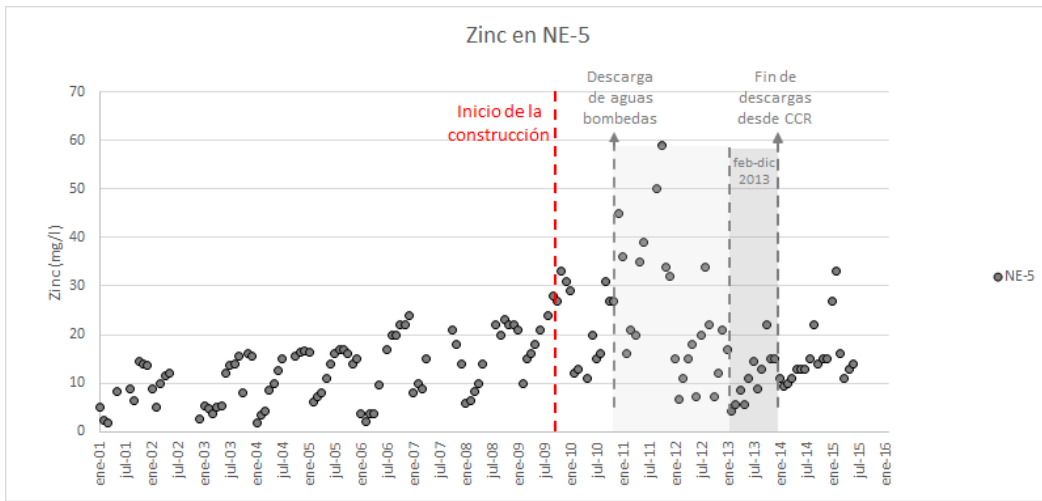




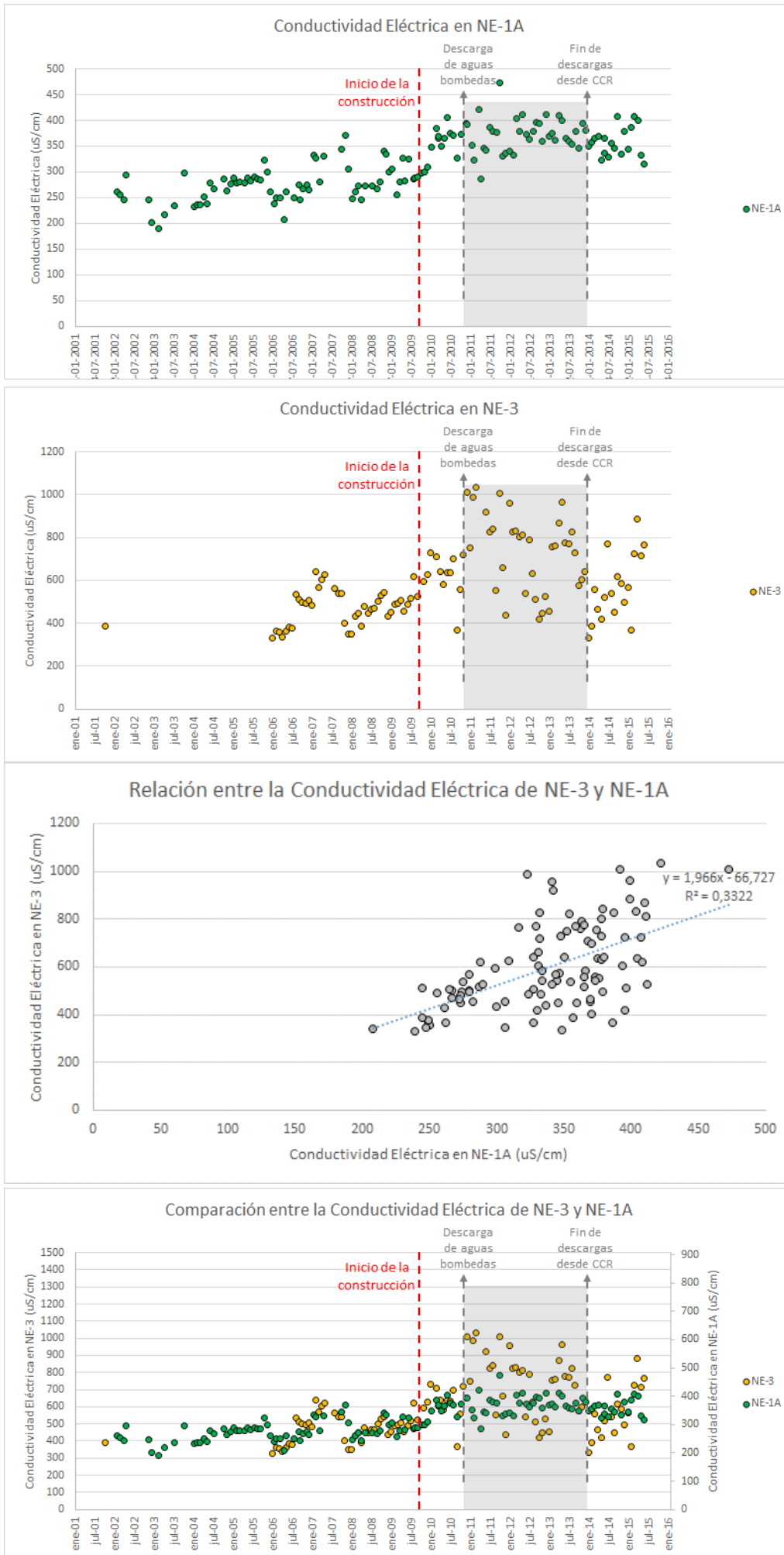


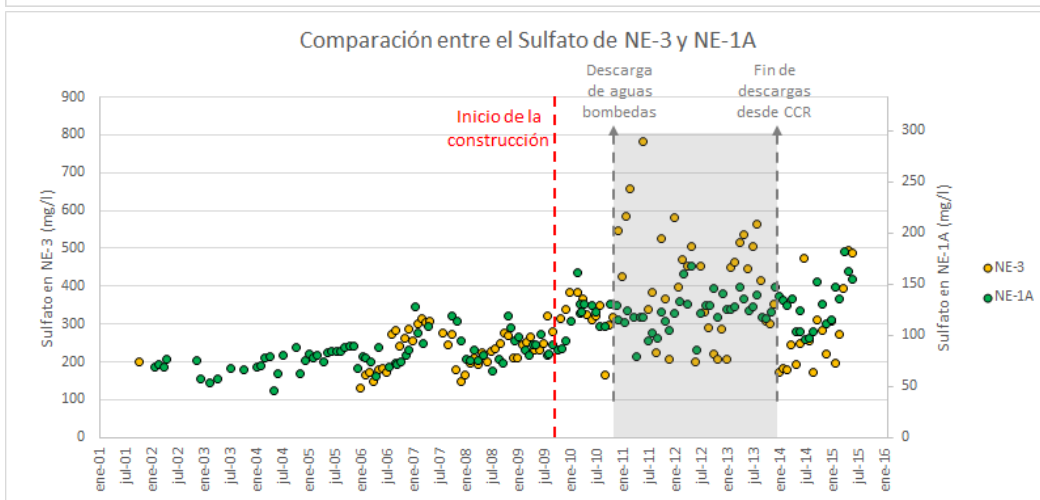
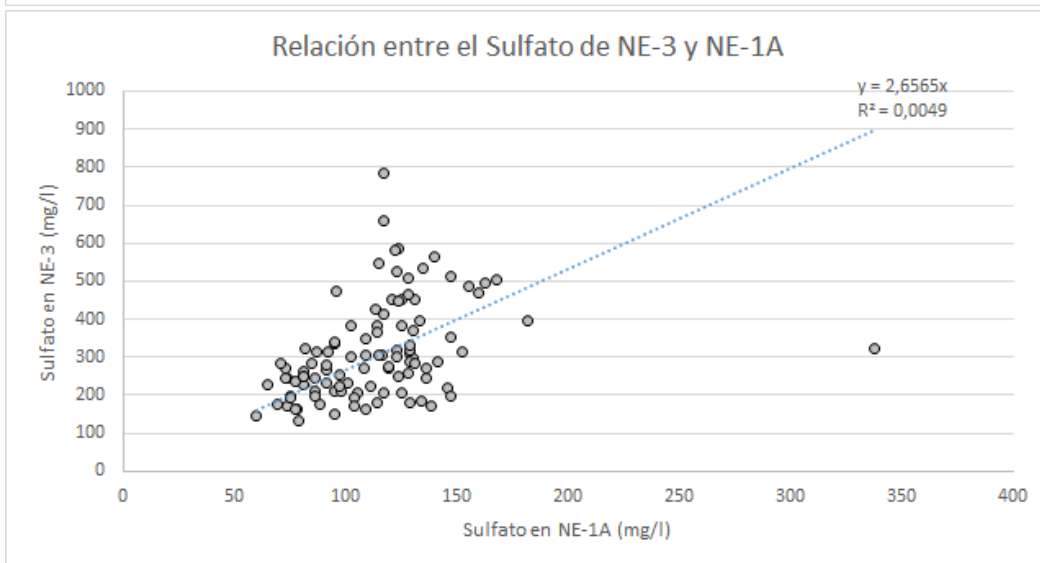
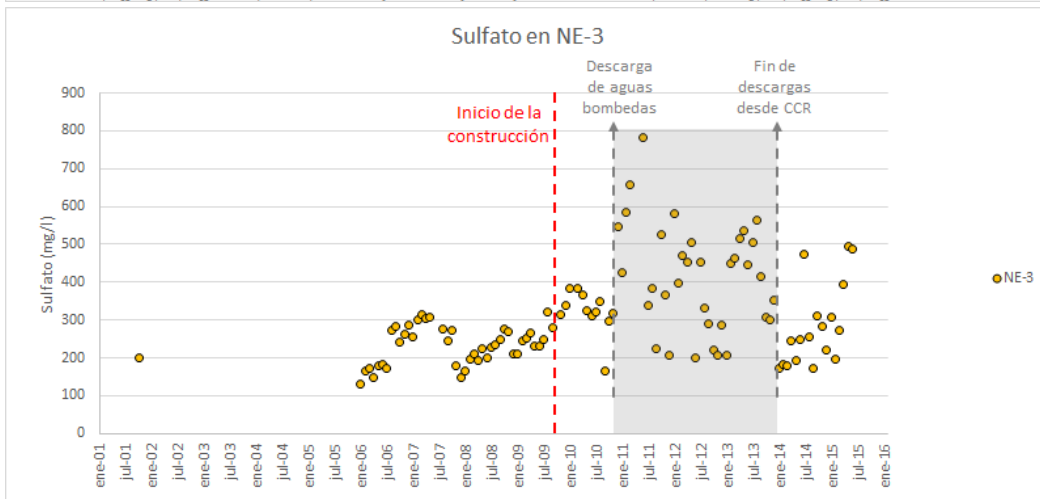
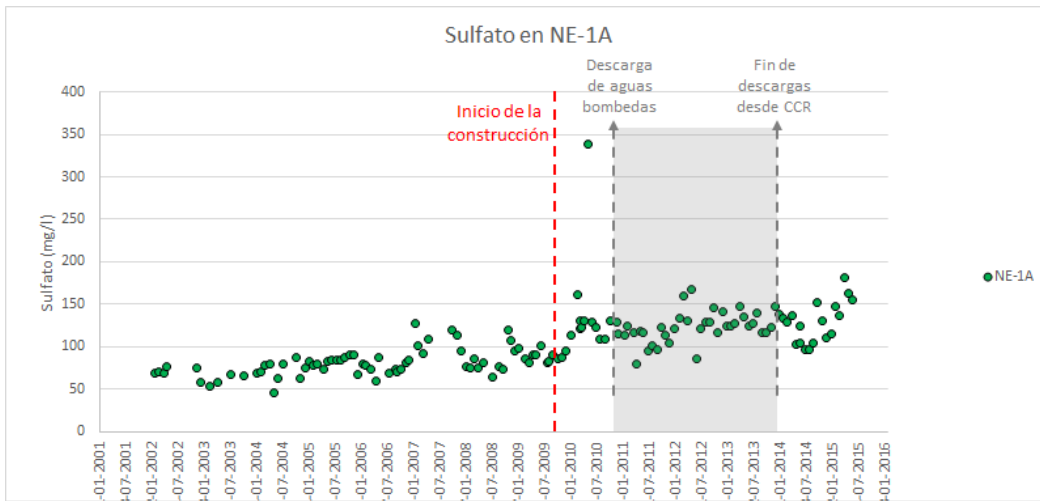


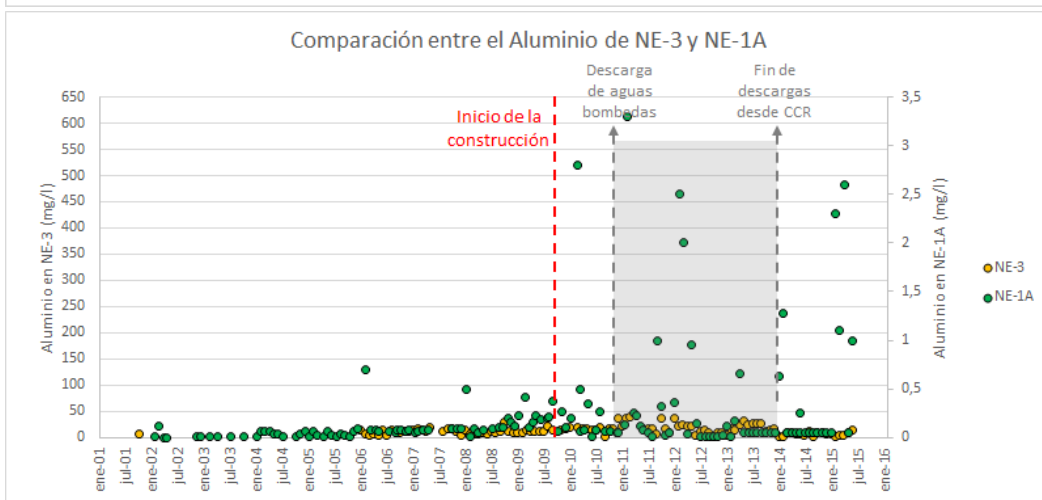
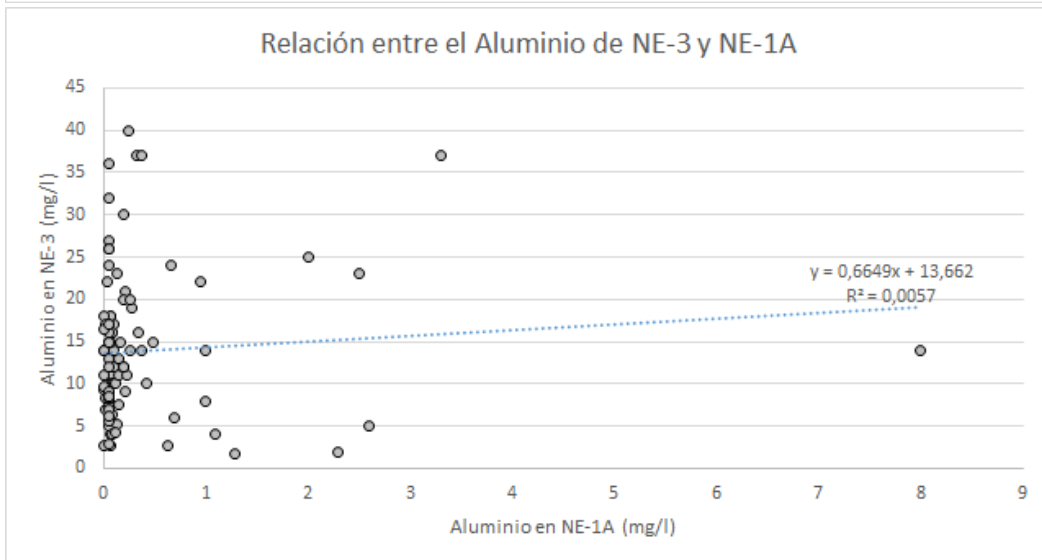
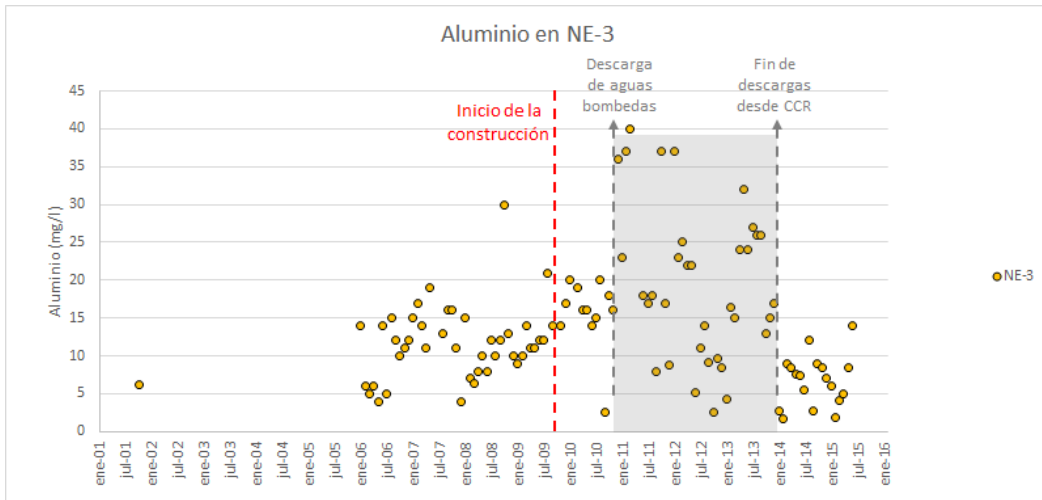
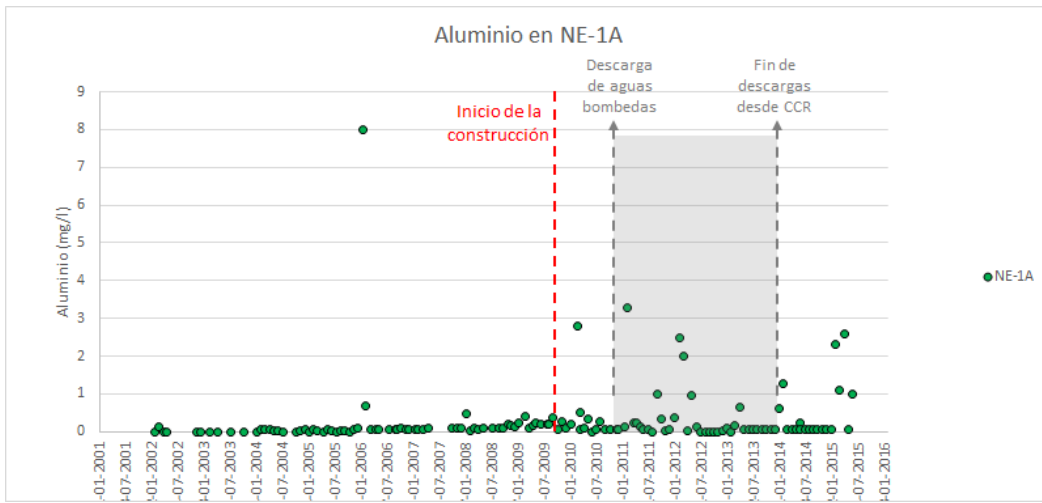


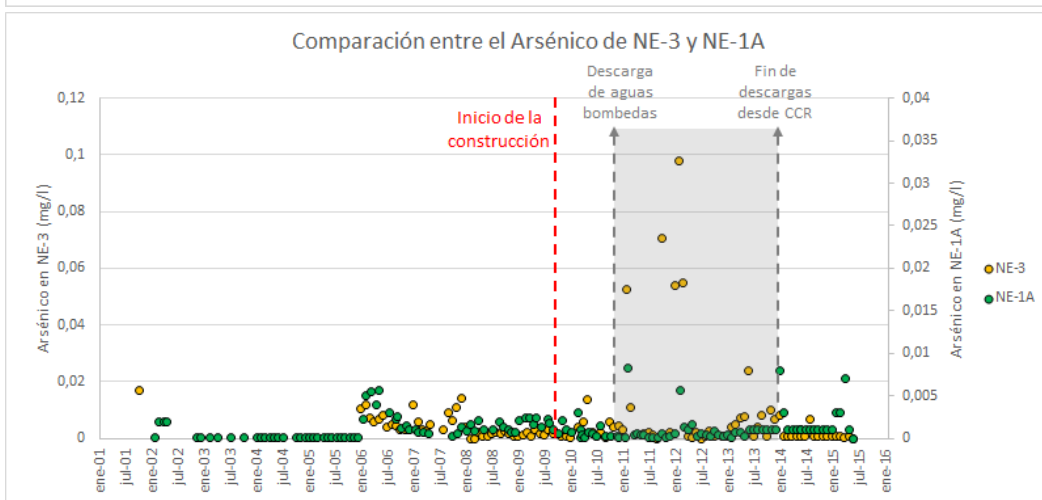
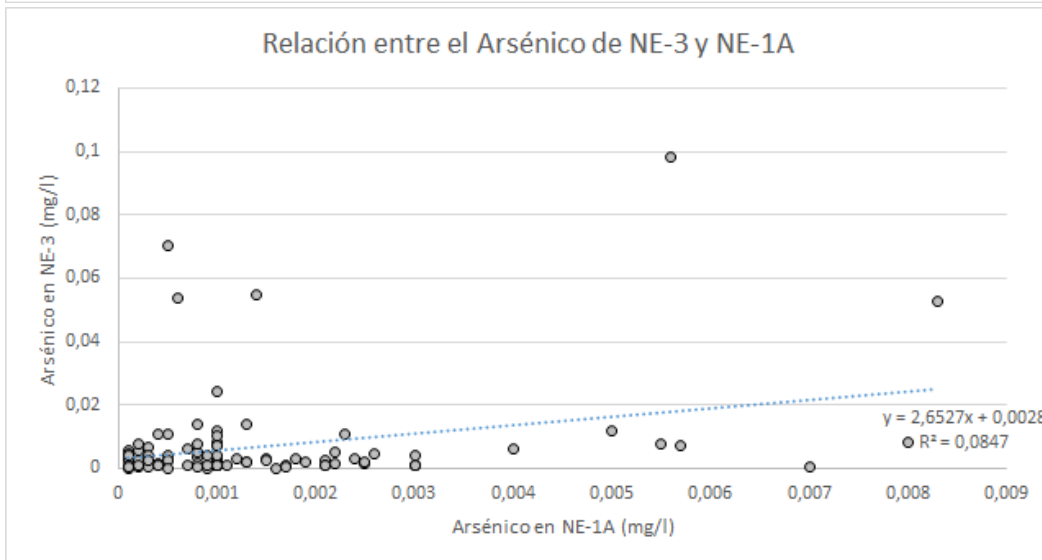
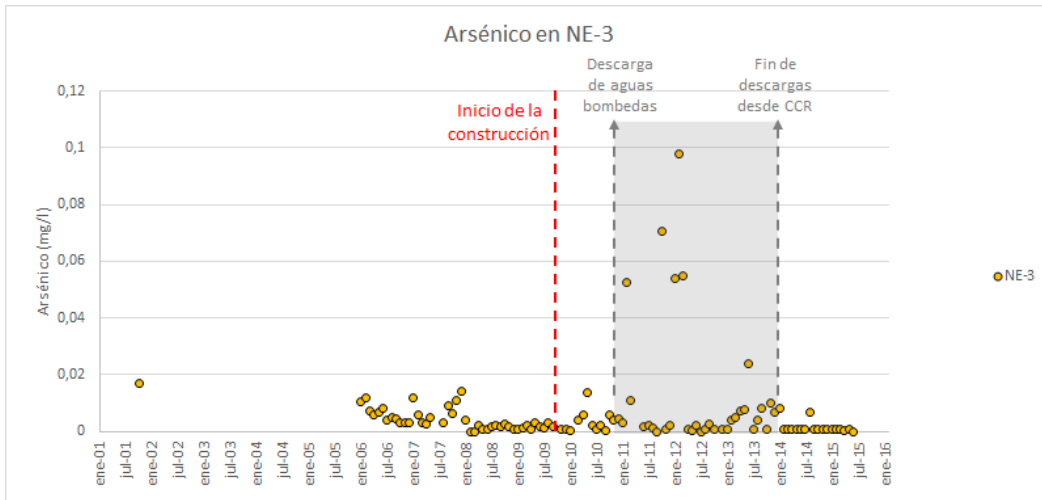
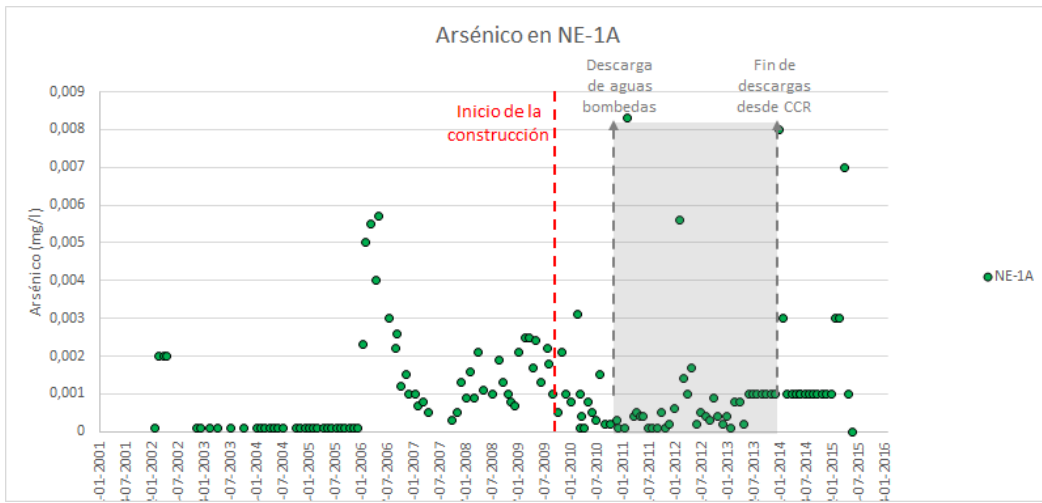


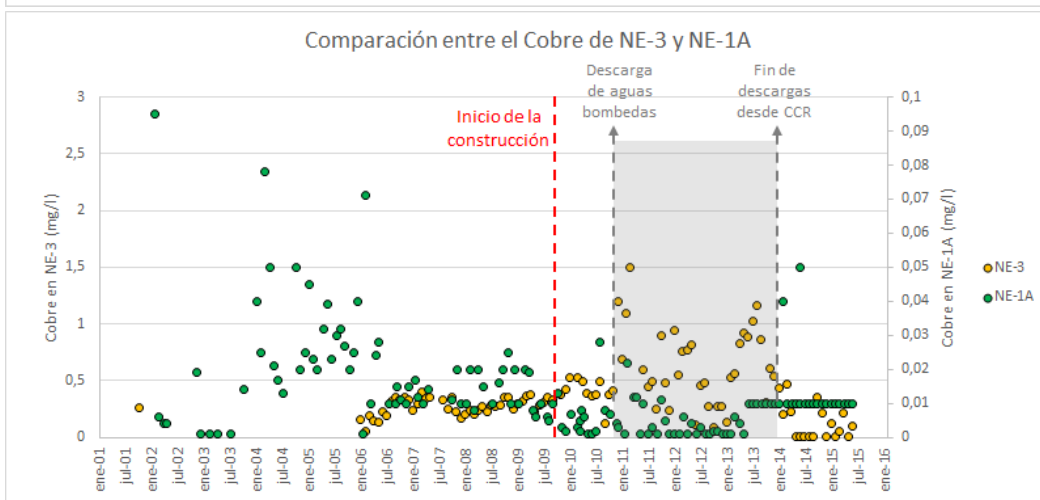
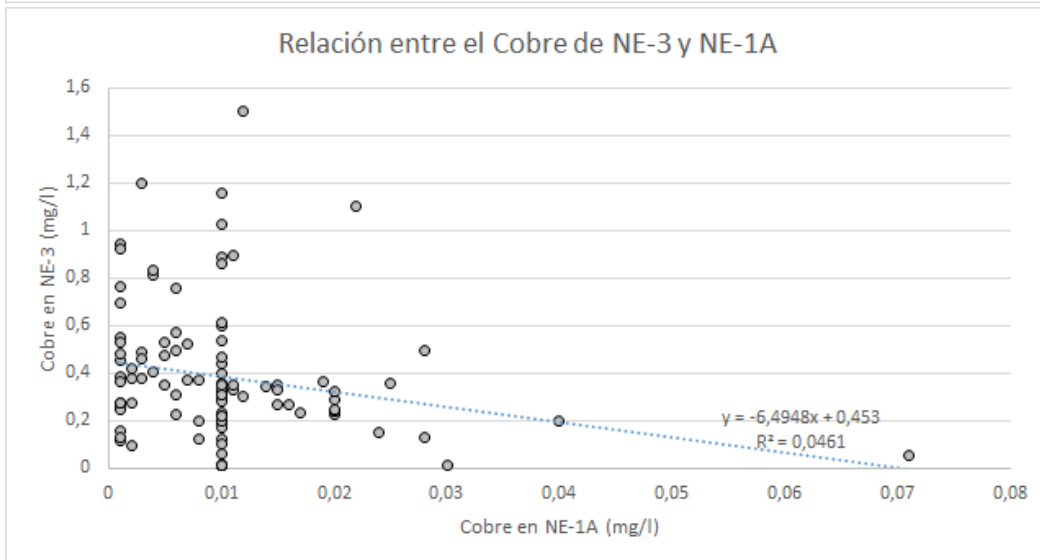
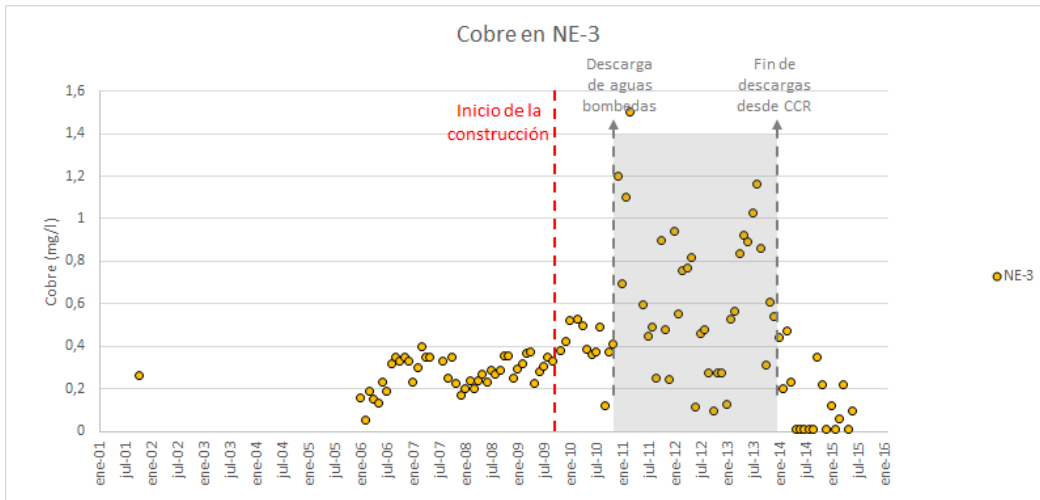
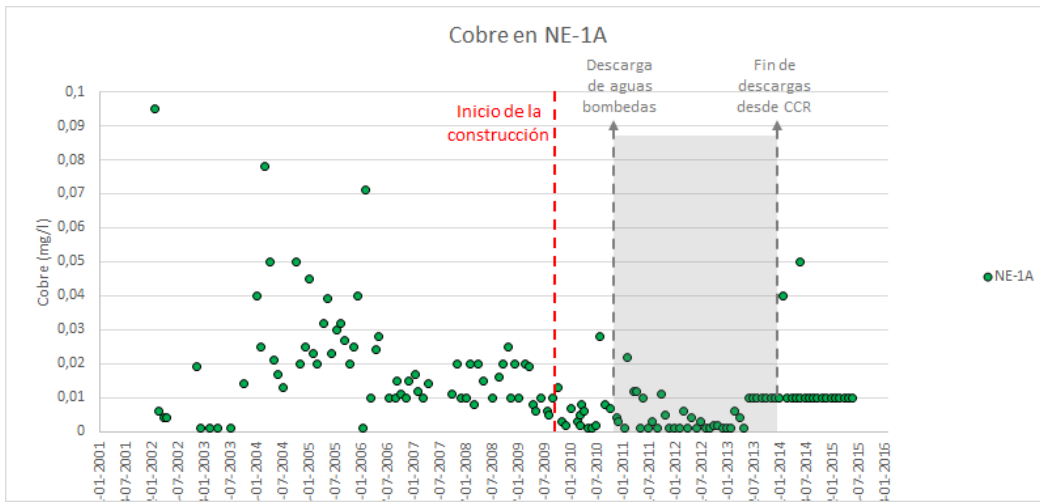
4. Comparación entre NE-1A (Quebrada Barrales) y NE-3

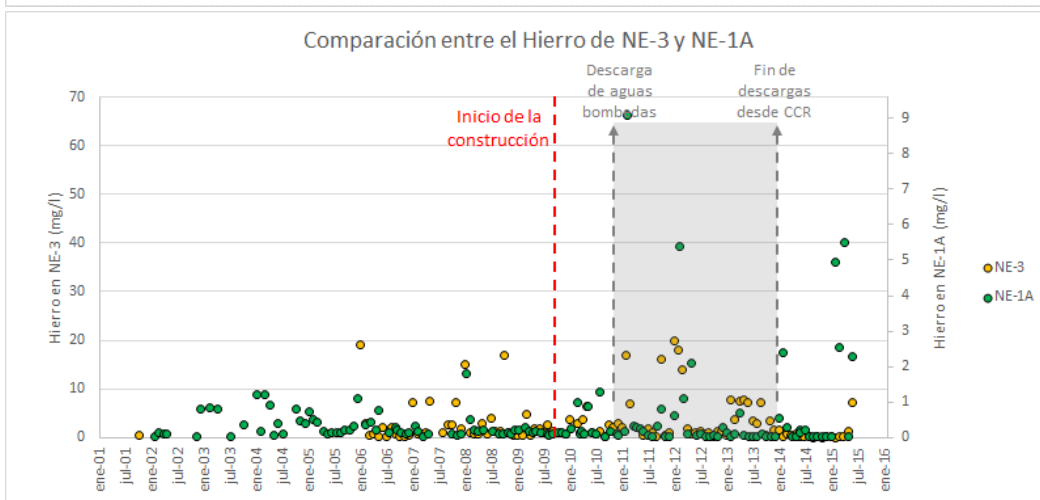
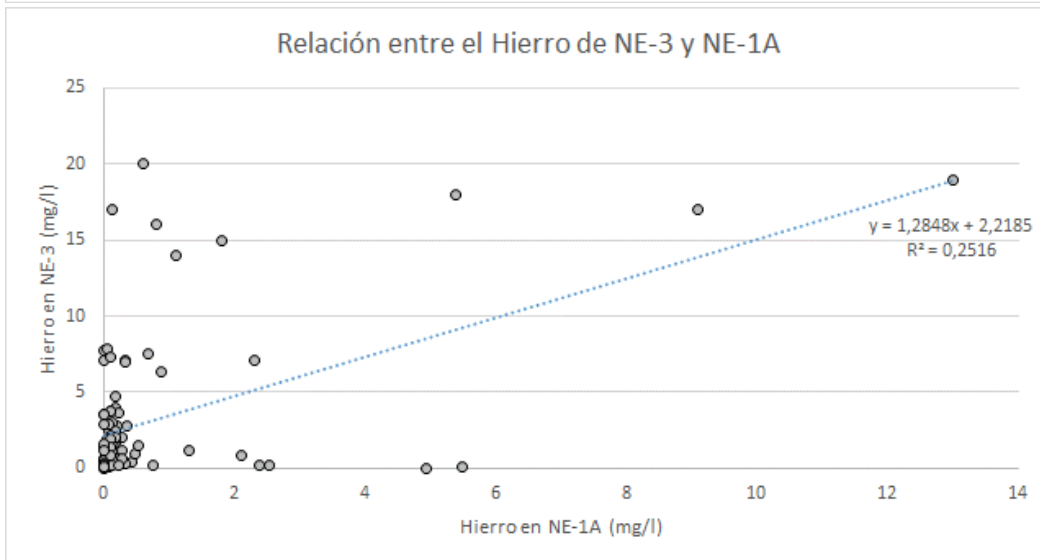
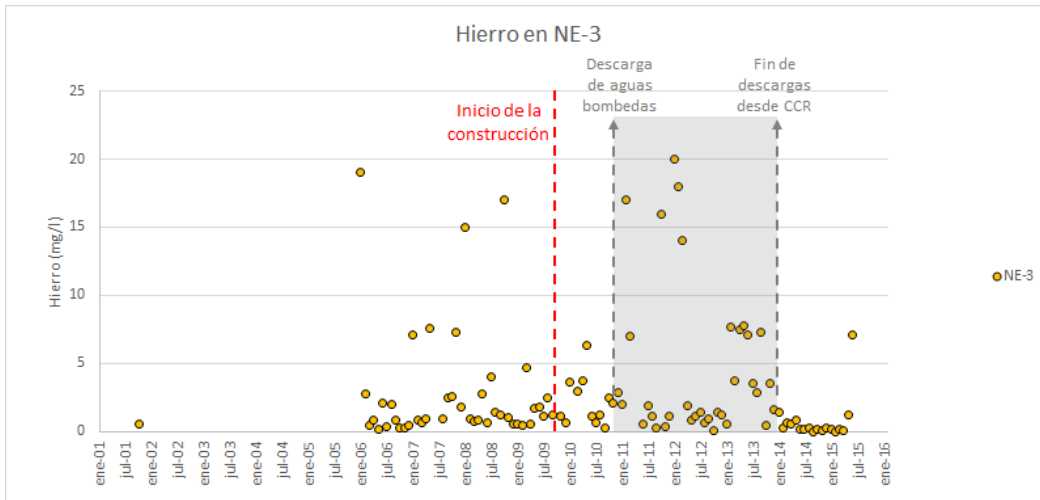
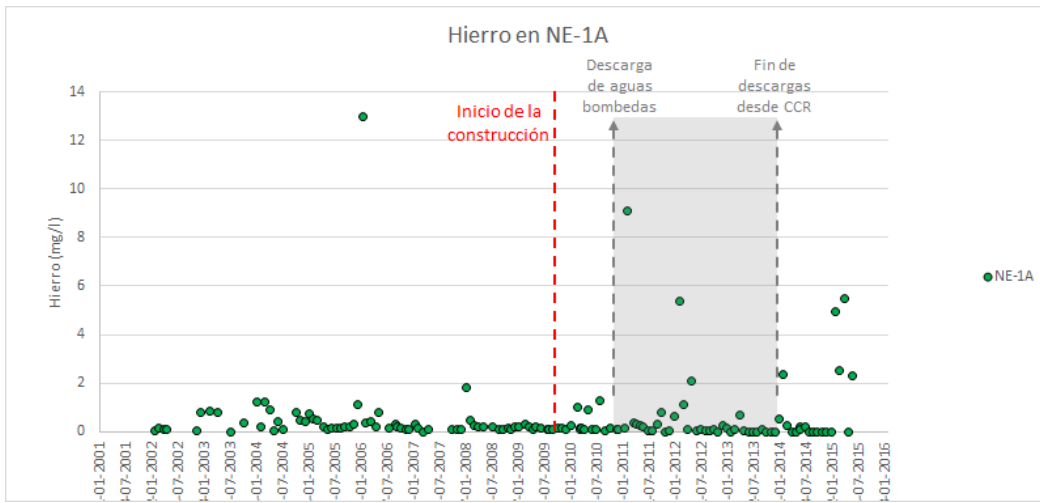


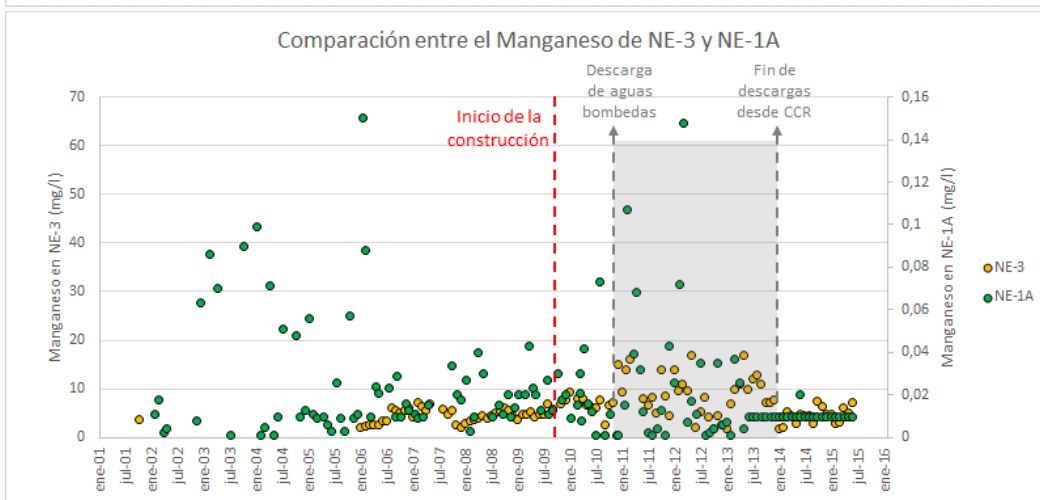
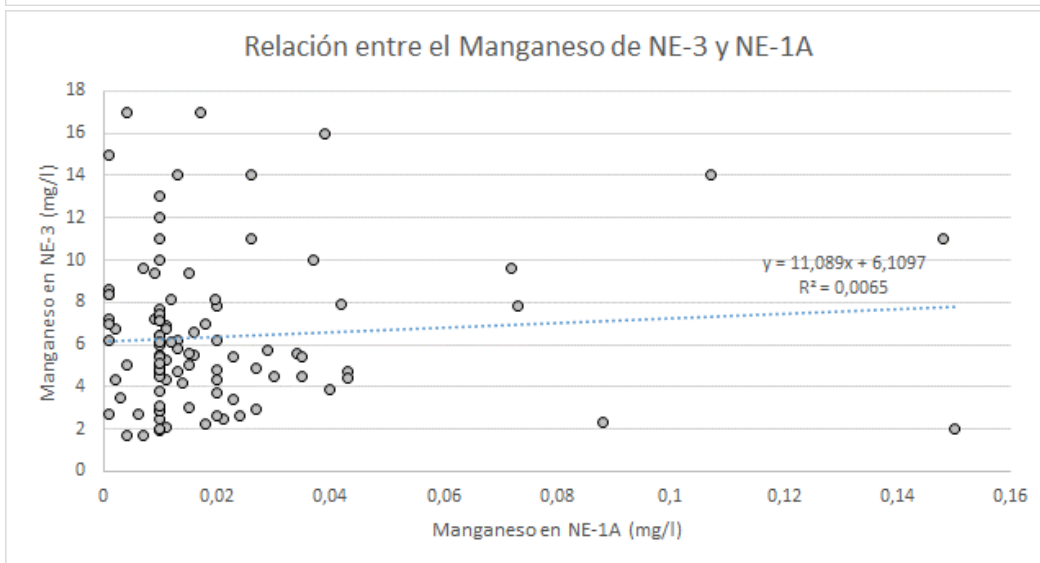
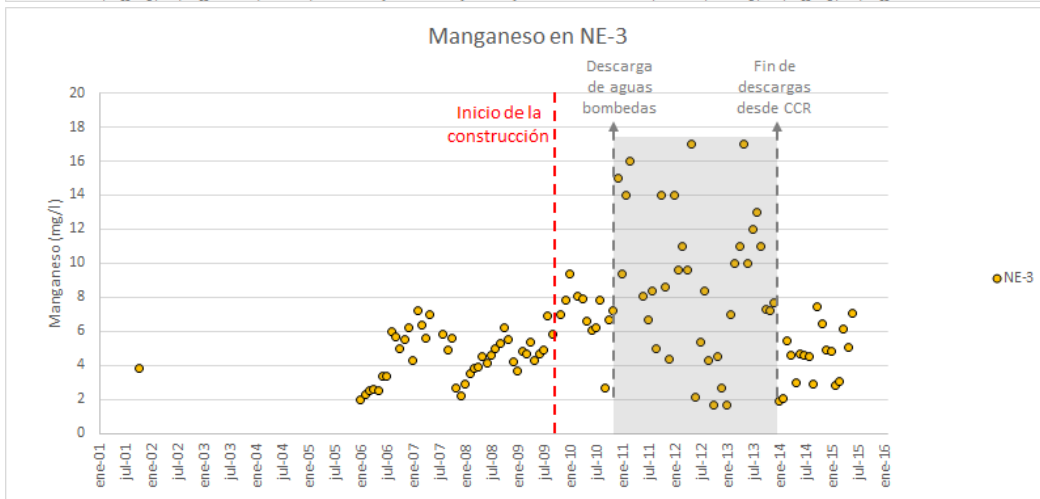
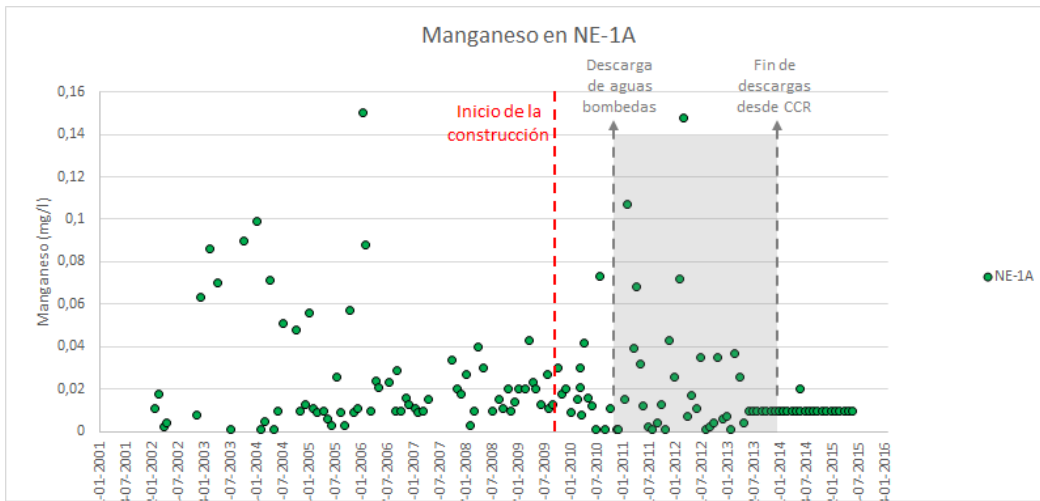


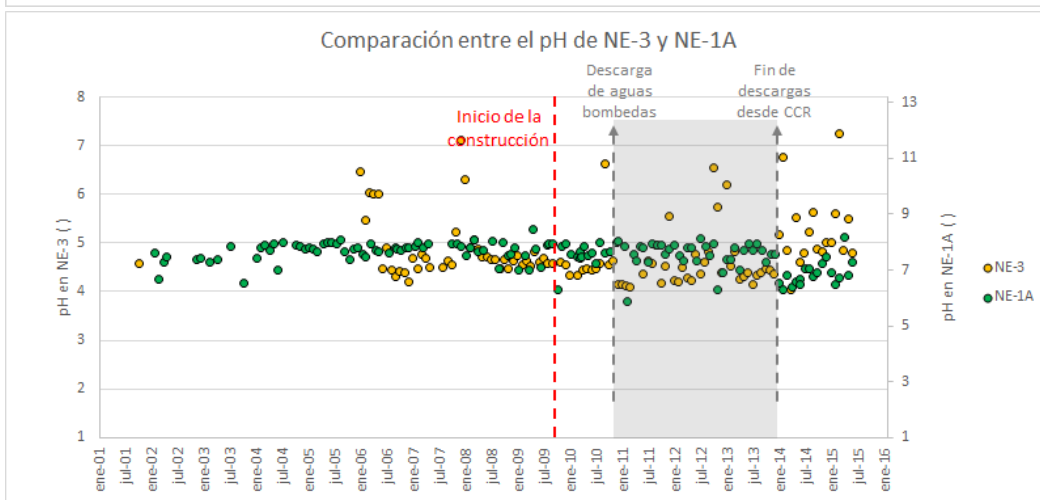
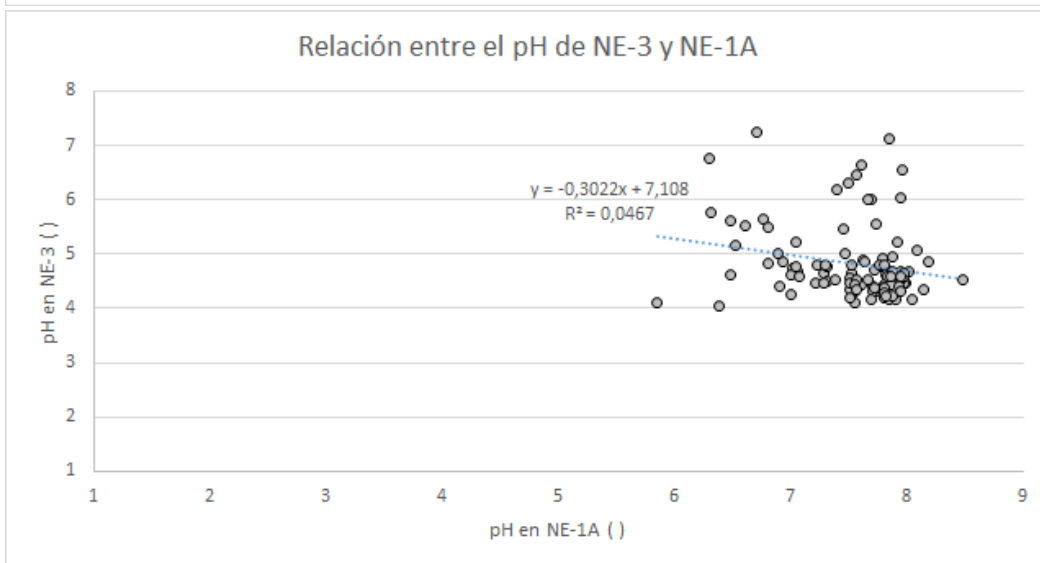
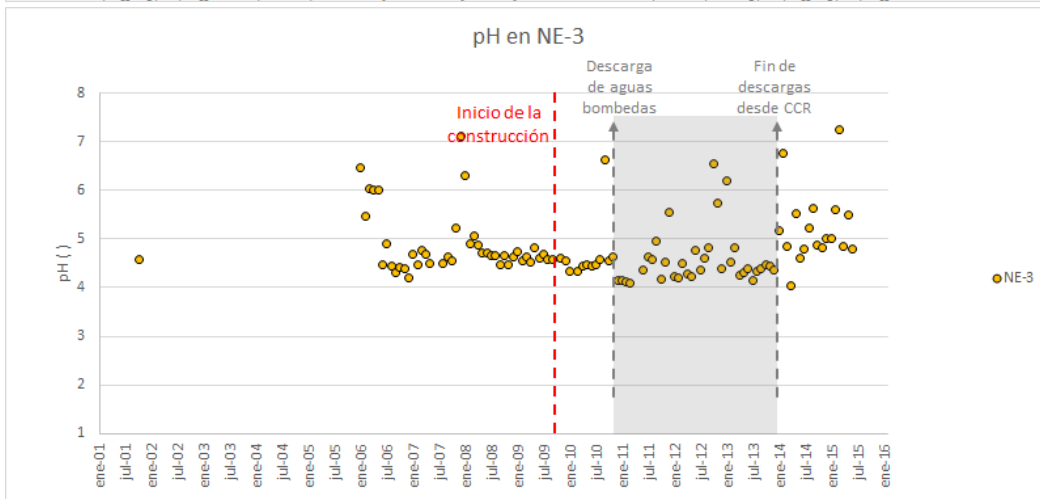
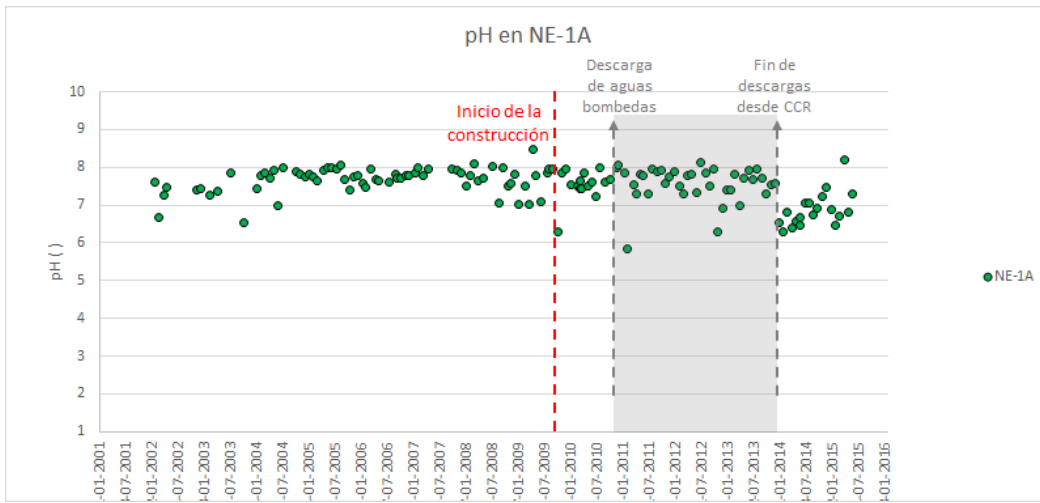


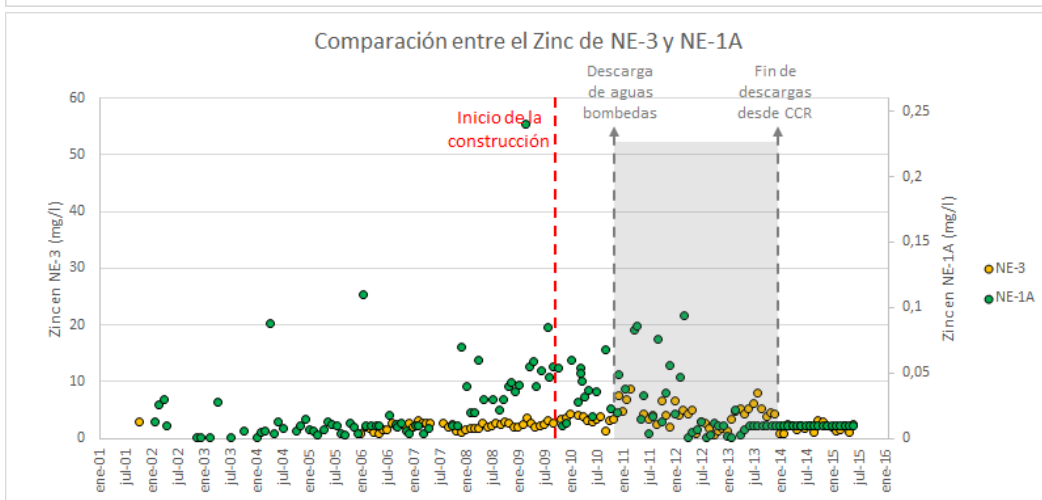
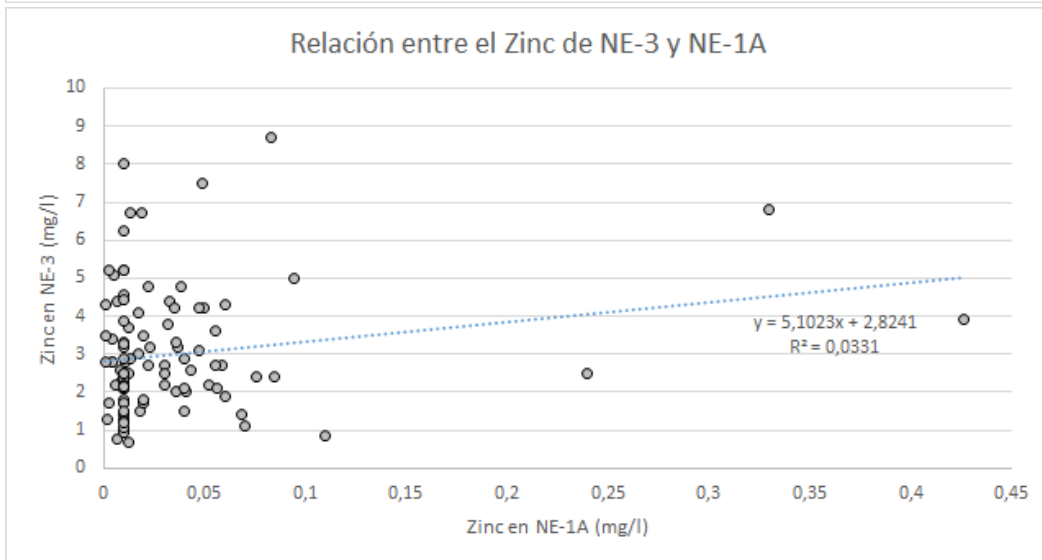
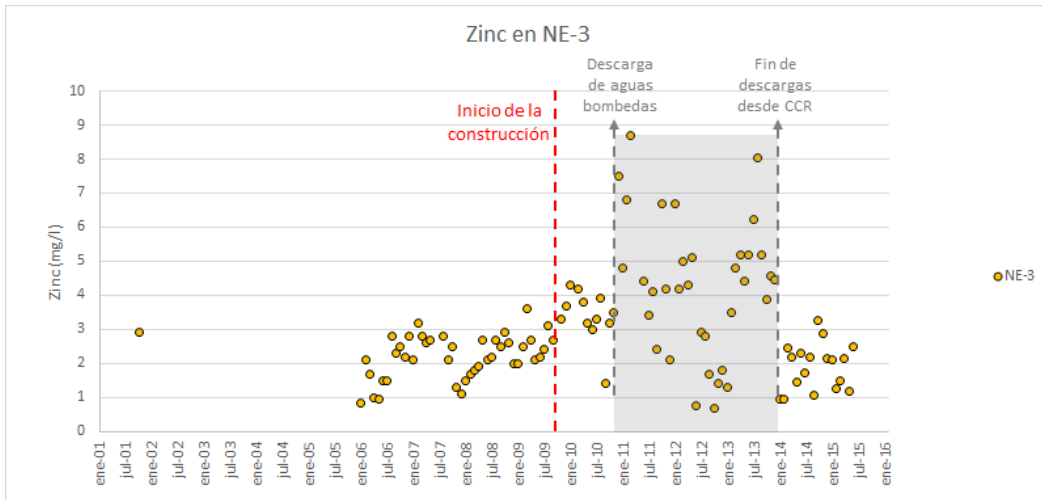
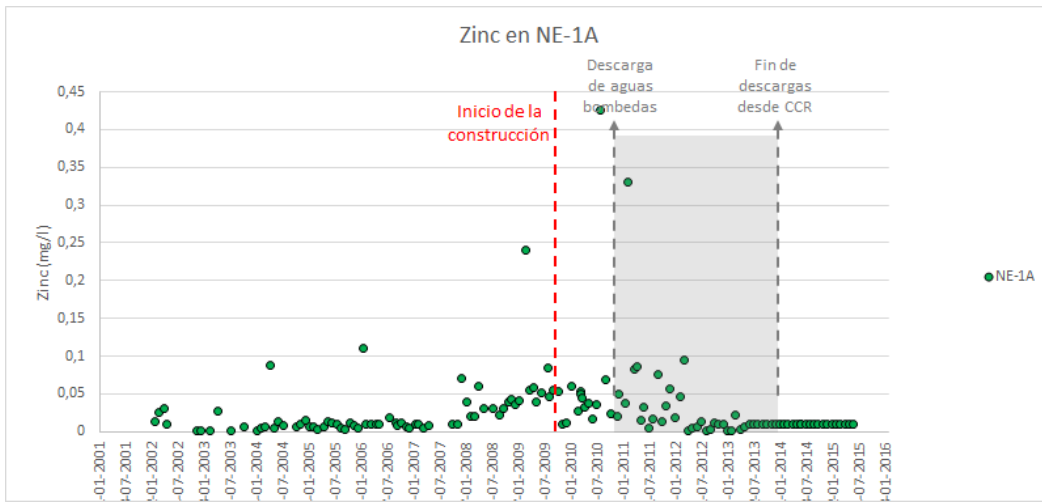




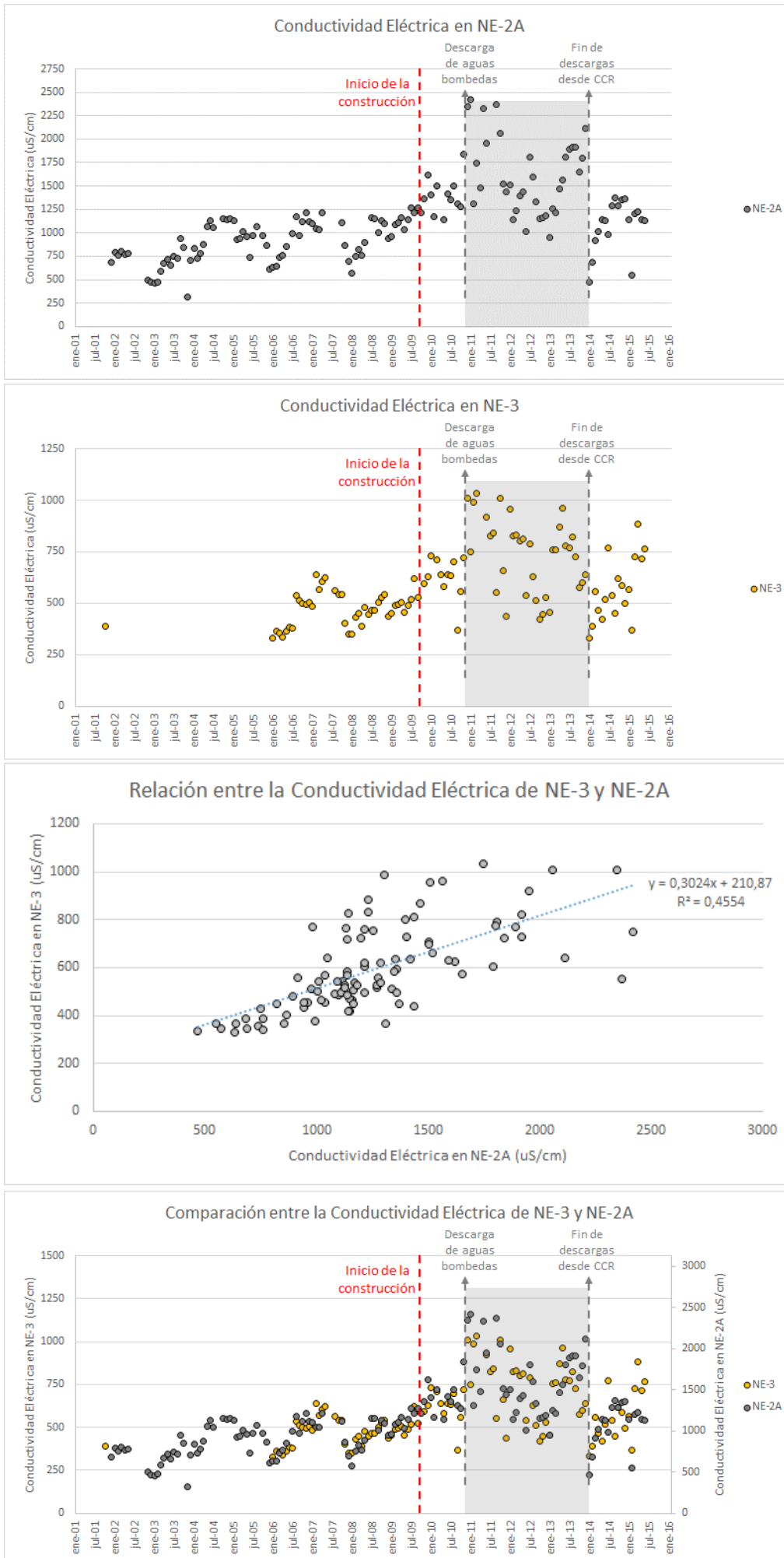


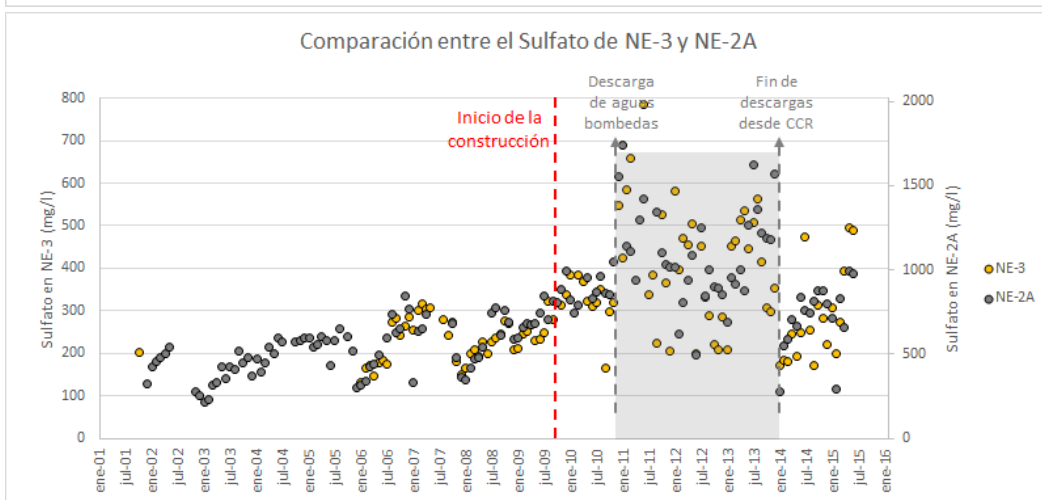
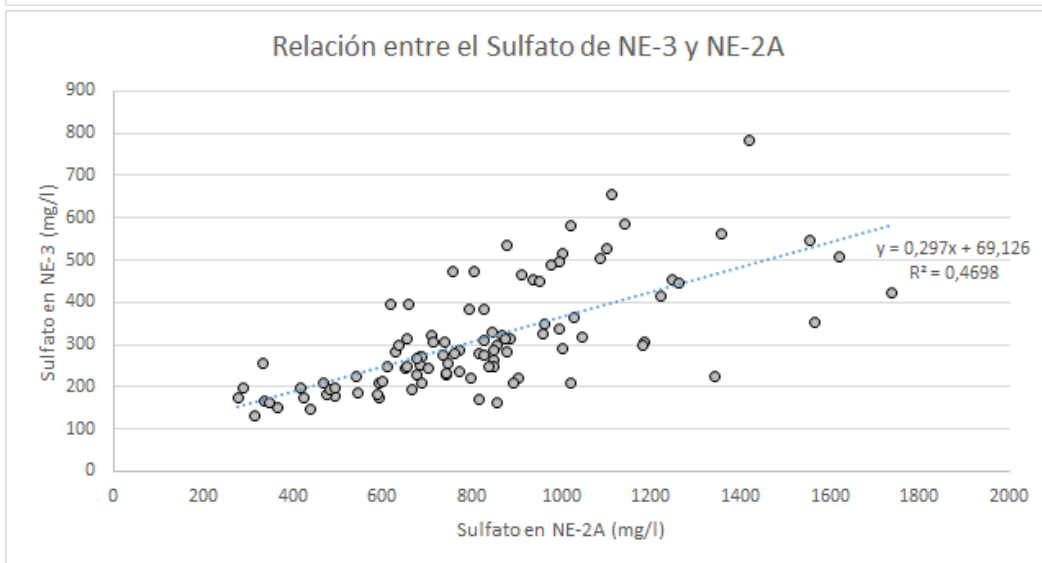
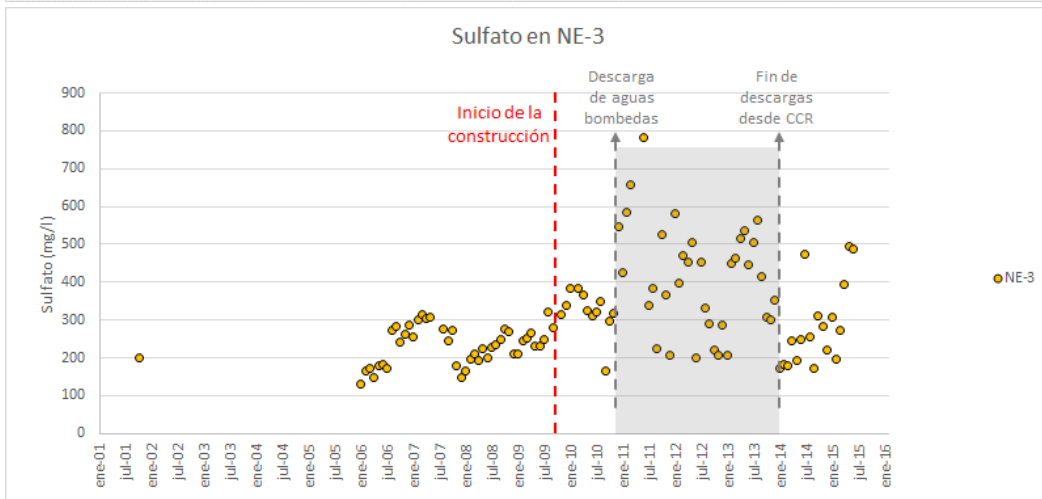
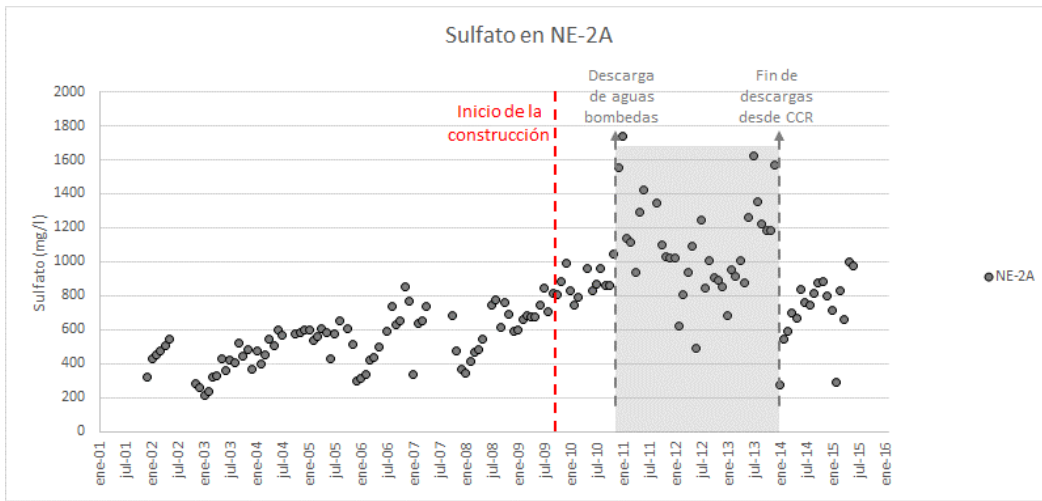


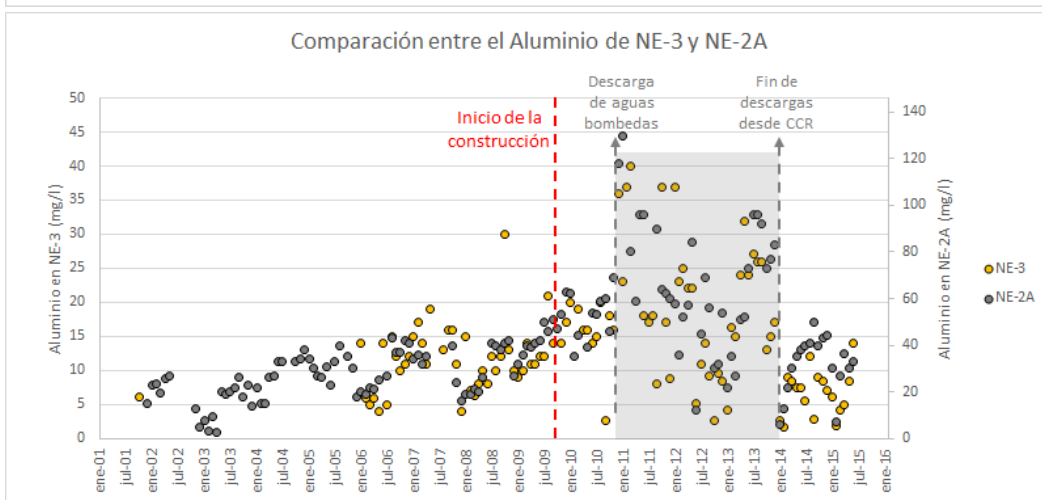
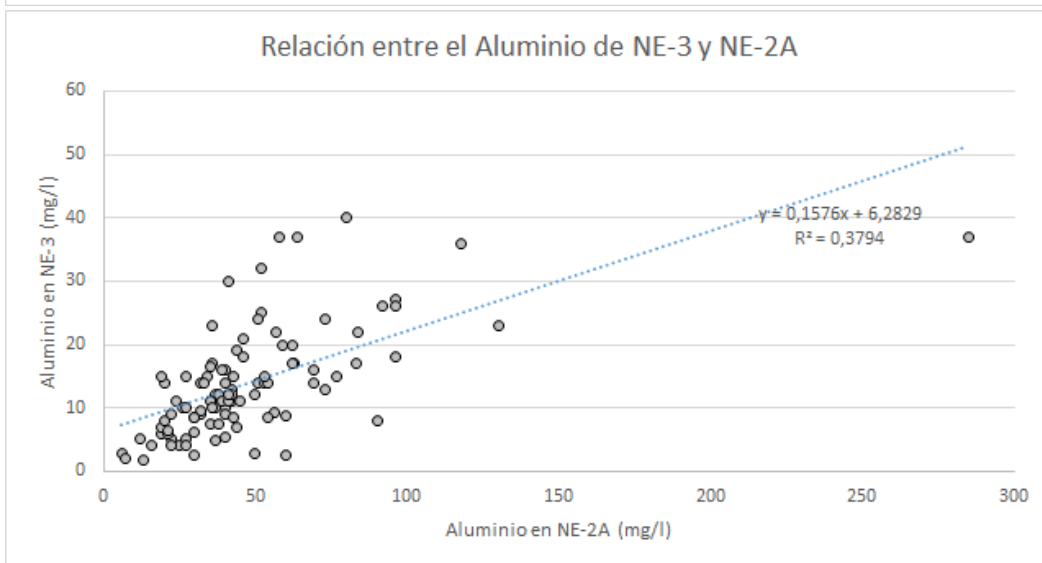
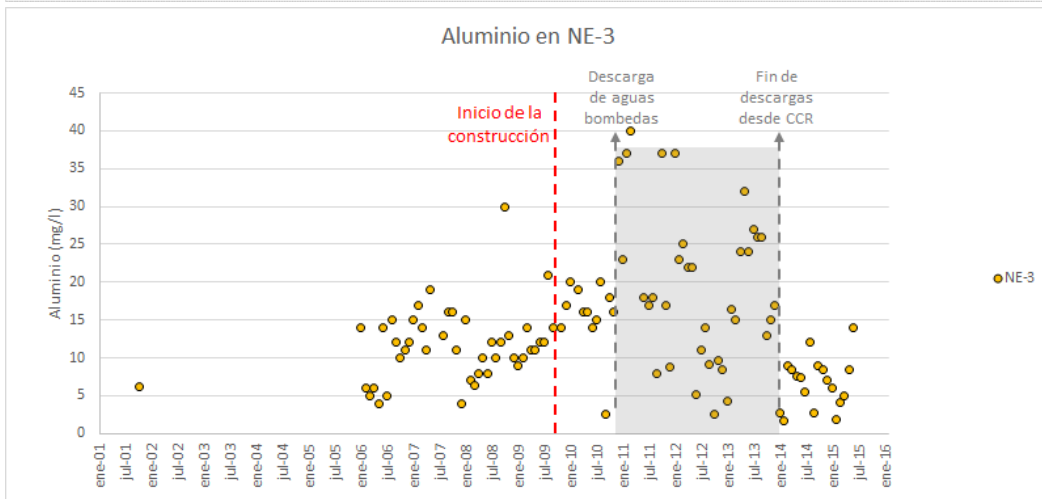
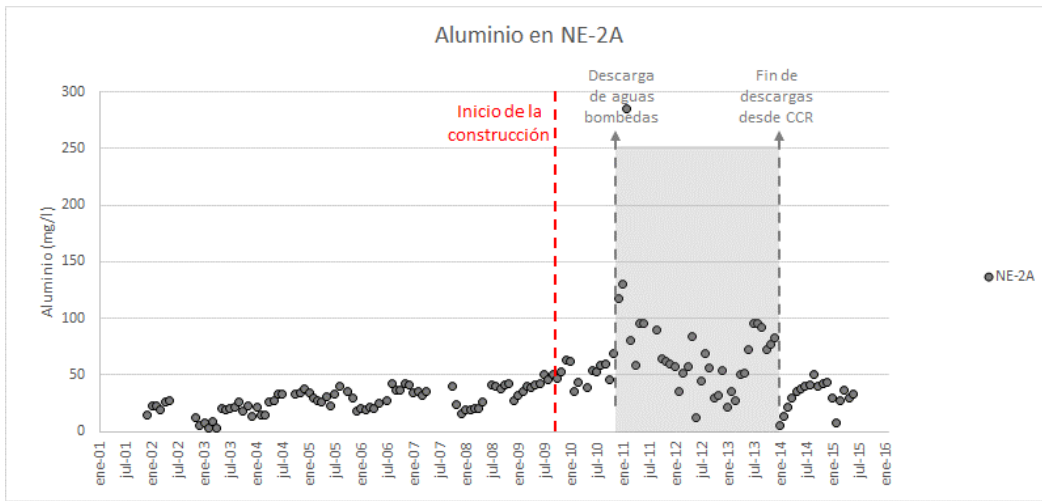


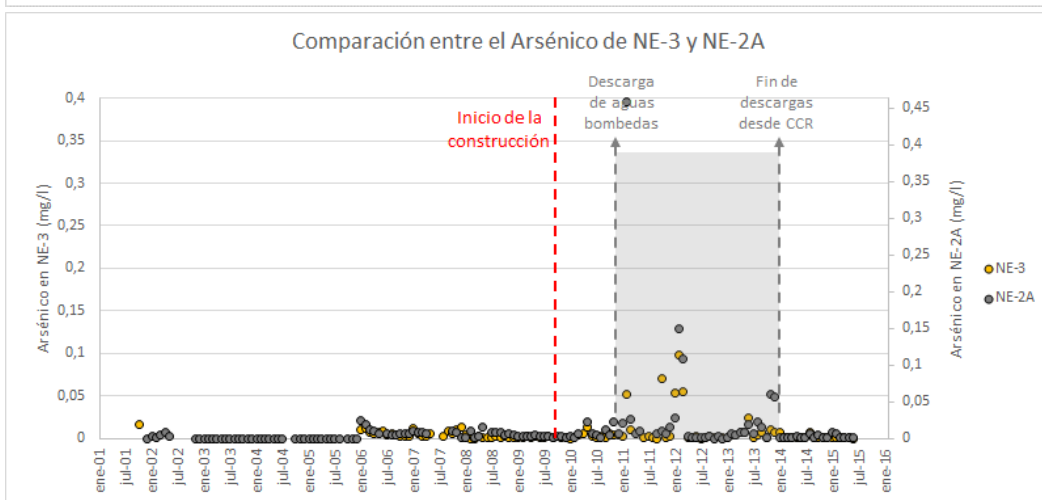
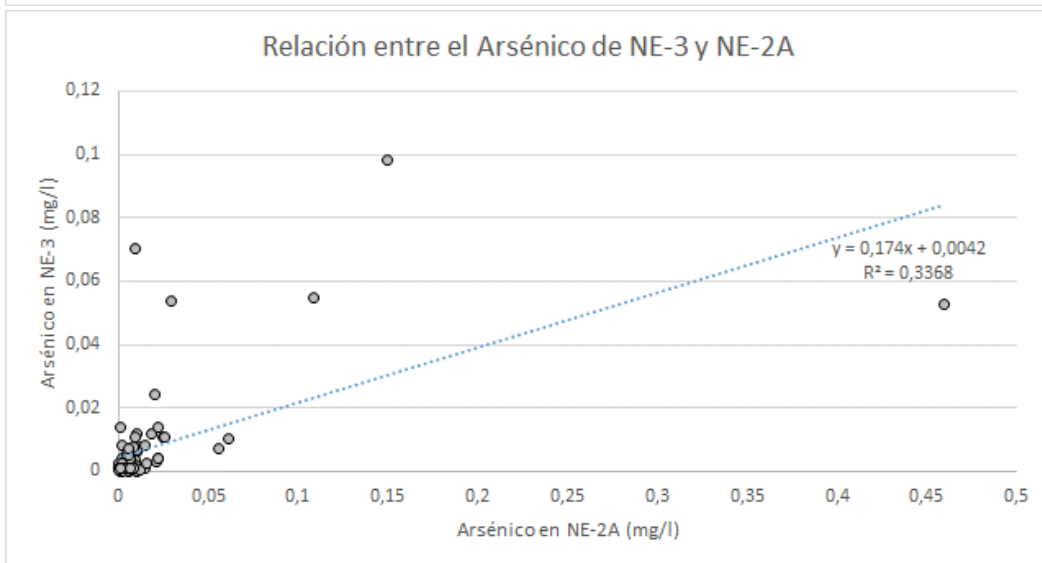
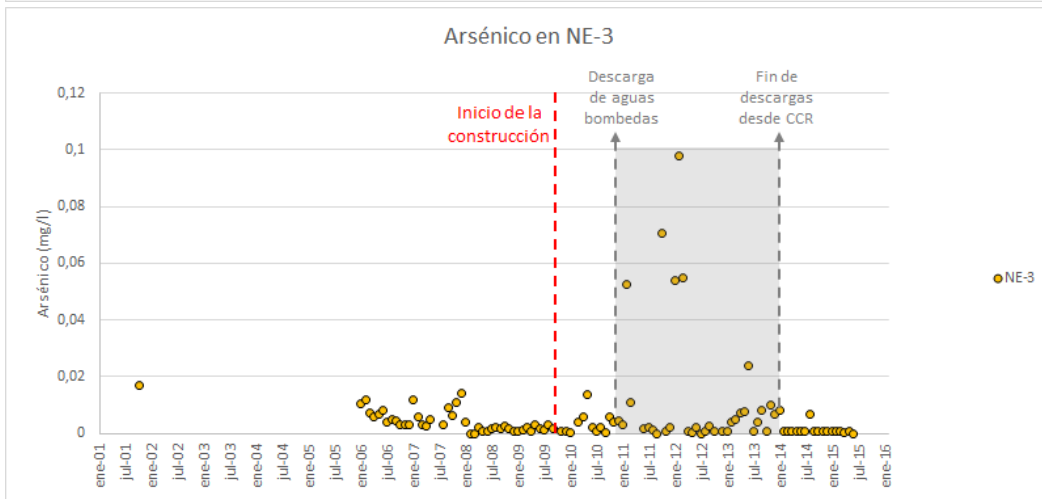
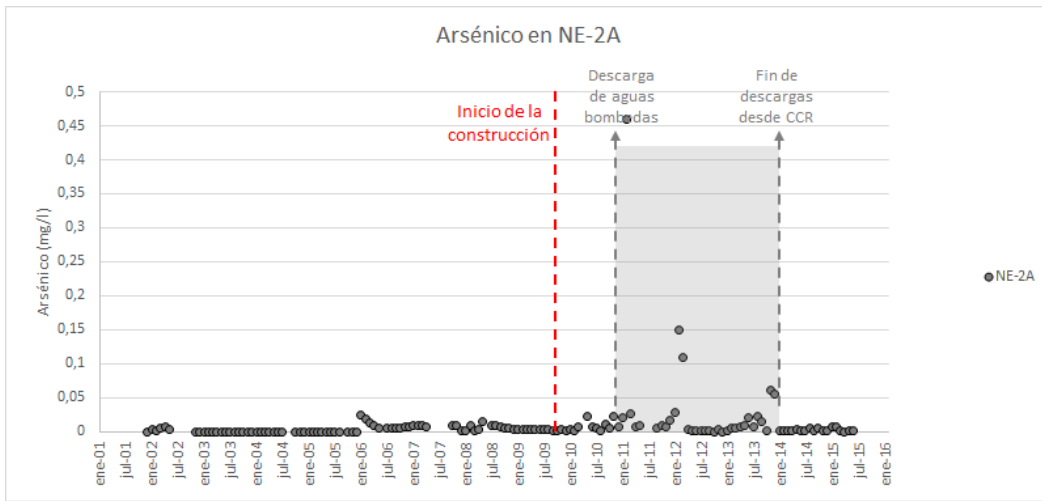


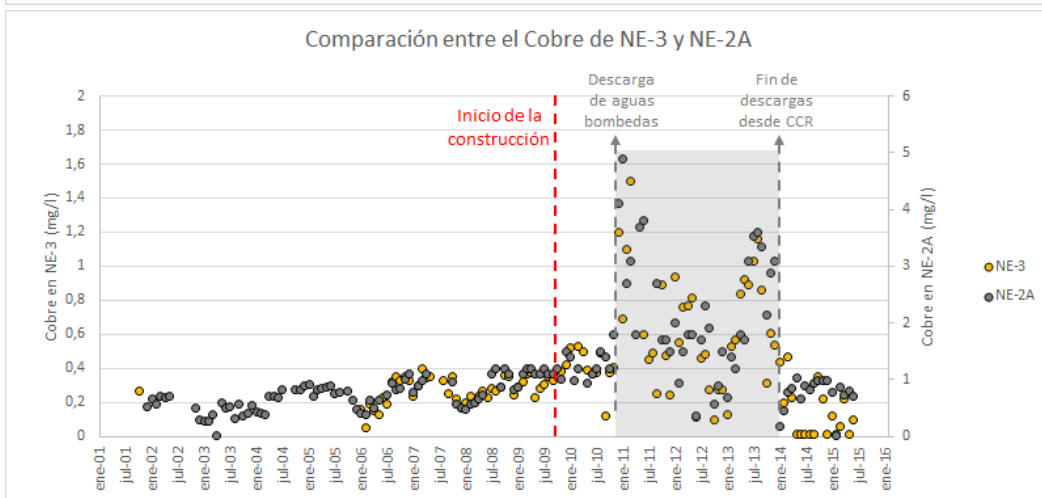
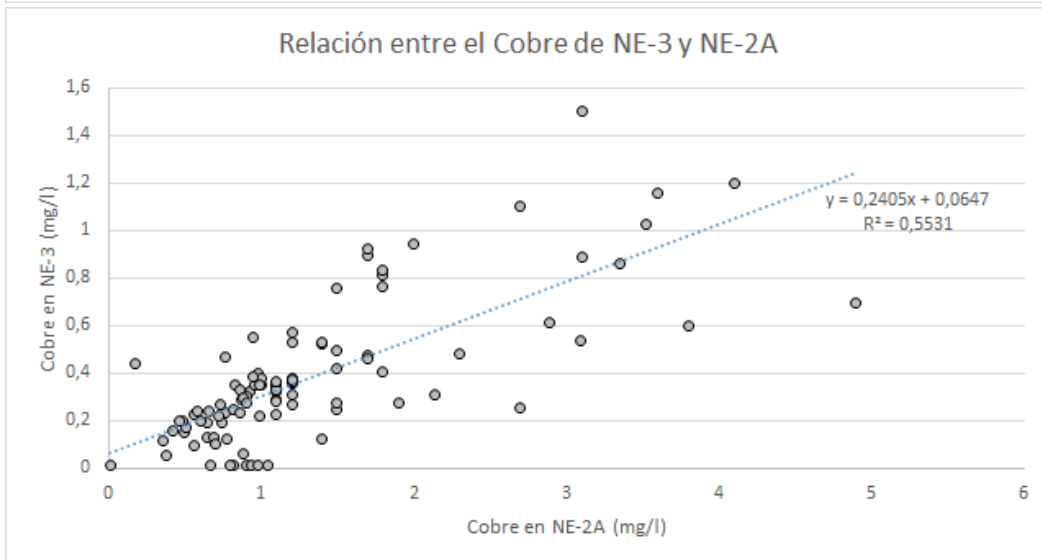
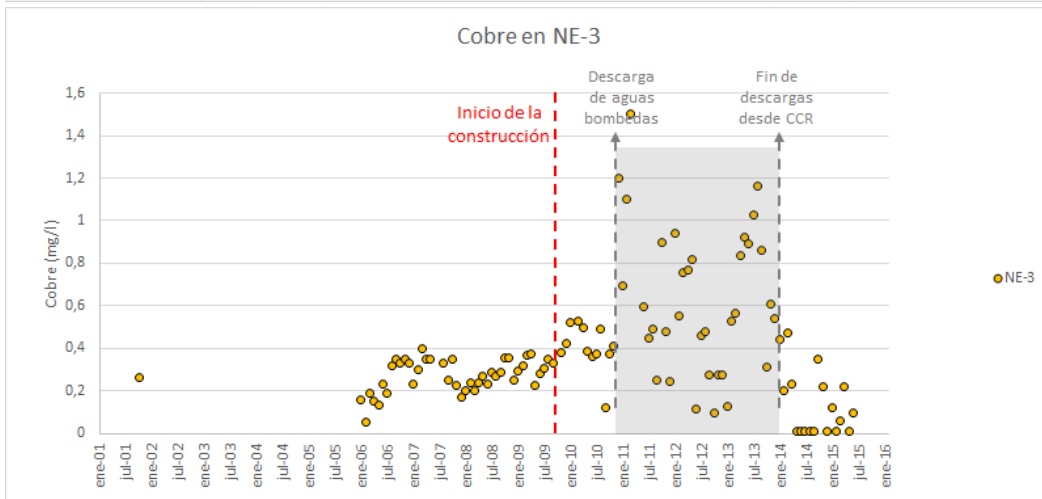
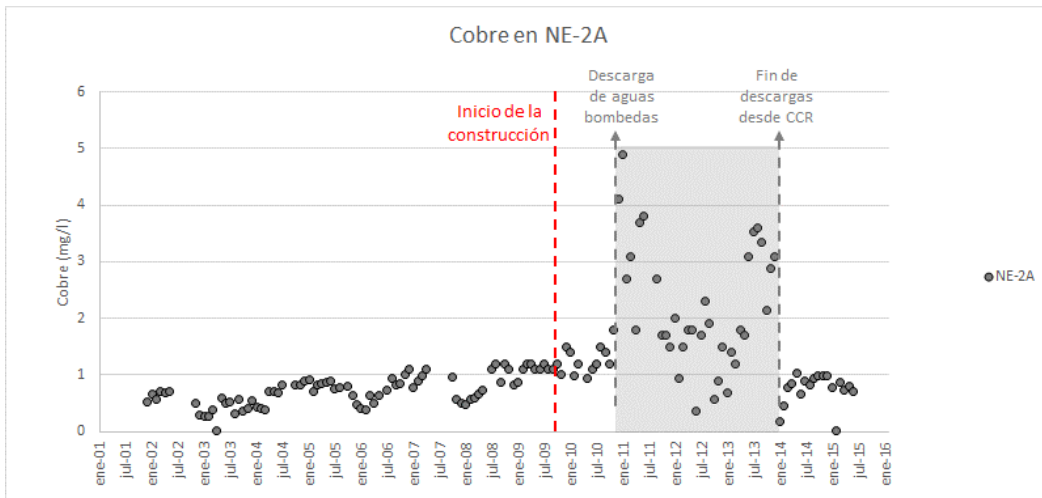
5. Comparación entre NE-2A y NE-3

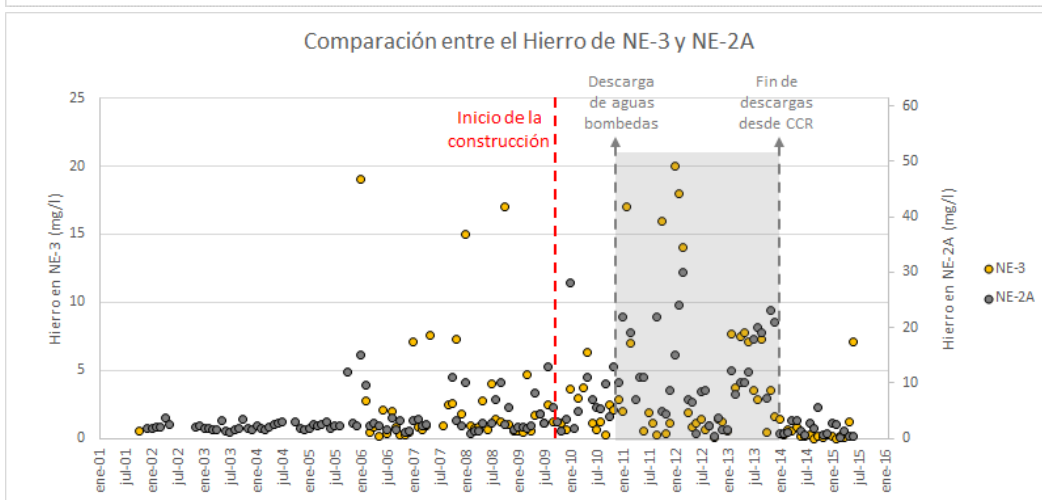
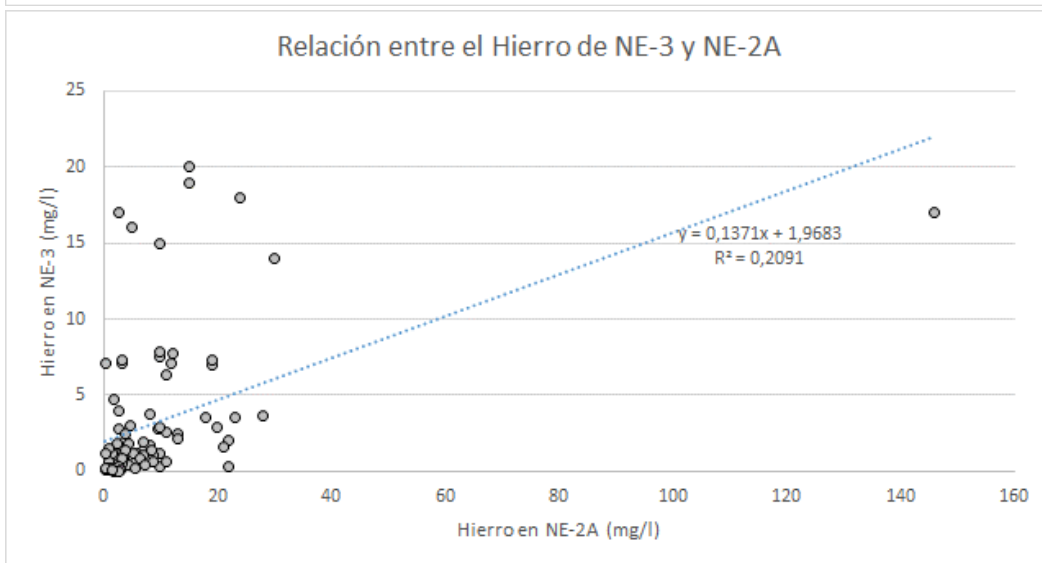
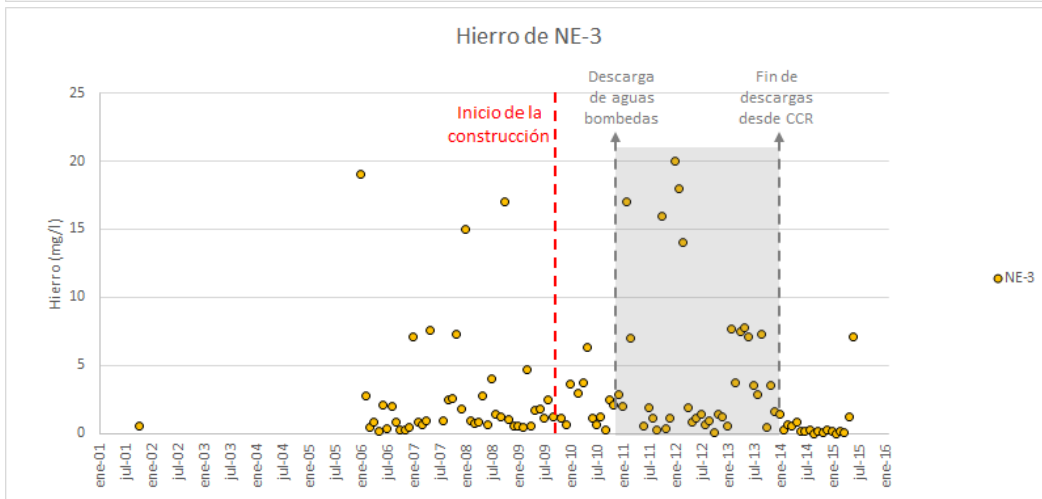
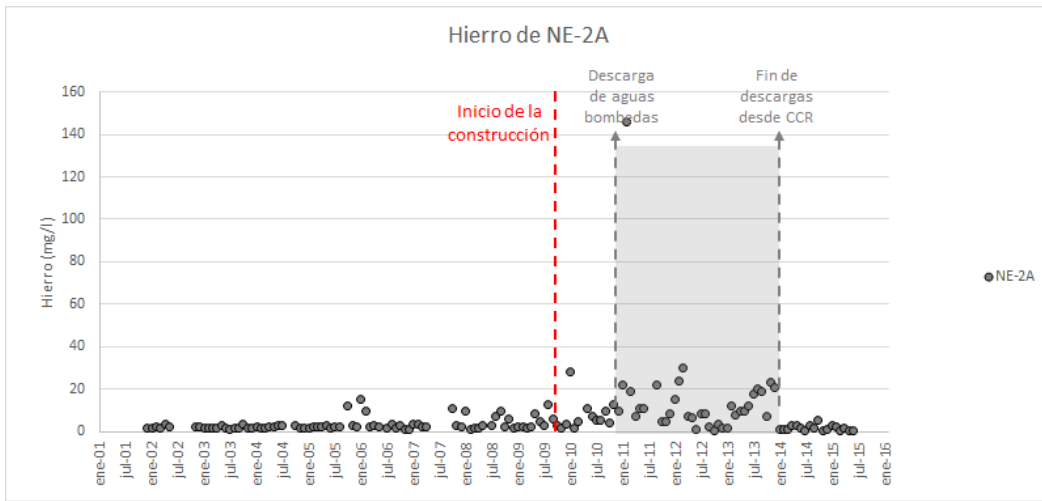


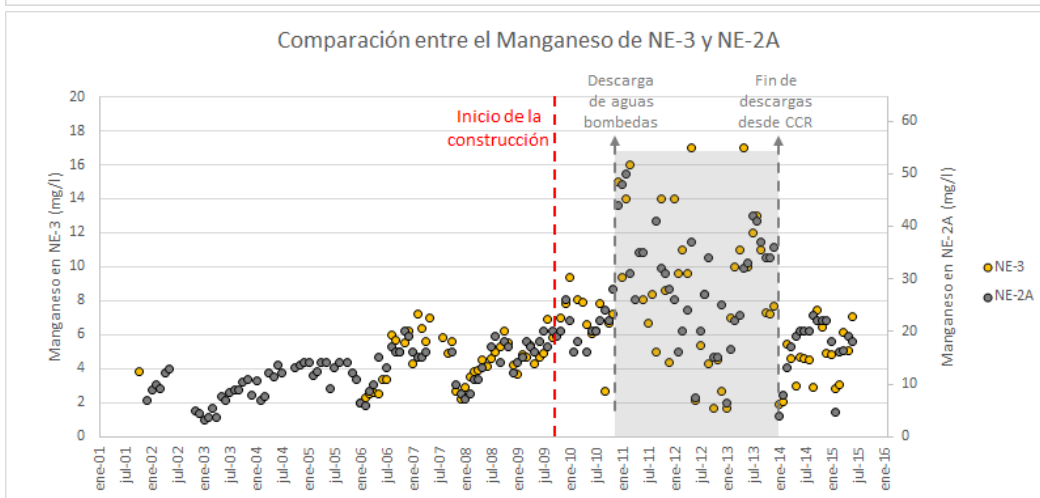
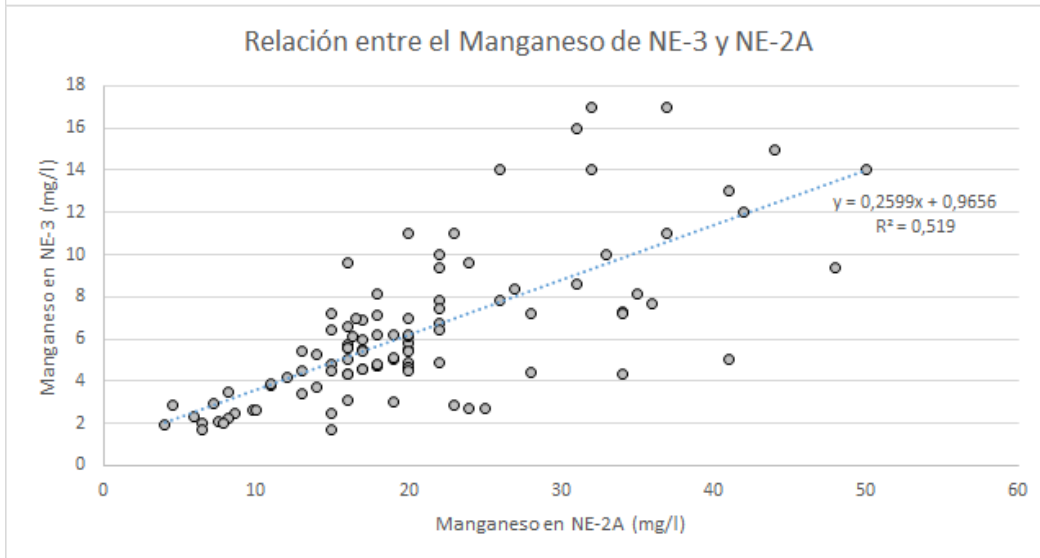
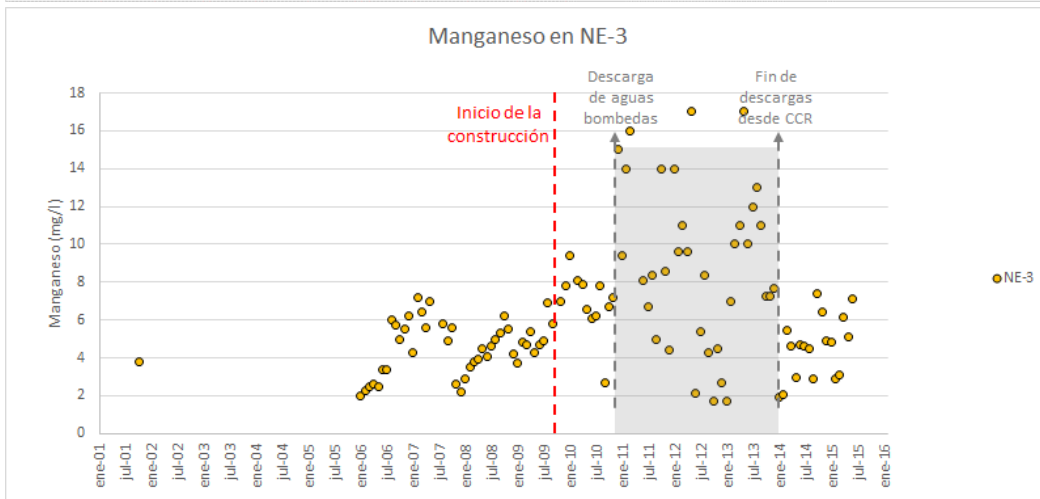
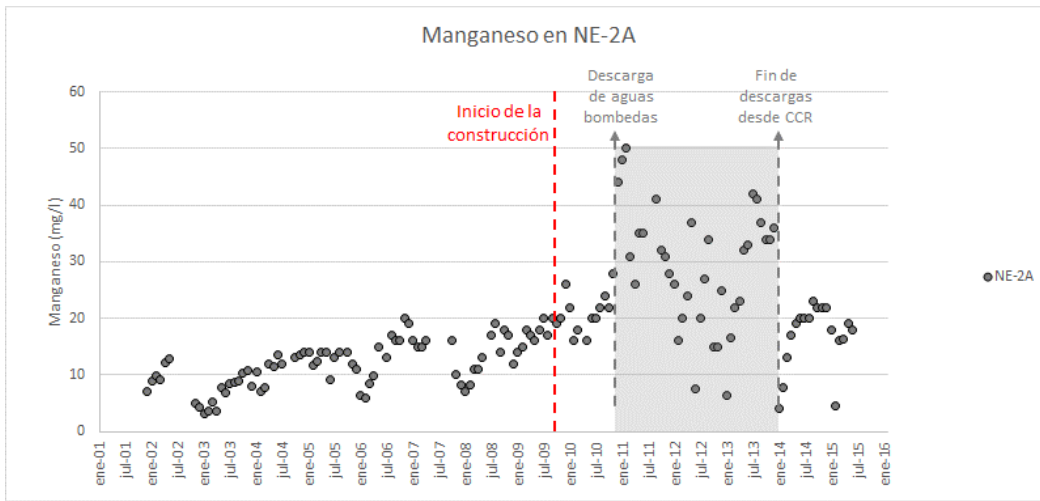


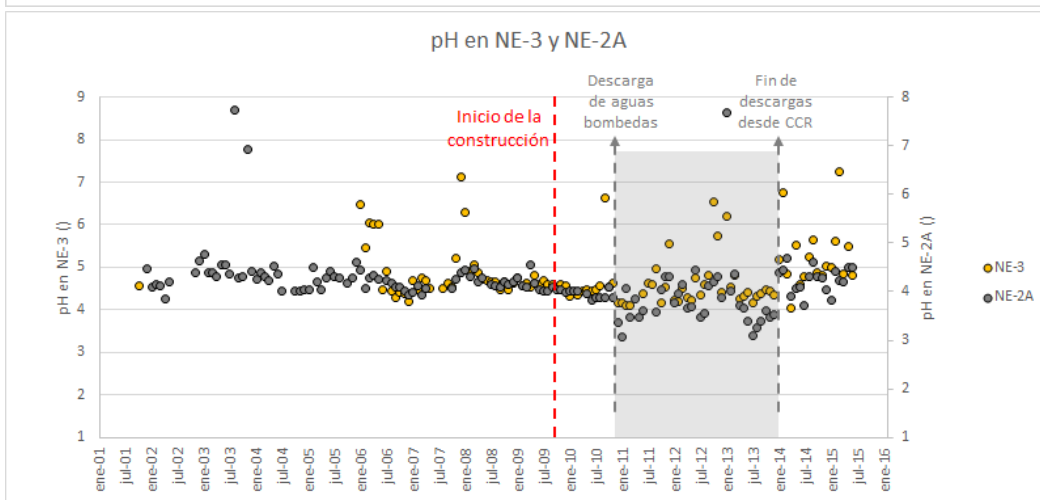
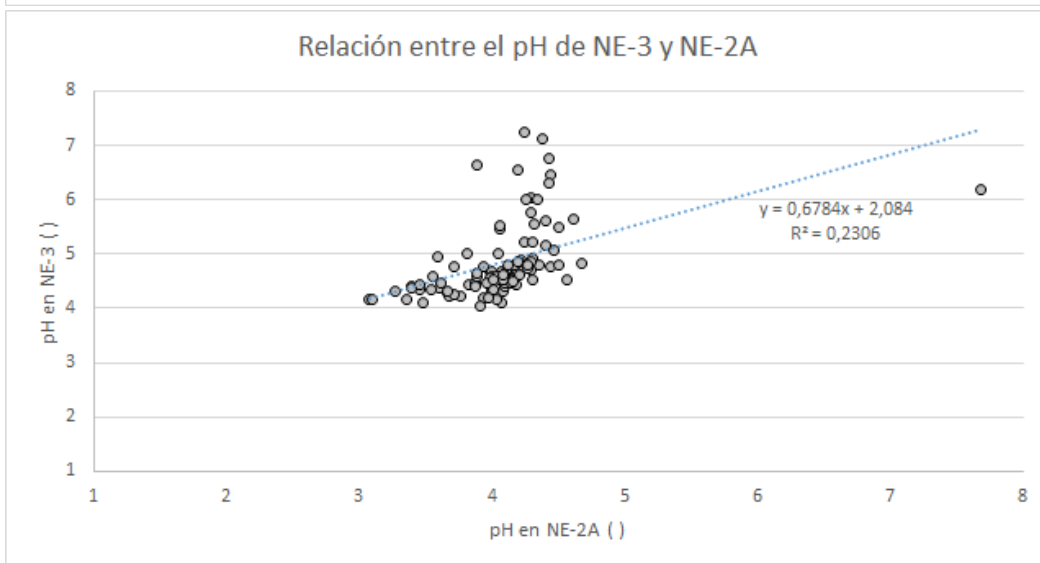
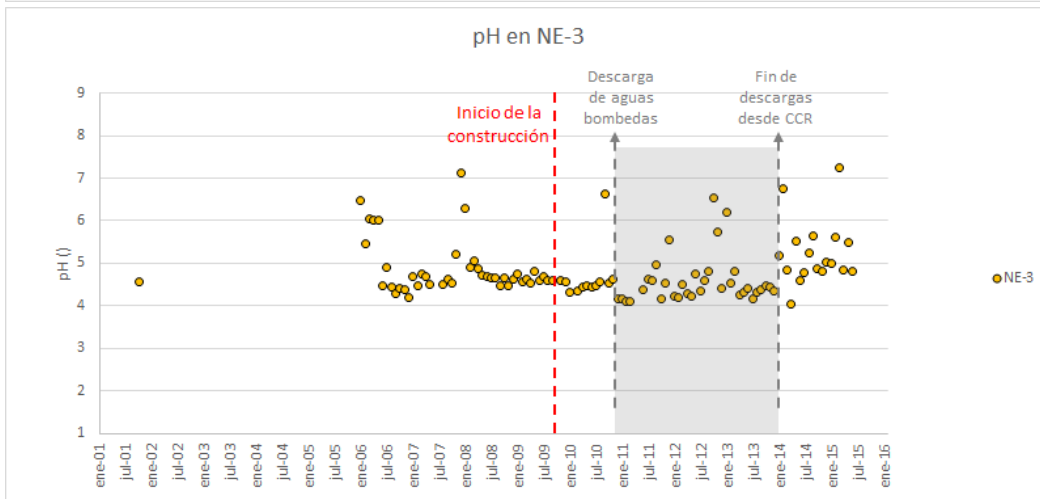
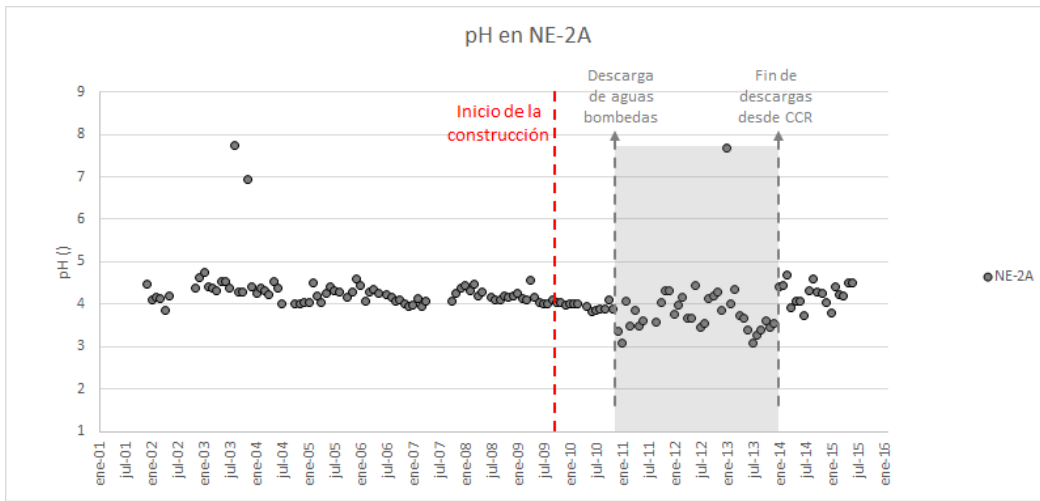


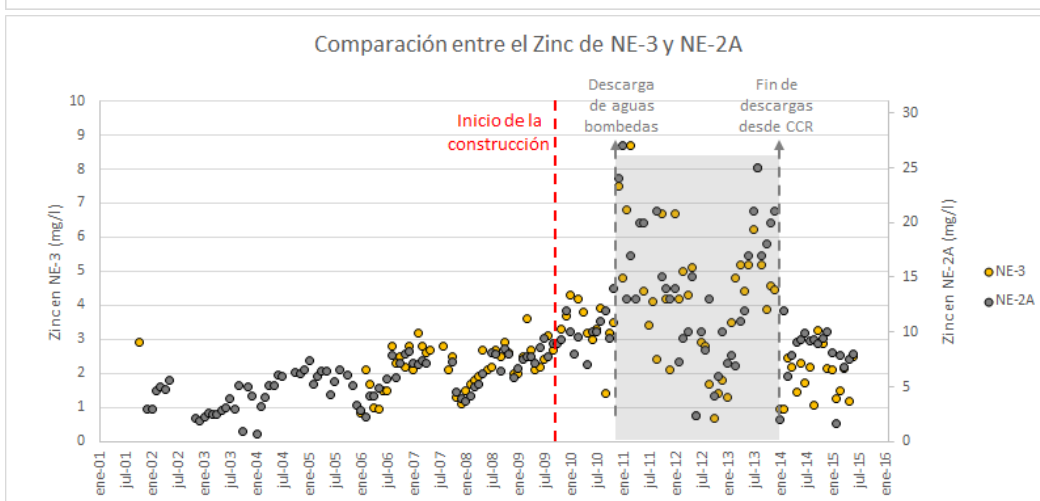
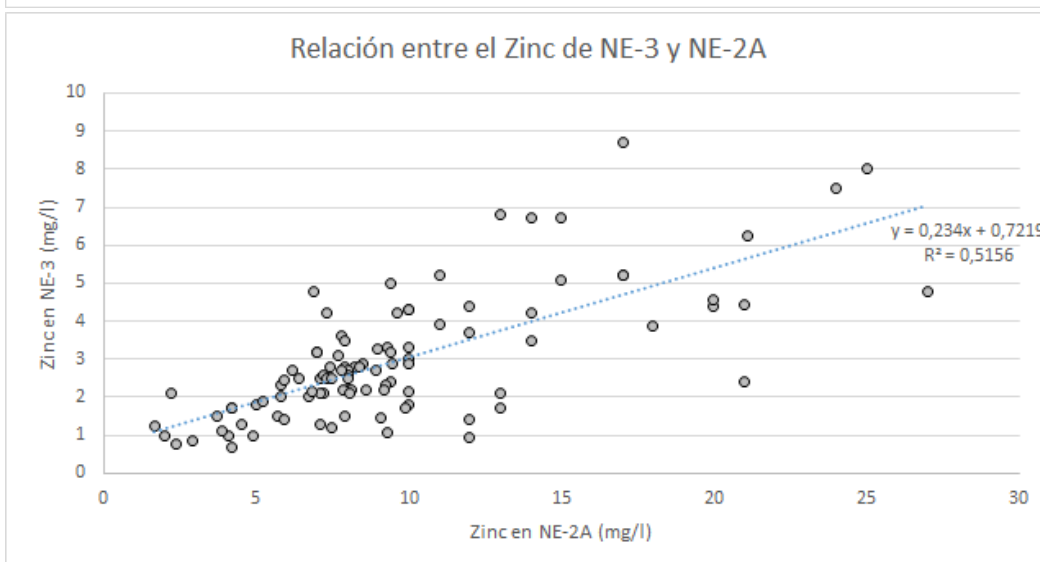
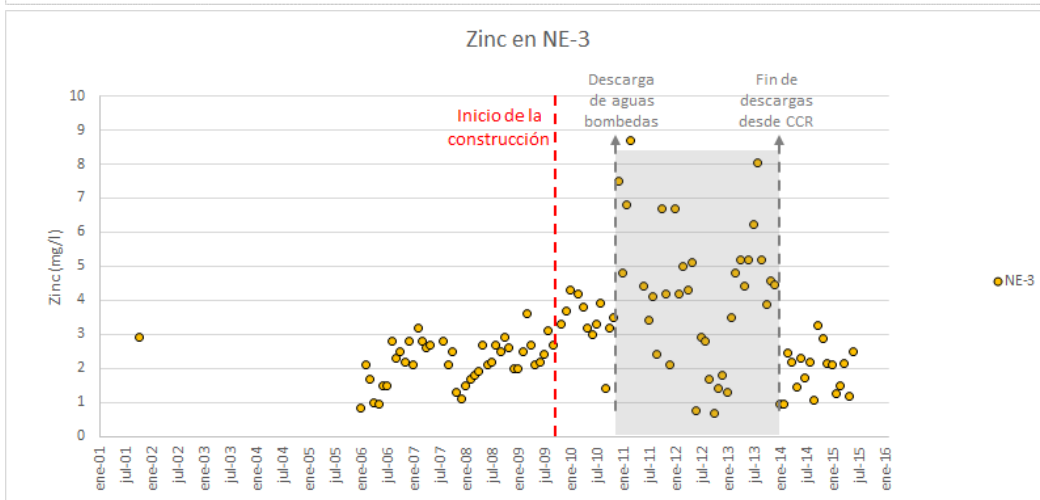
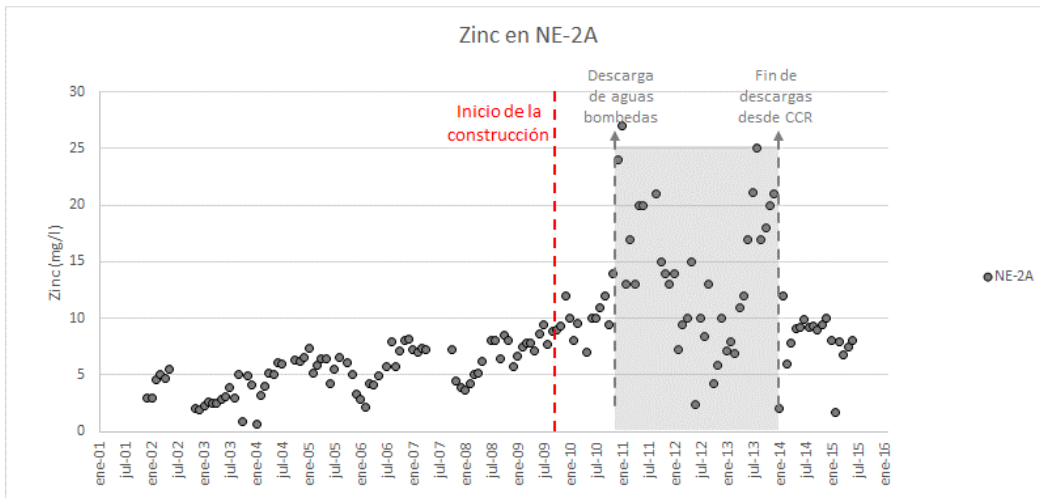




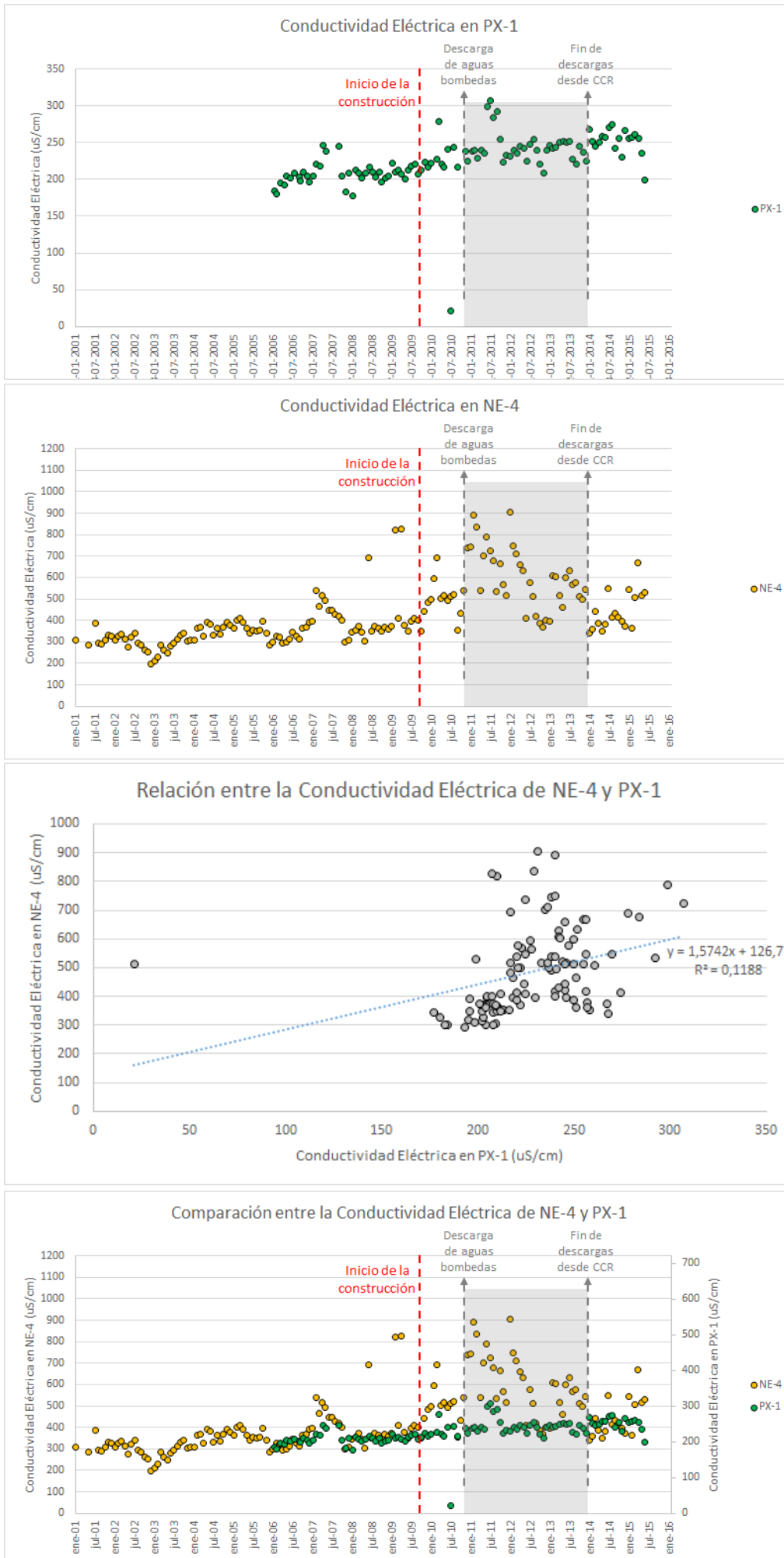


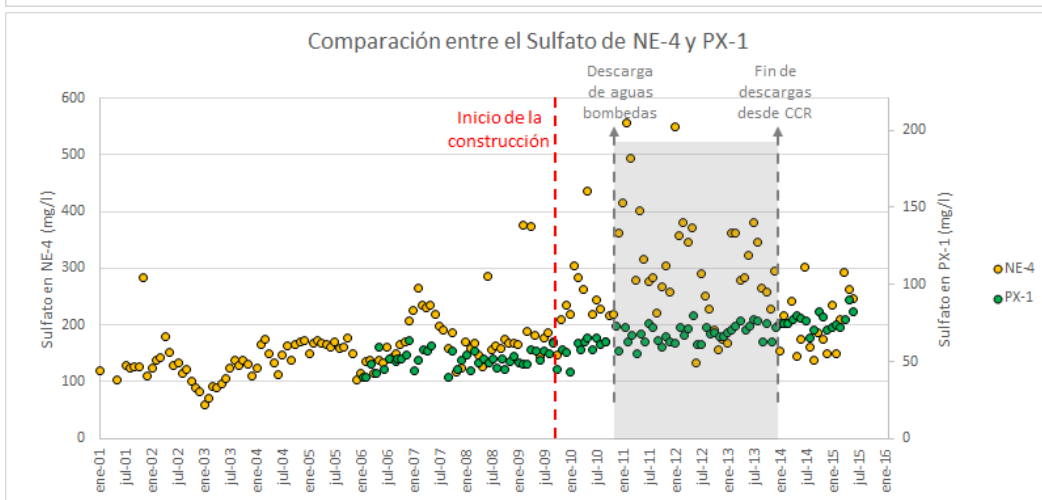
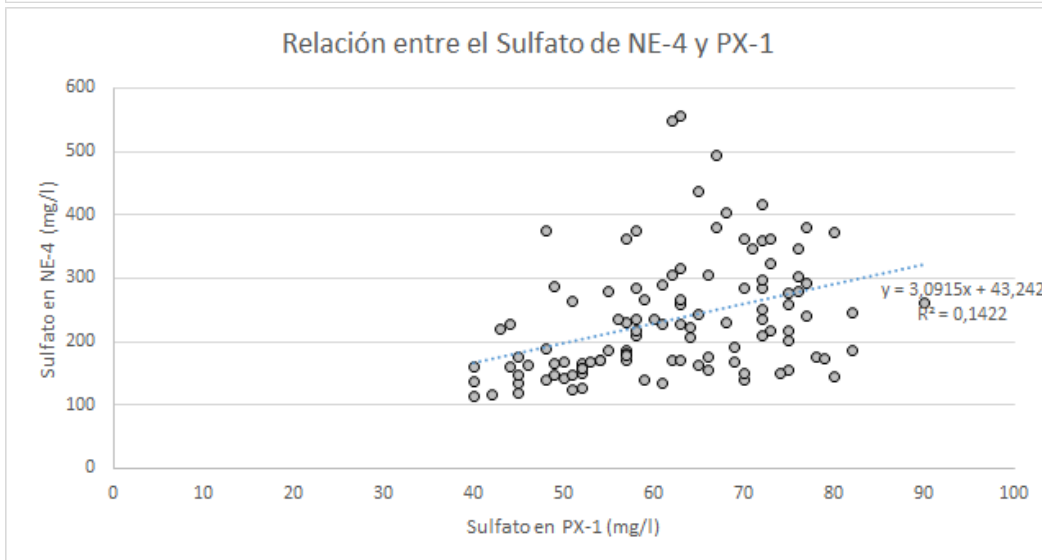
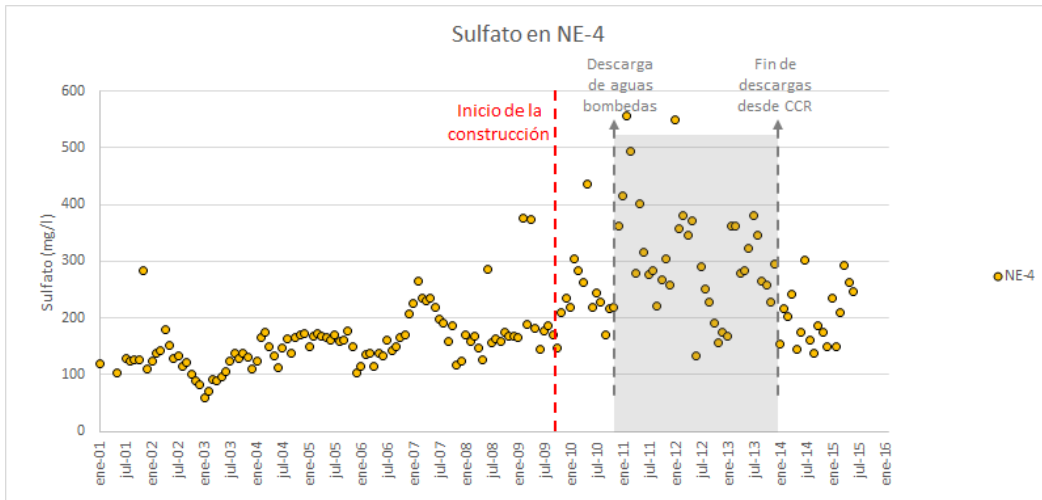
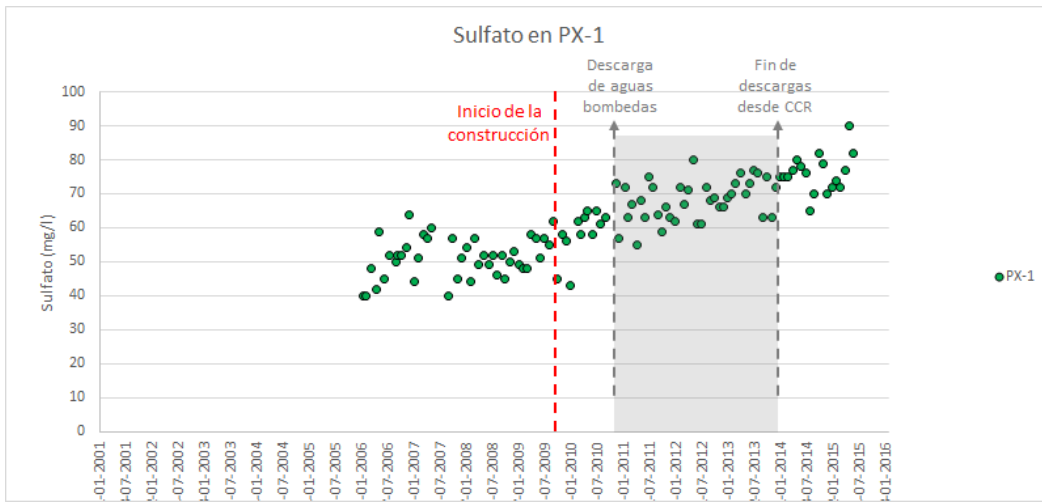


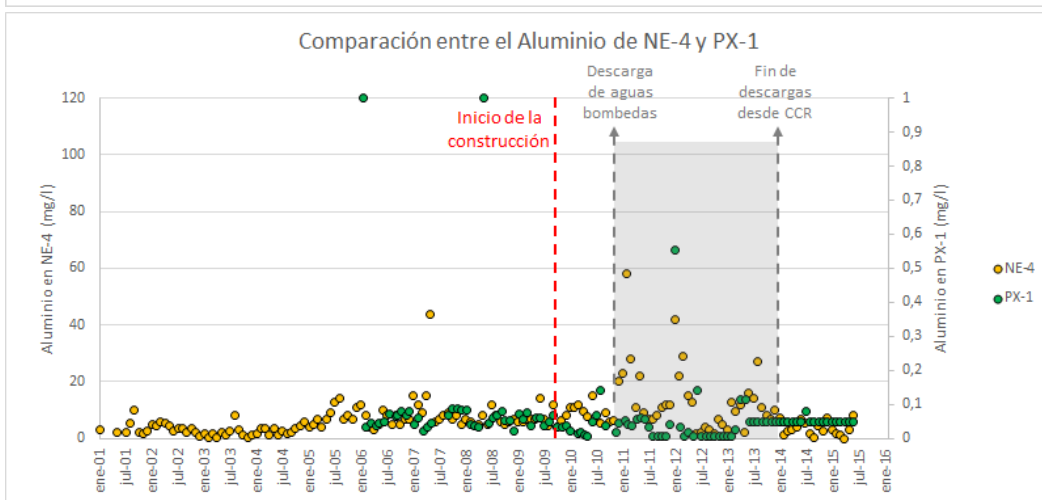
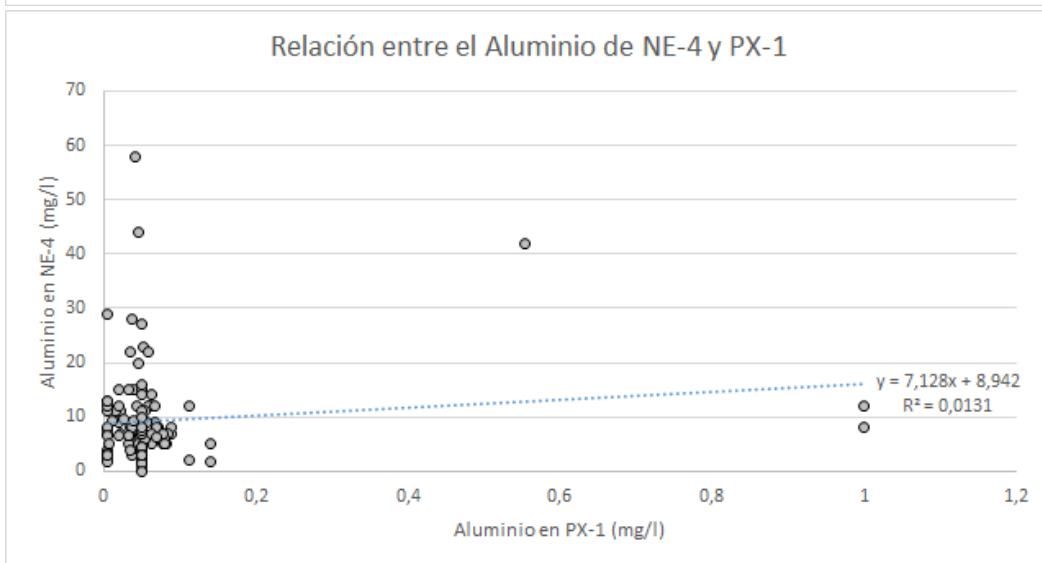
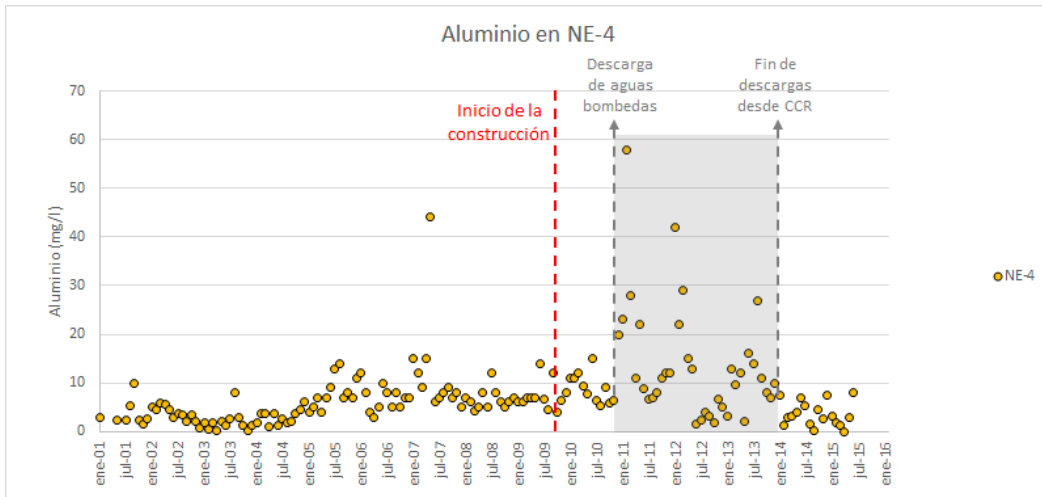
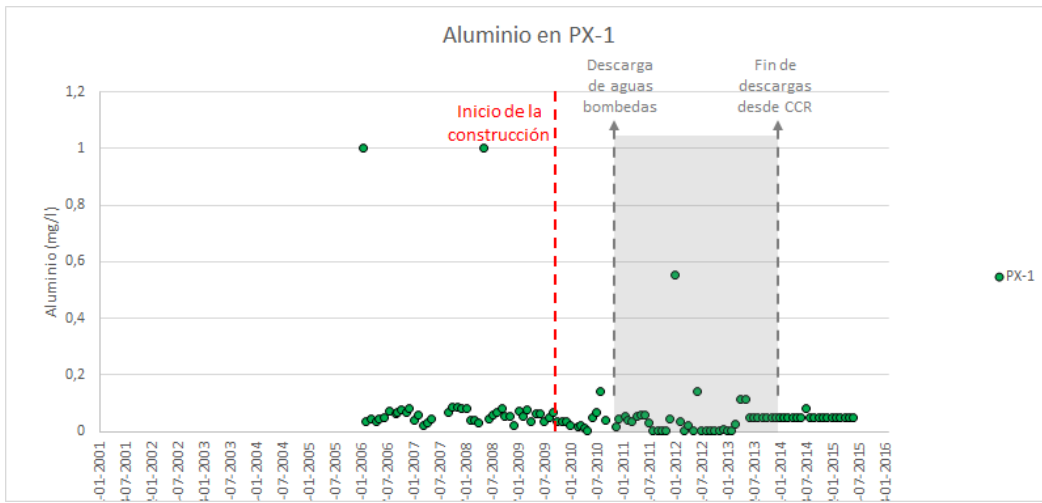


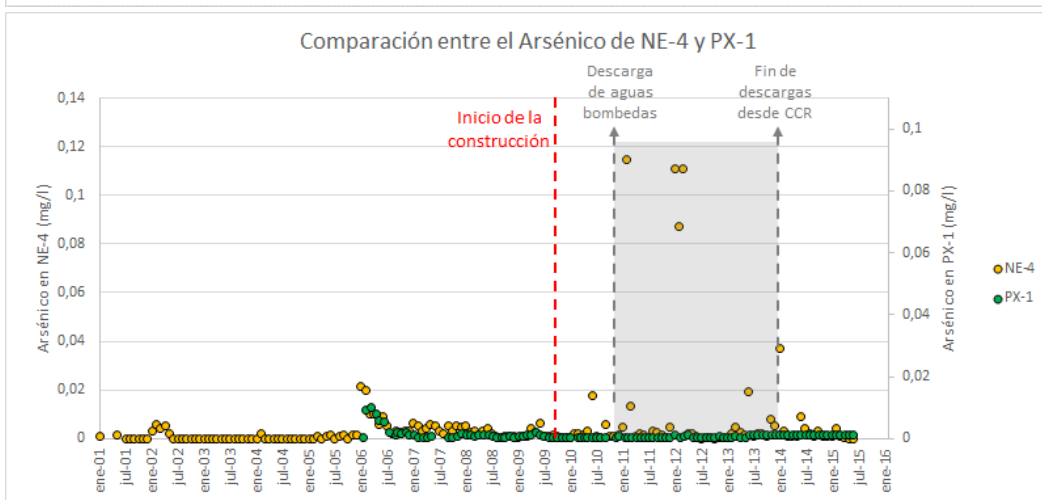
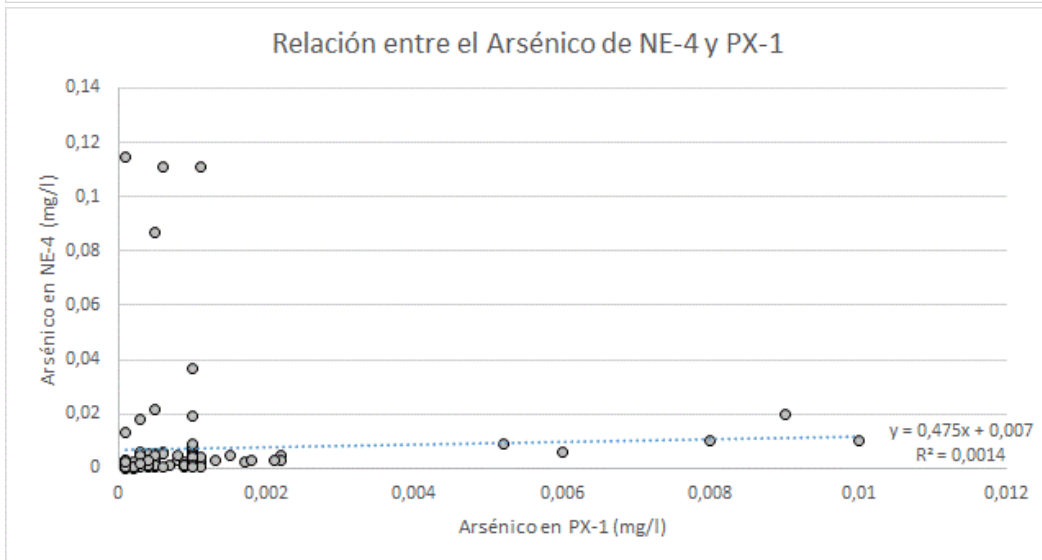
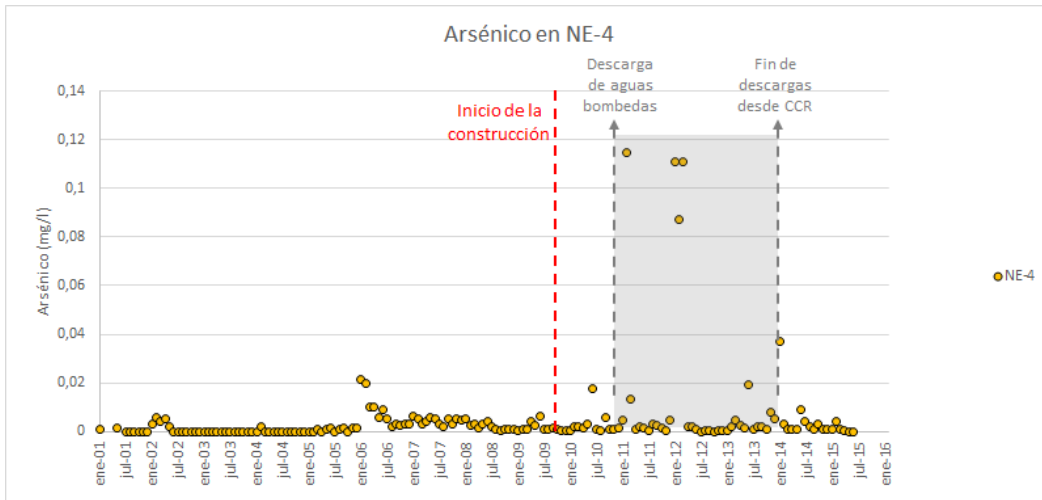
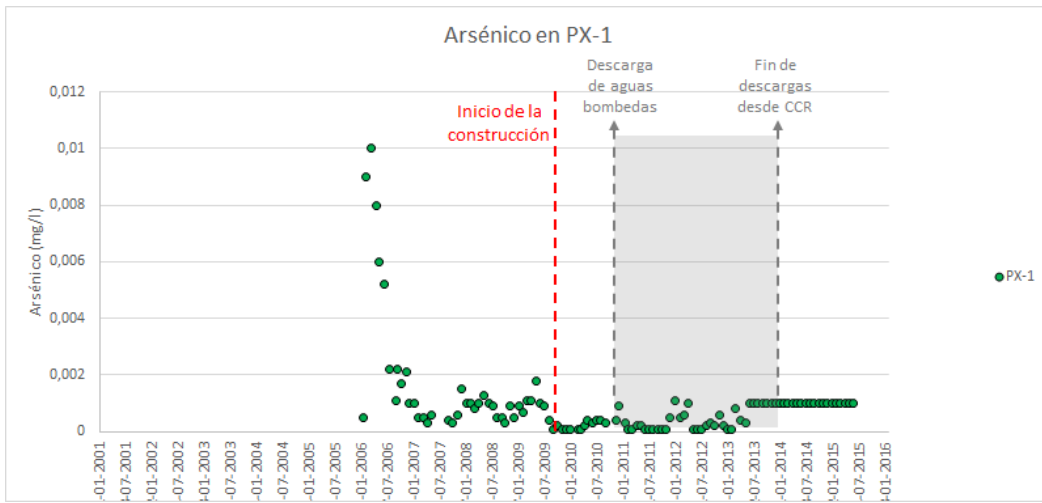


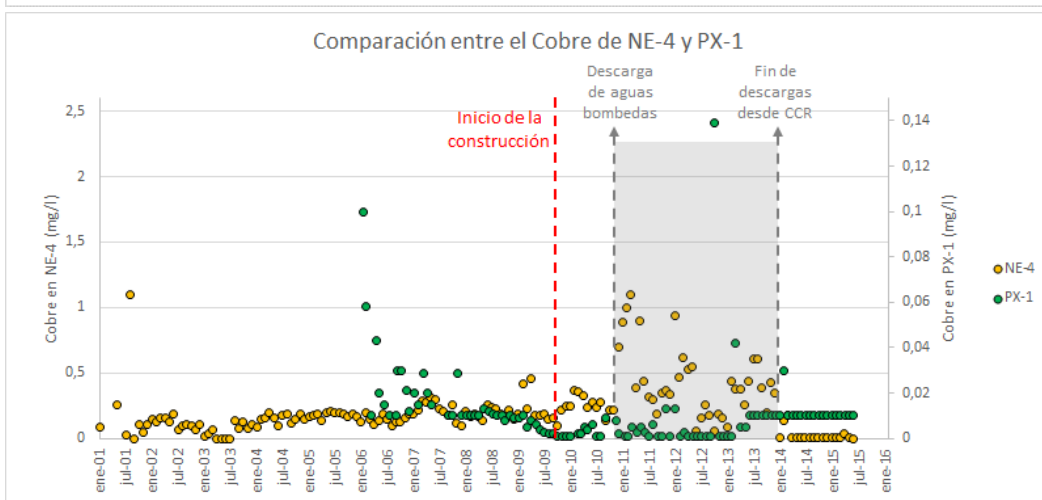
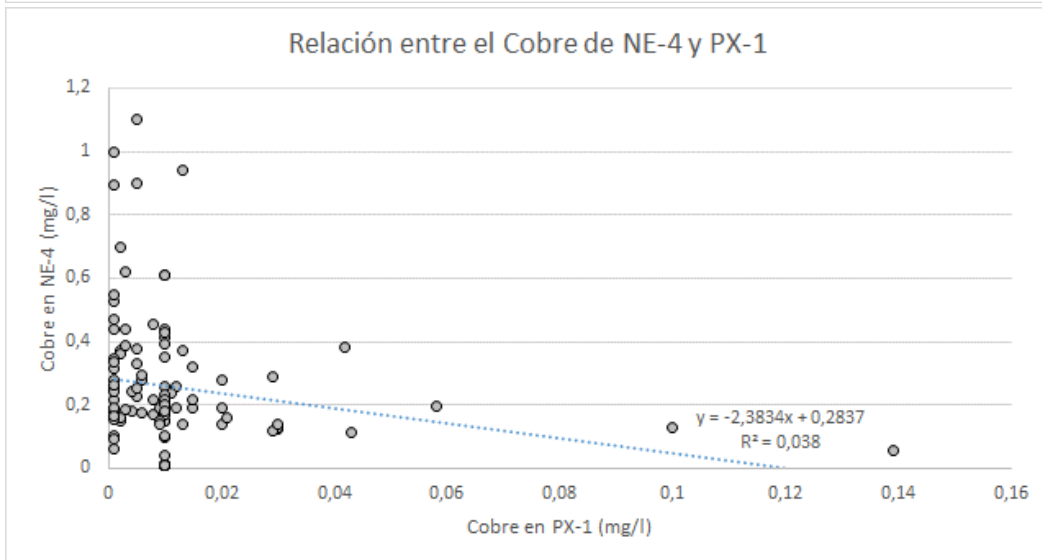
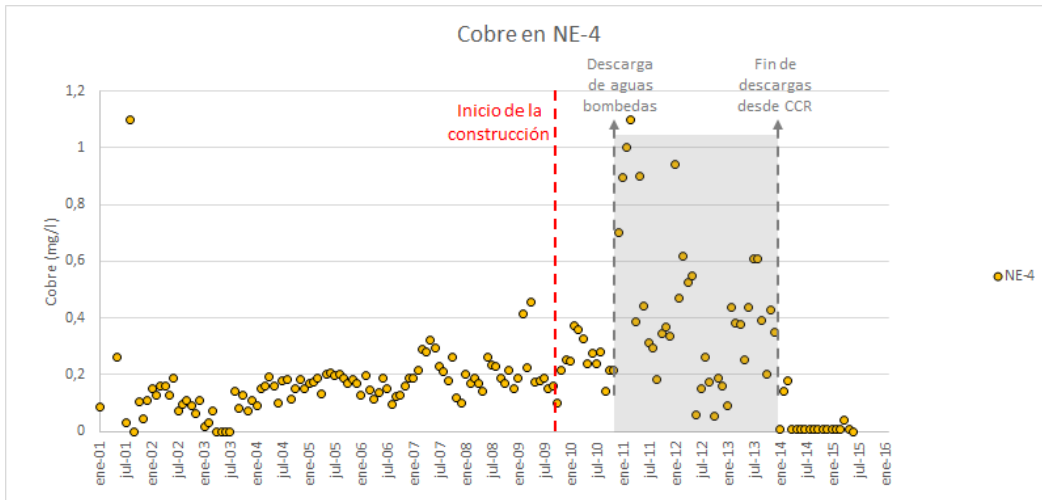
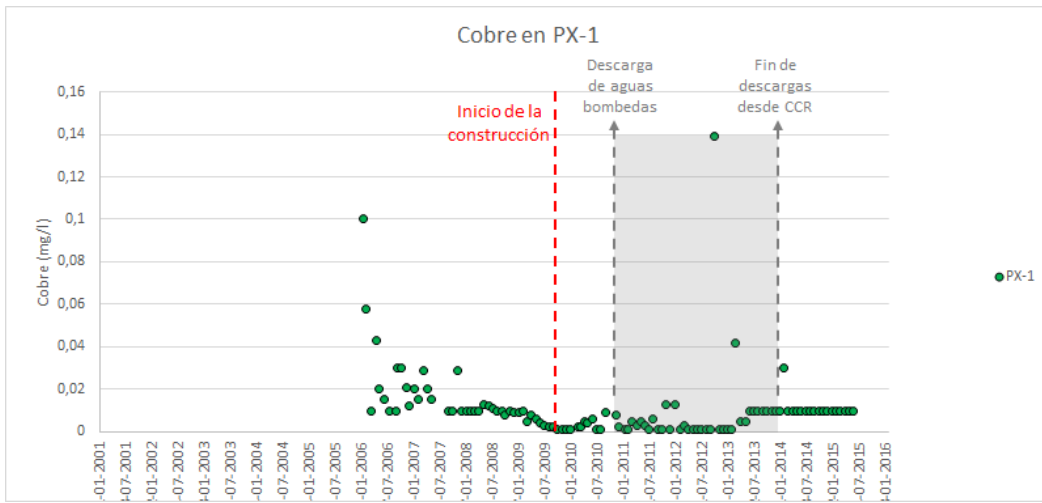
6. Comparación entre PX-1 (Quebrada Agua de la Falda) y NE-4

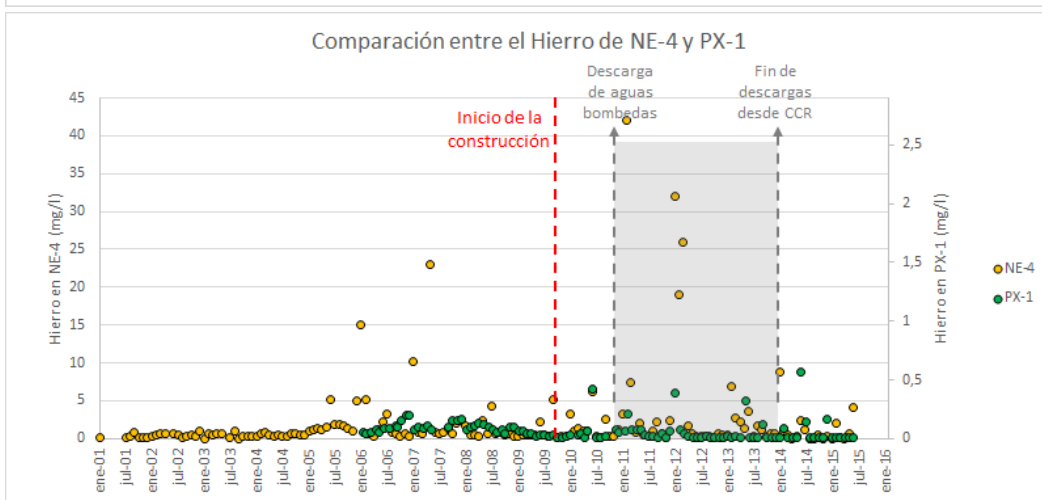
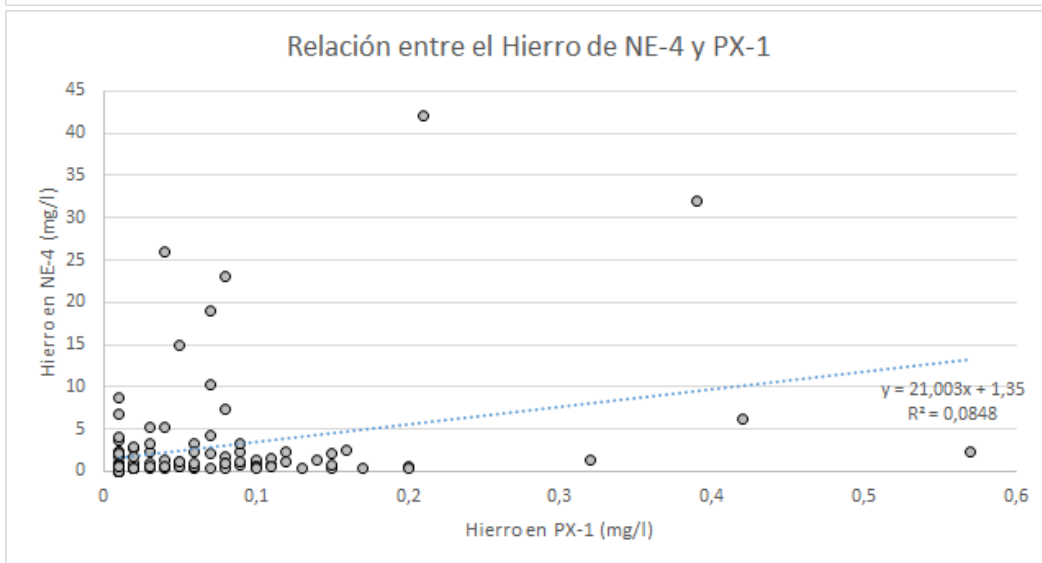
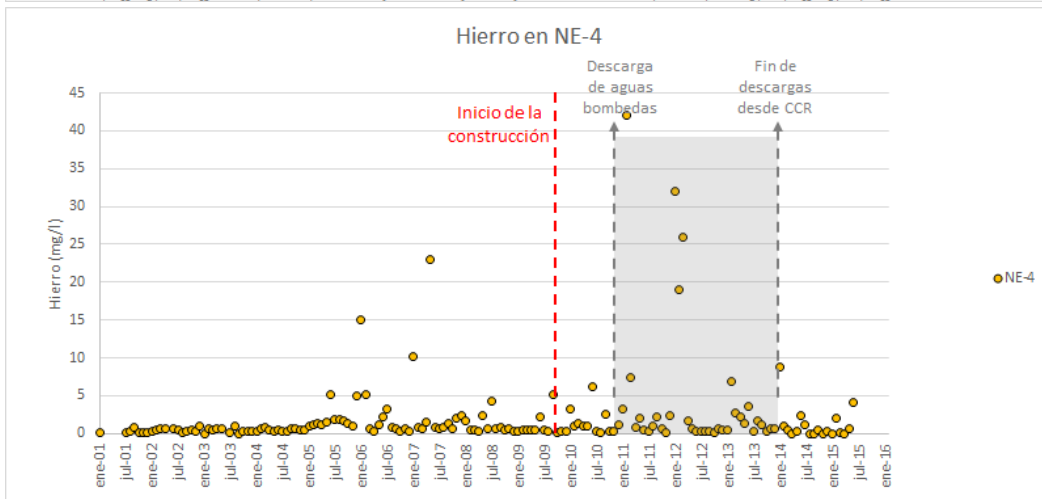
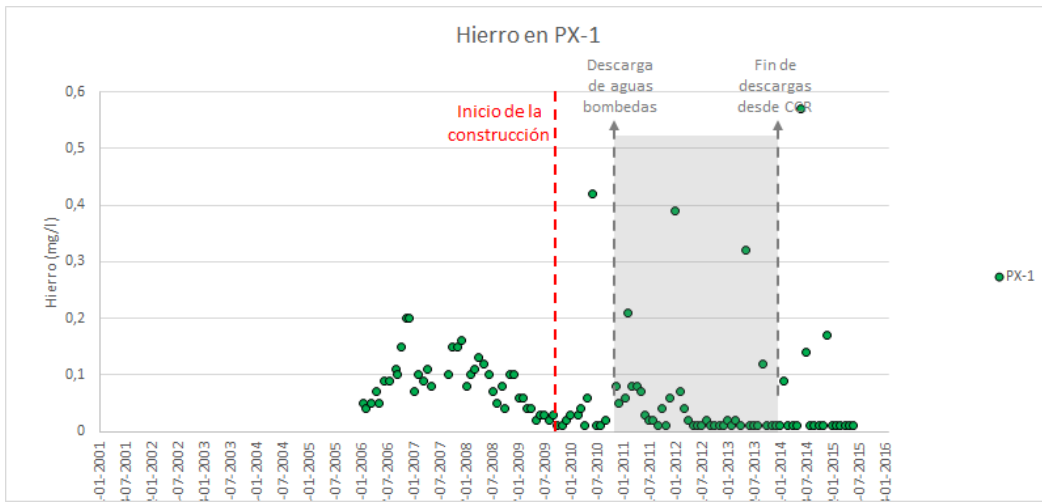


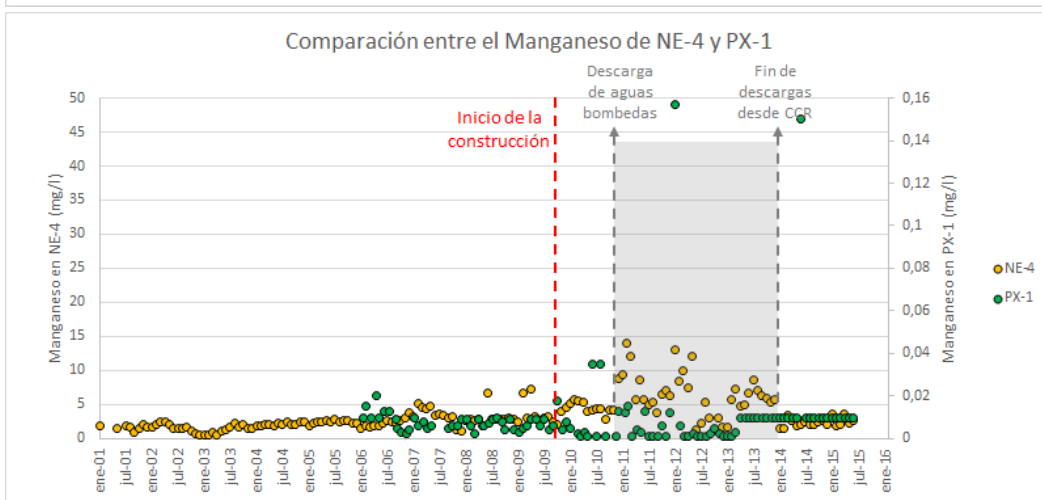
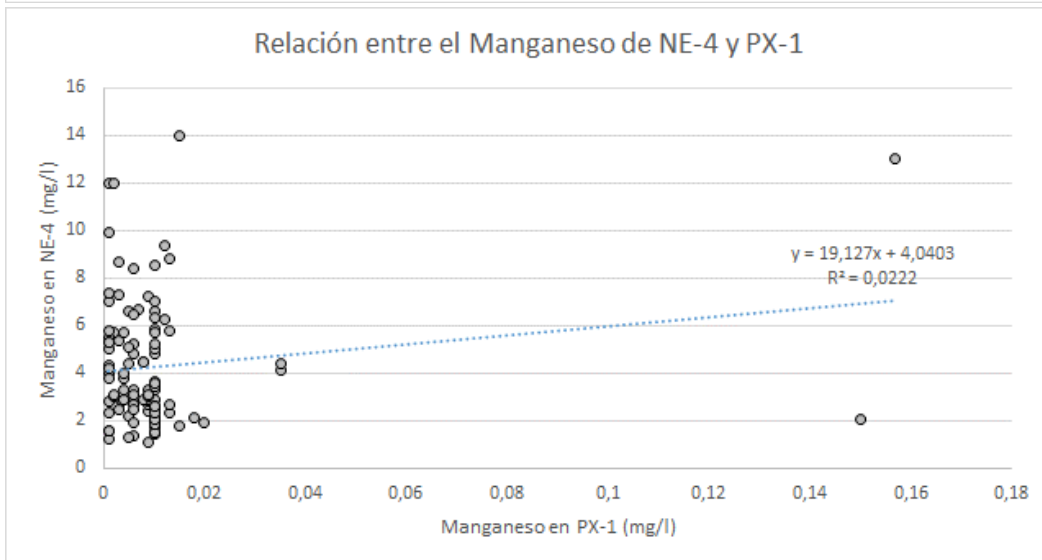
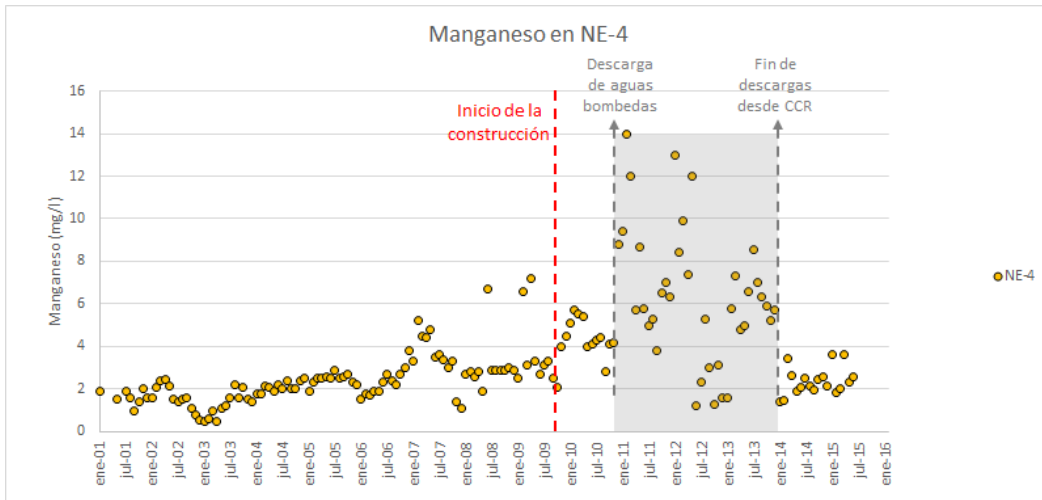
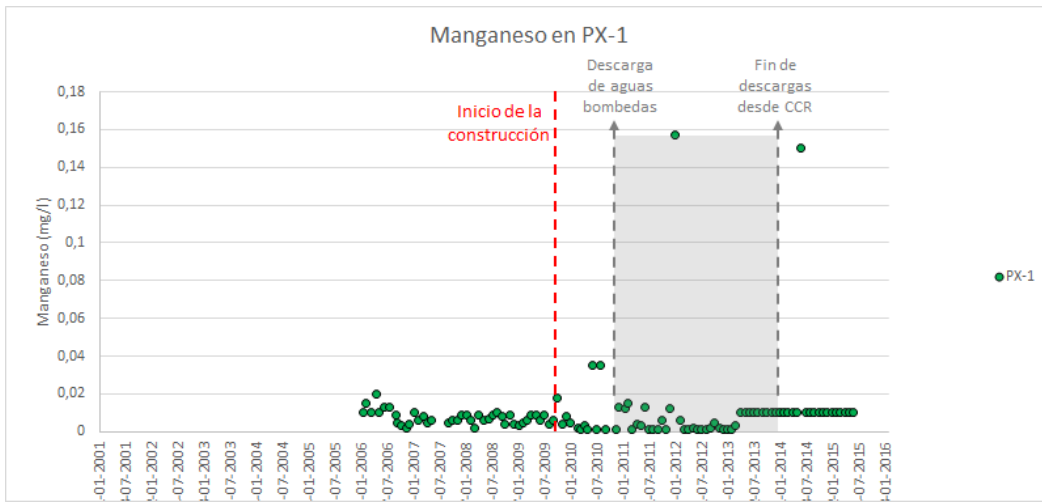


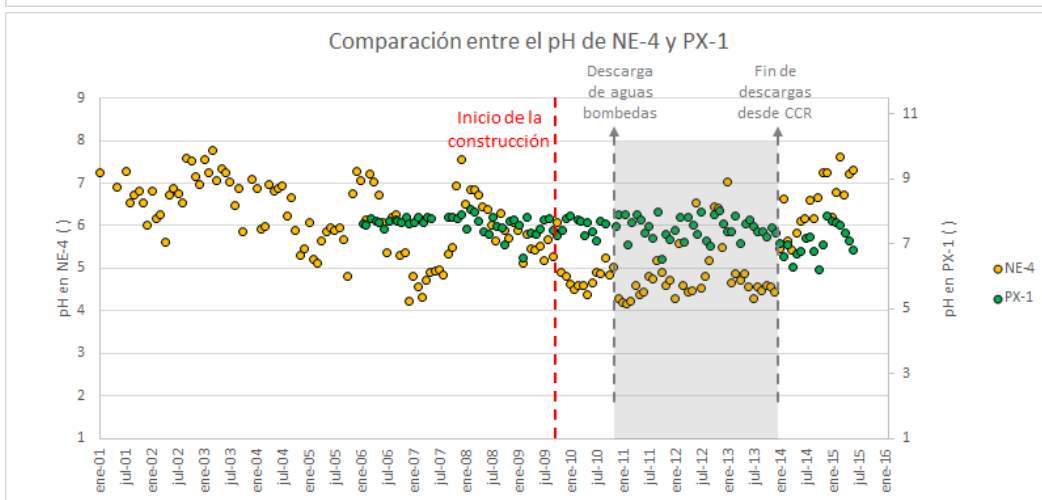
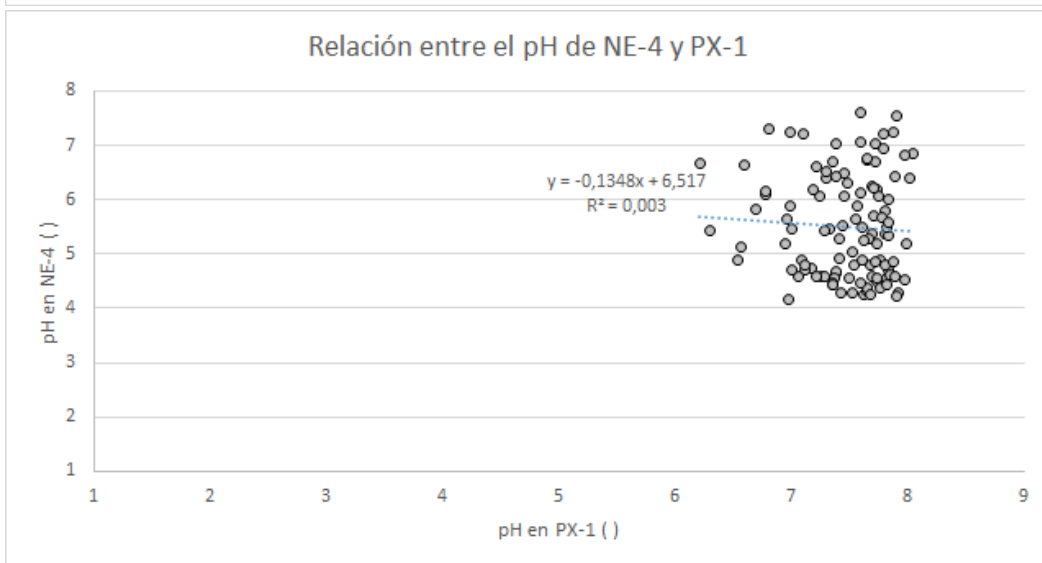
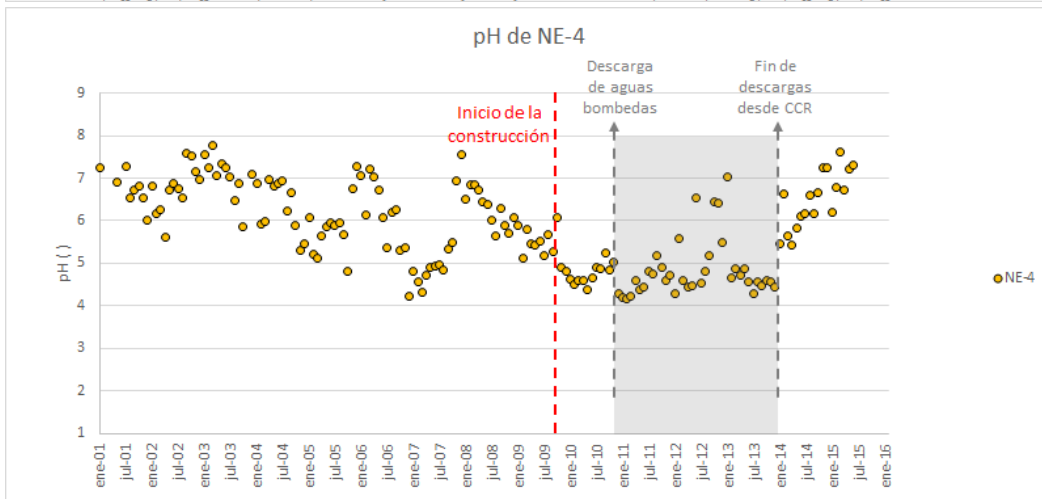
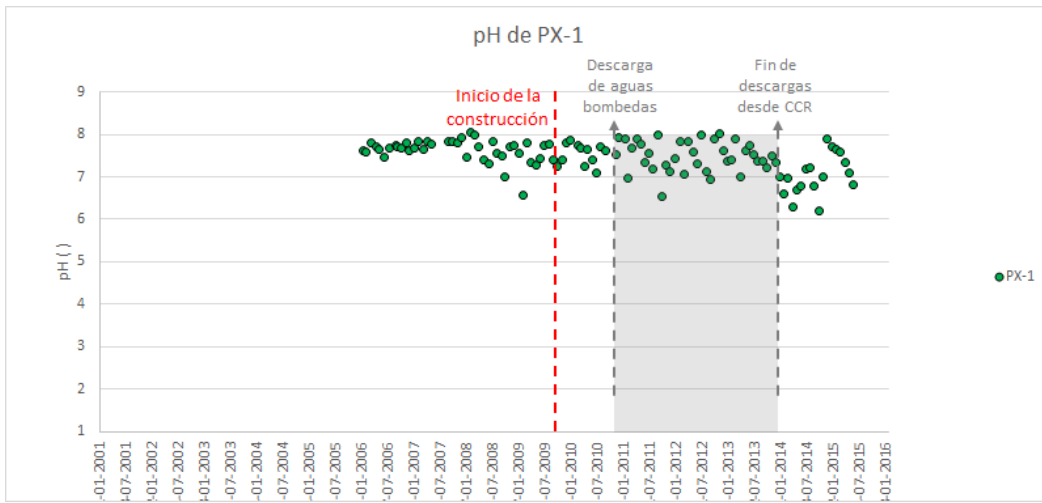


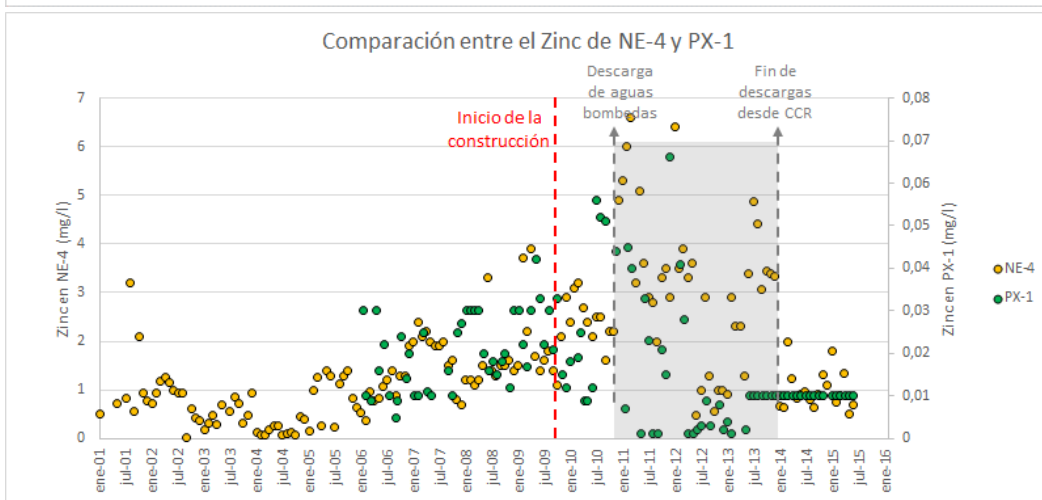
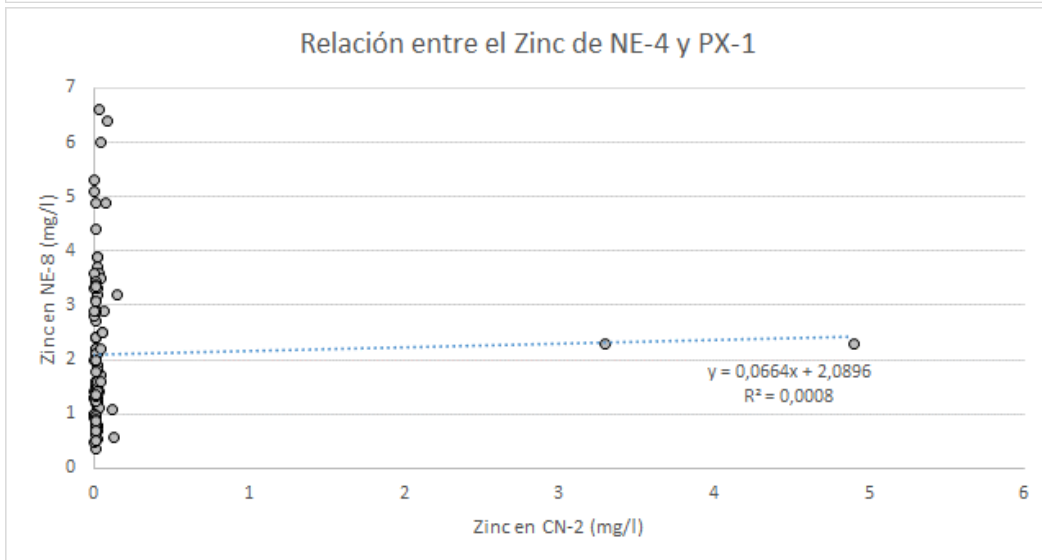
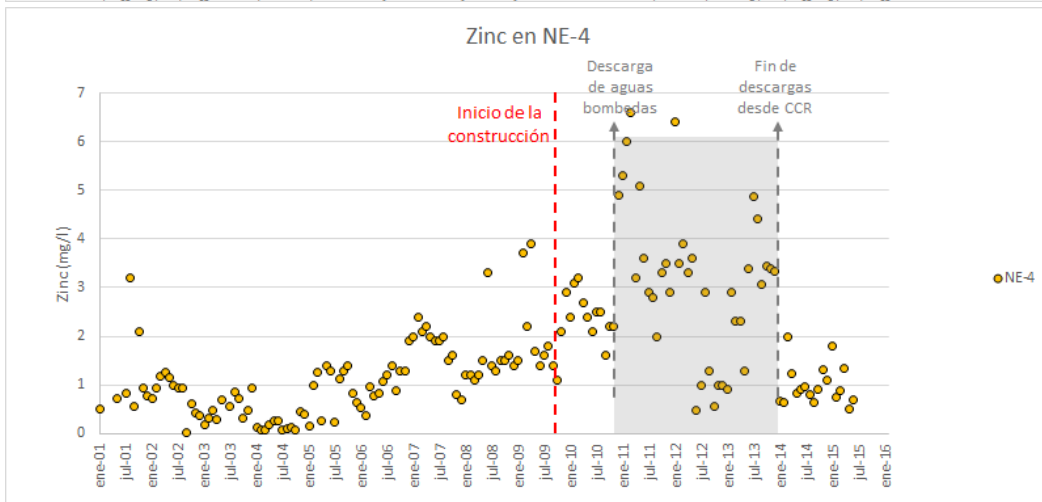
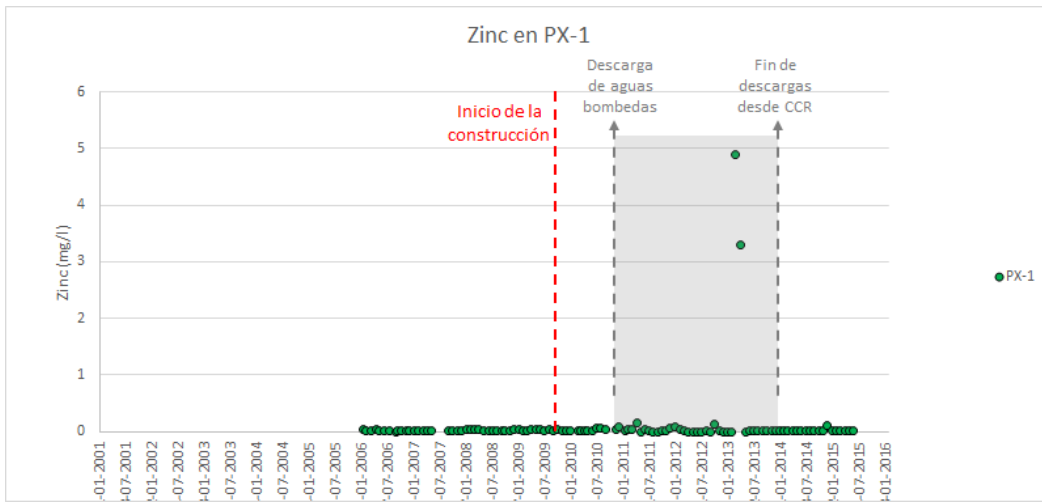




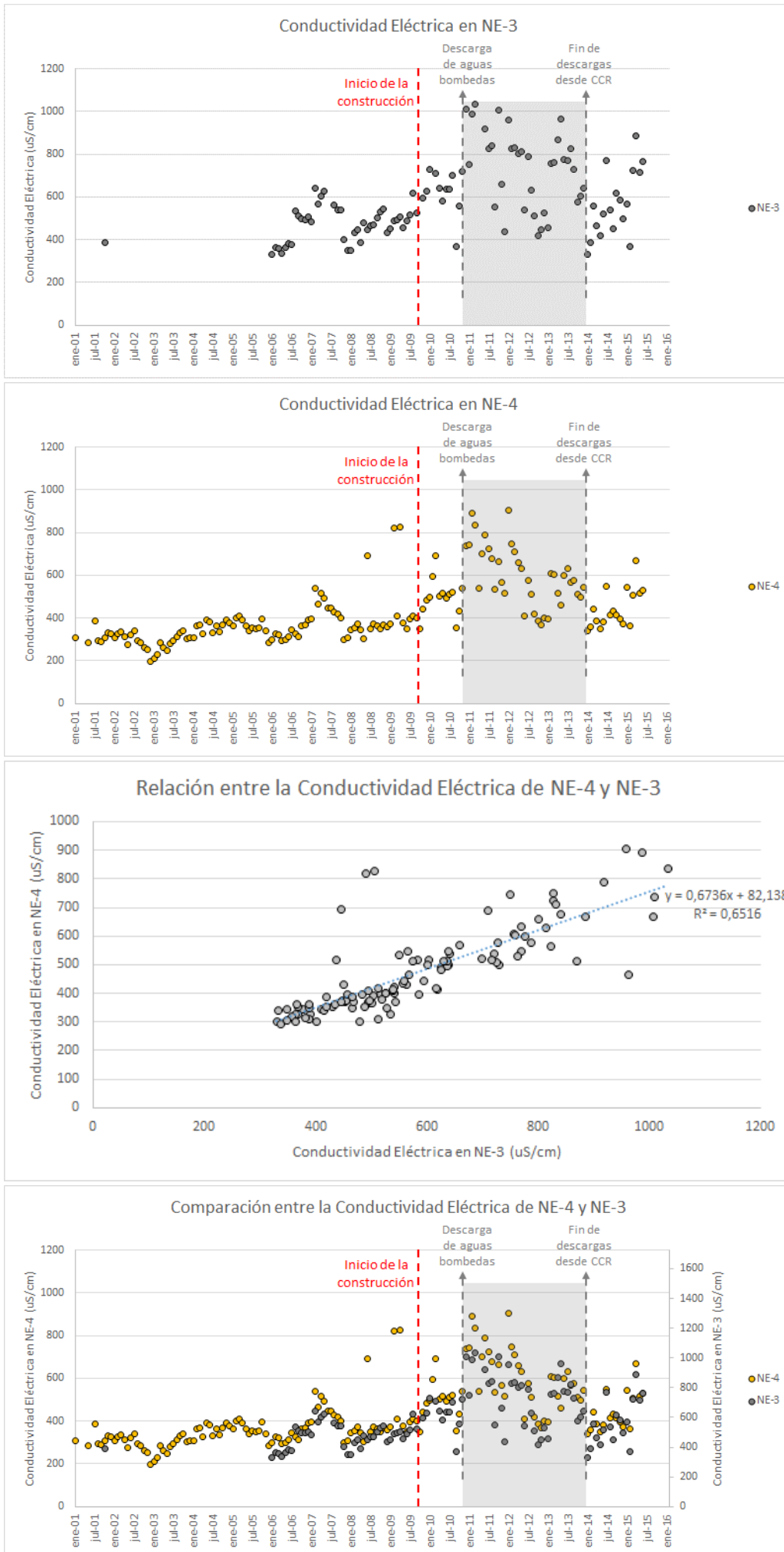


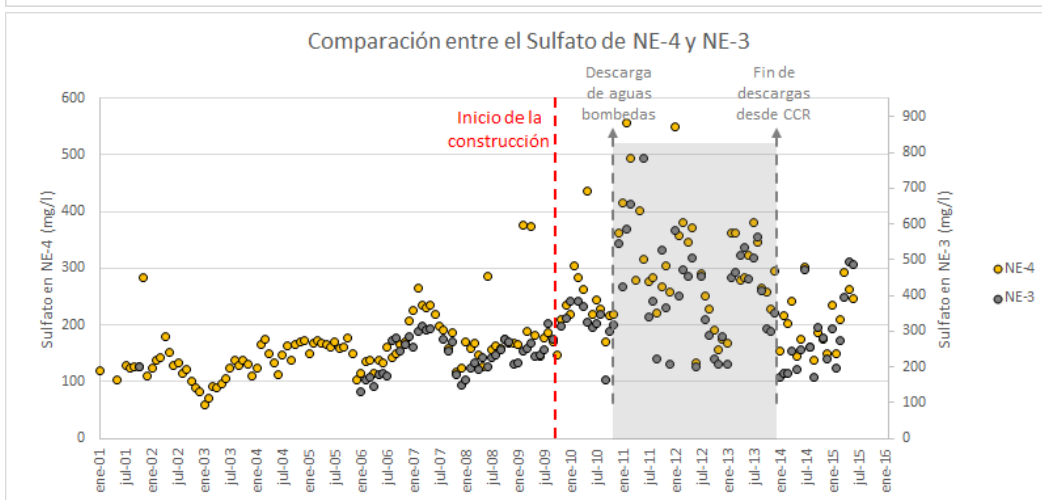
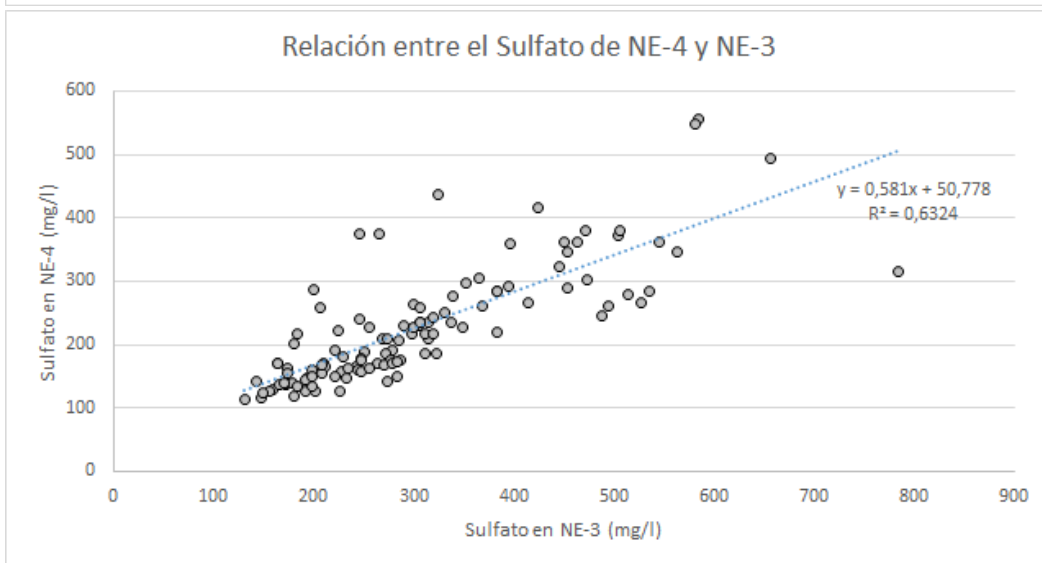
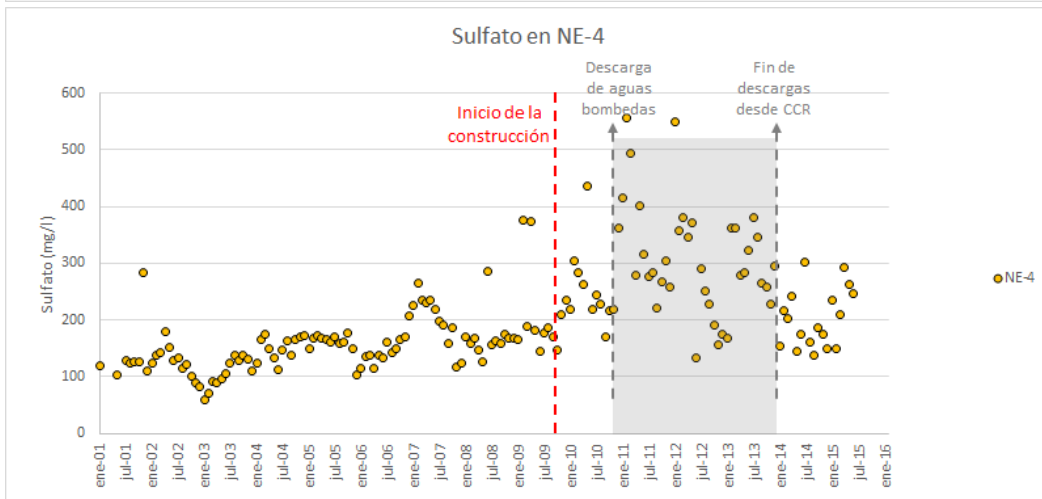
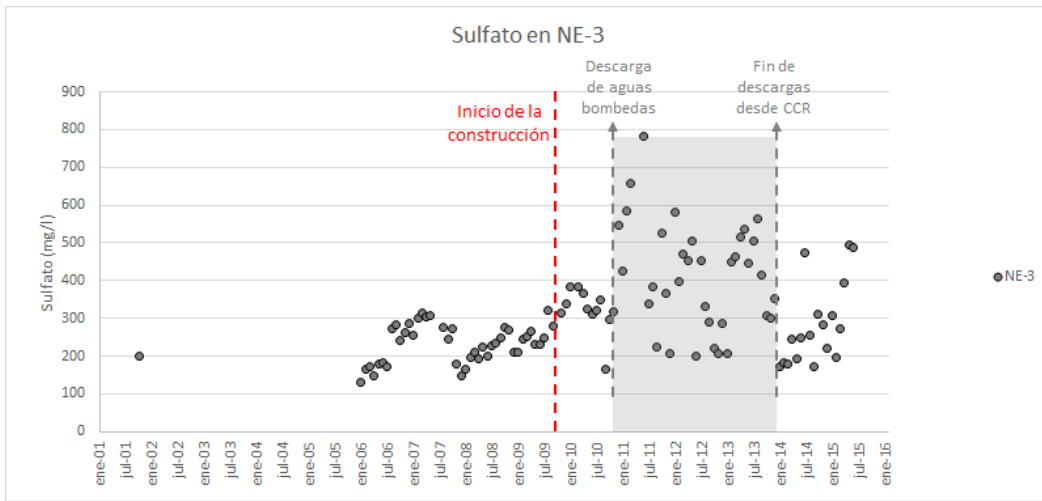


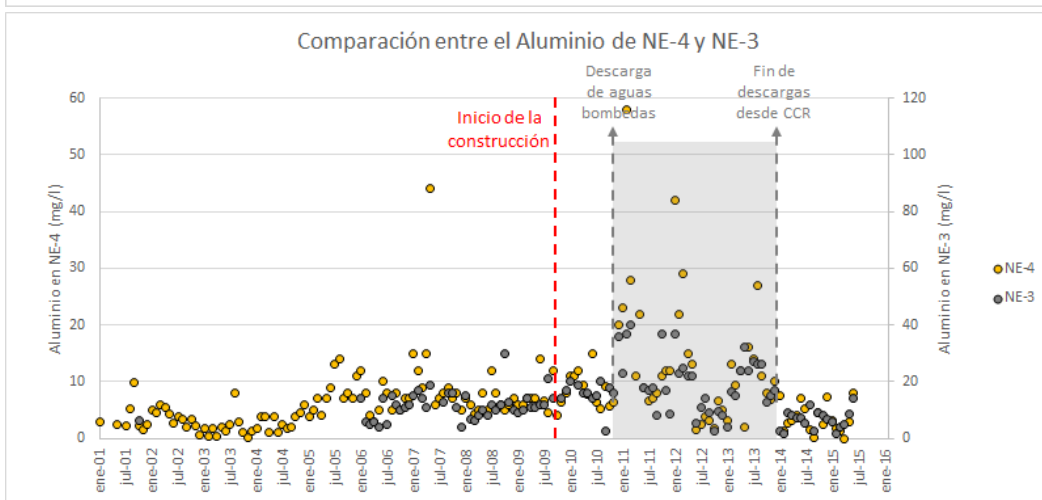
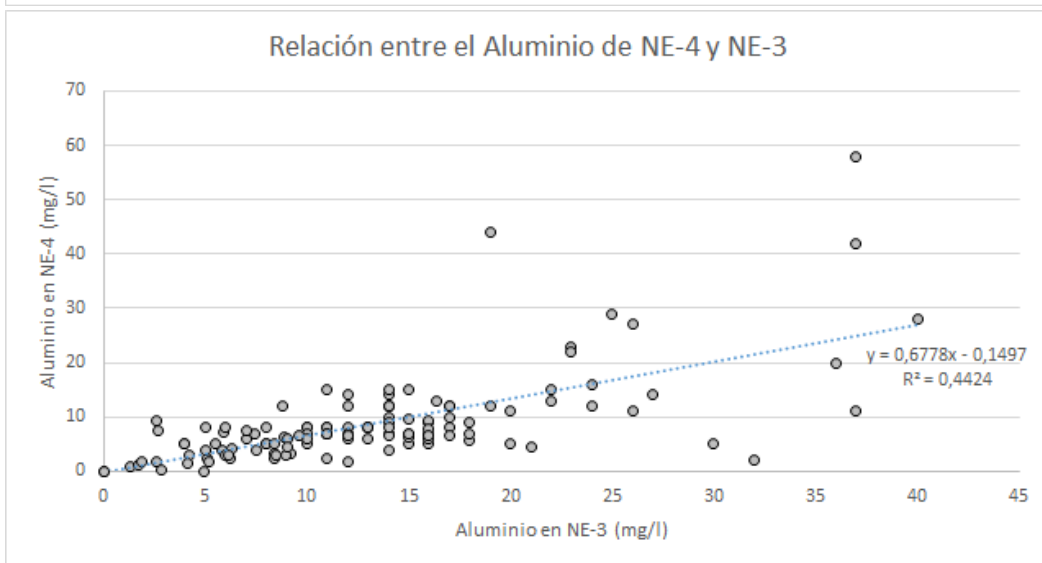
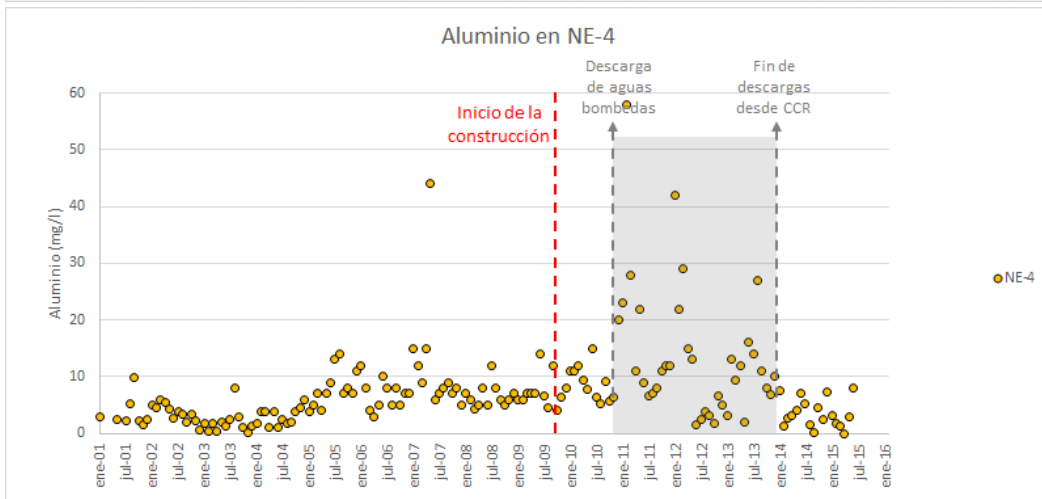
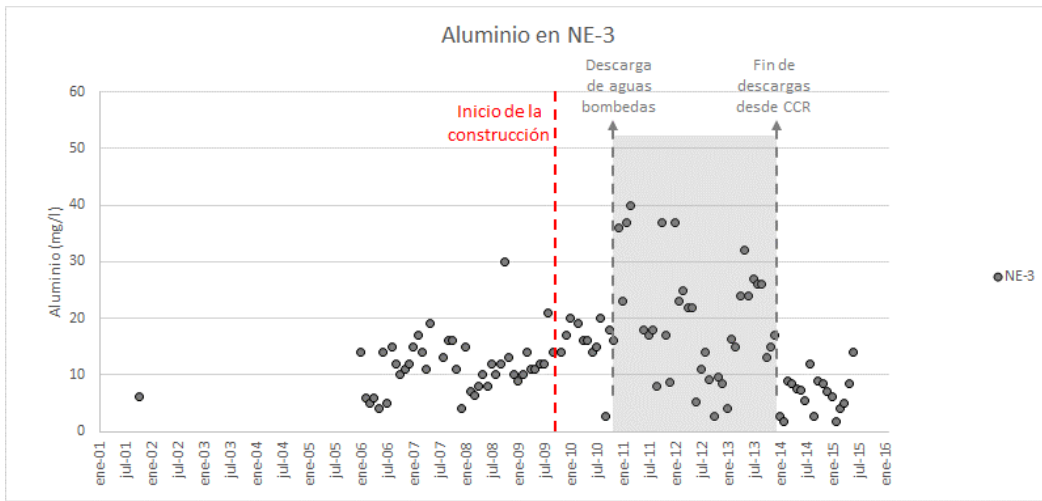


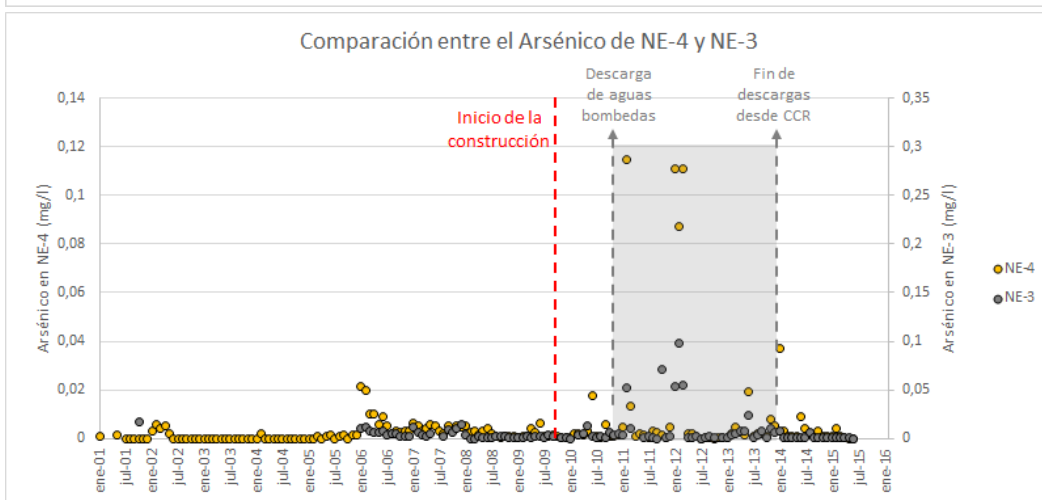
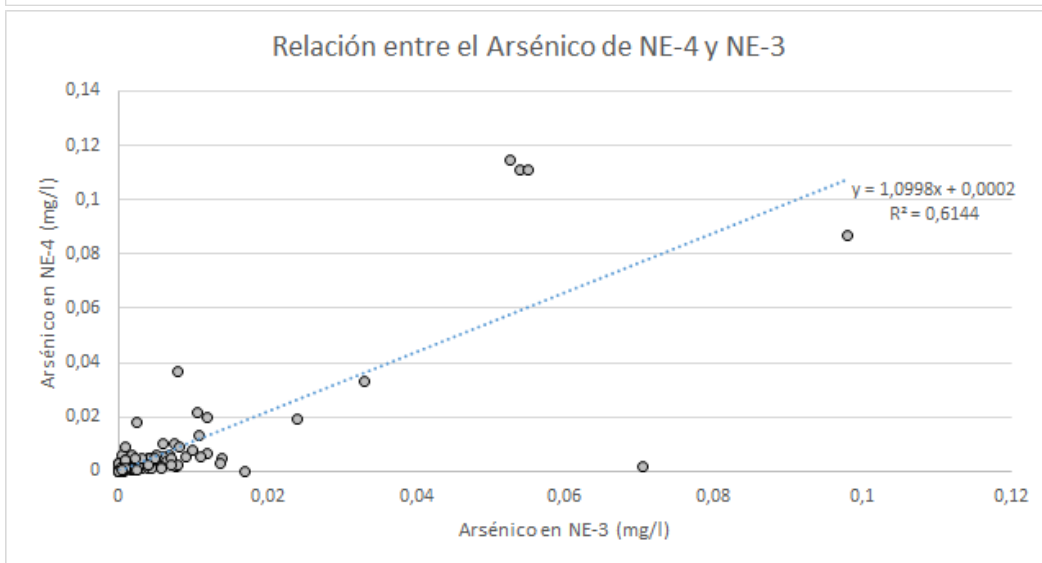
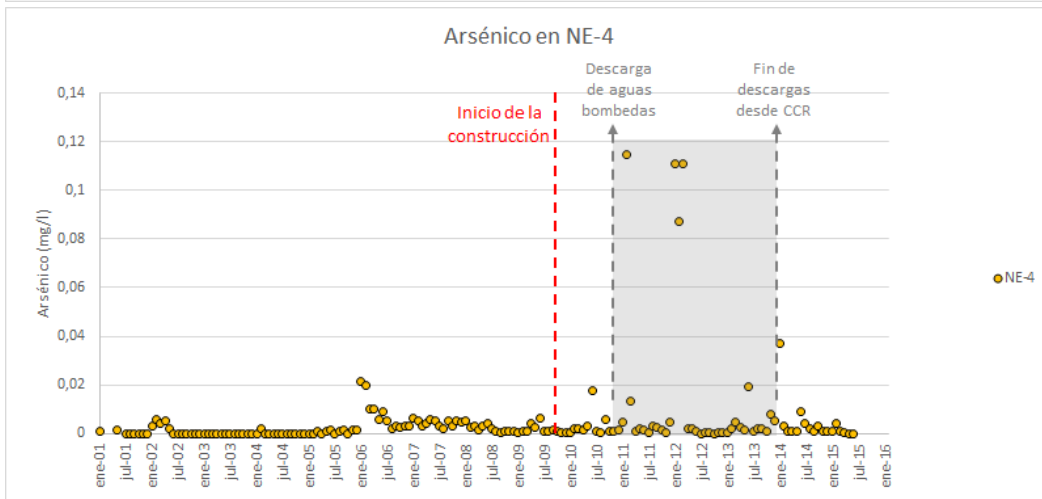
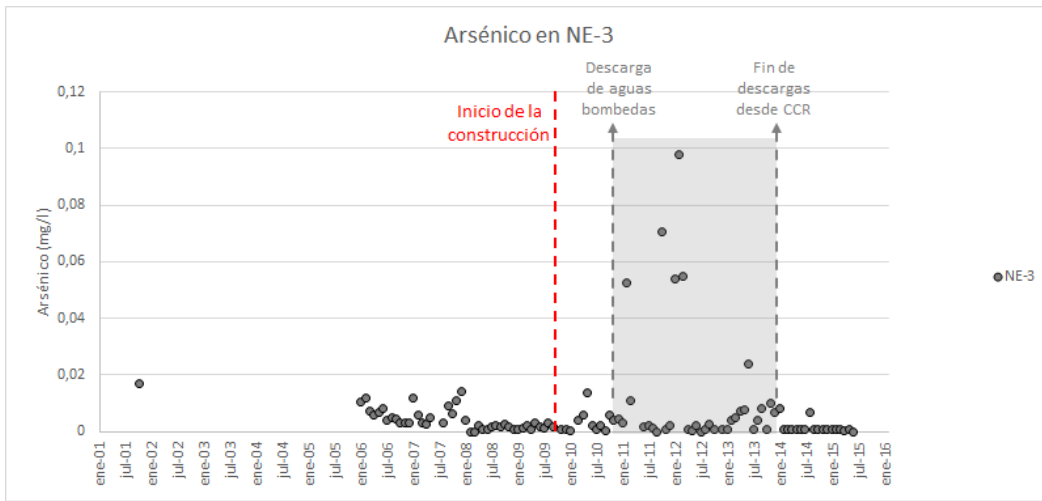


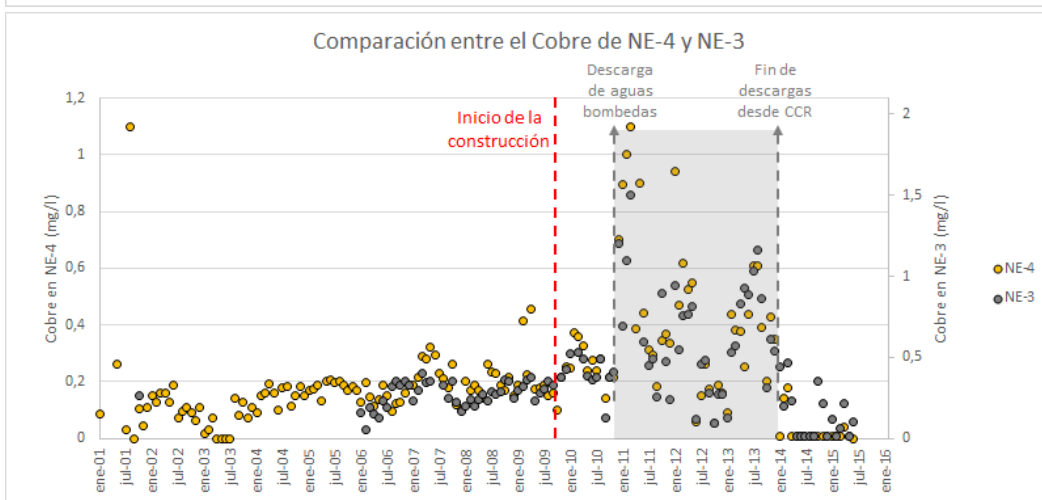
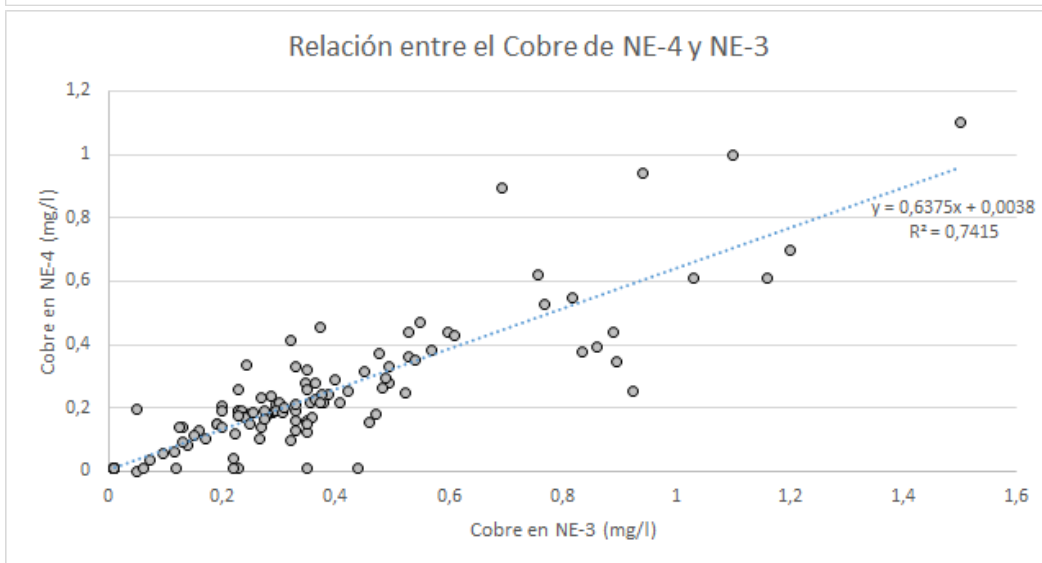
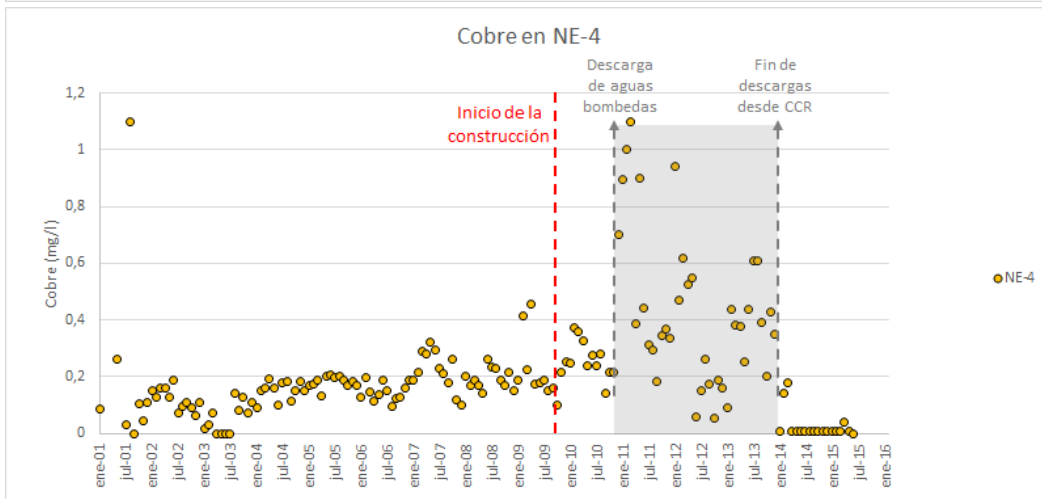
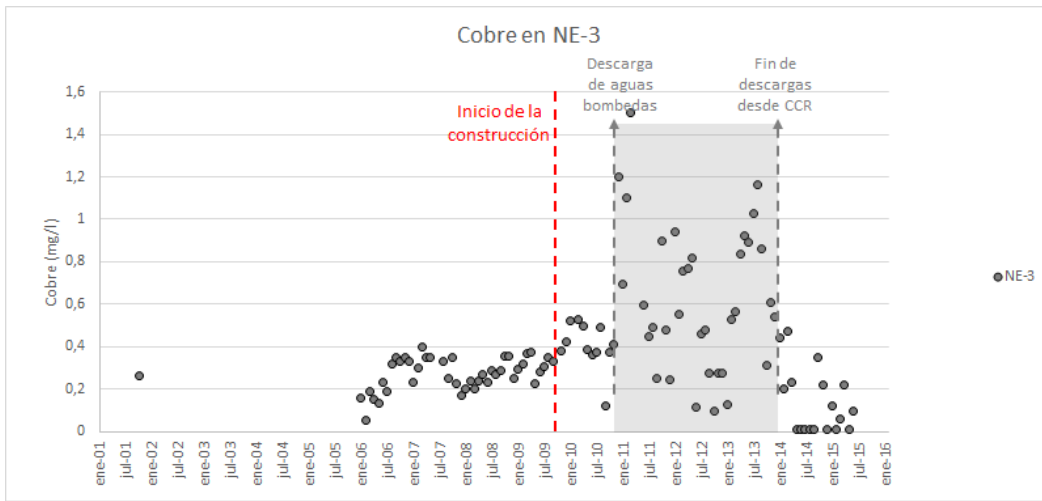
7. Comparación entre NE-3 y NE-4

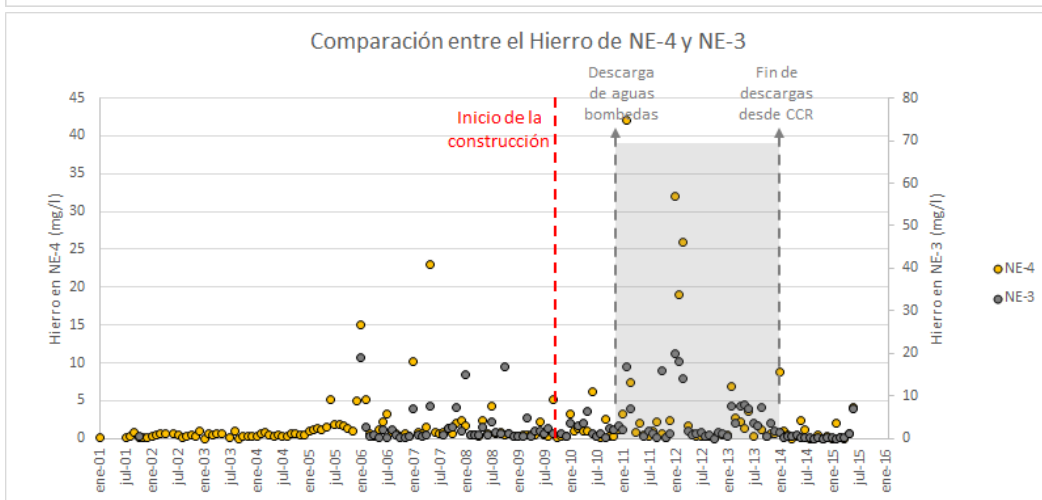
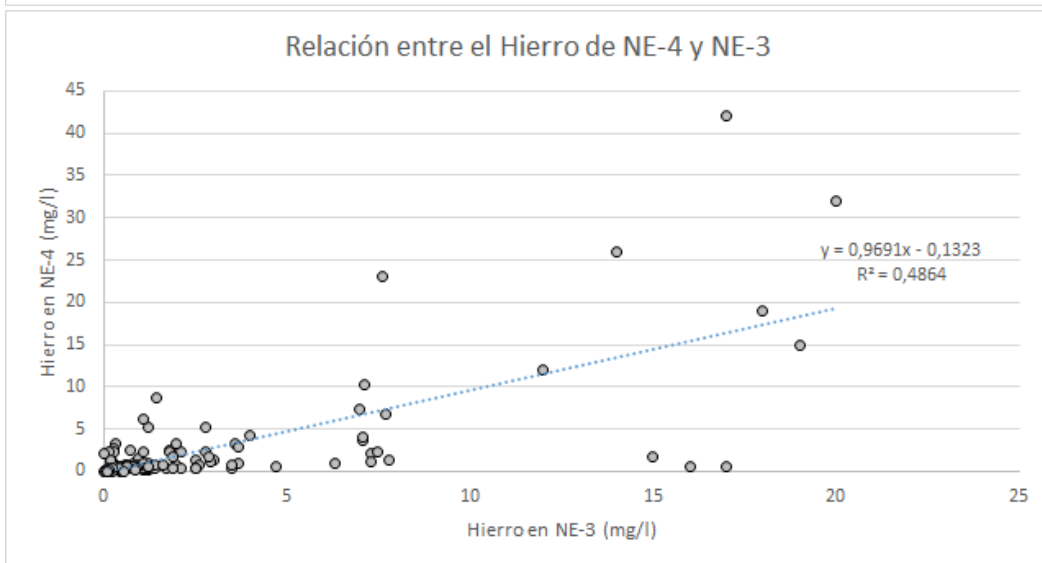
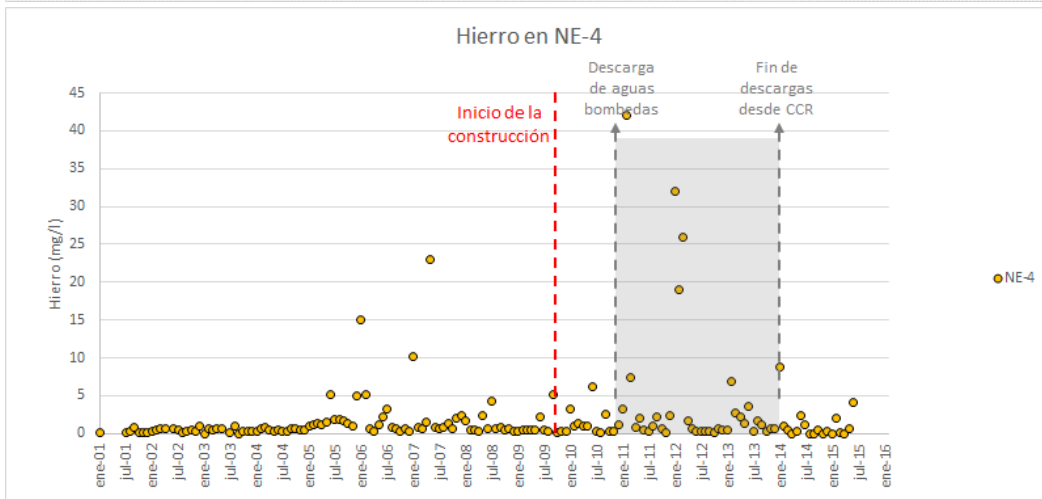
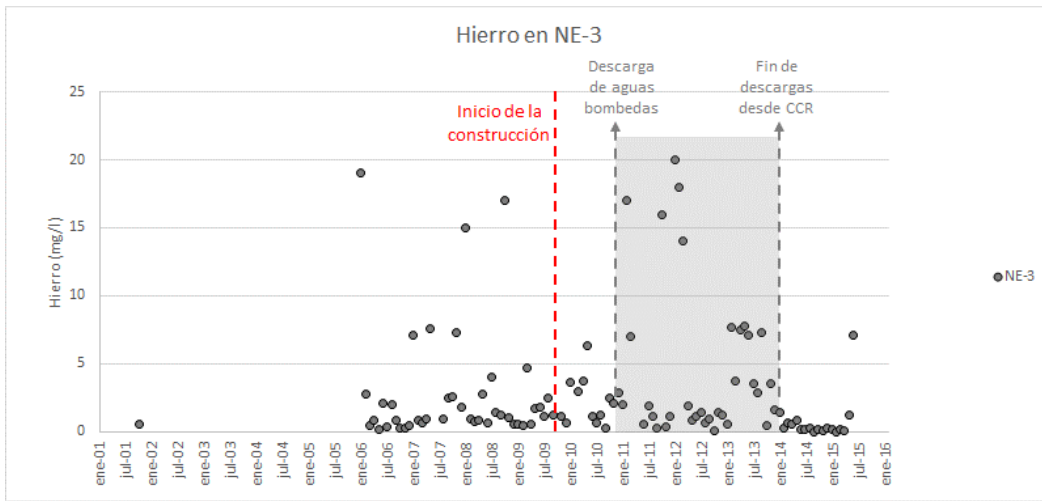


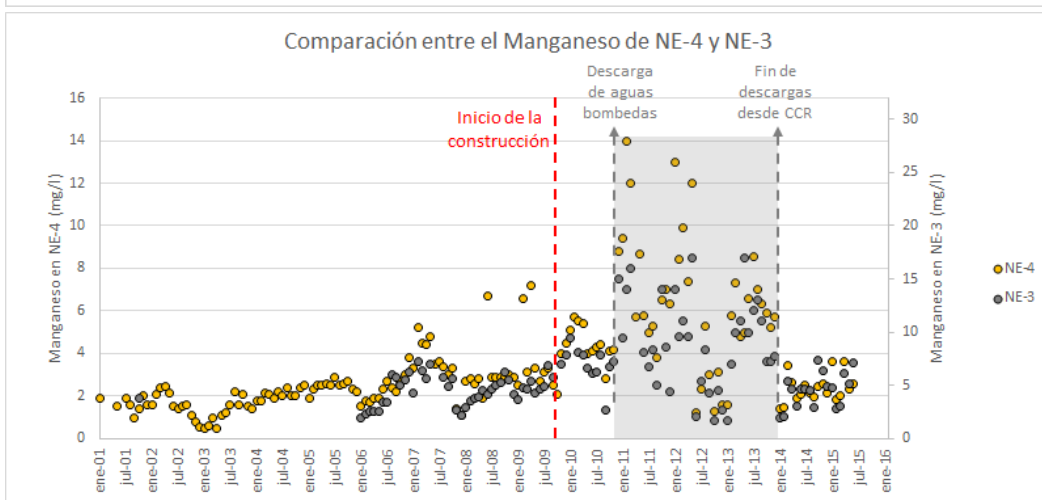
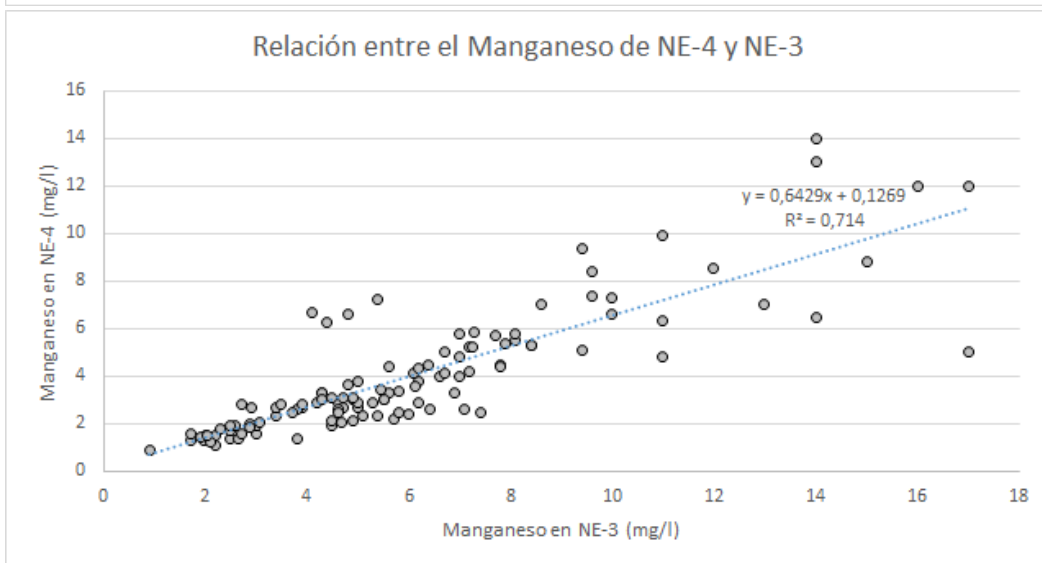
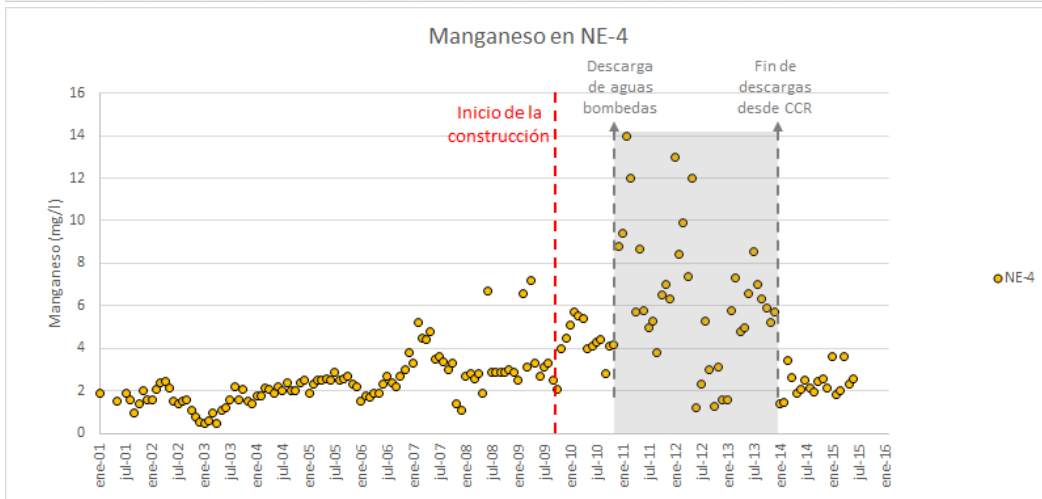
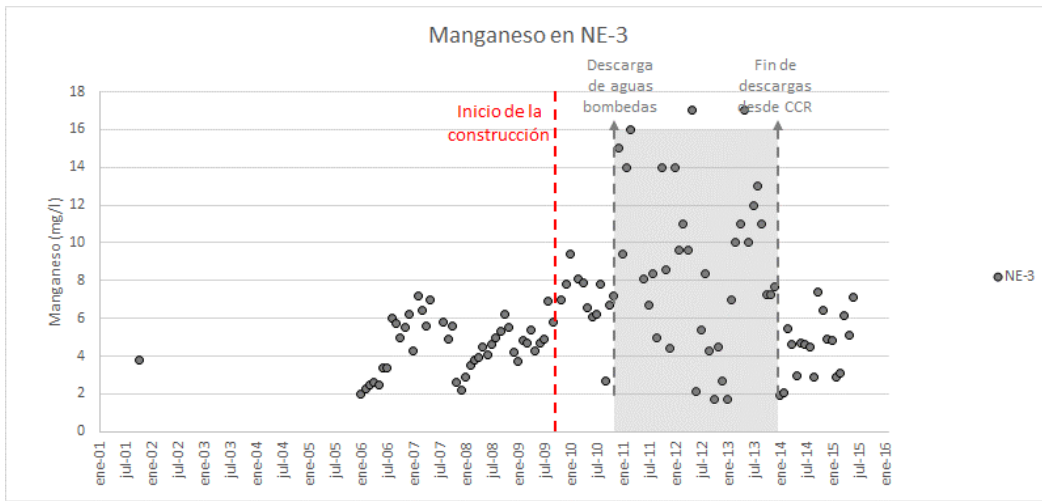


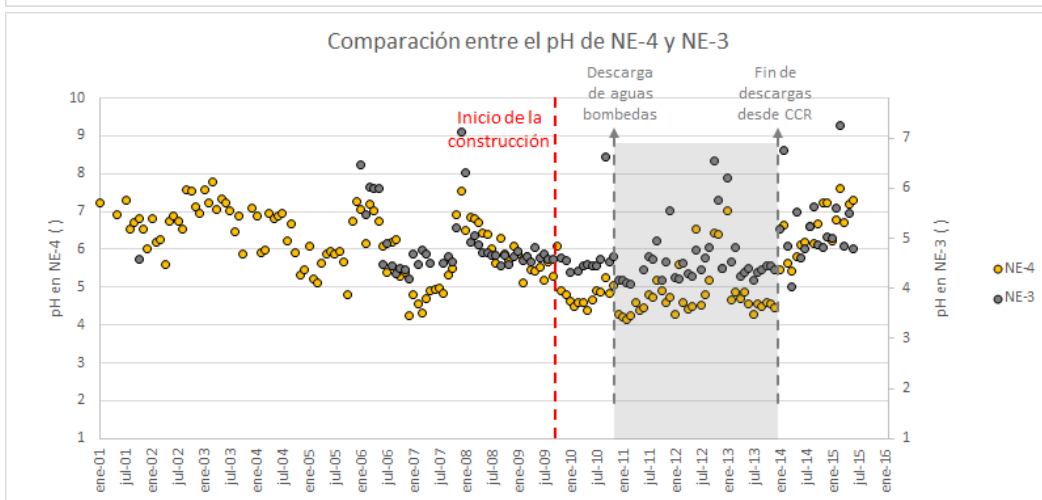
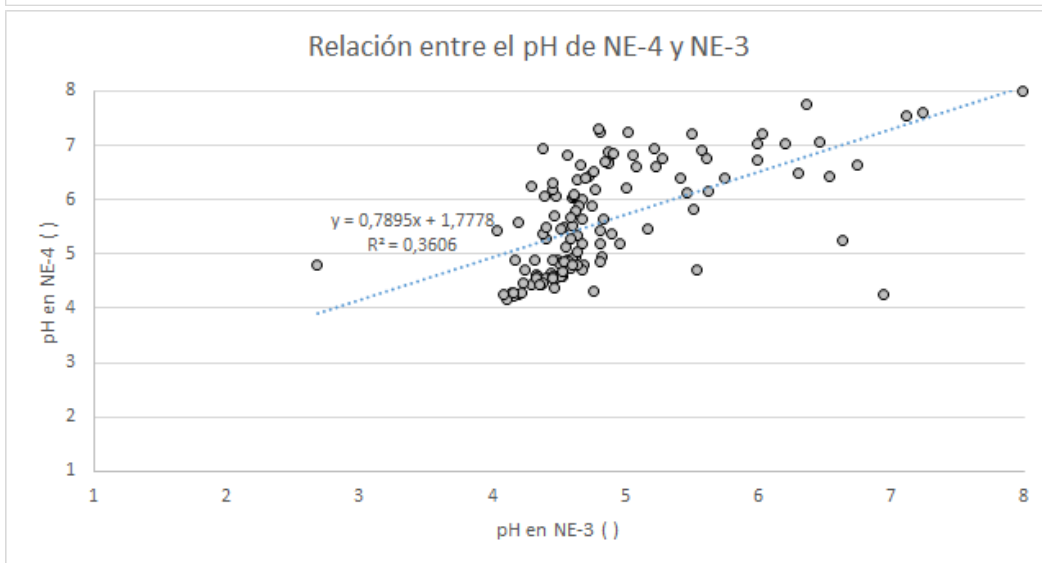
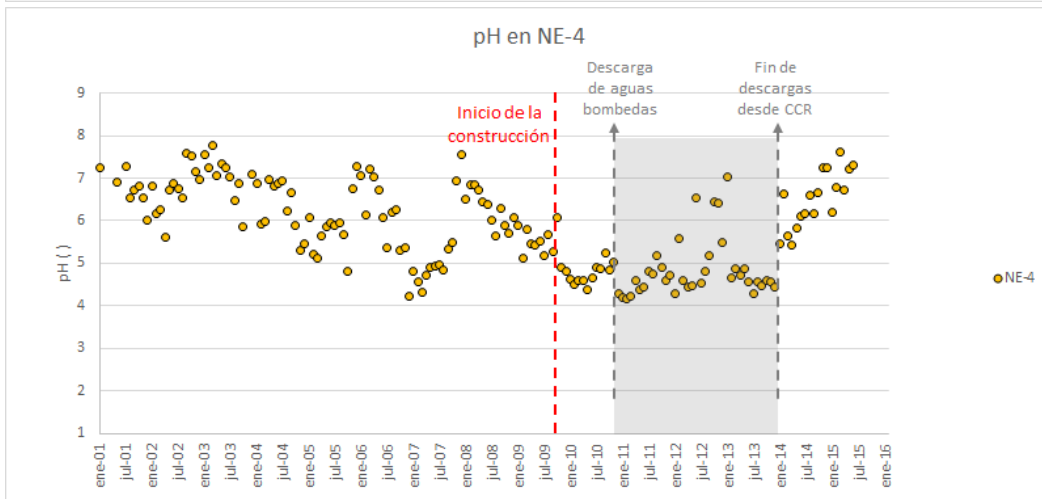
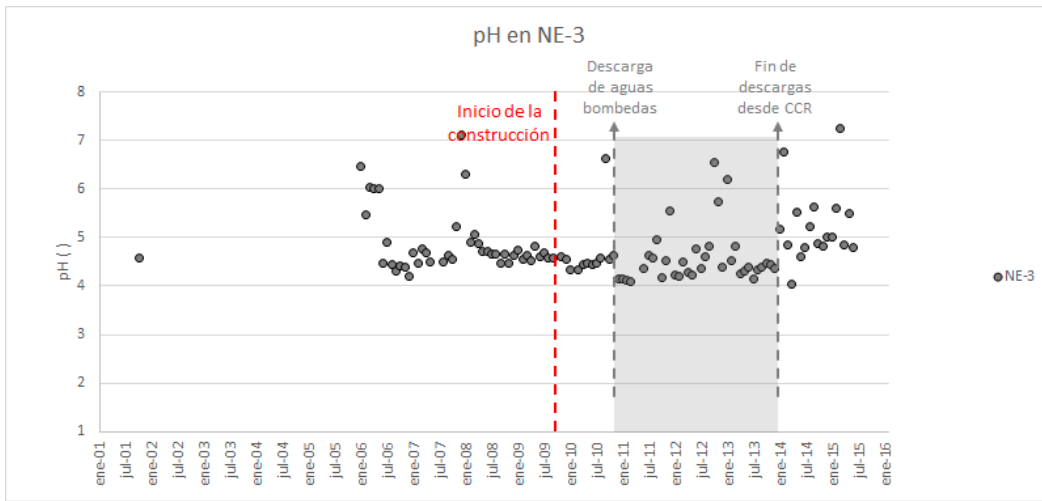


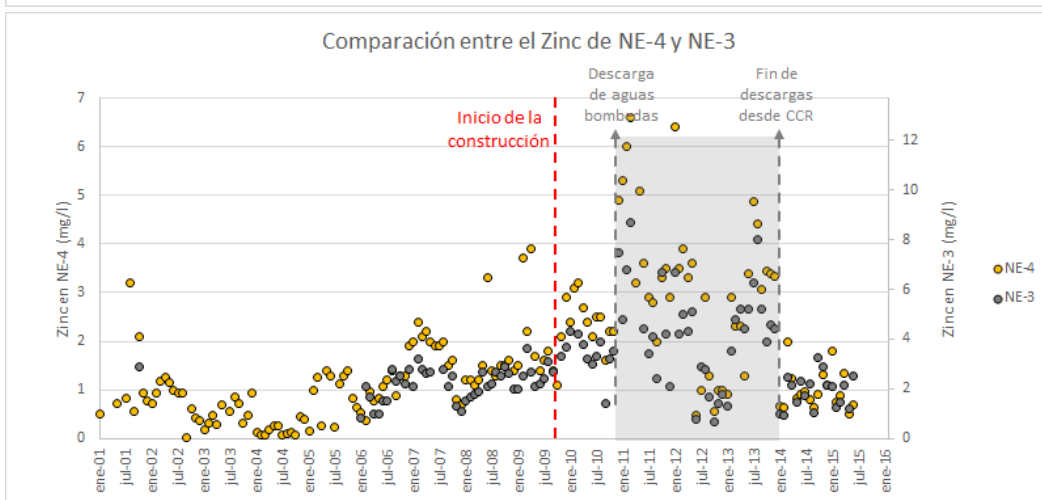
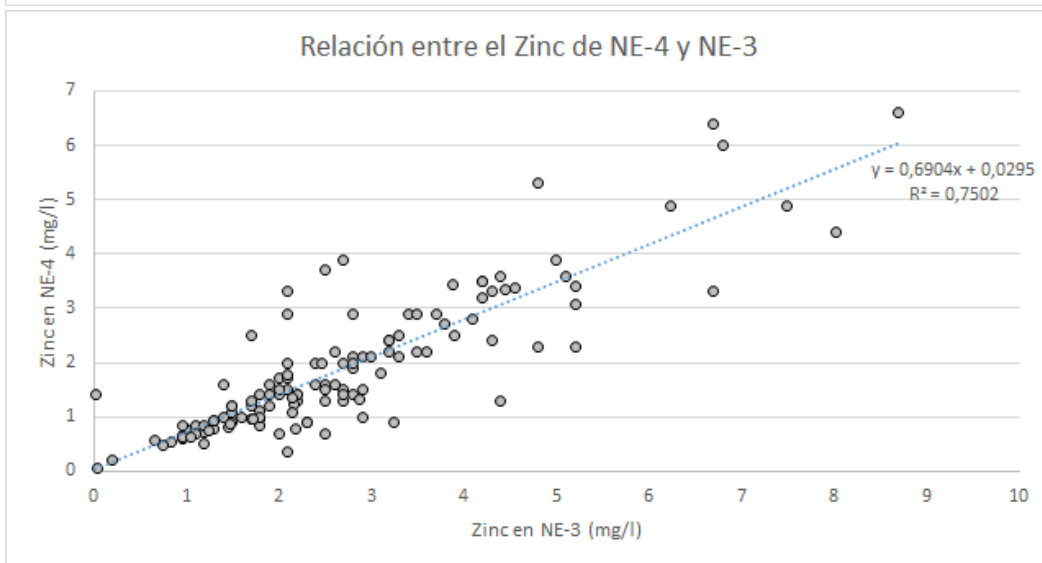
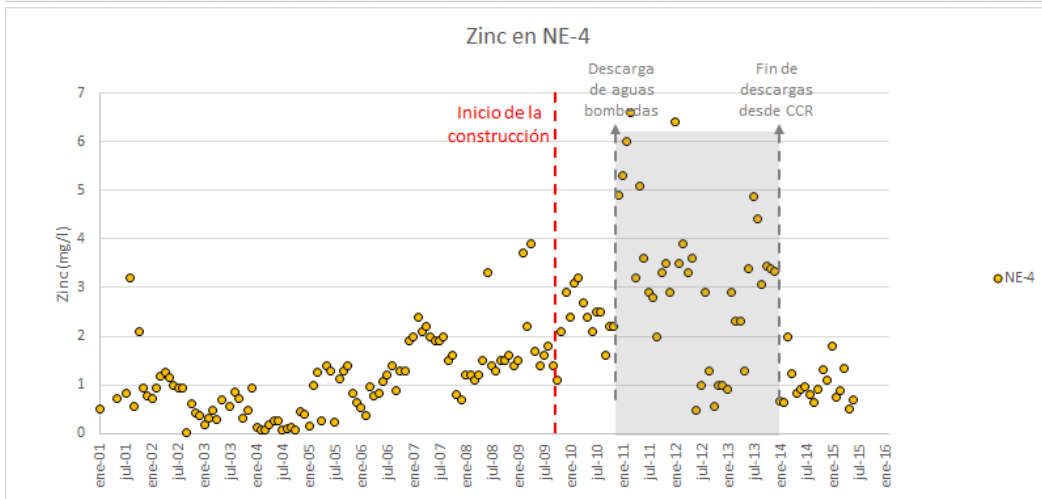
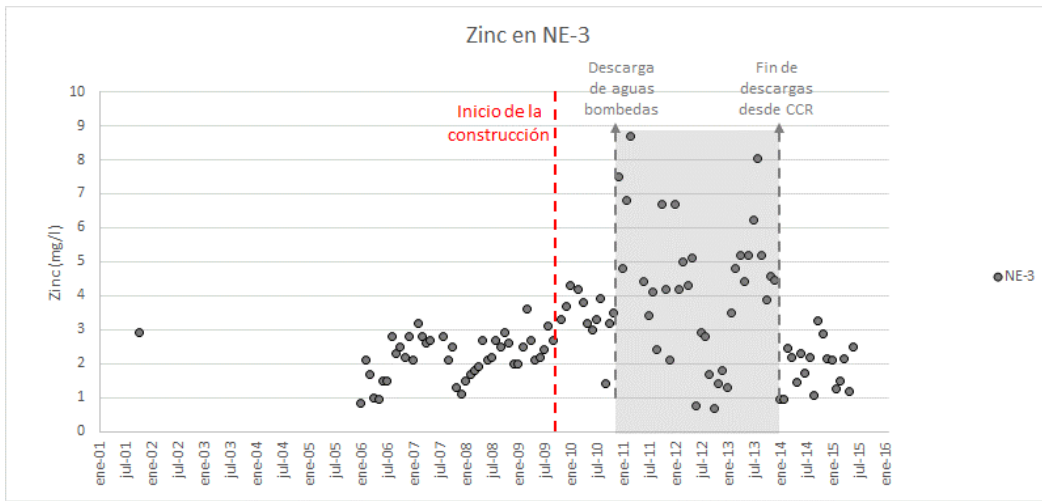




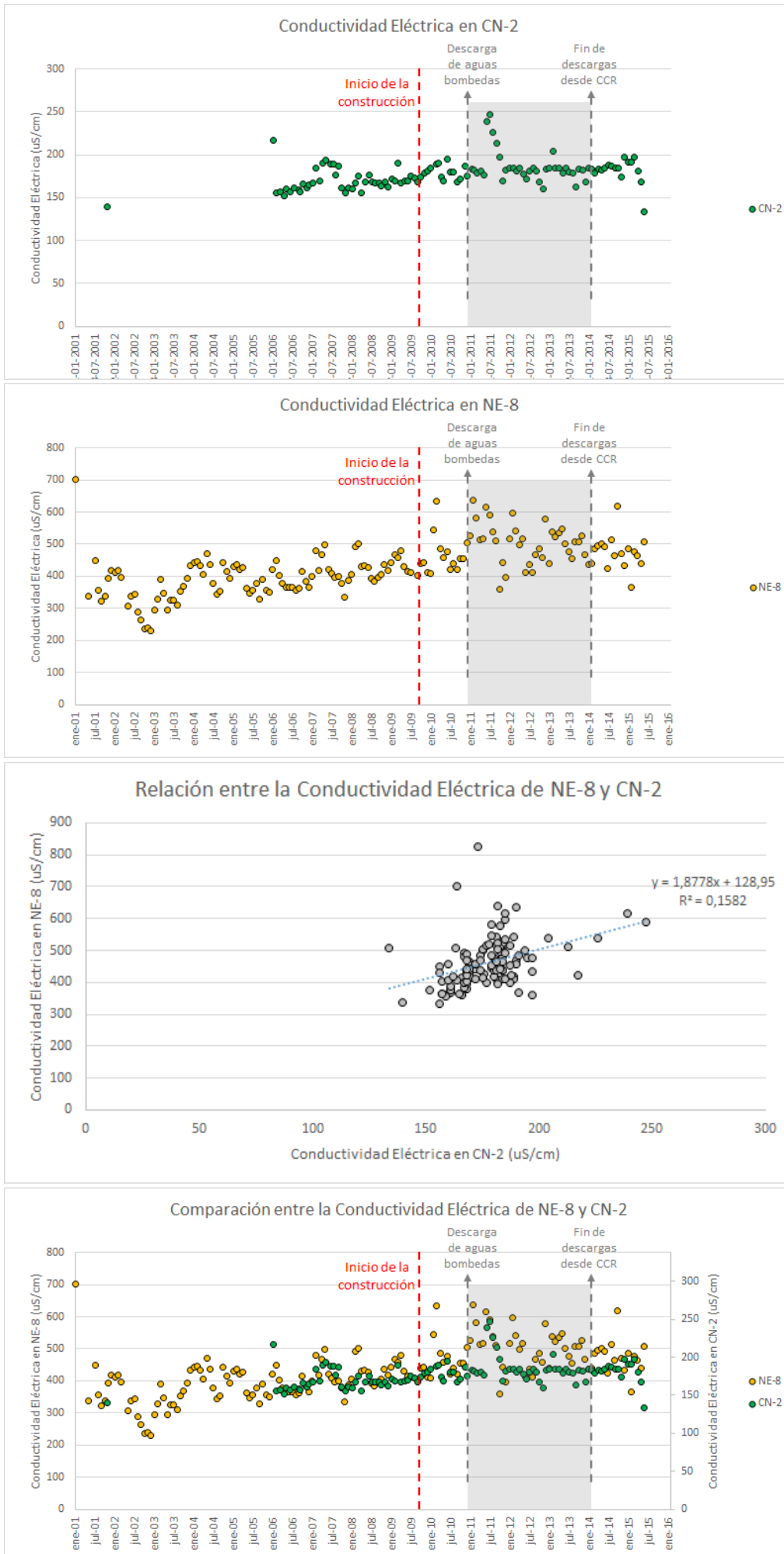


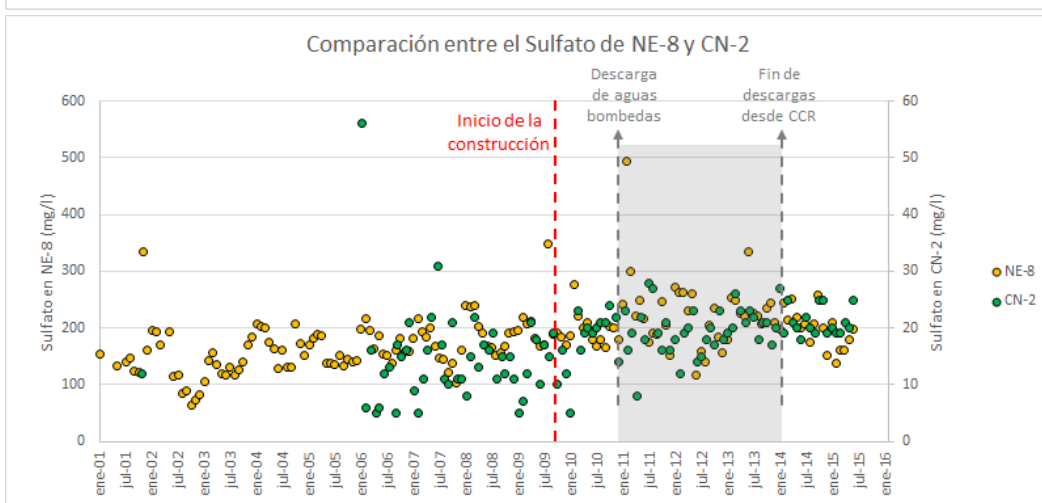
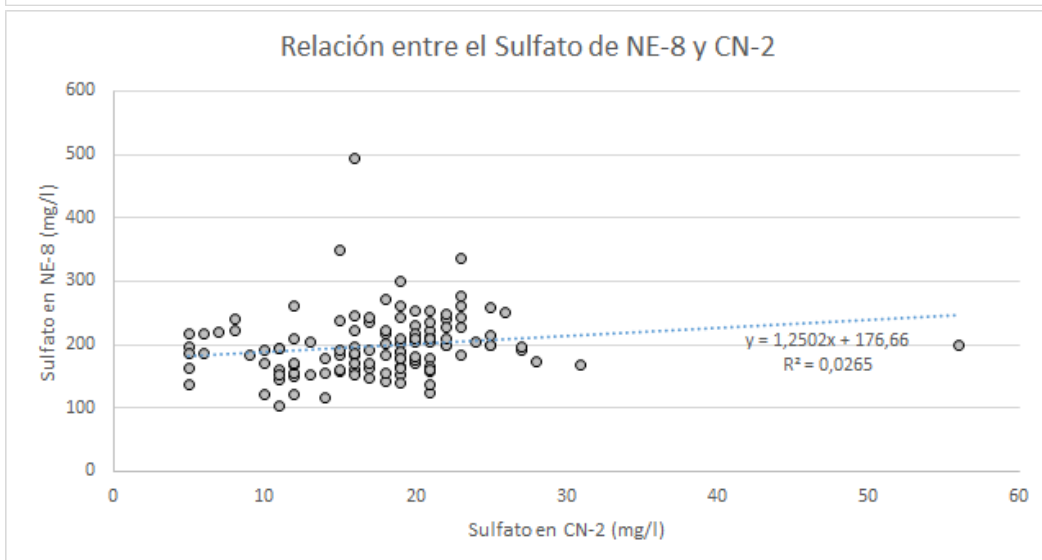
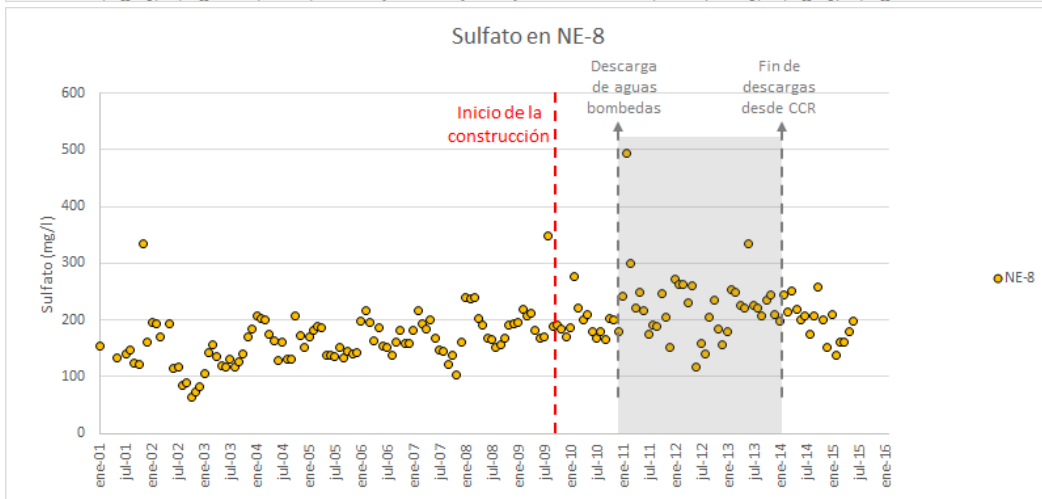
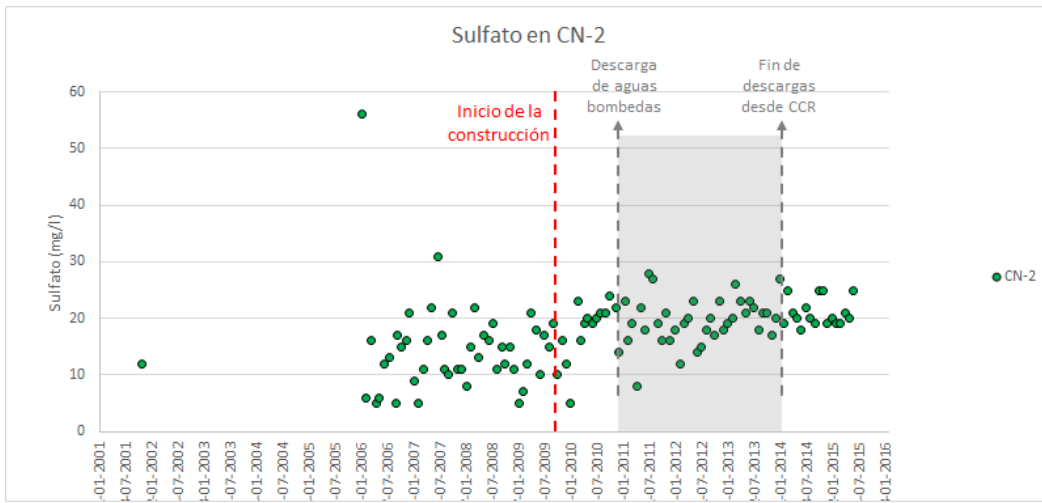


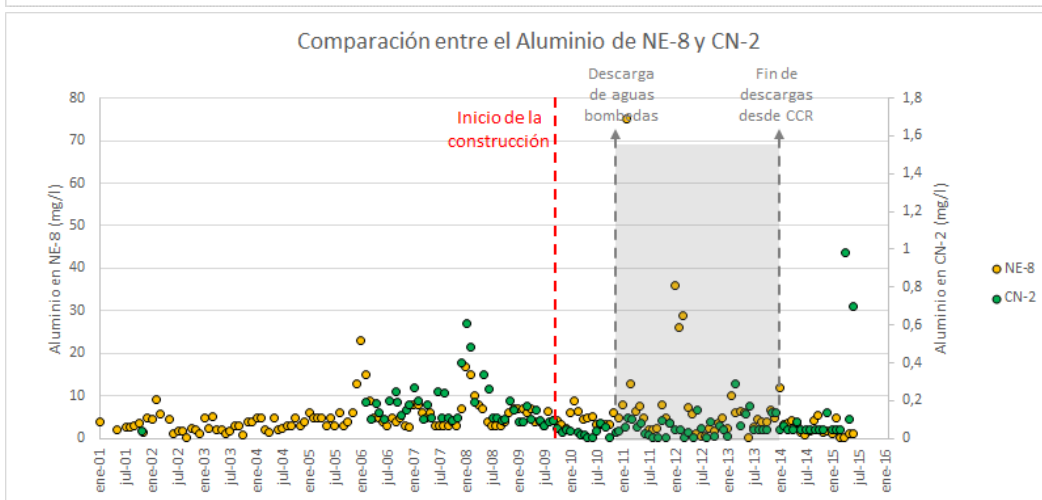
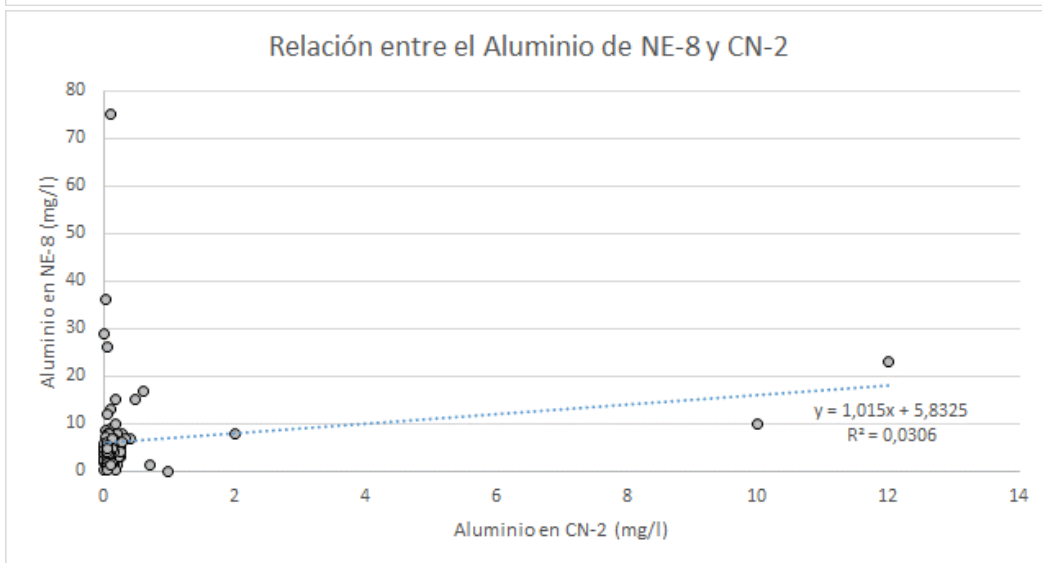
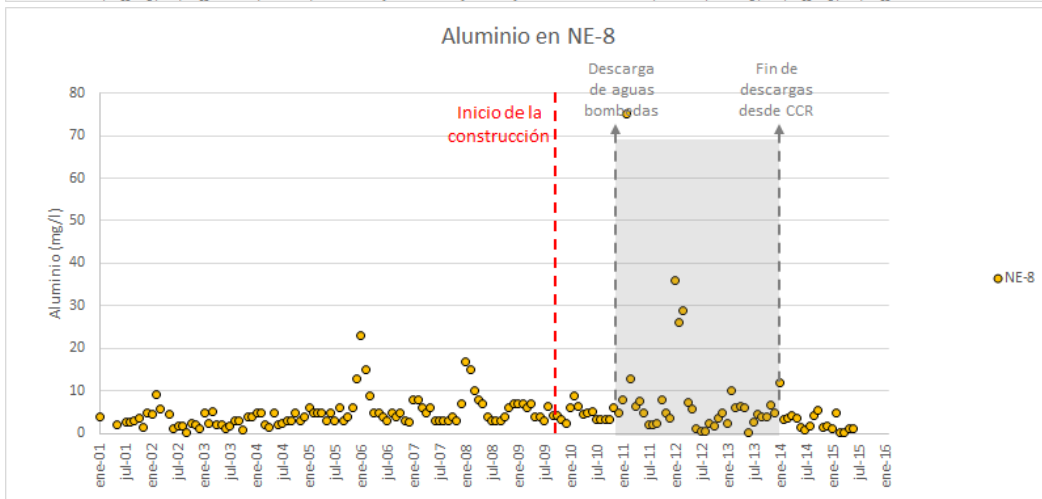
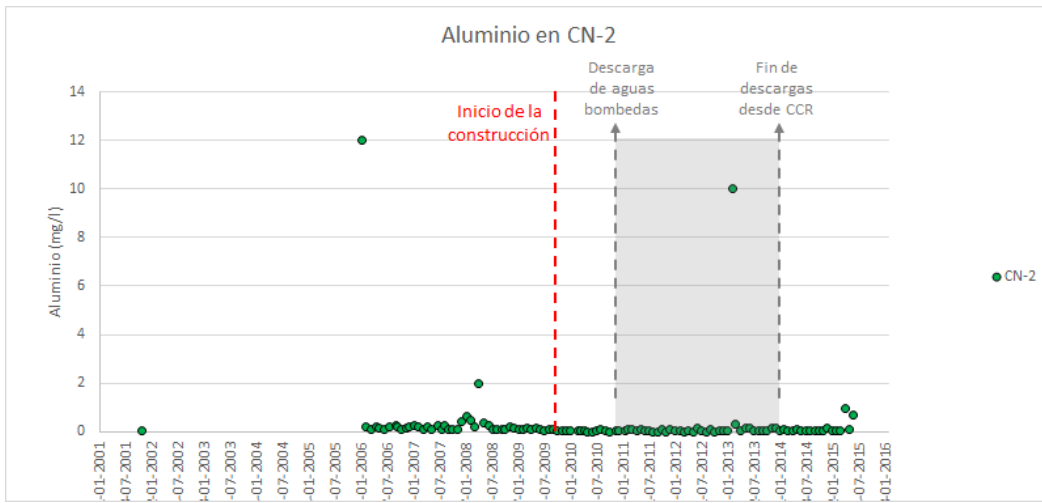


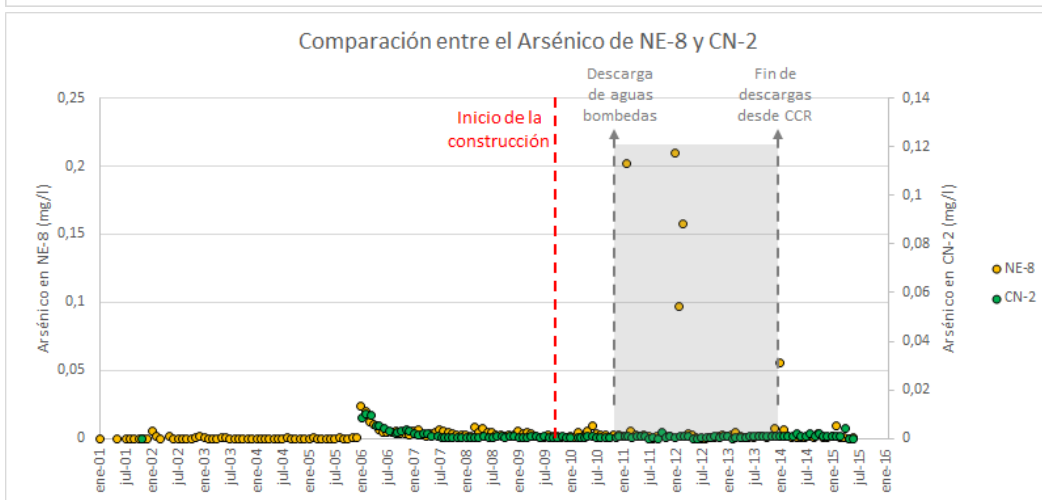
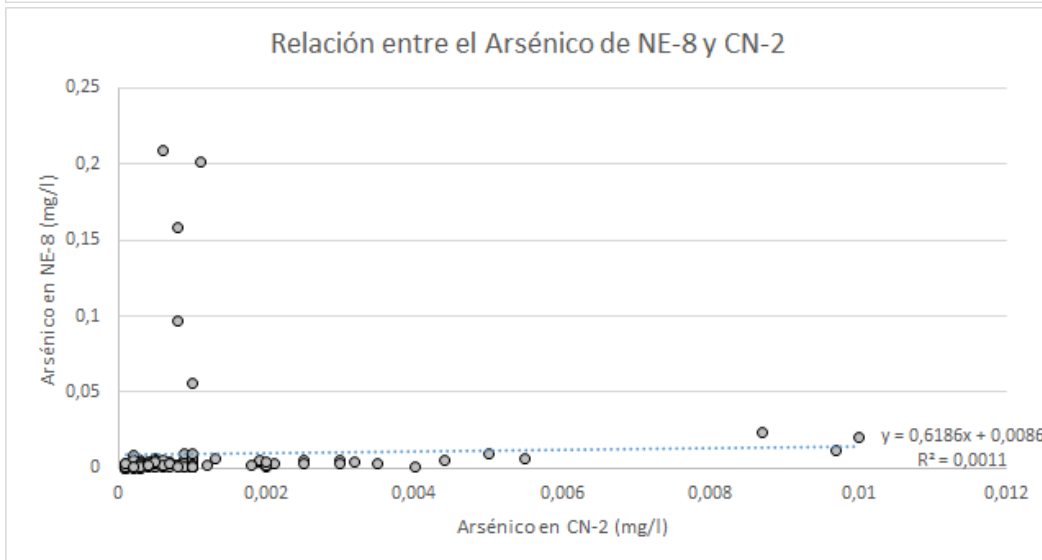
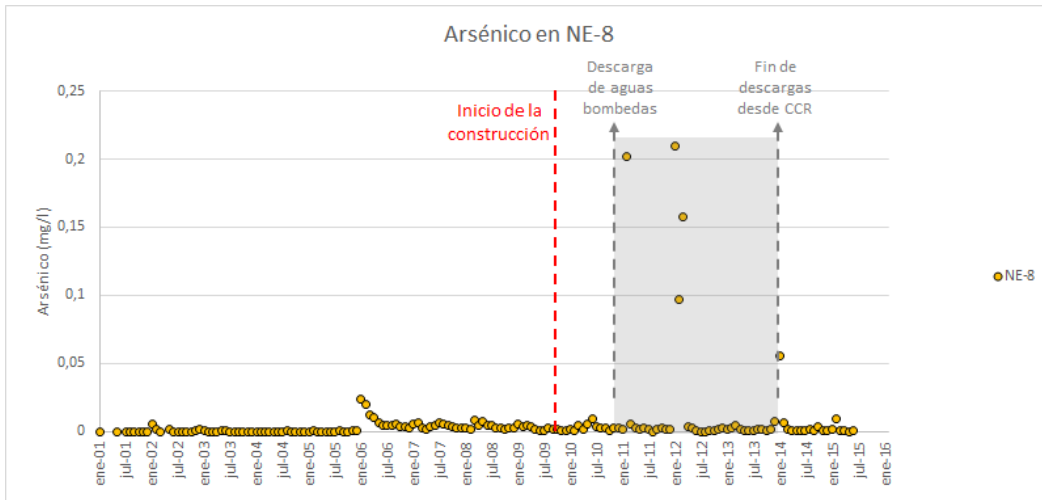
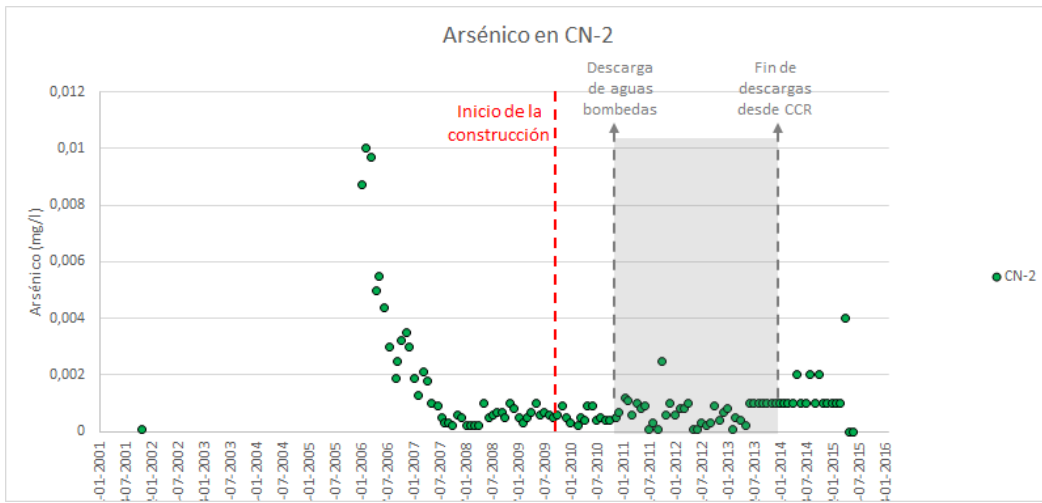


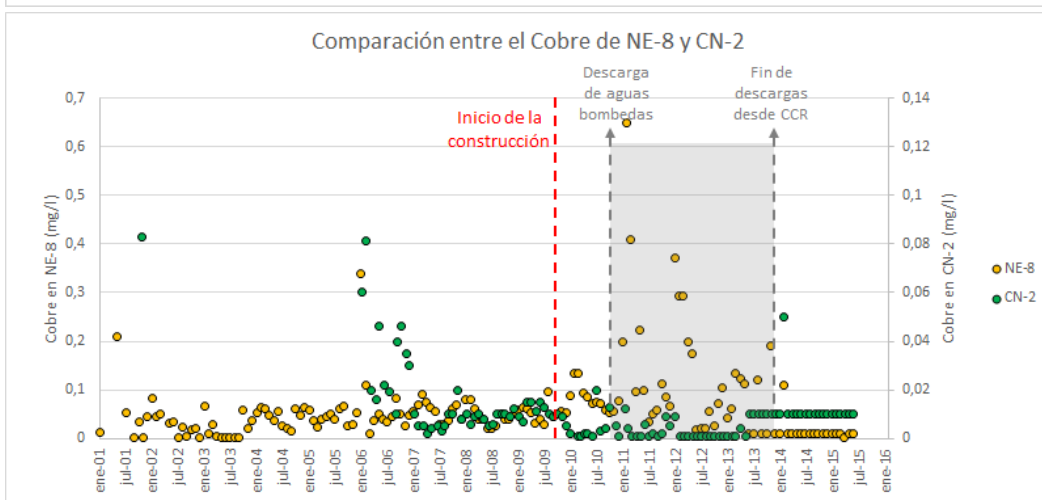
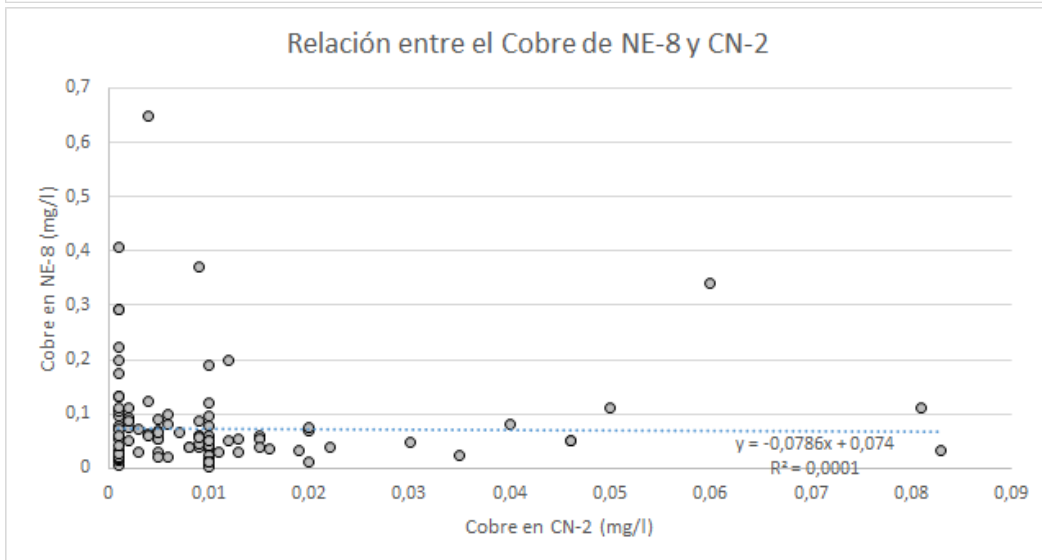
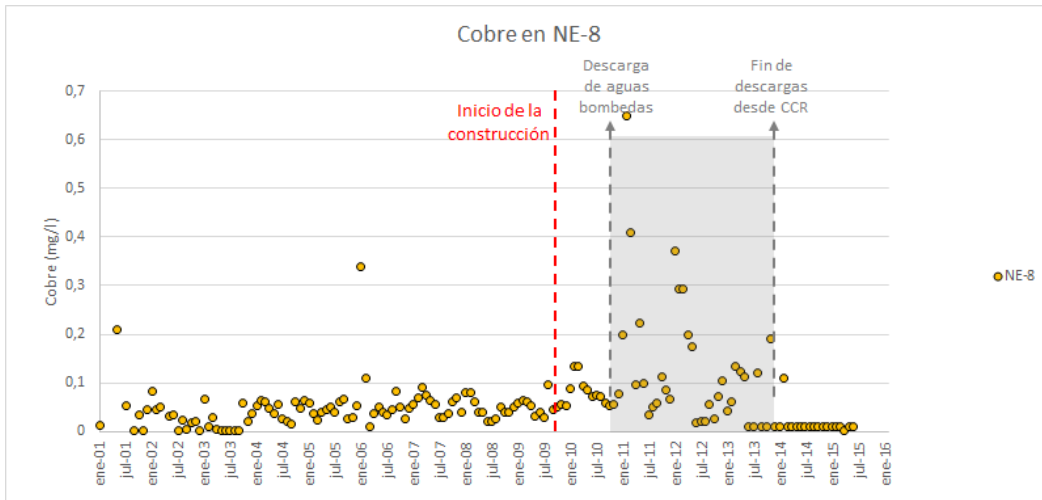
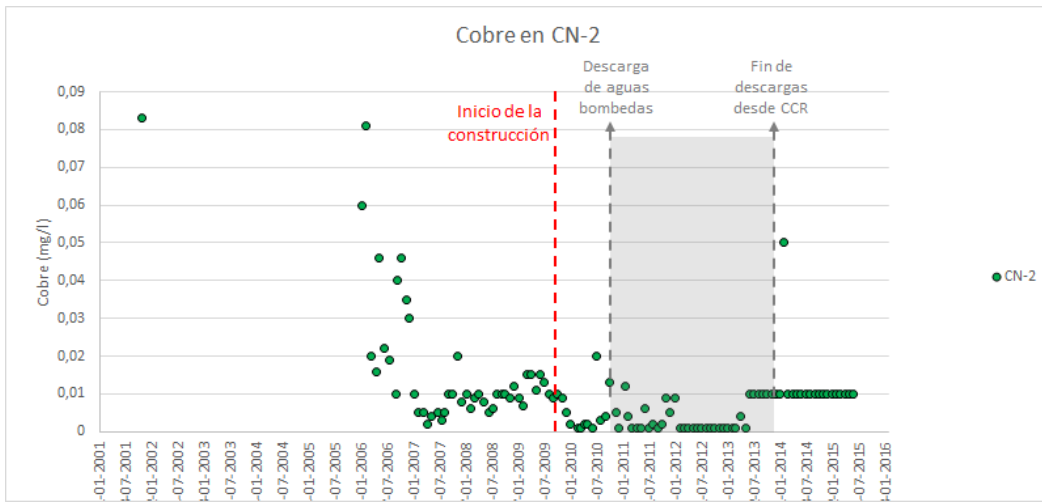
8. Comparación entre CN-2 (Río Del Toro) y NE-8

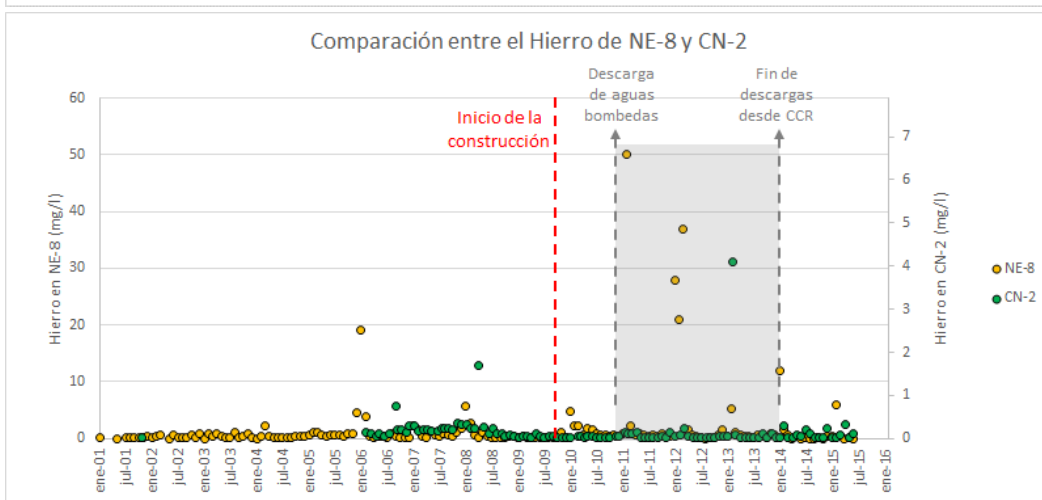
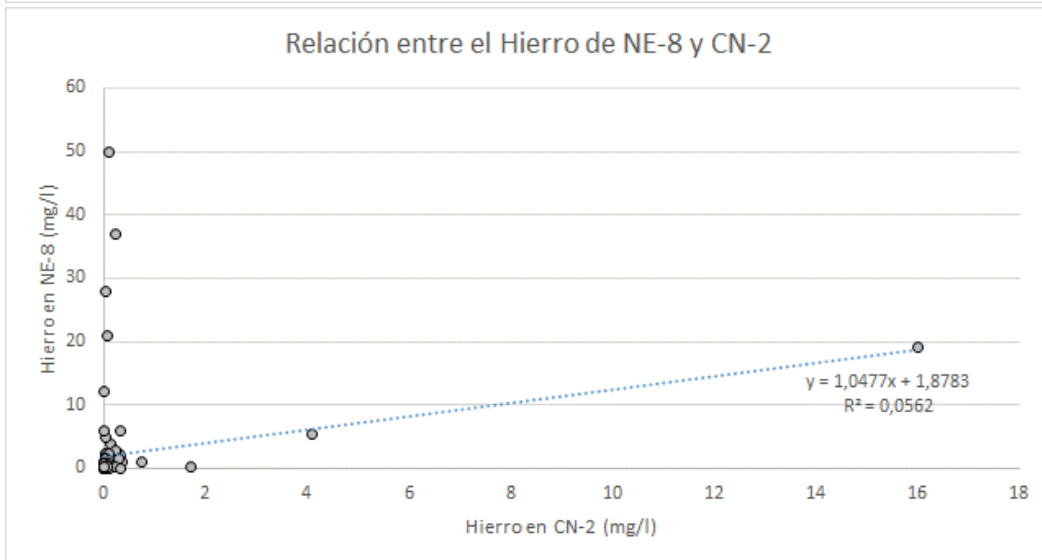
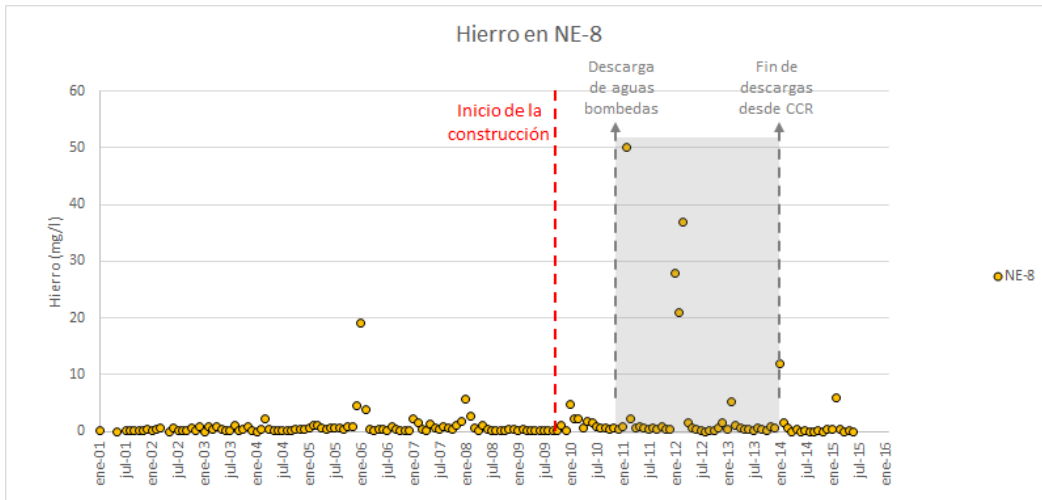
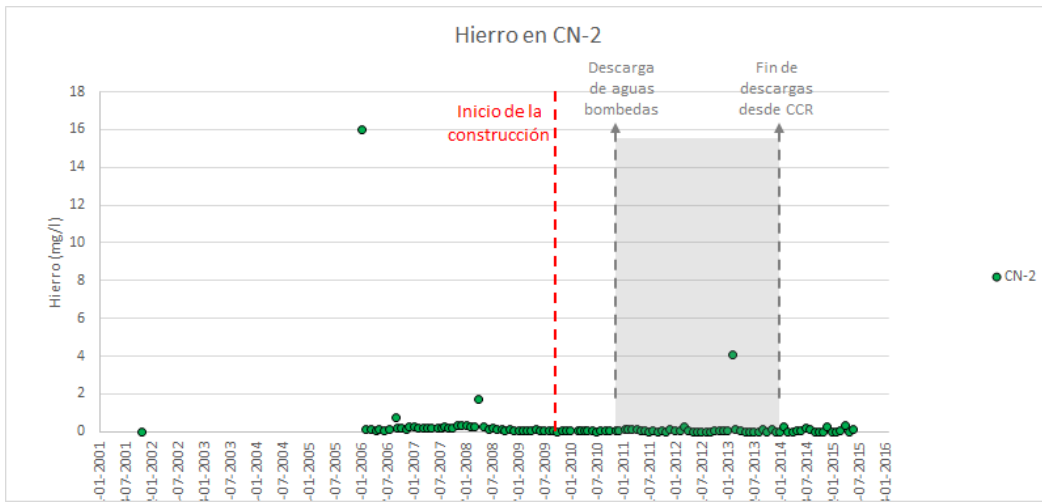


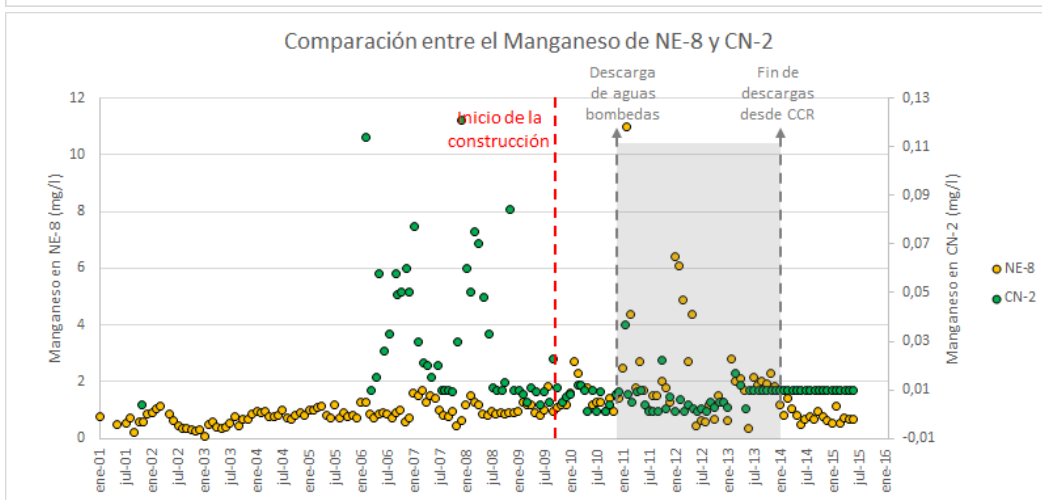
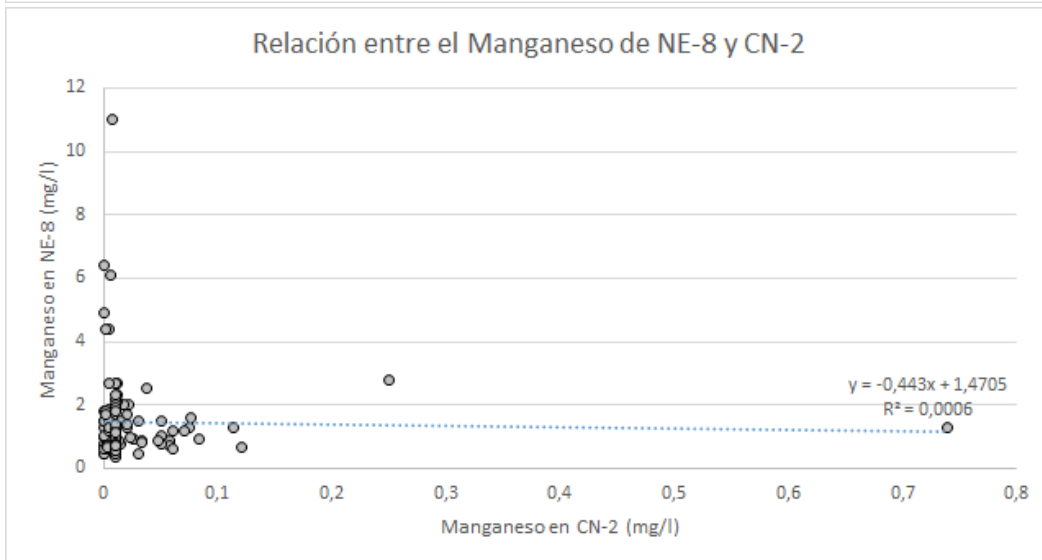
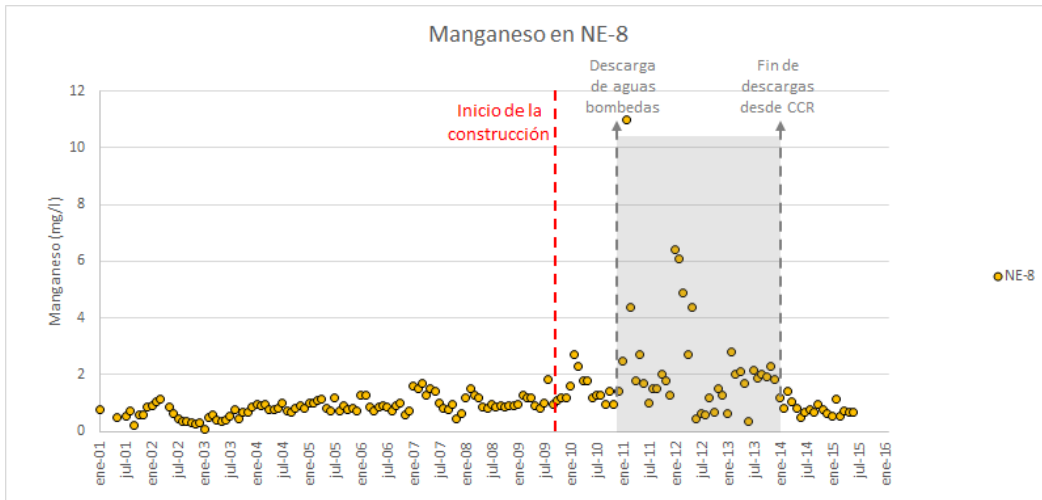
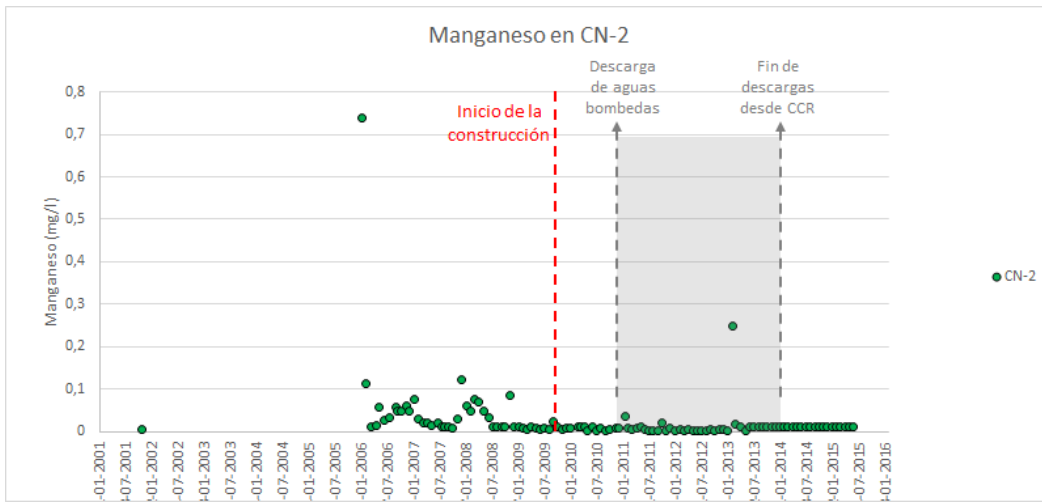


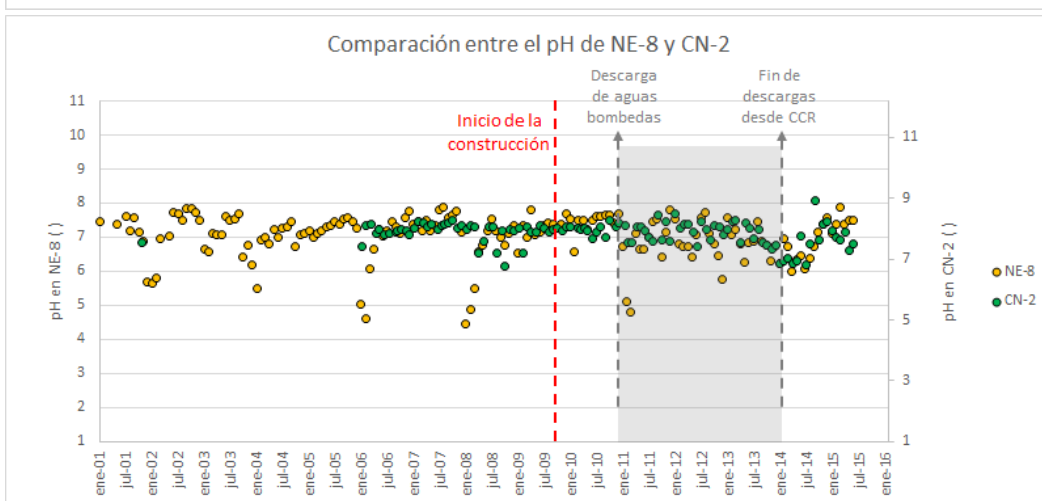
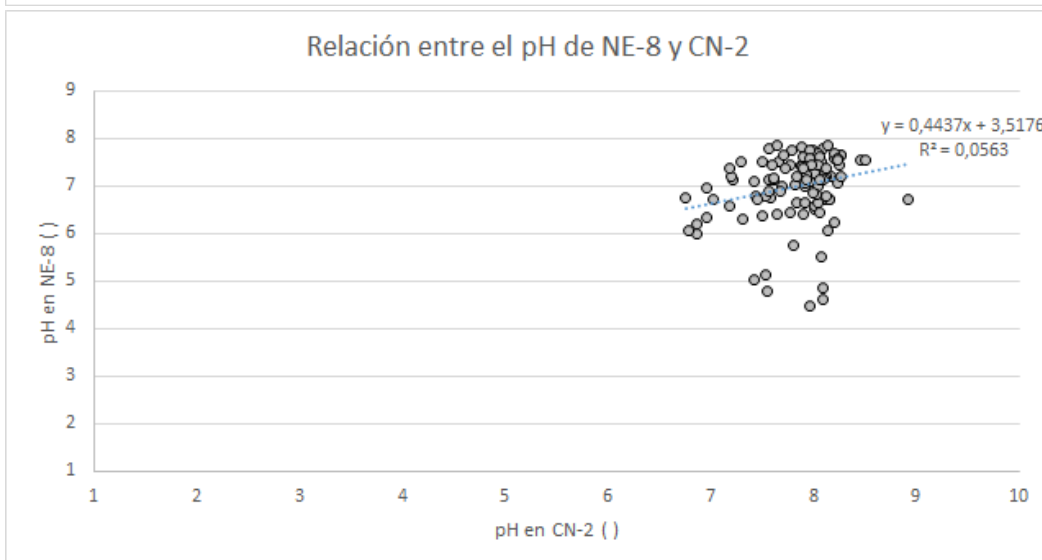
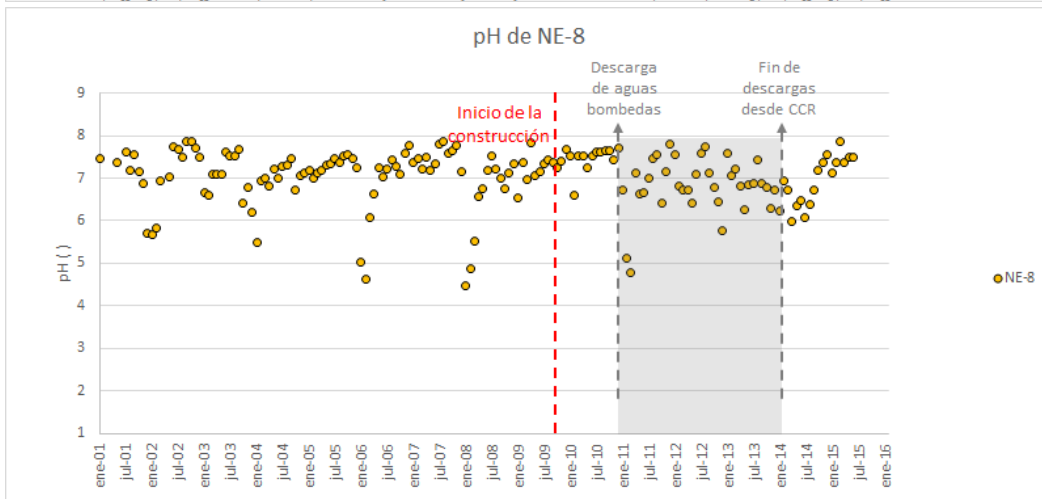
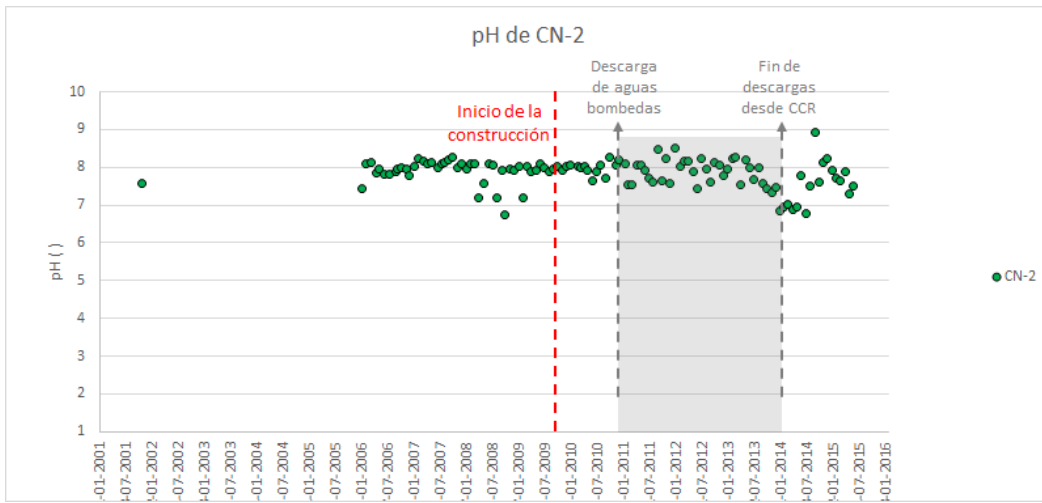


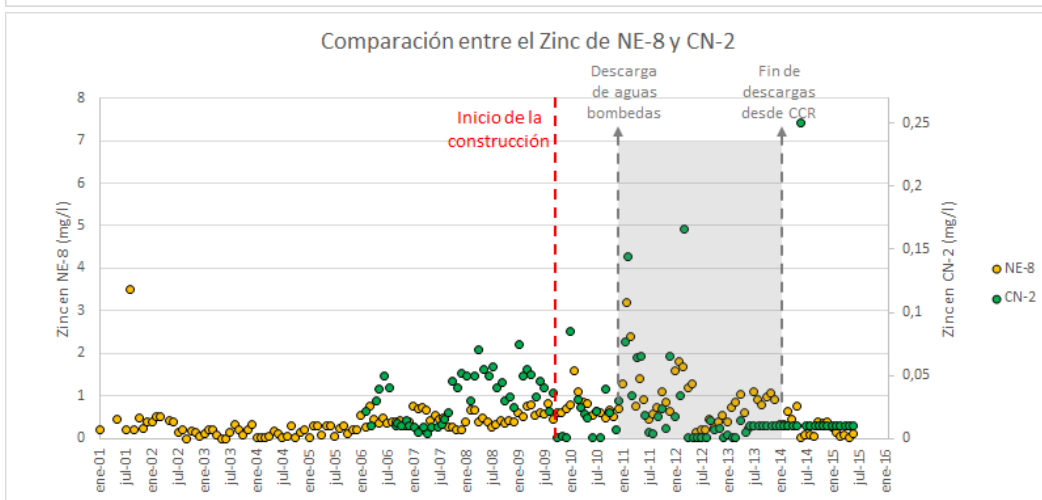
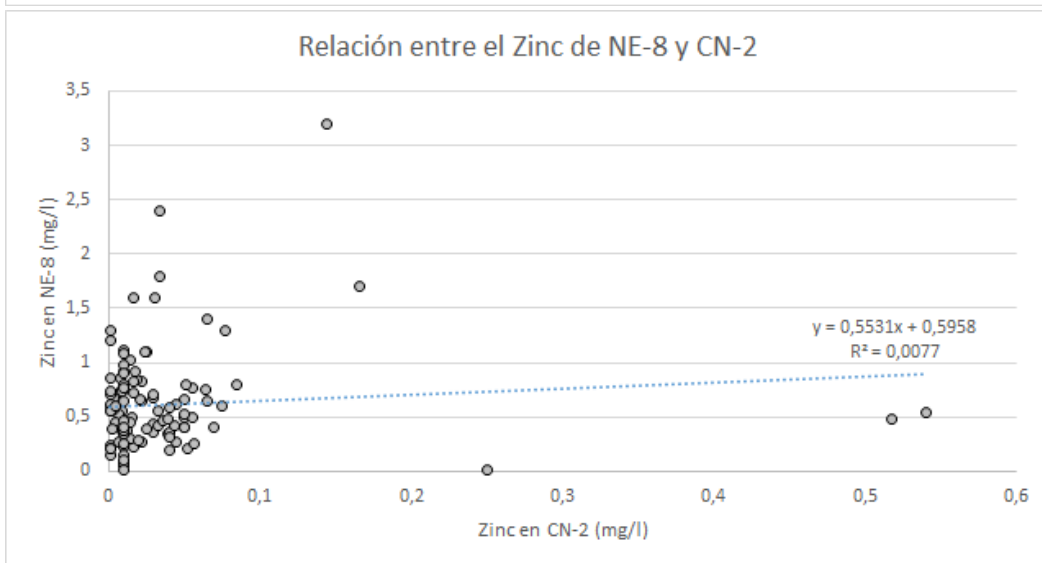
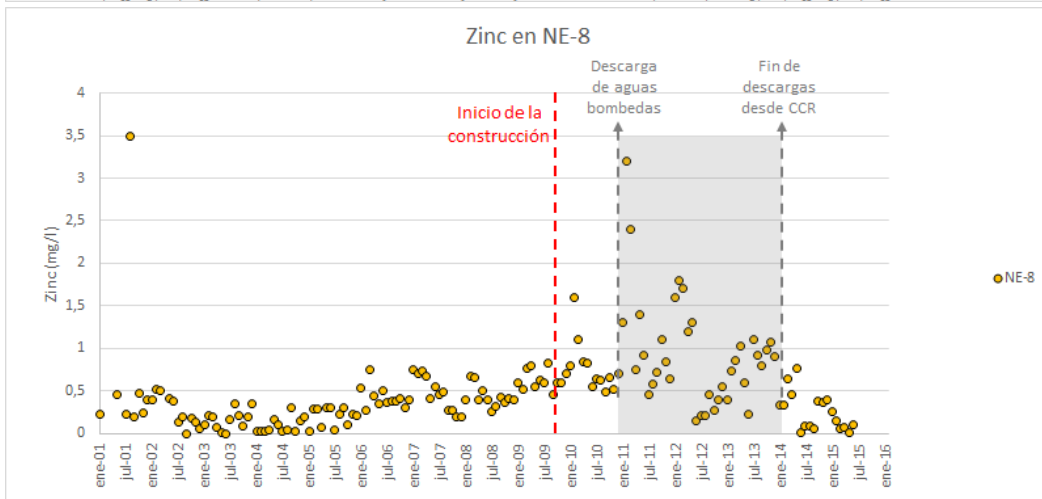
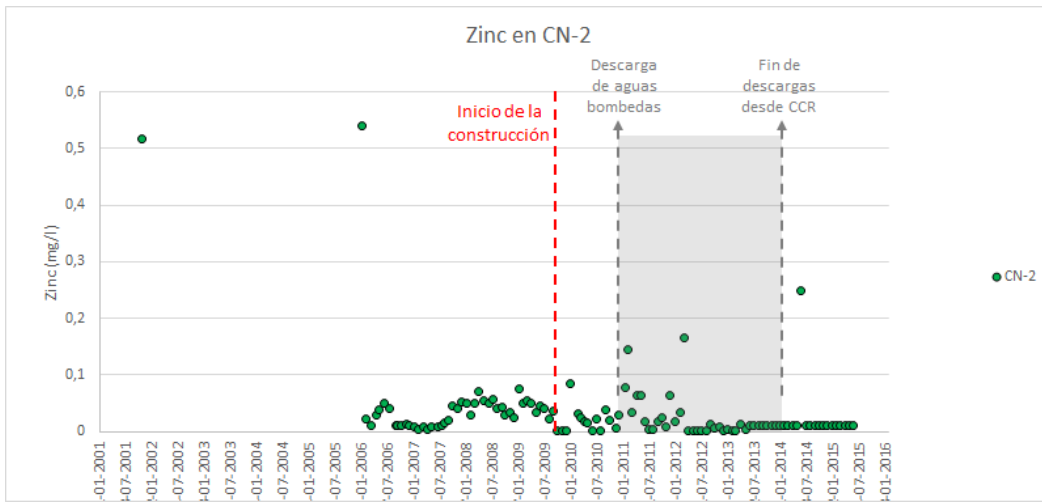




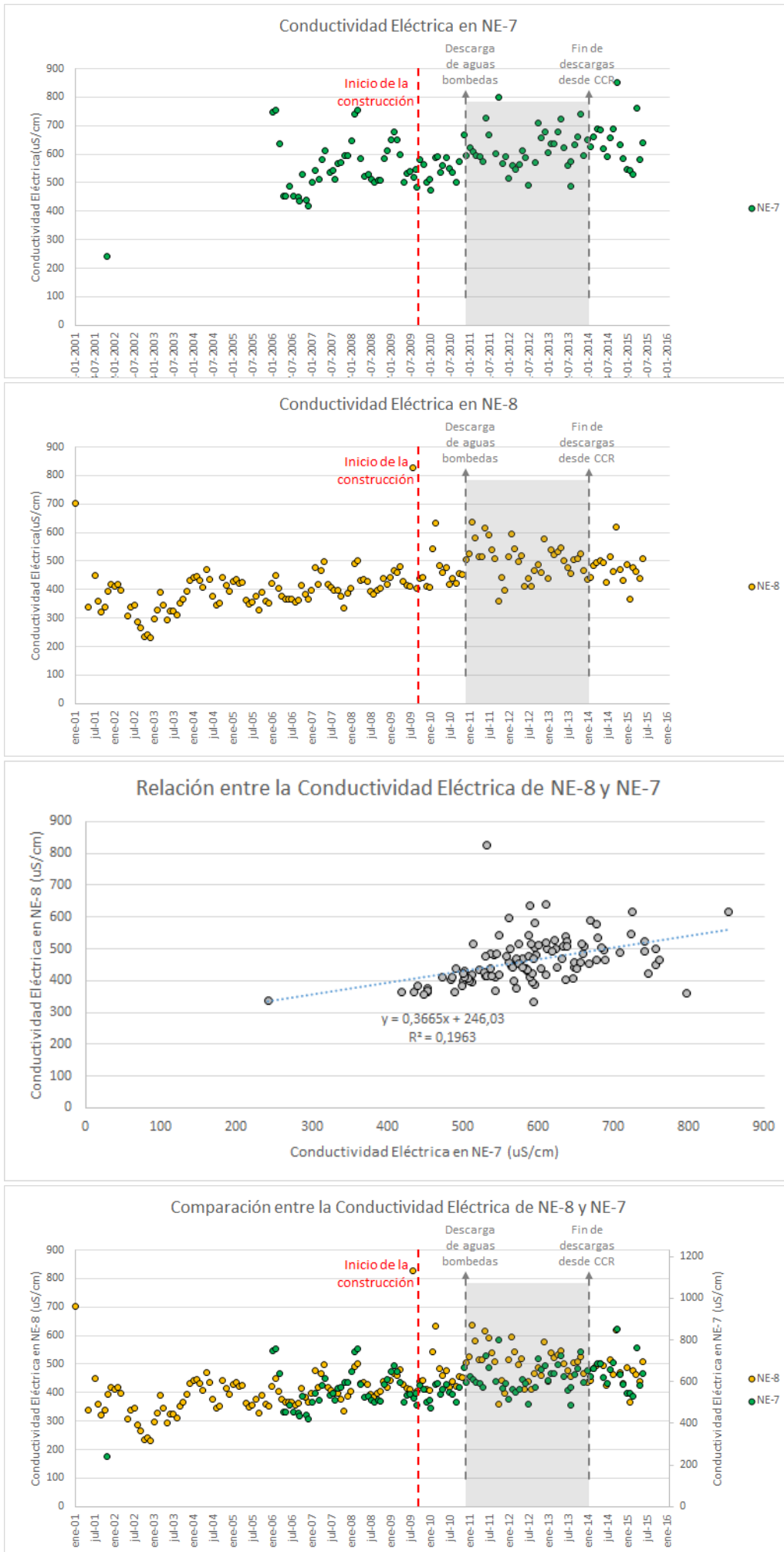


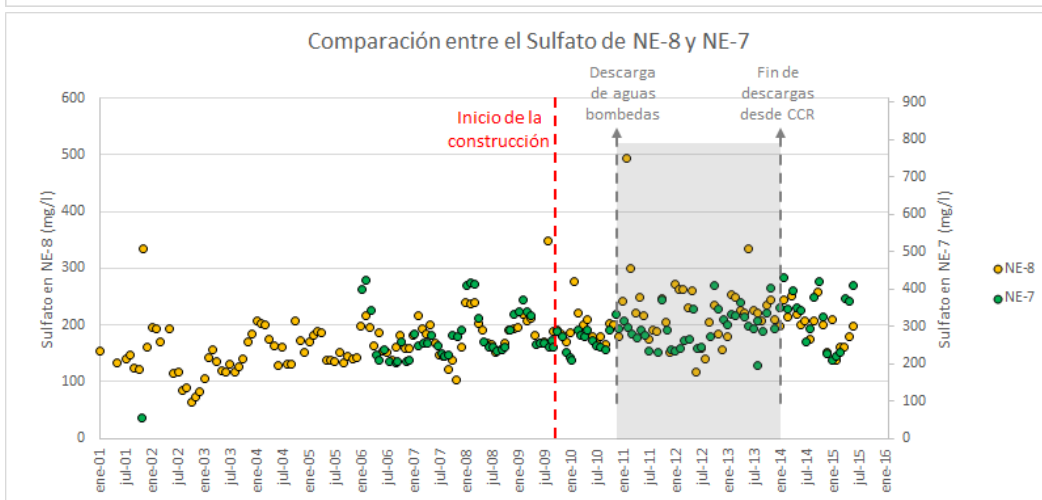
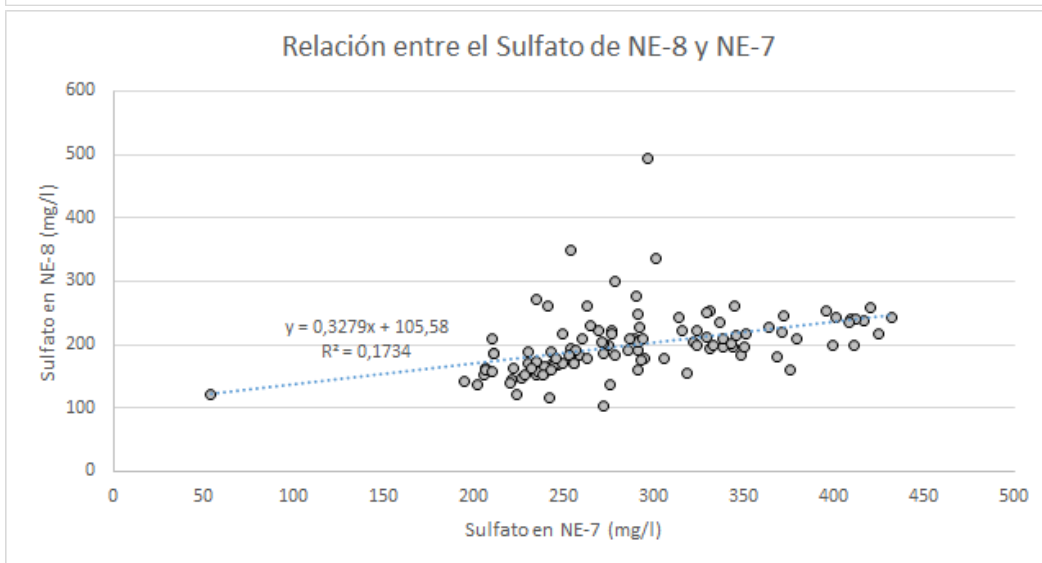
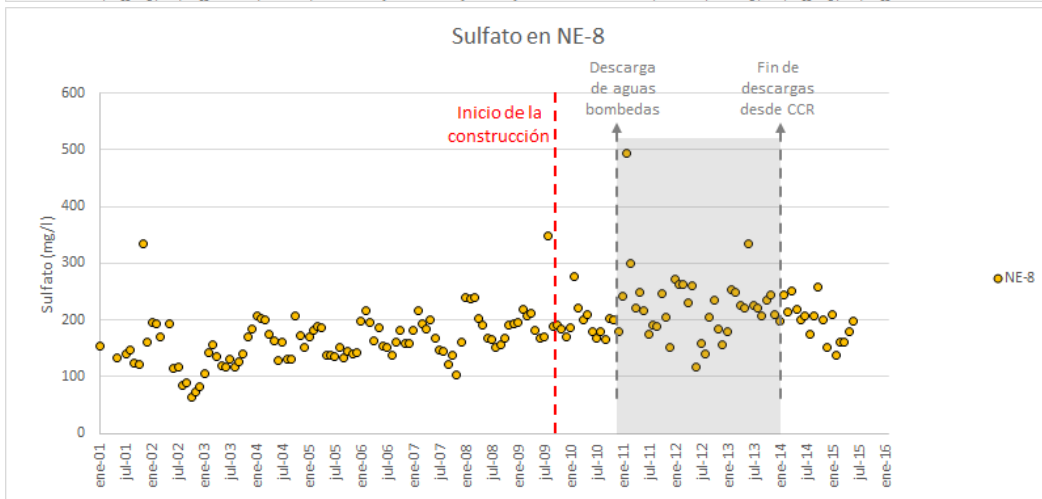
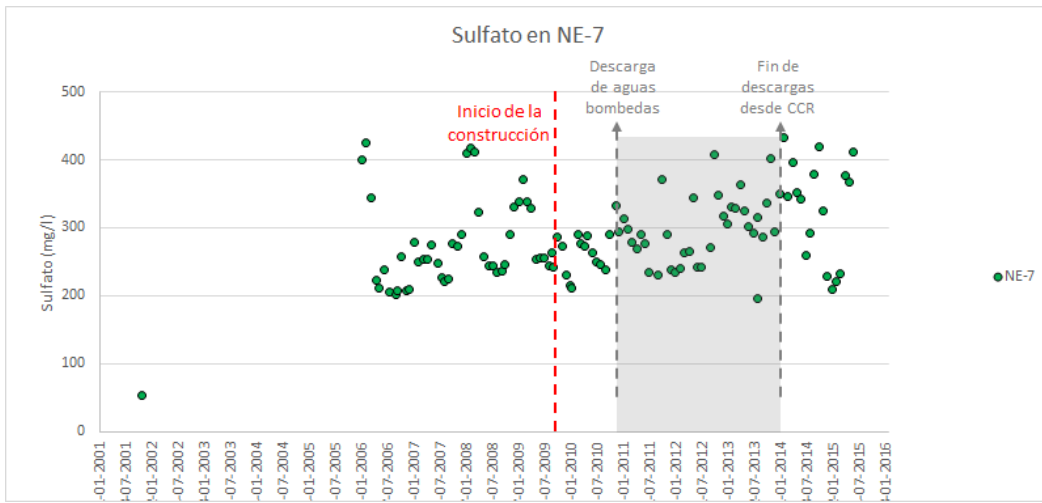


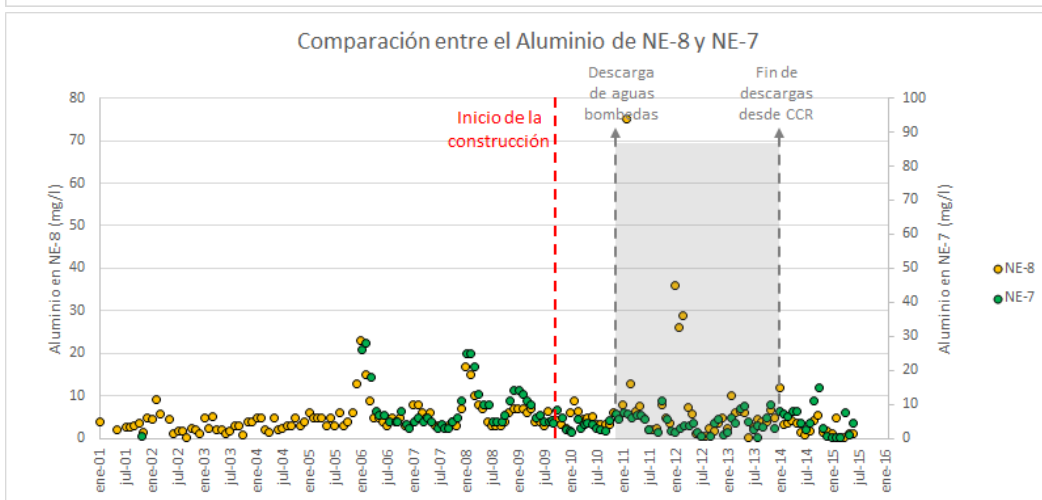
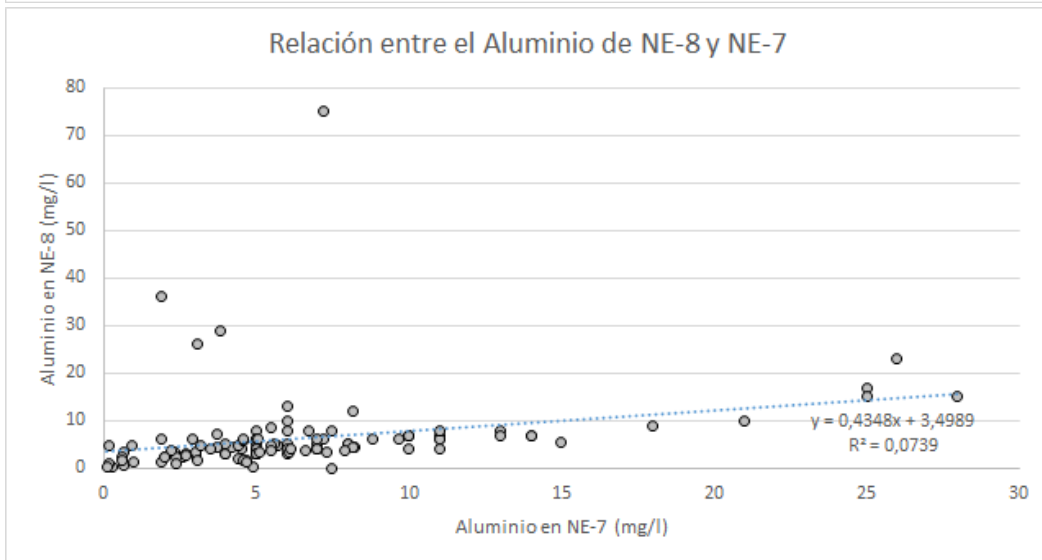
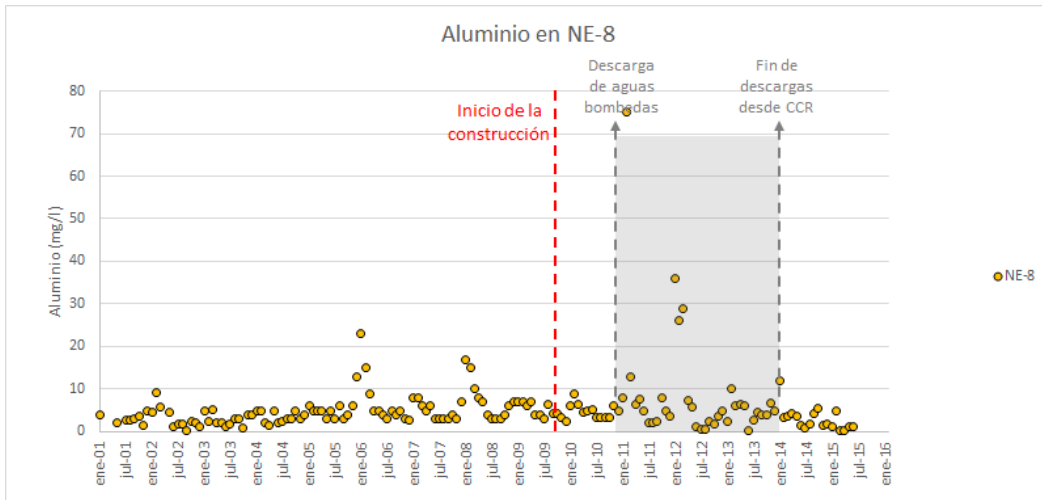
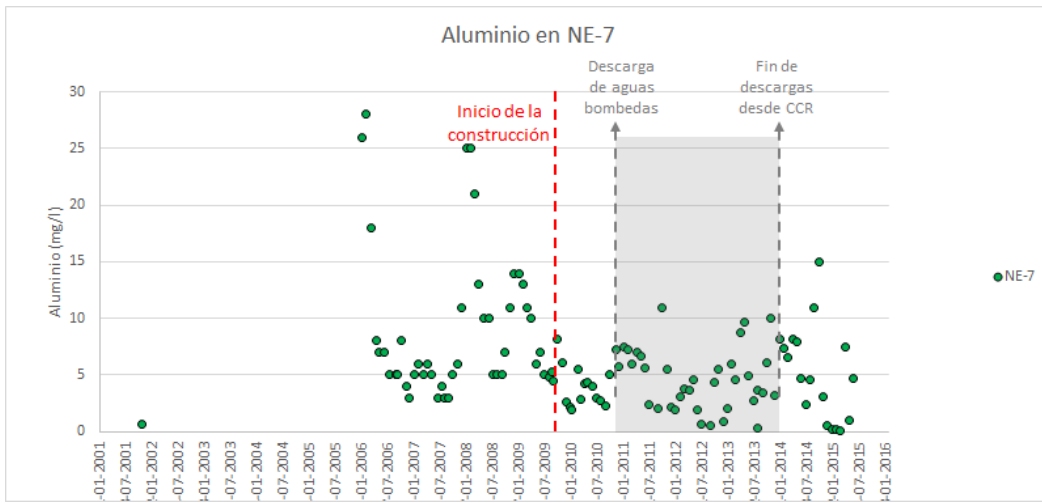


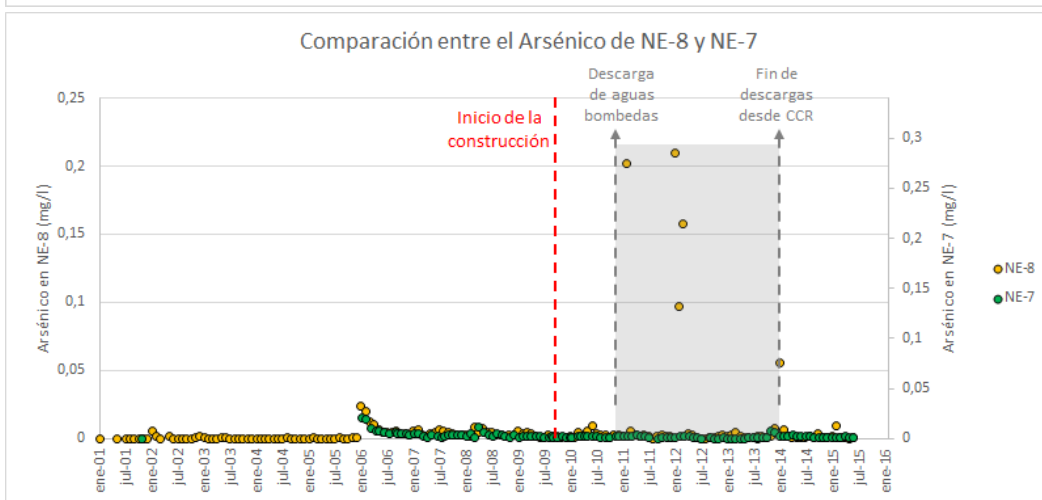
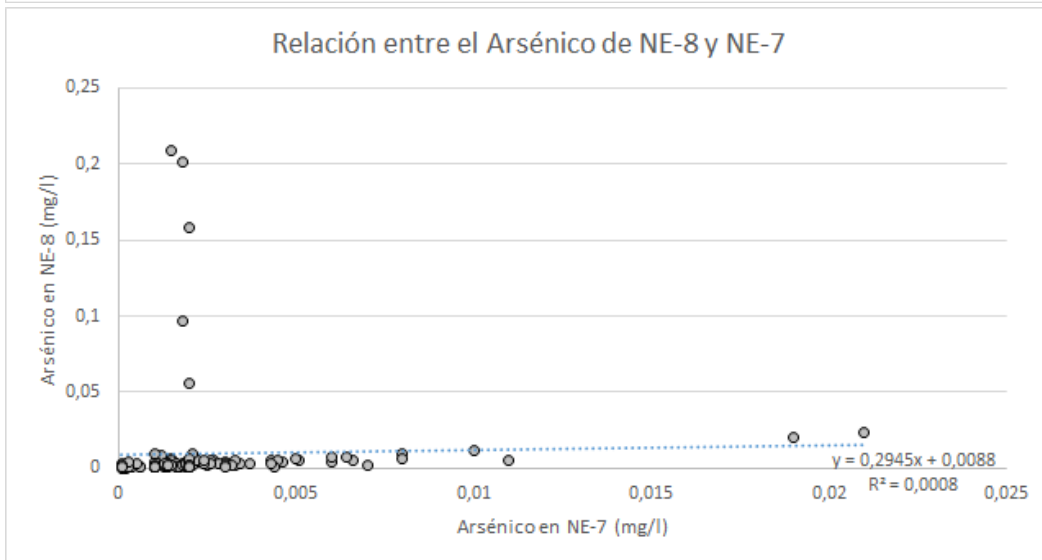
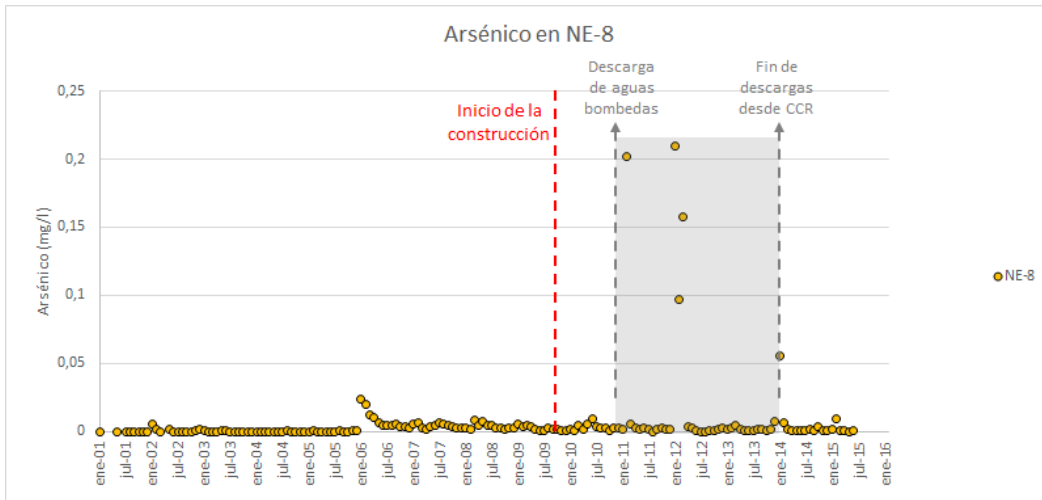
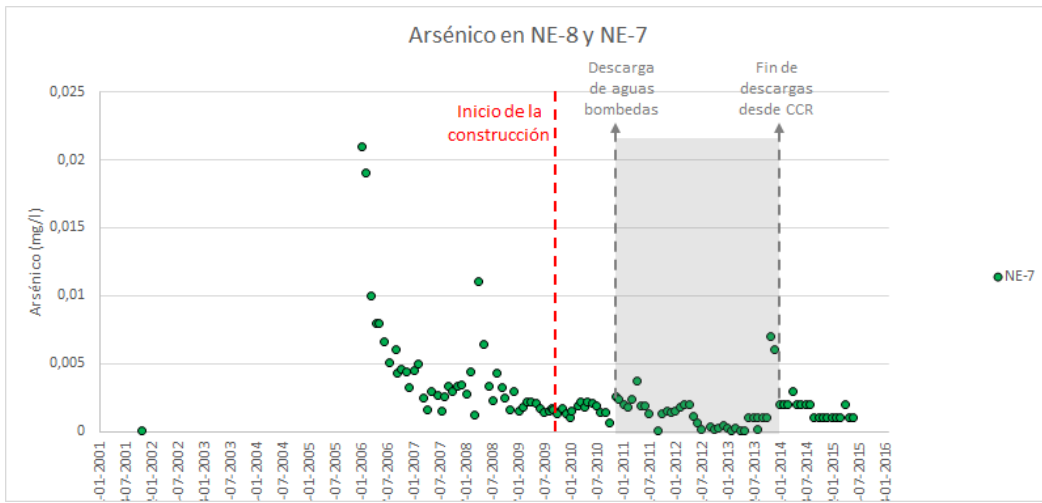


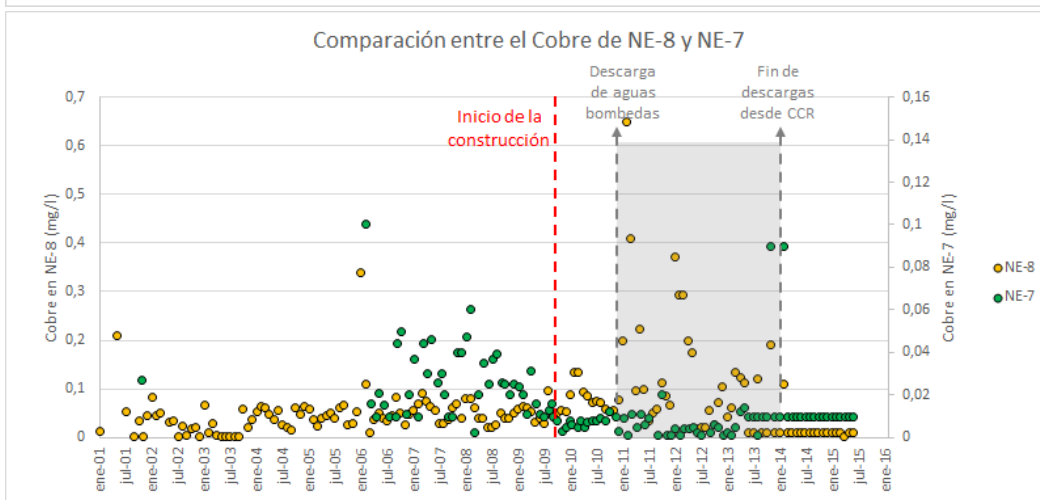
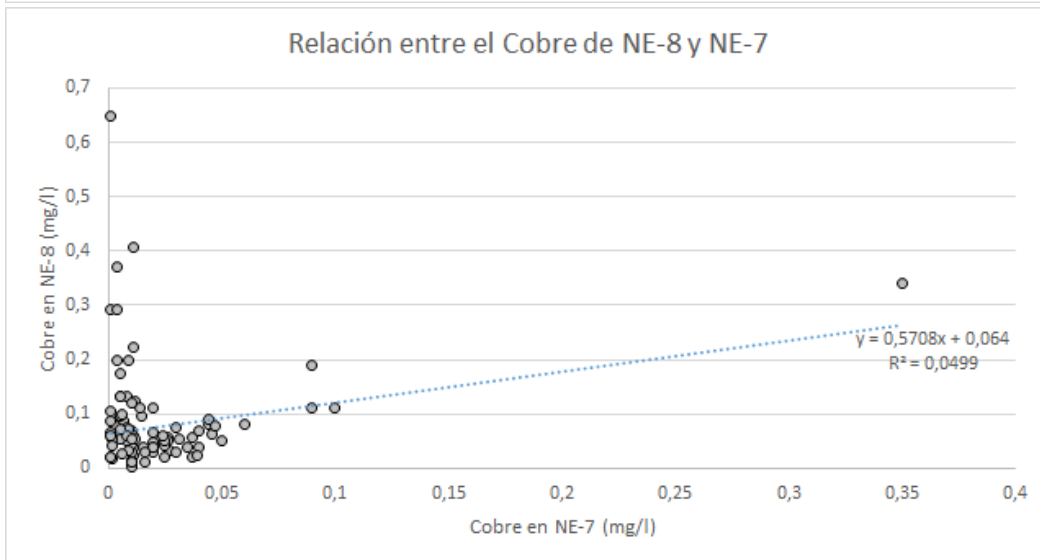
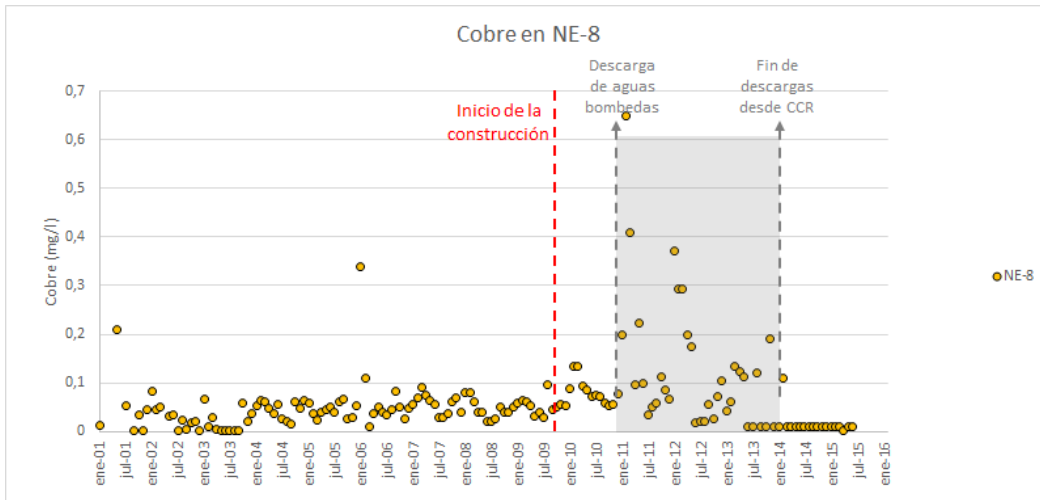
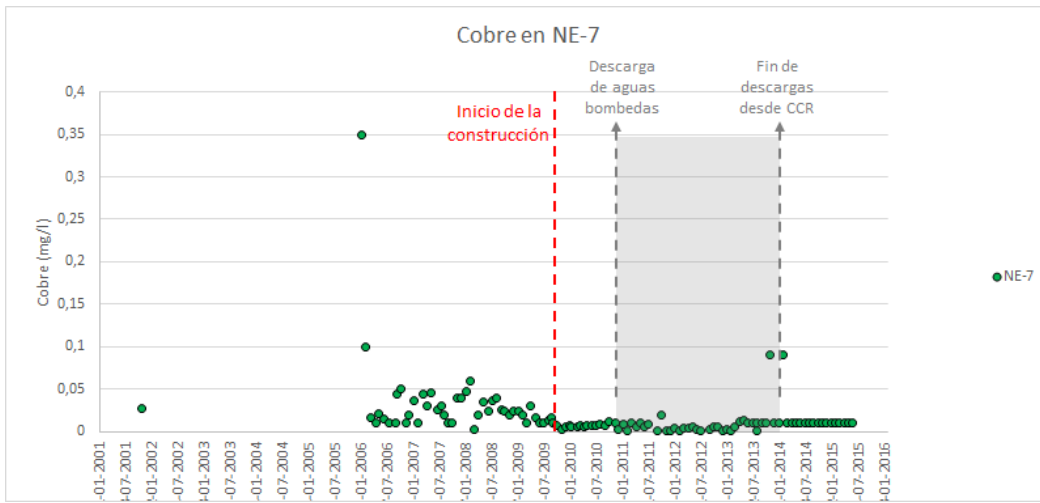
9. Comparación entre NE-7 (Río Blanco) y NE-8

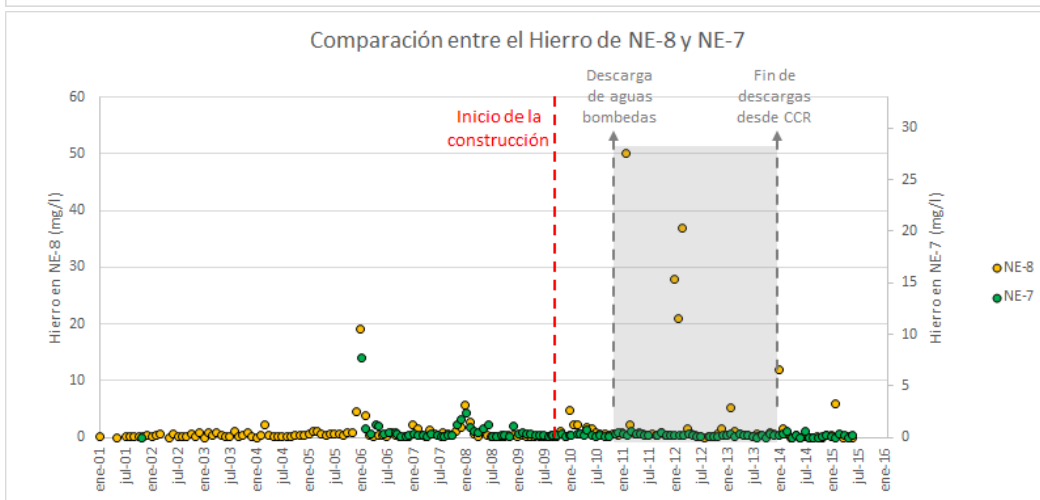
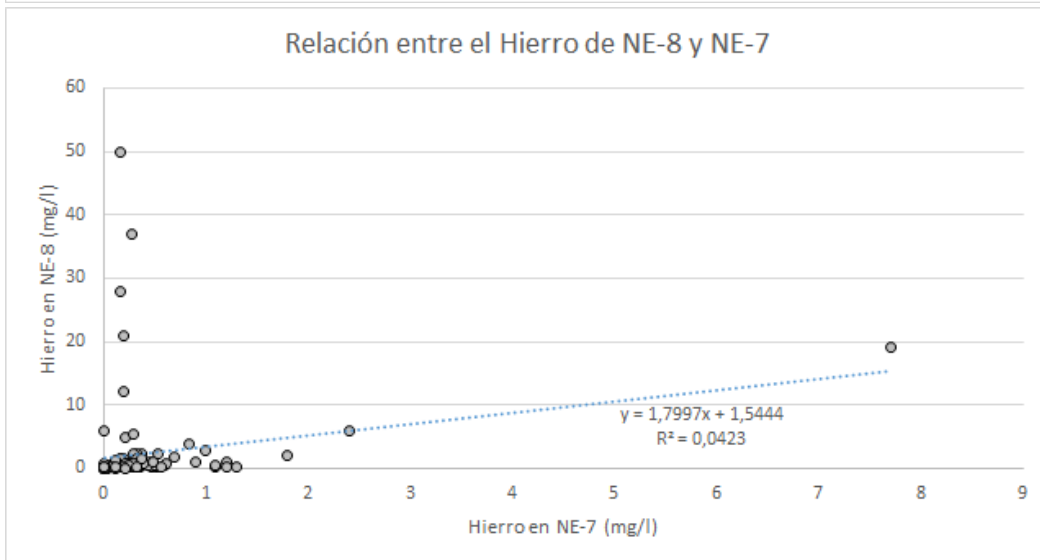
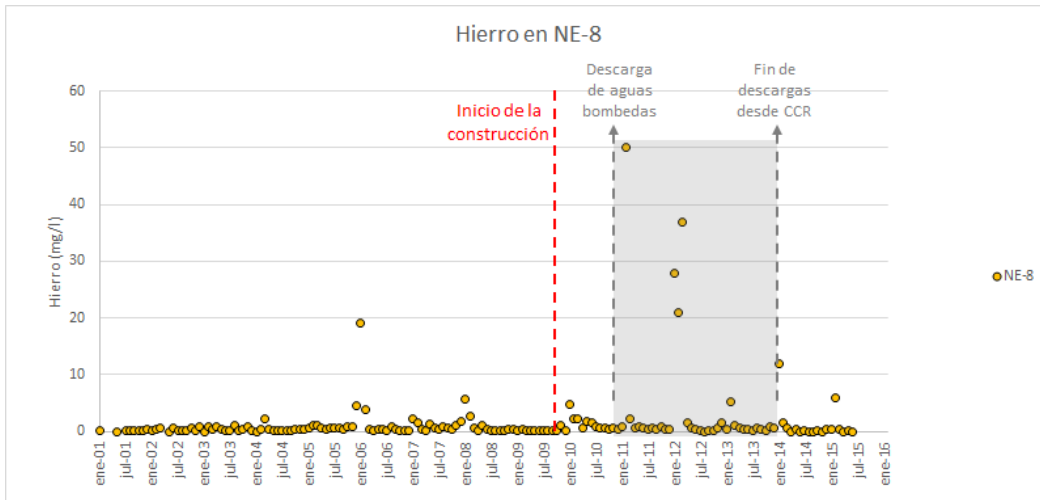
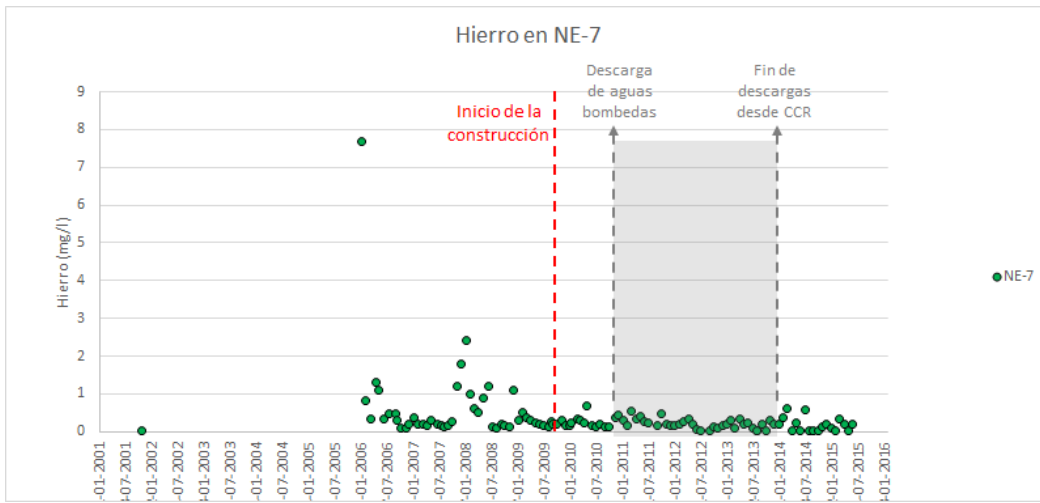


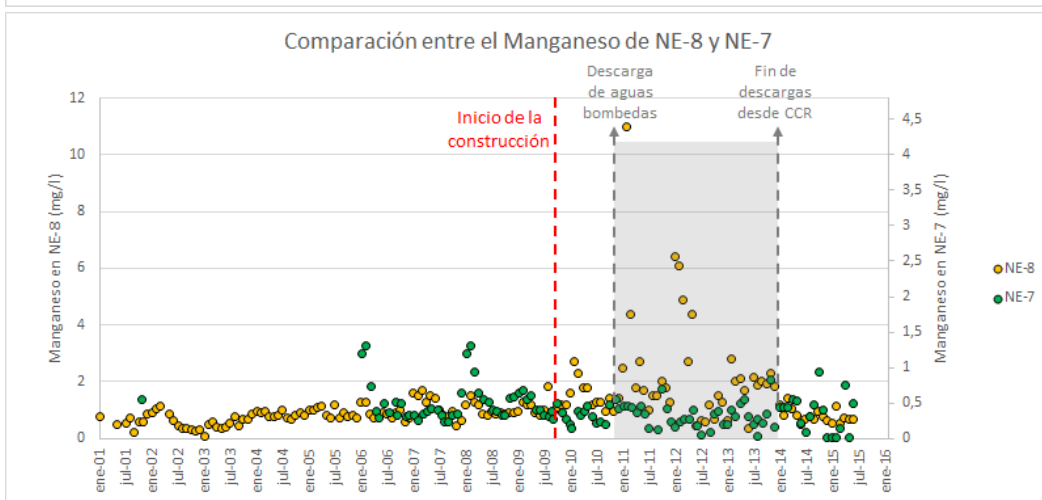
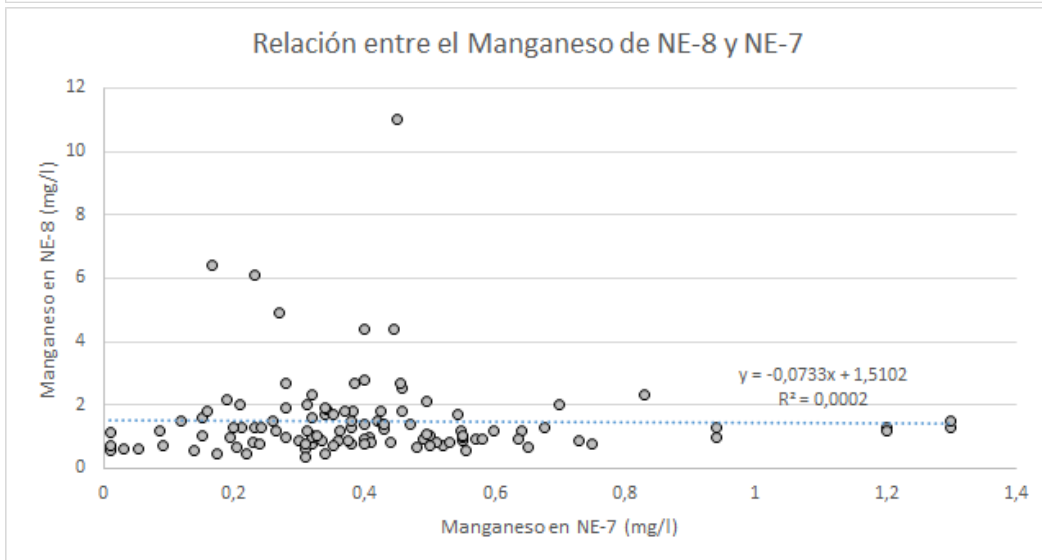
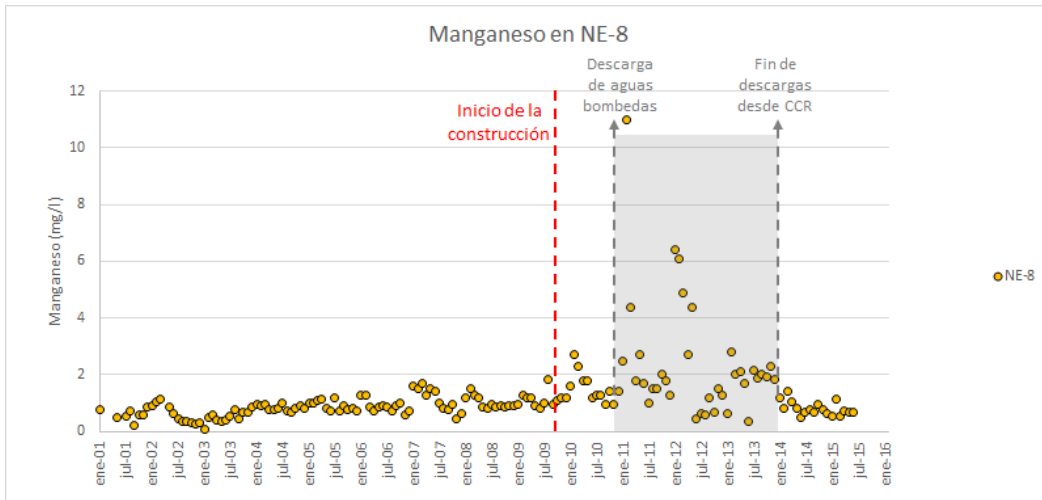
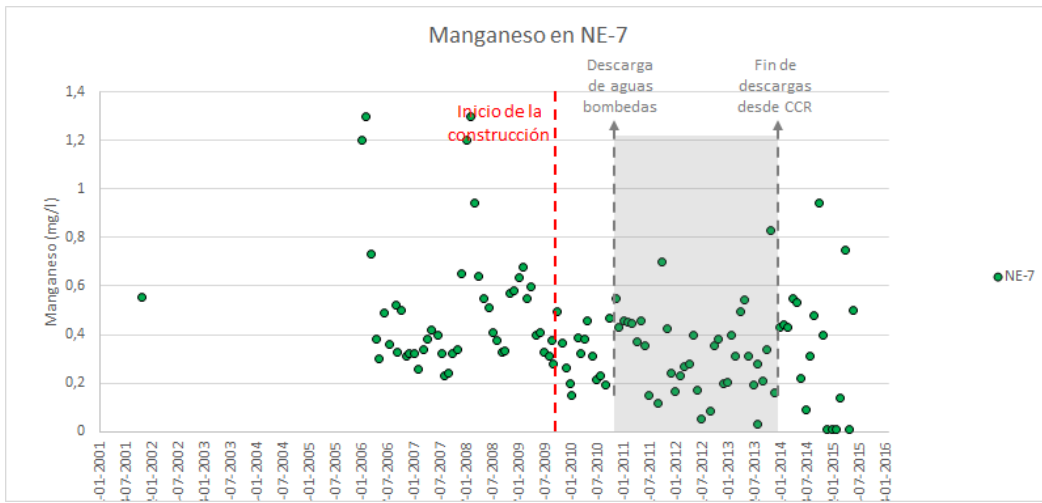


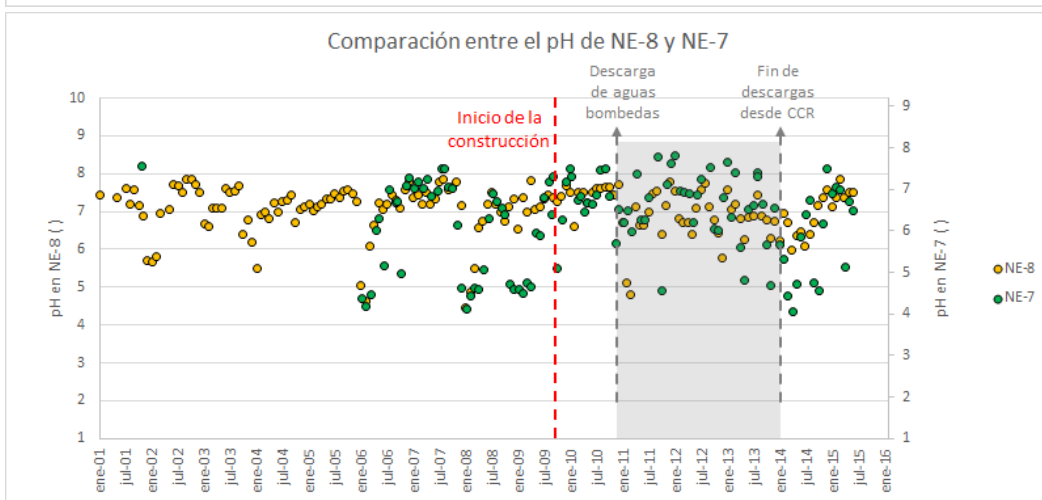
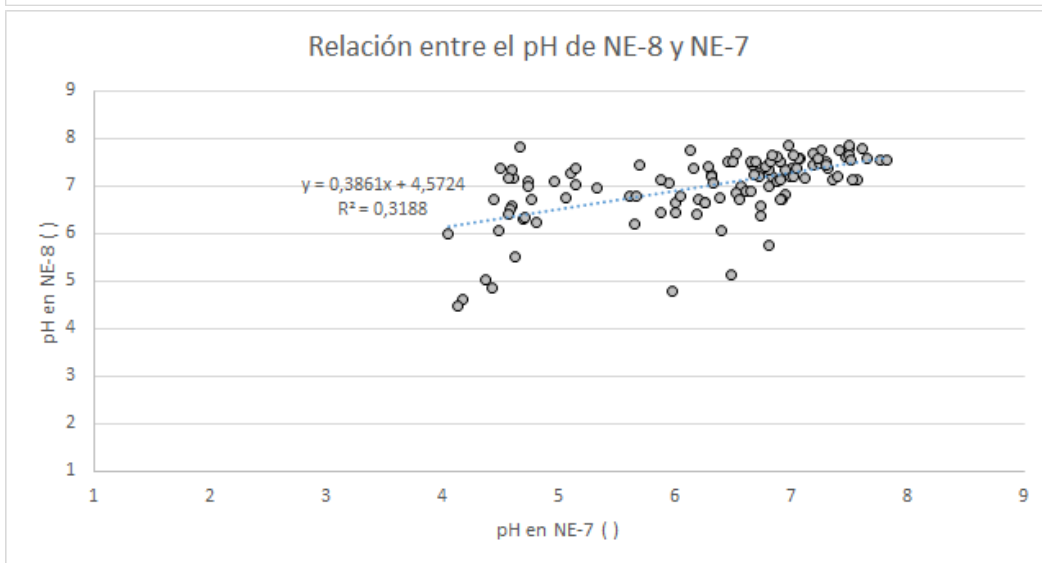
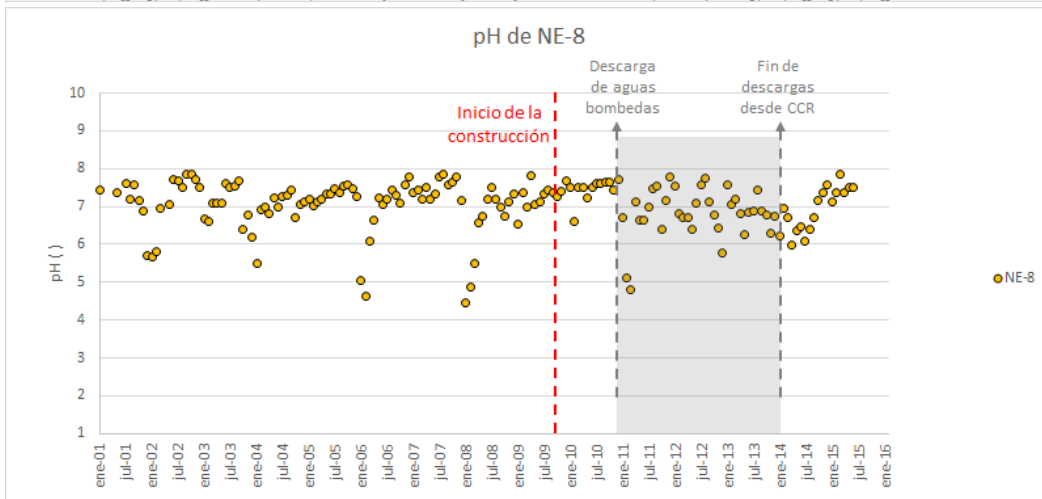
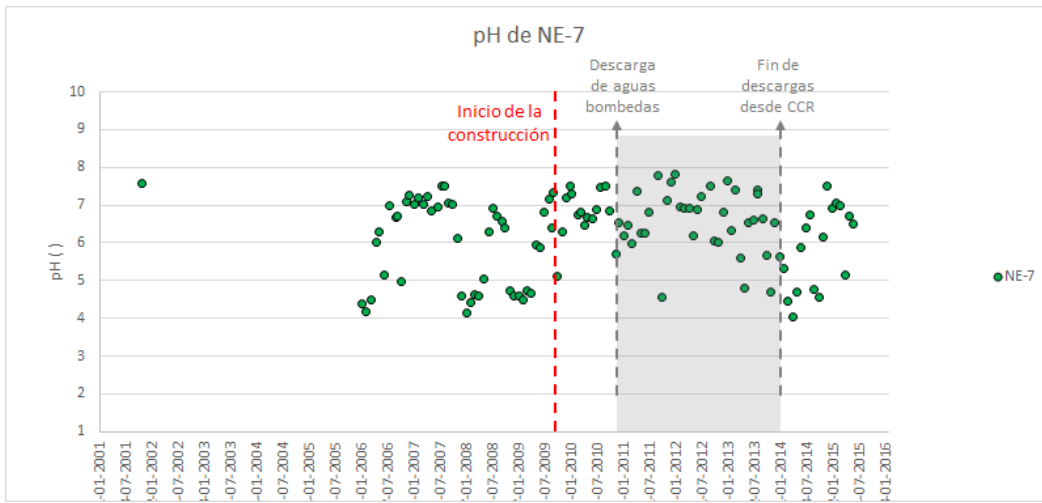


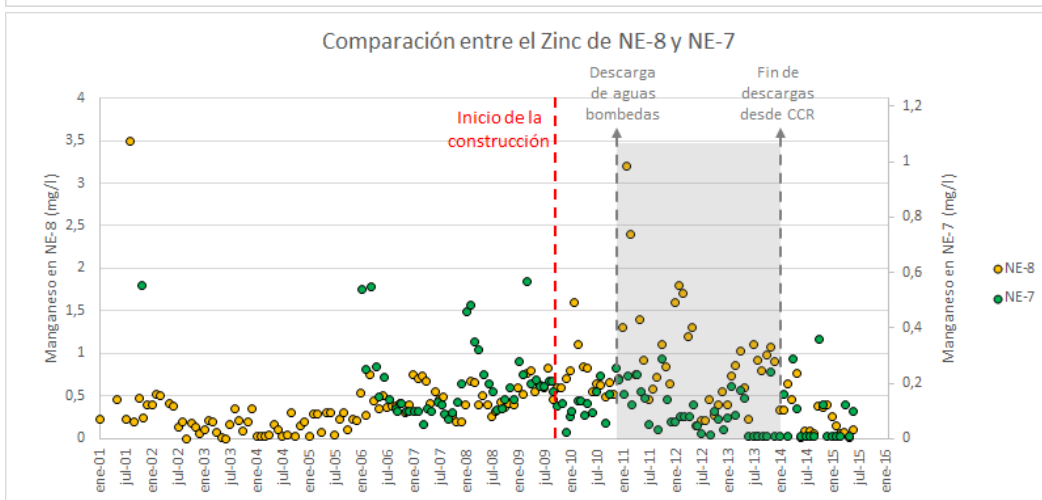
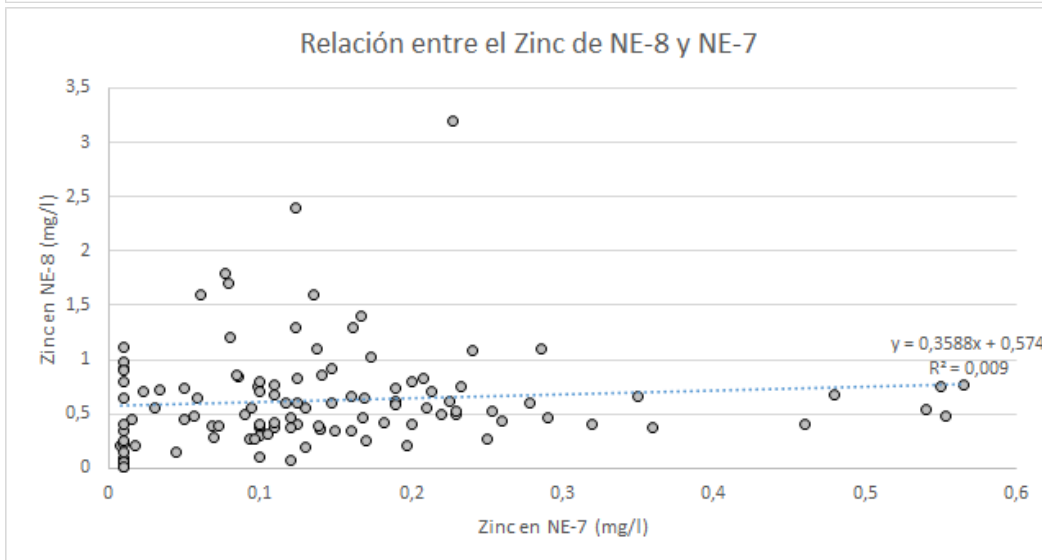
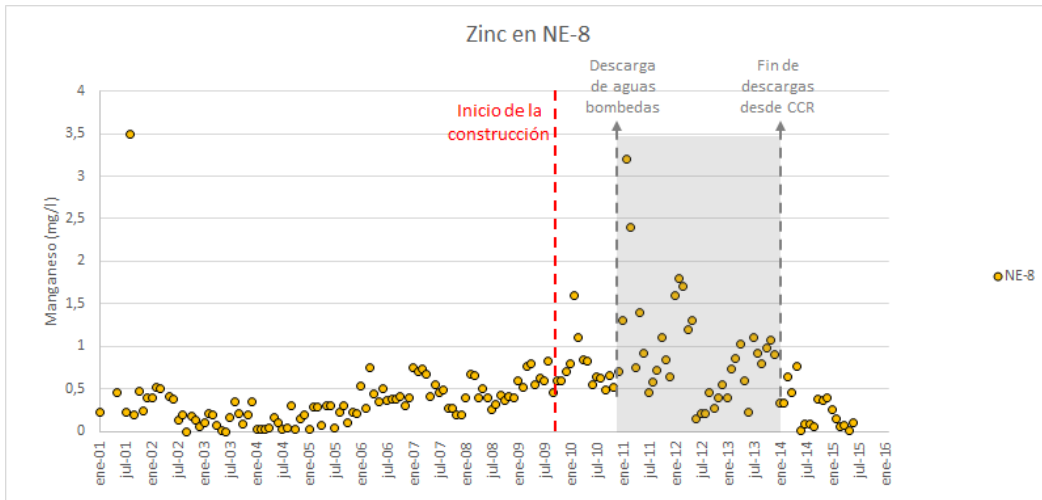
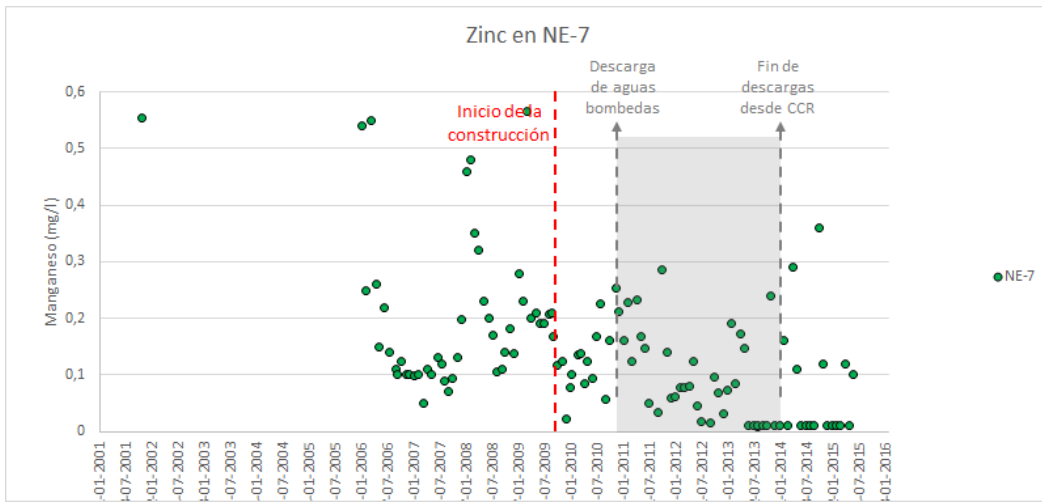




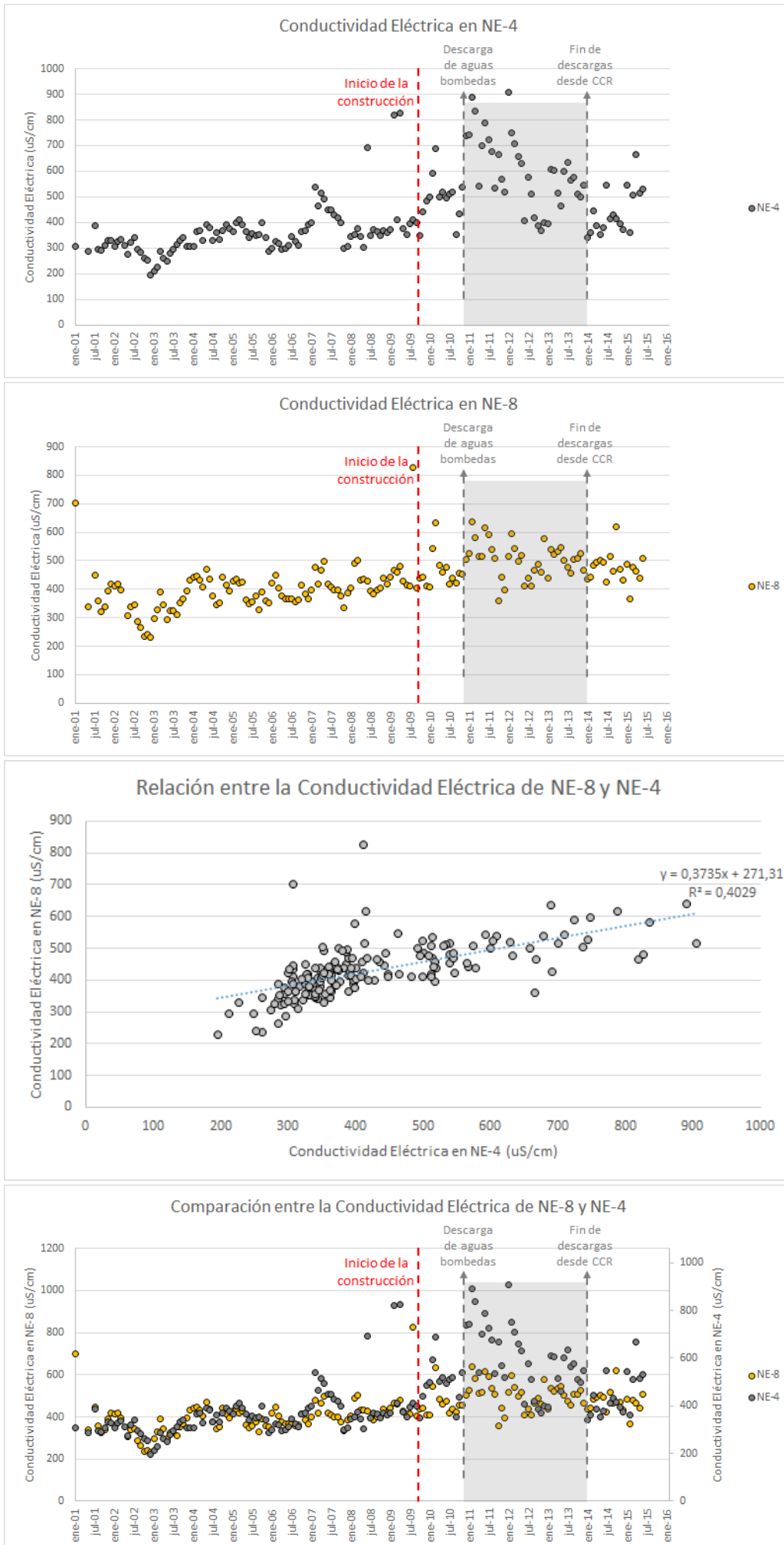


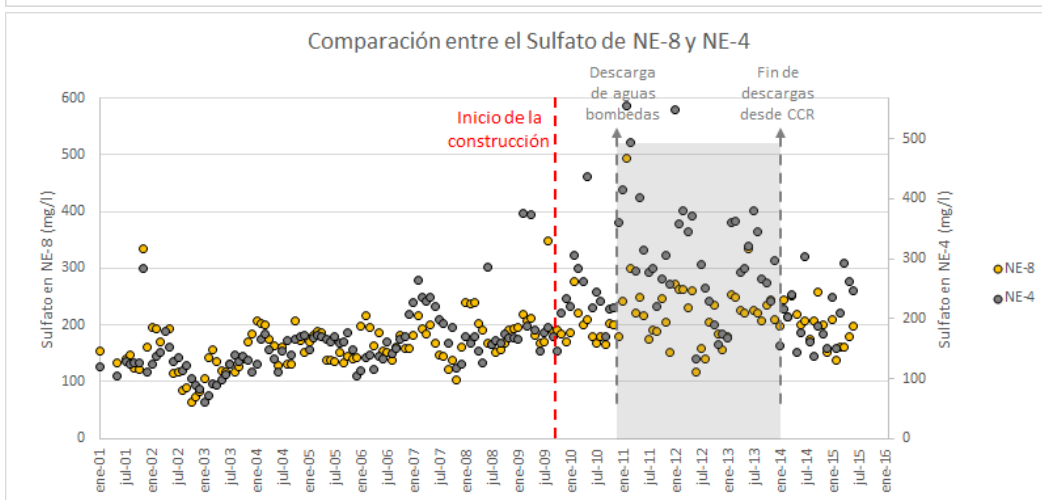
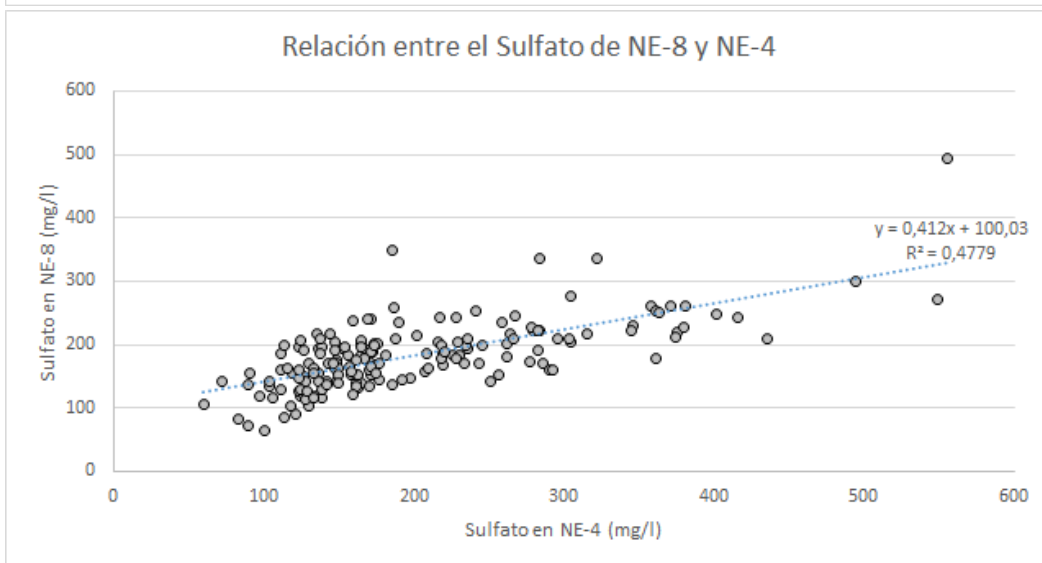
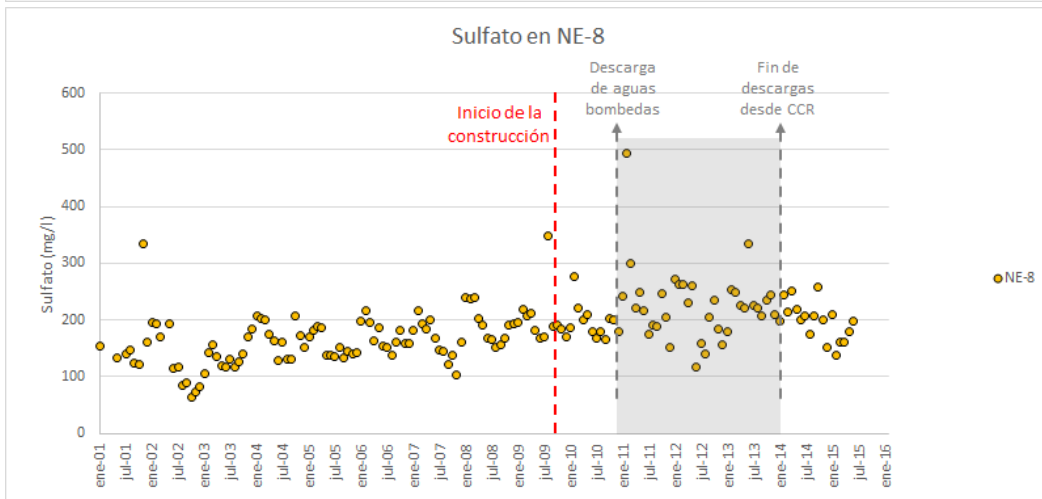
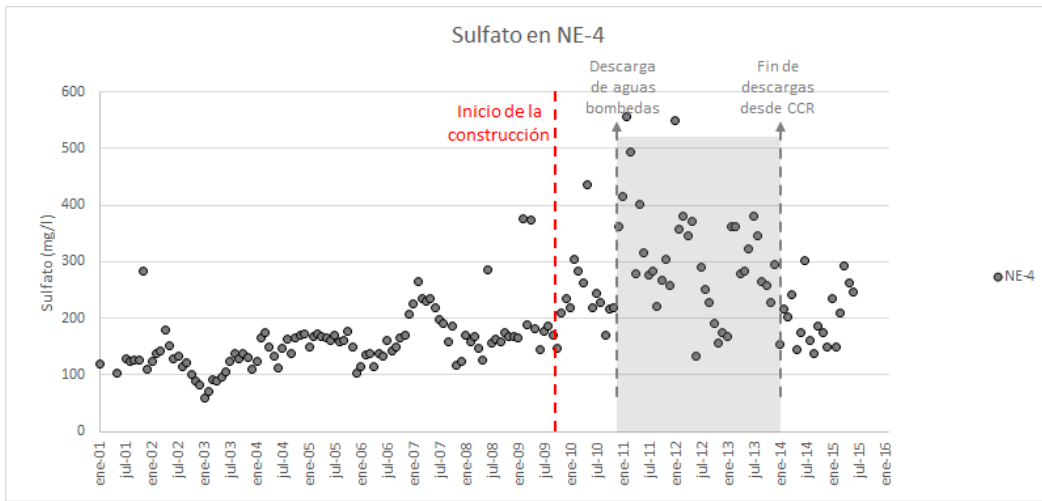


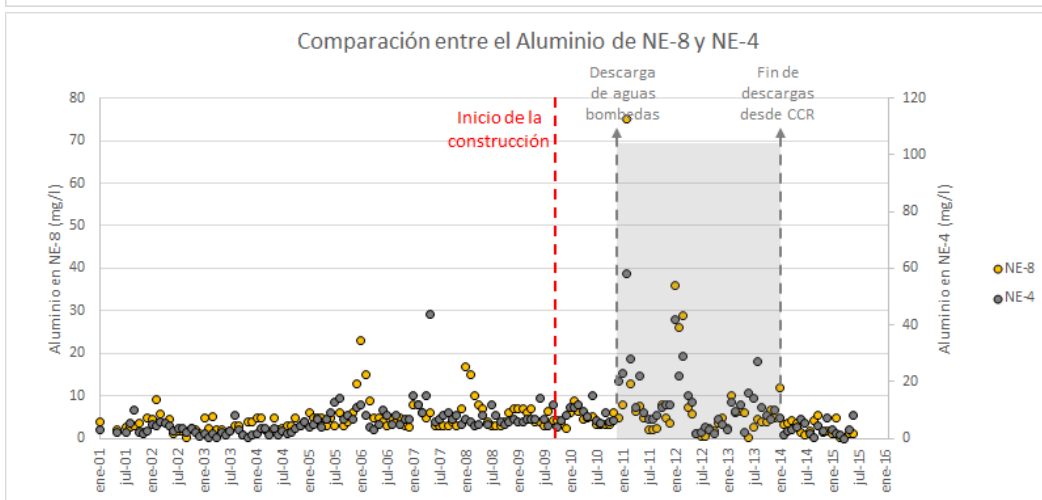
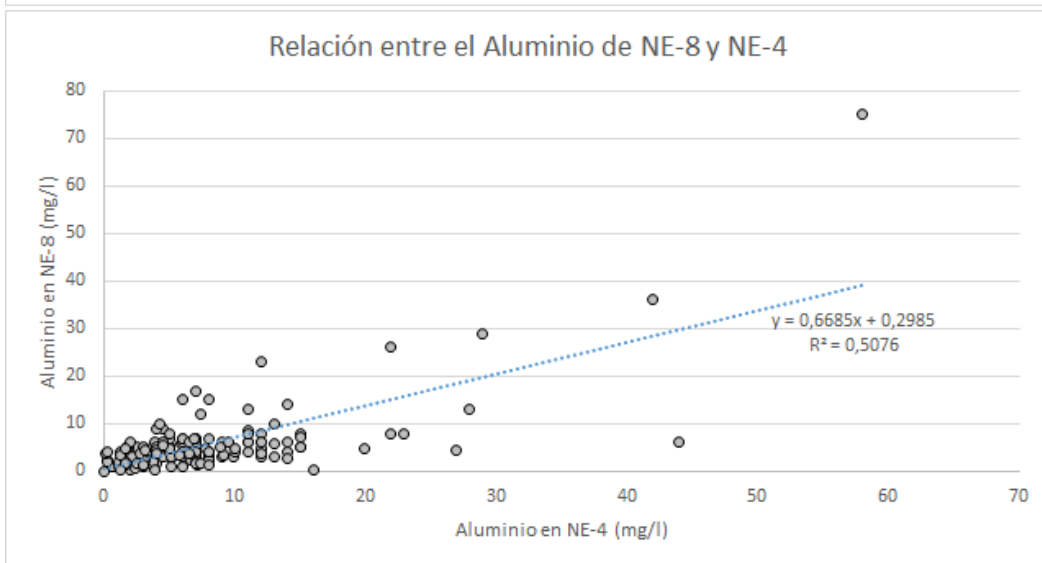
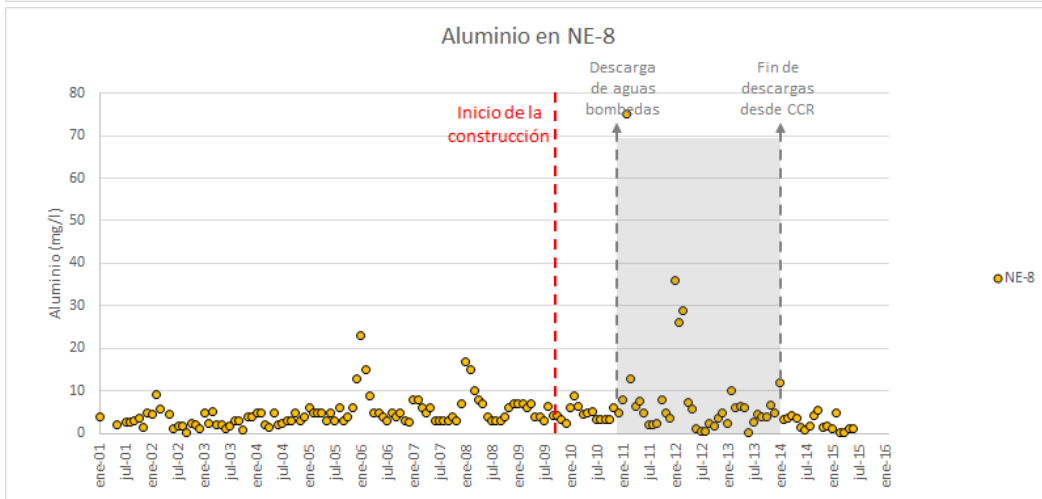
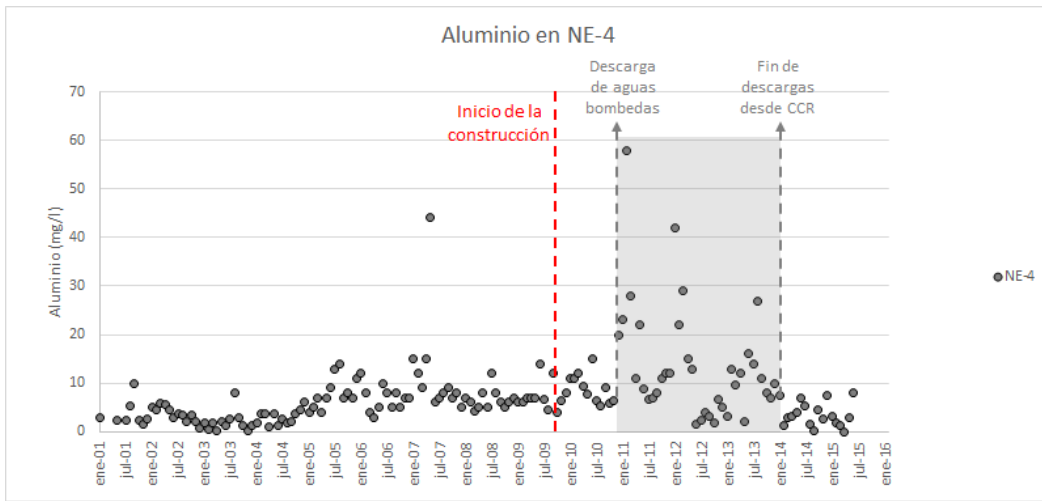


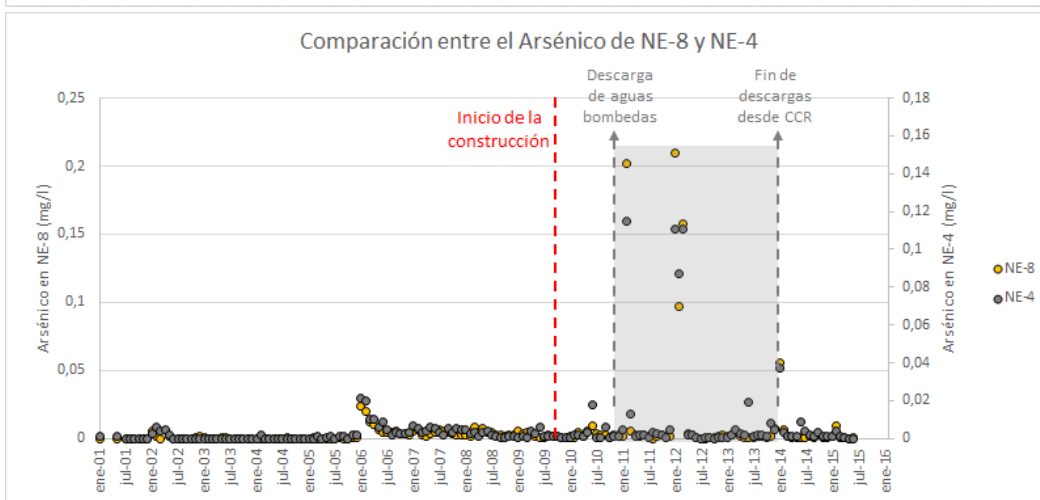
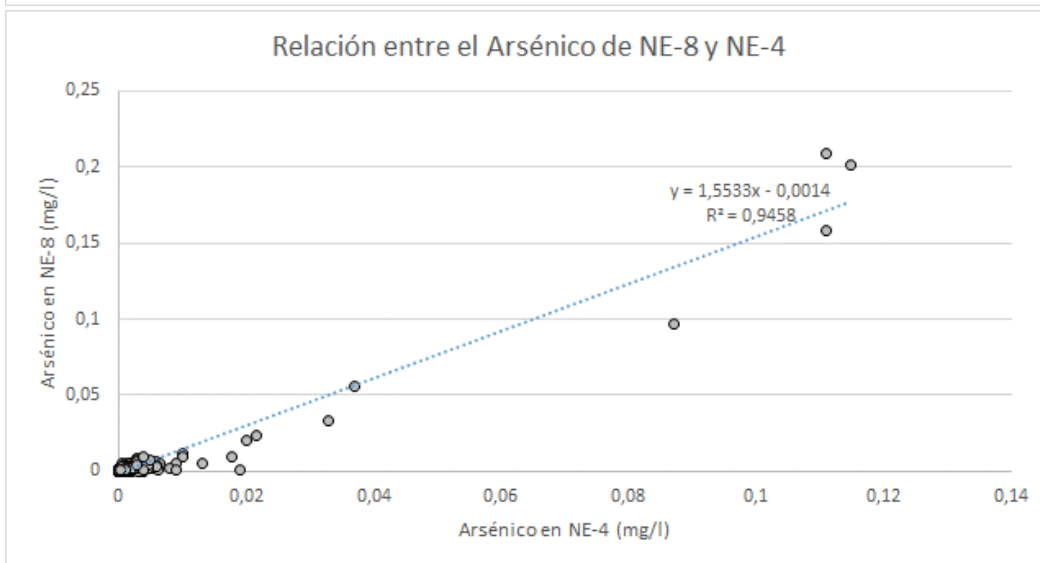
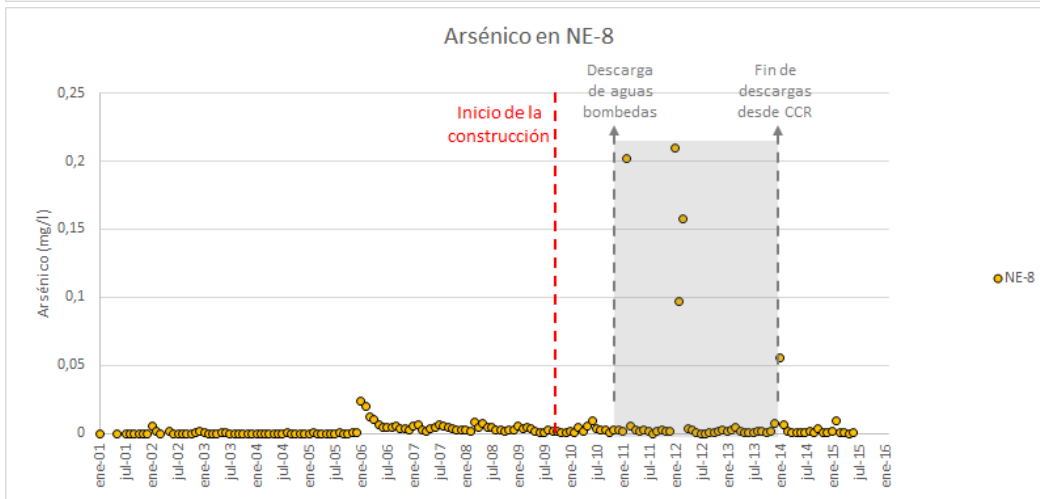
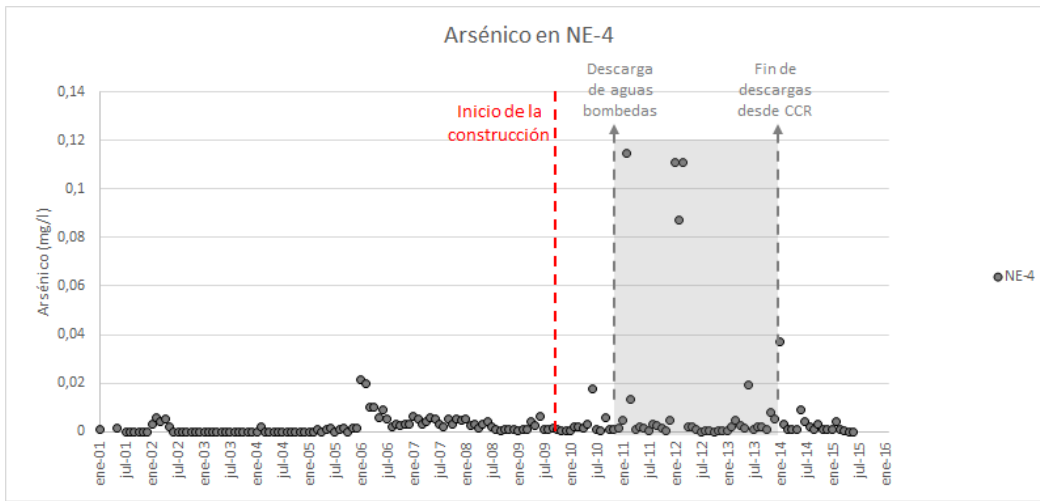


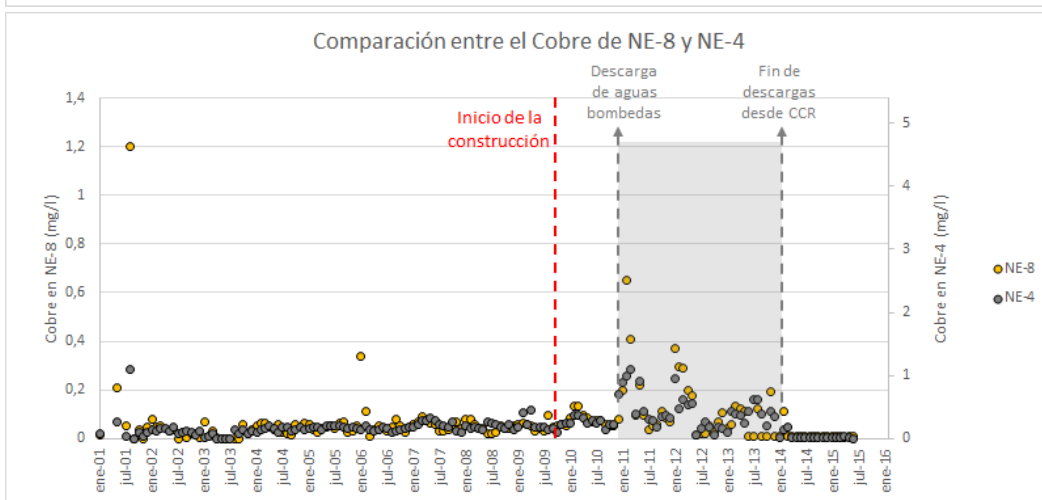
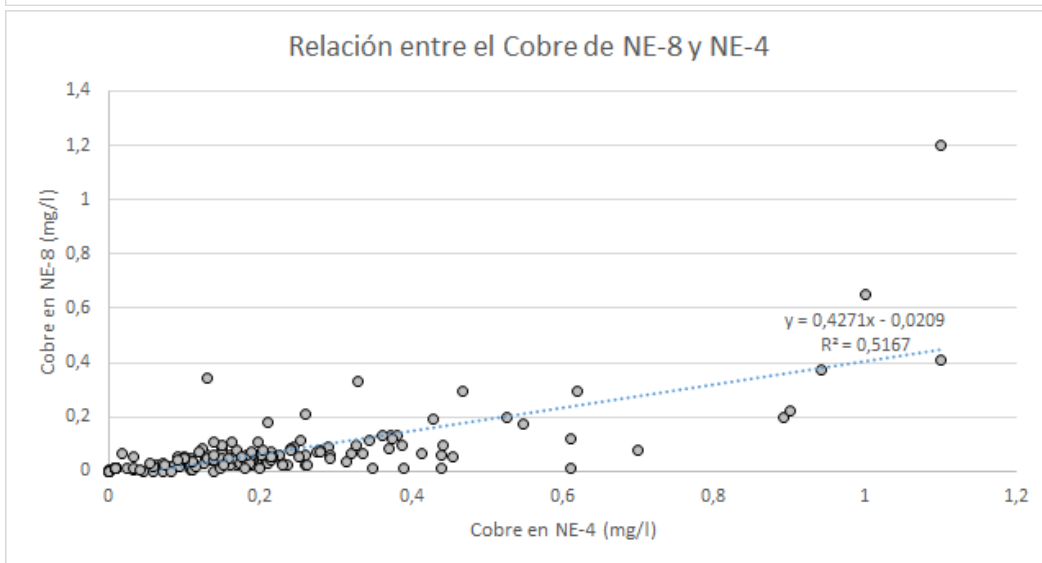
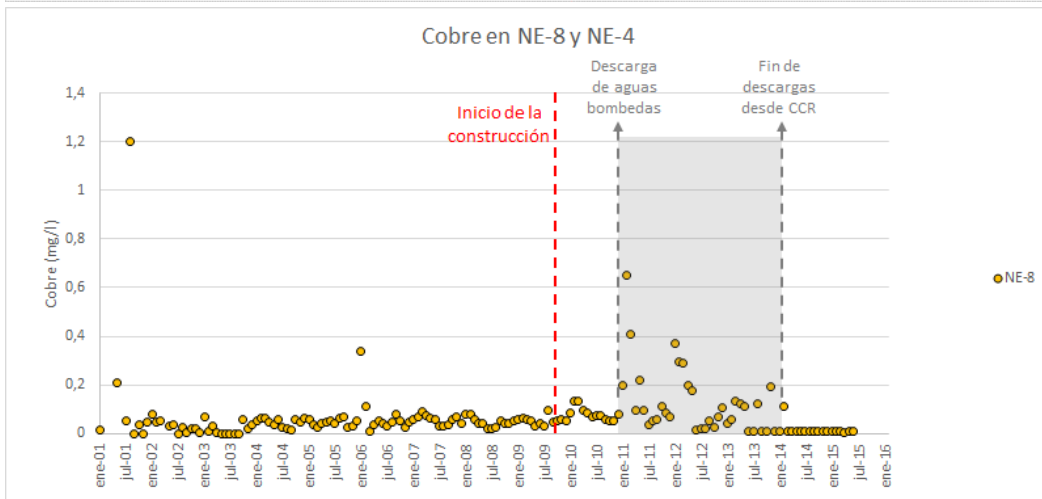
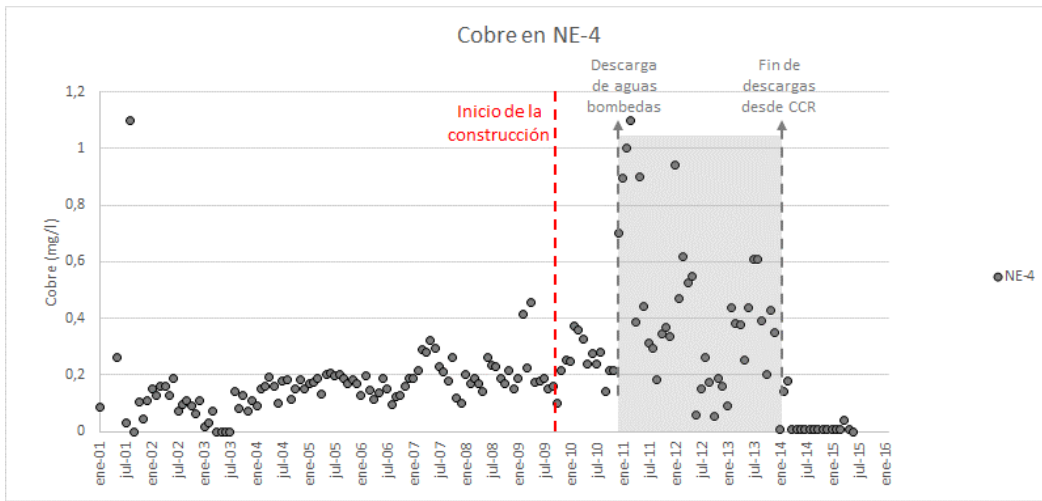
10. Comparación entre NE-4 y NE-8

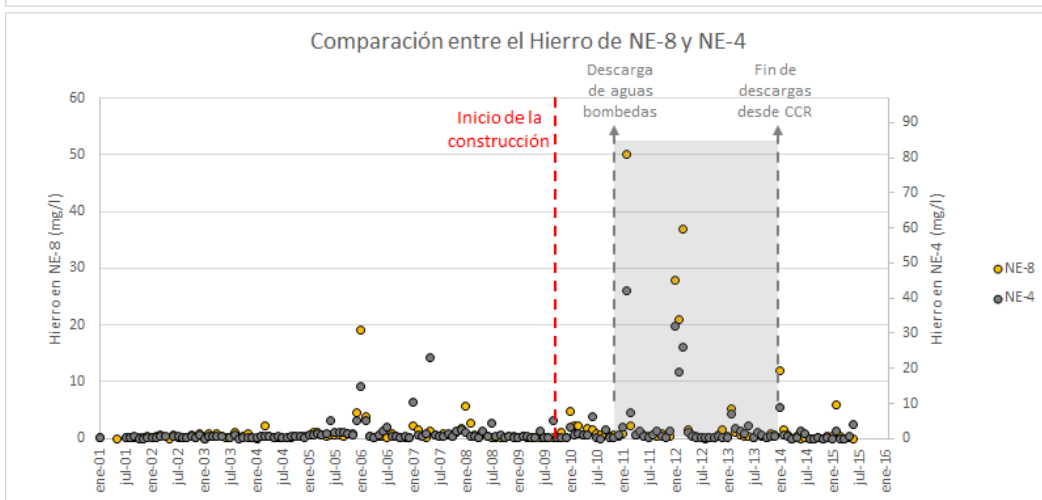
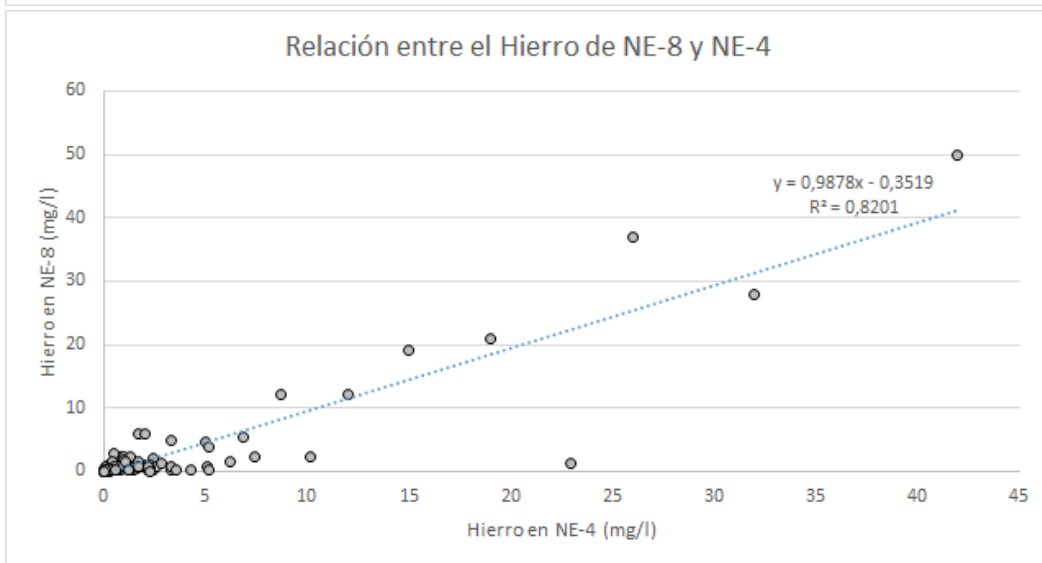
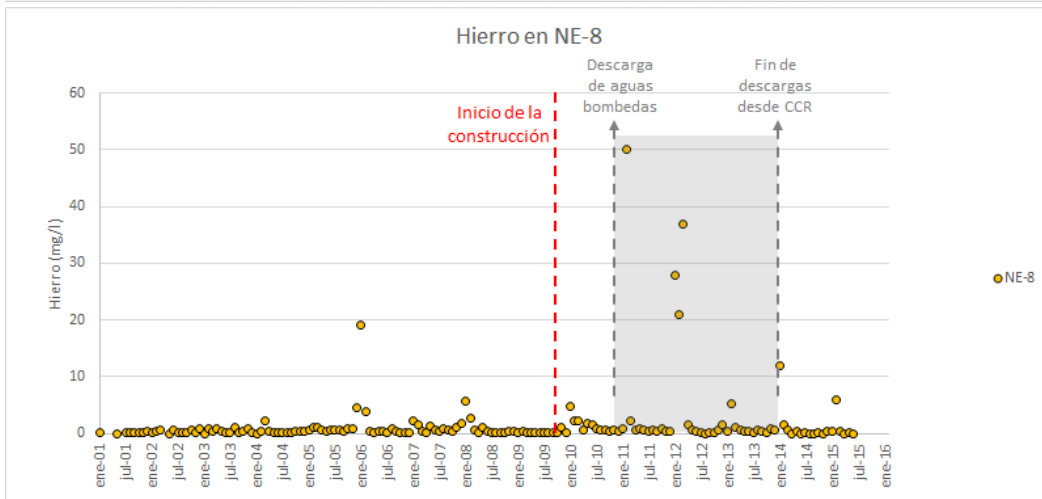
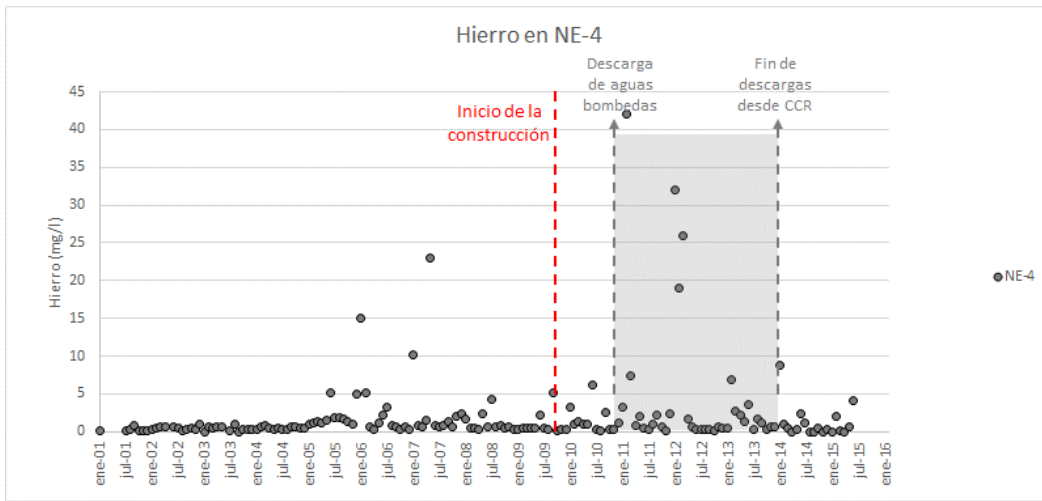


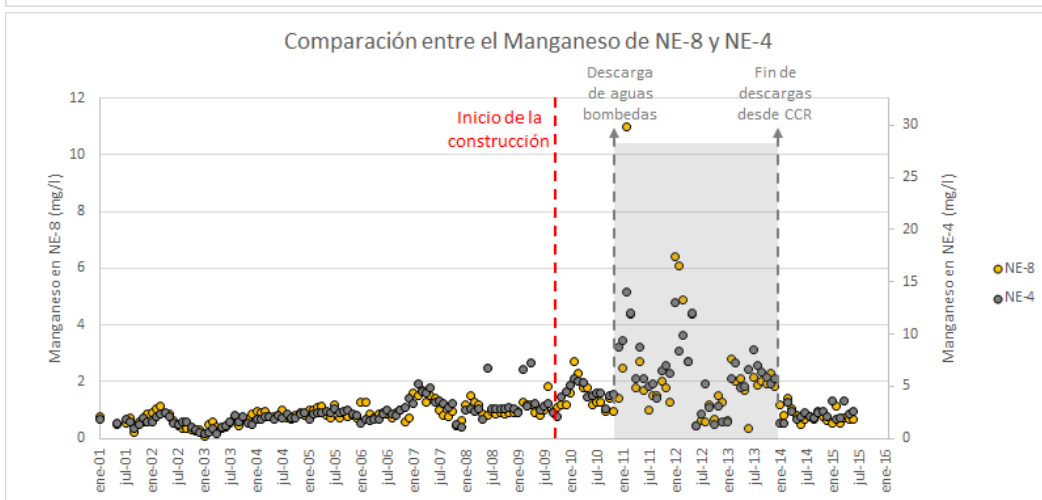
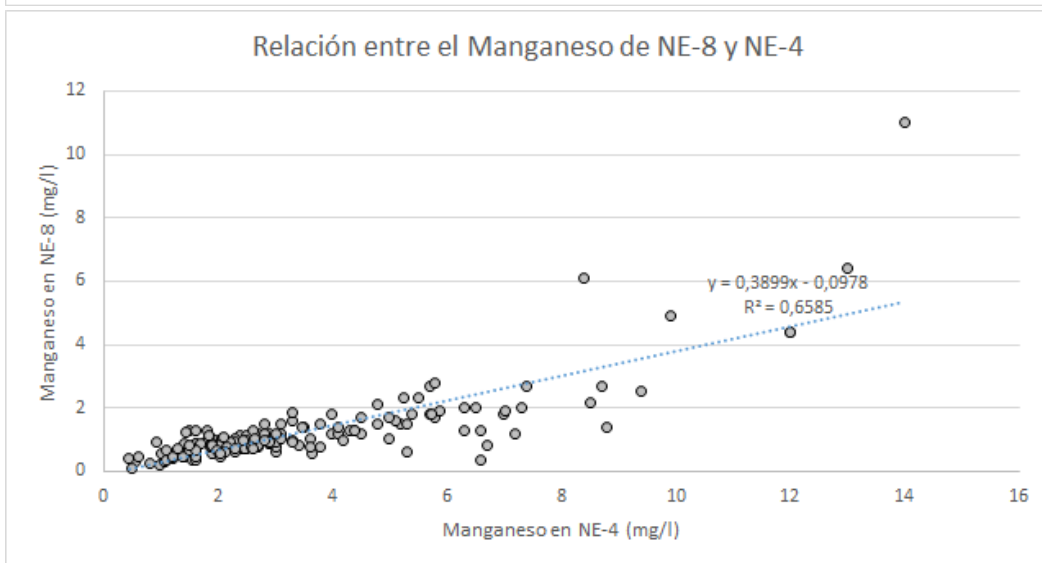
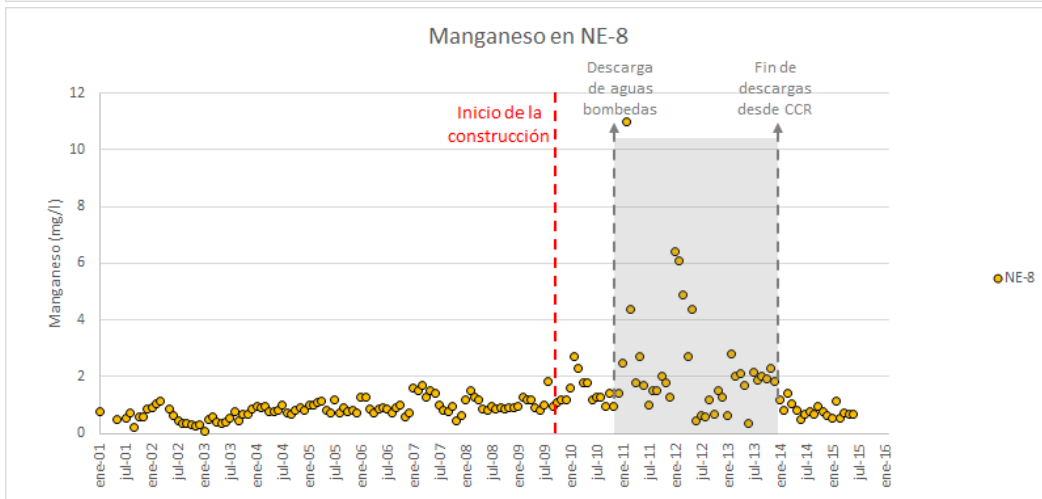
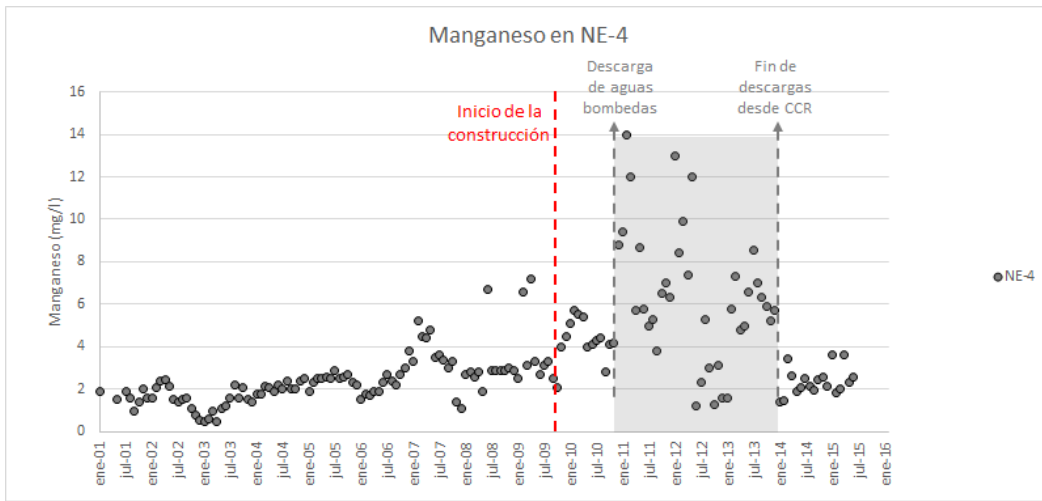


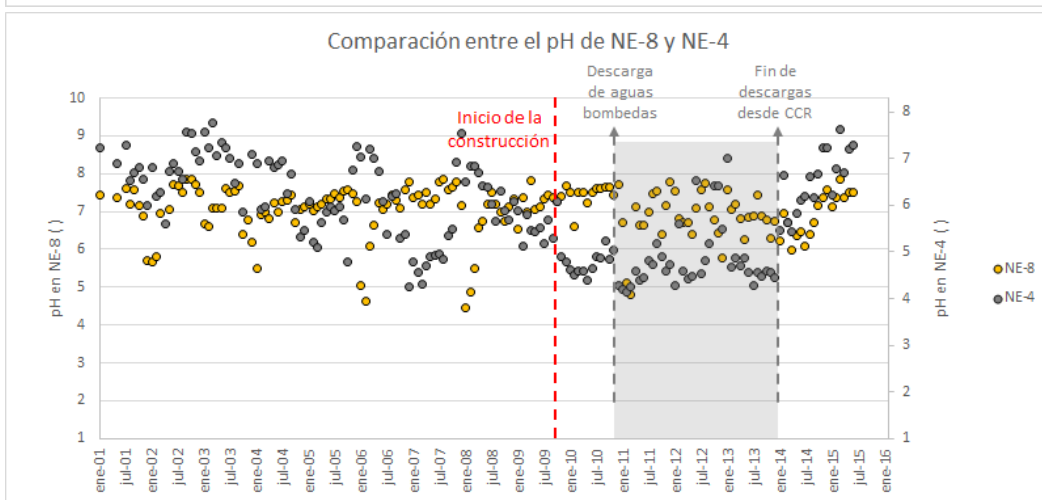
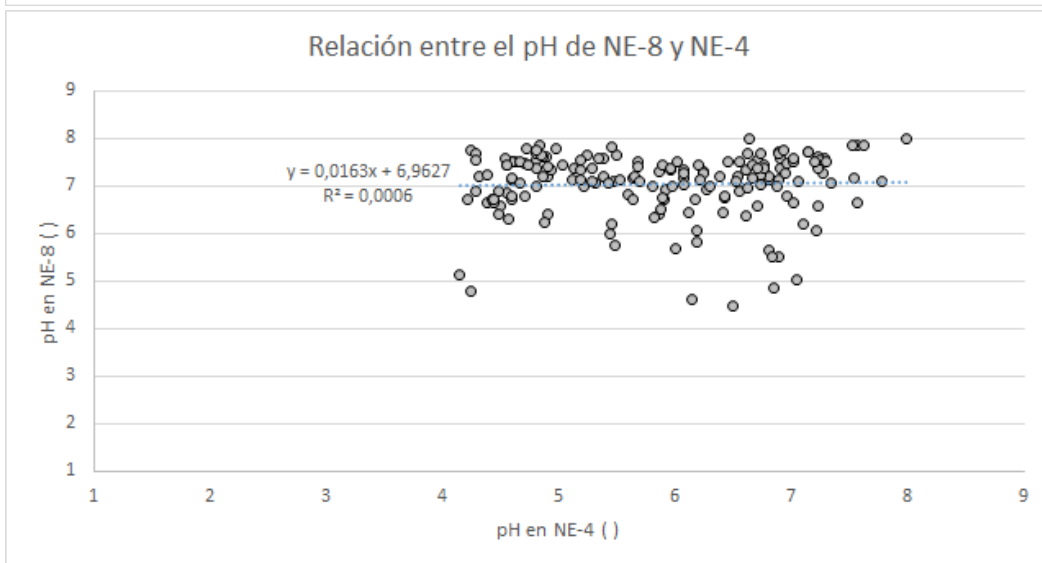
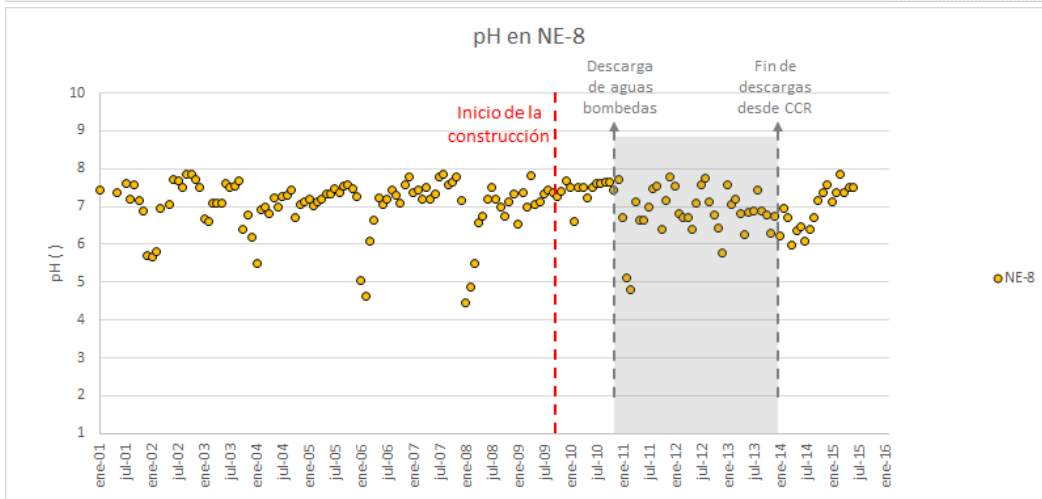
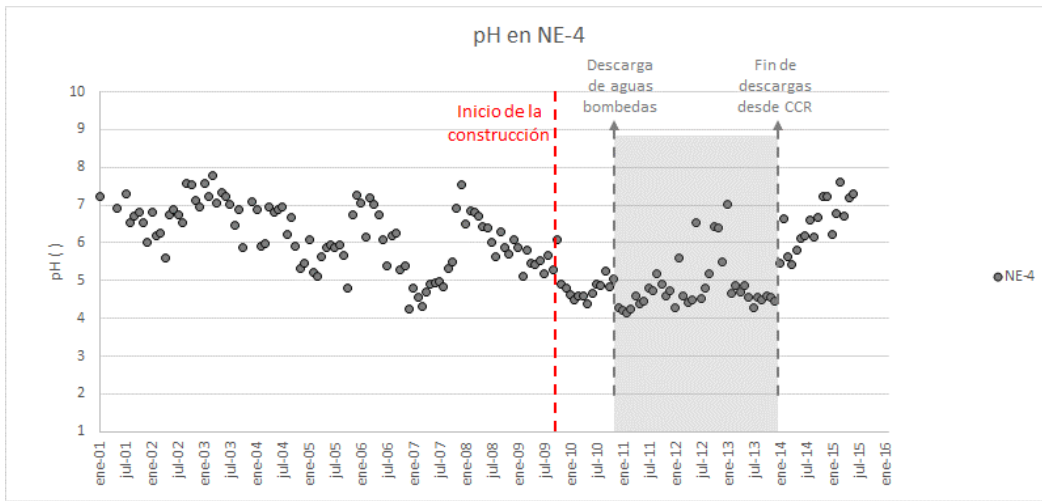


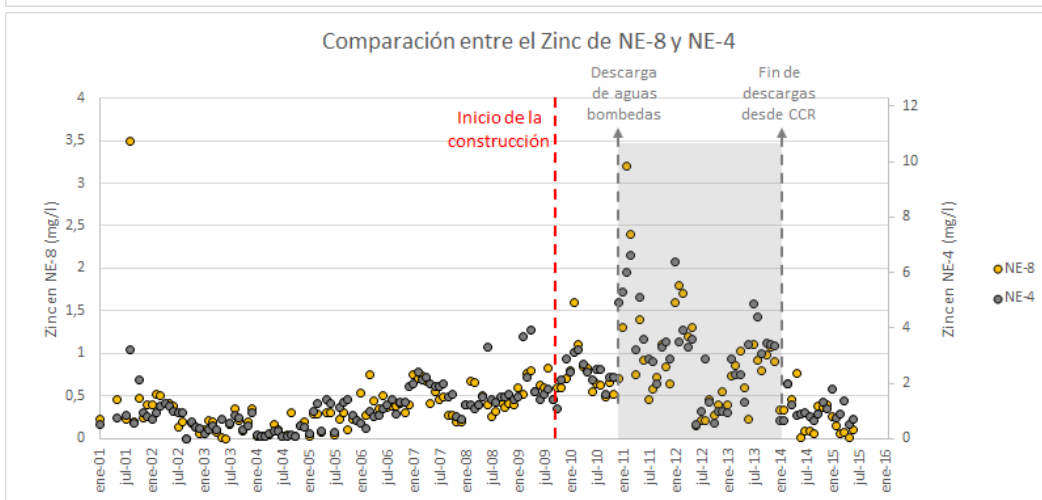
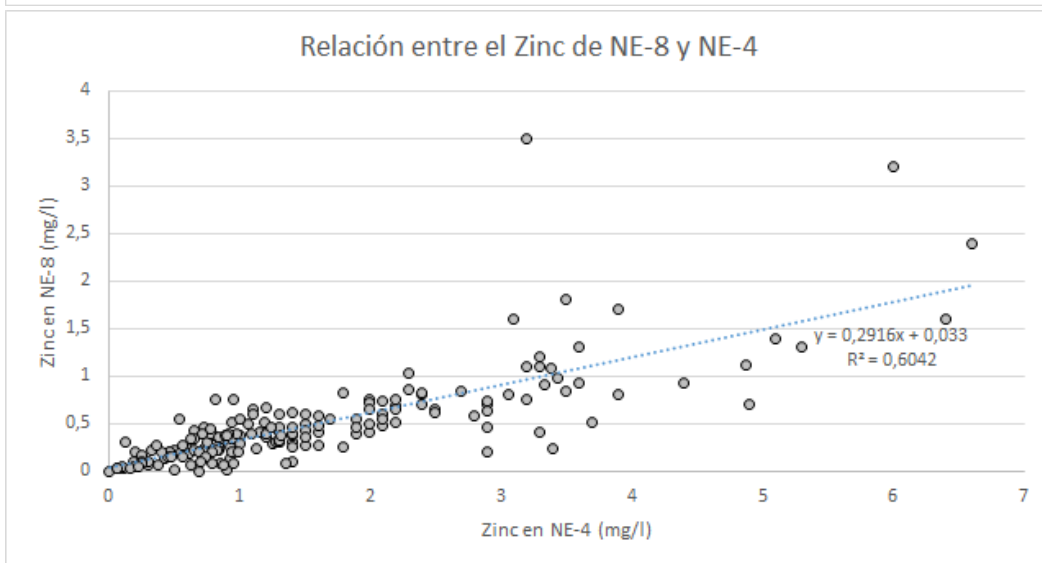
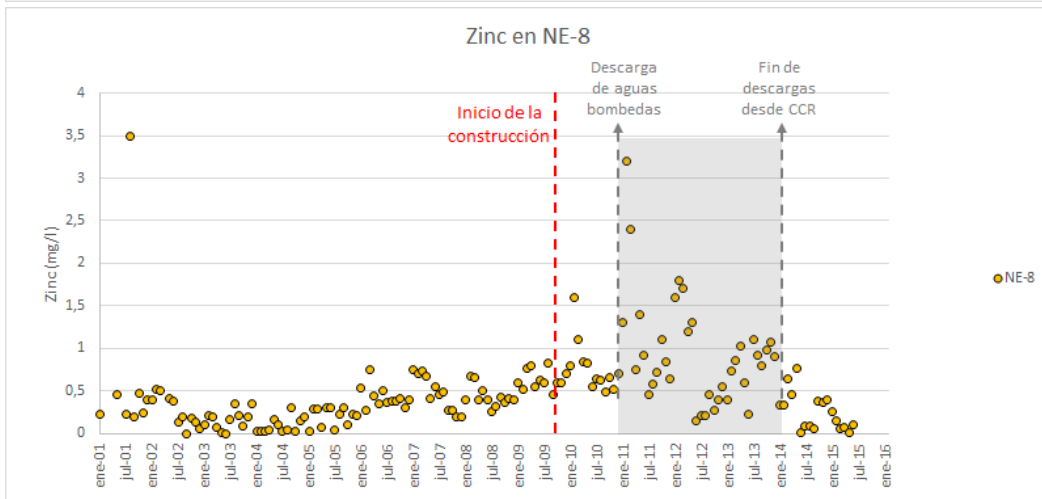
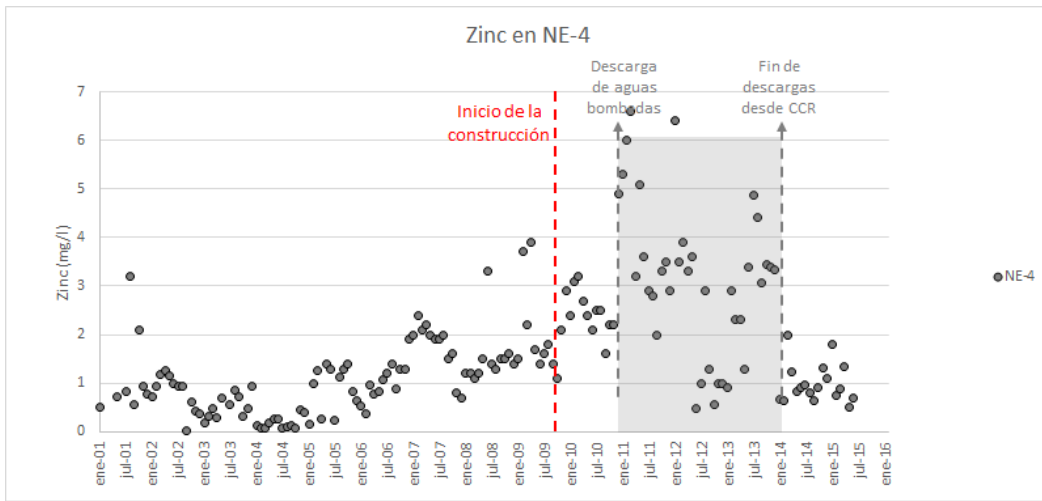










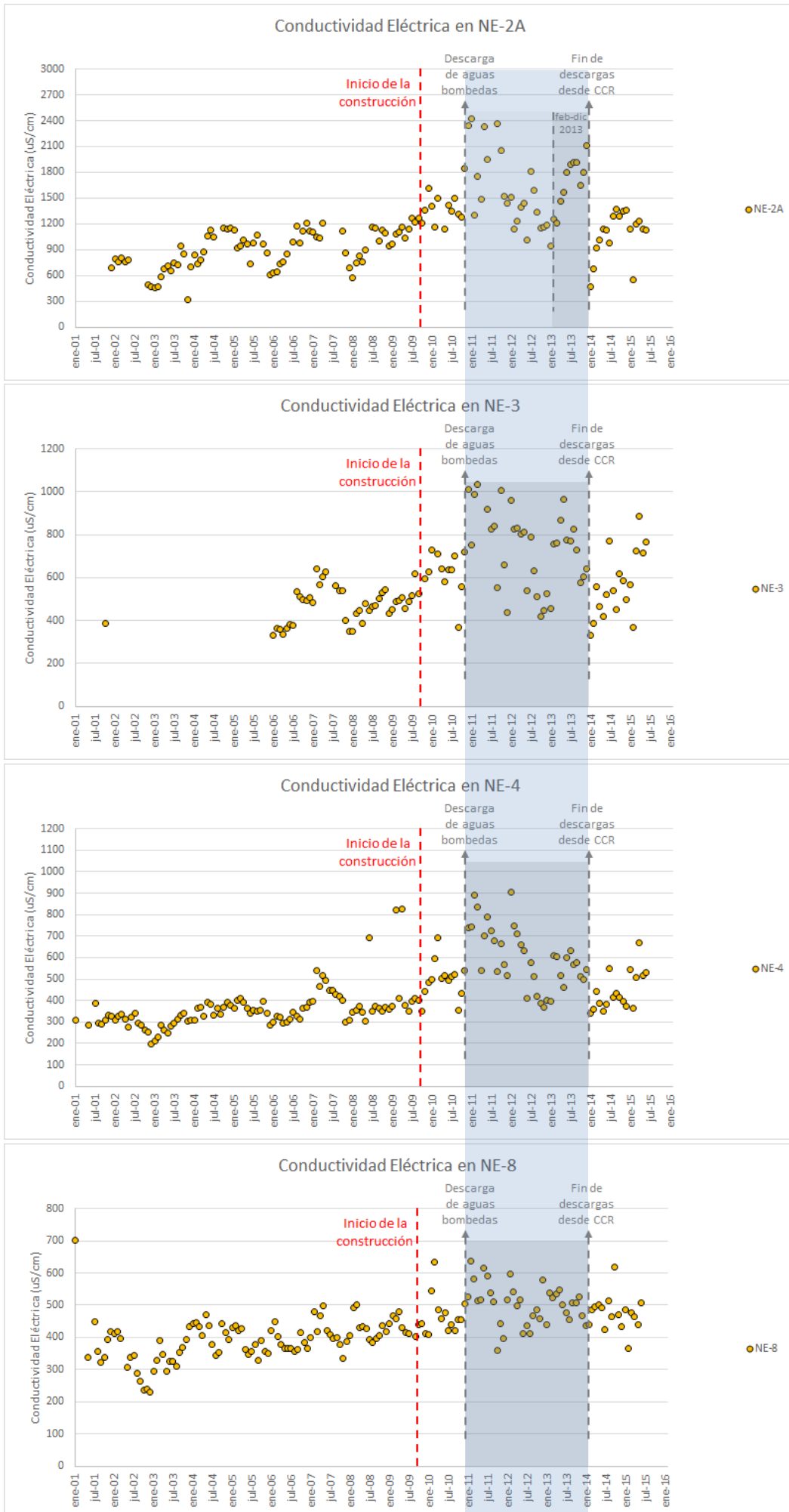




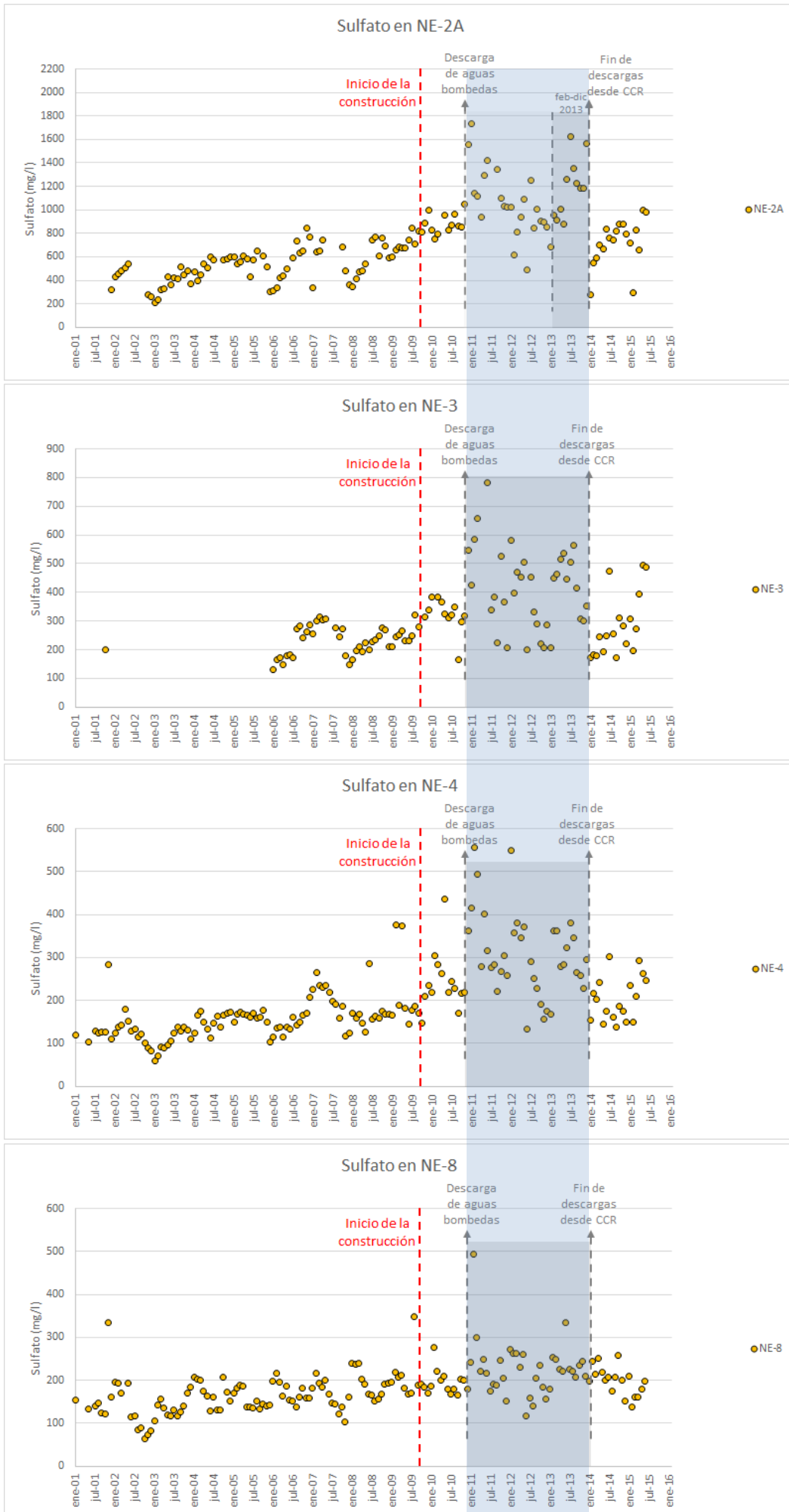
APÉNDICE 8-2: COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DAR ENTRE ESTACIONES DE MONITOREO

OBJETIVO: En el presente Apéndice se incluyen los gráficos construidos para cada parámetro DAR, los cuales permiten comparar la situación de cada uno a lo largo de las distintas estaciones de monitoreo del río Estrecho.

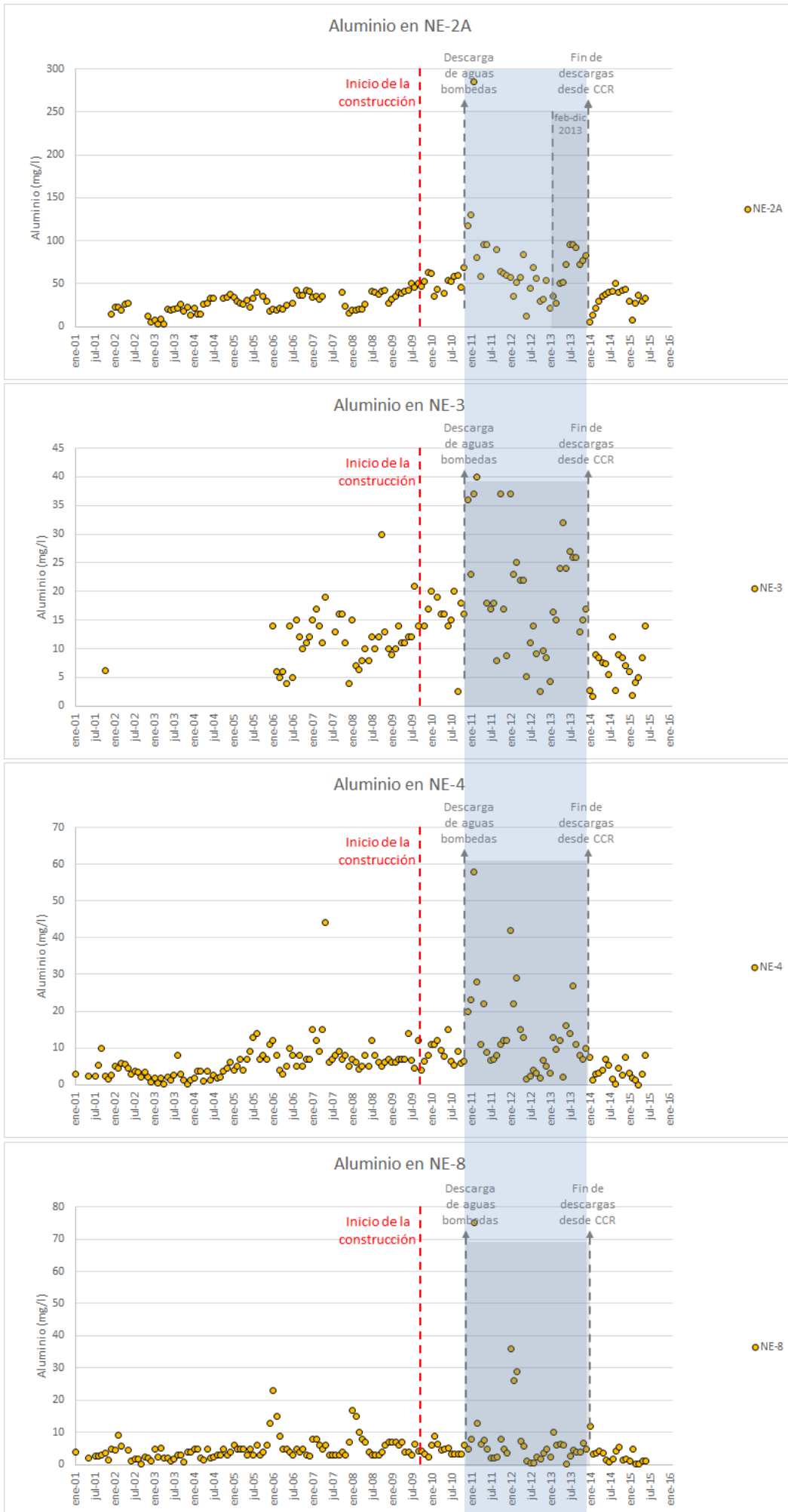
1. Comparación respecto de la Conductividad Eléctrica



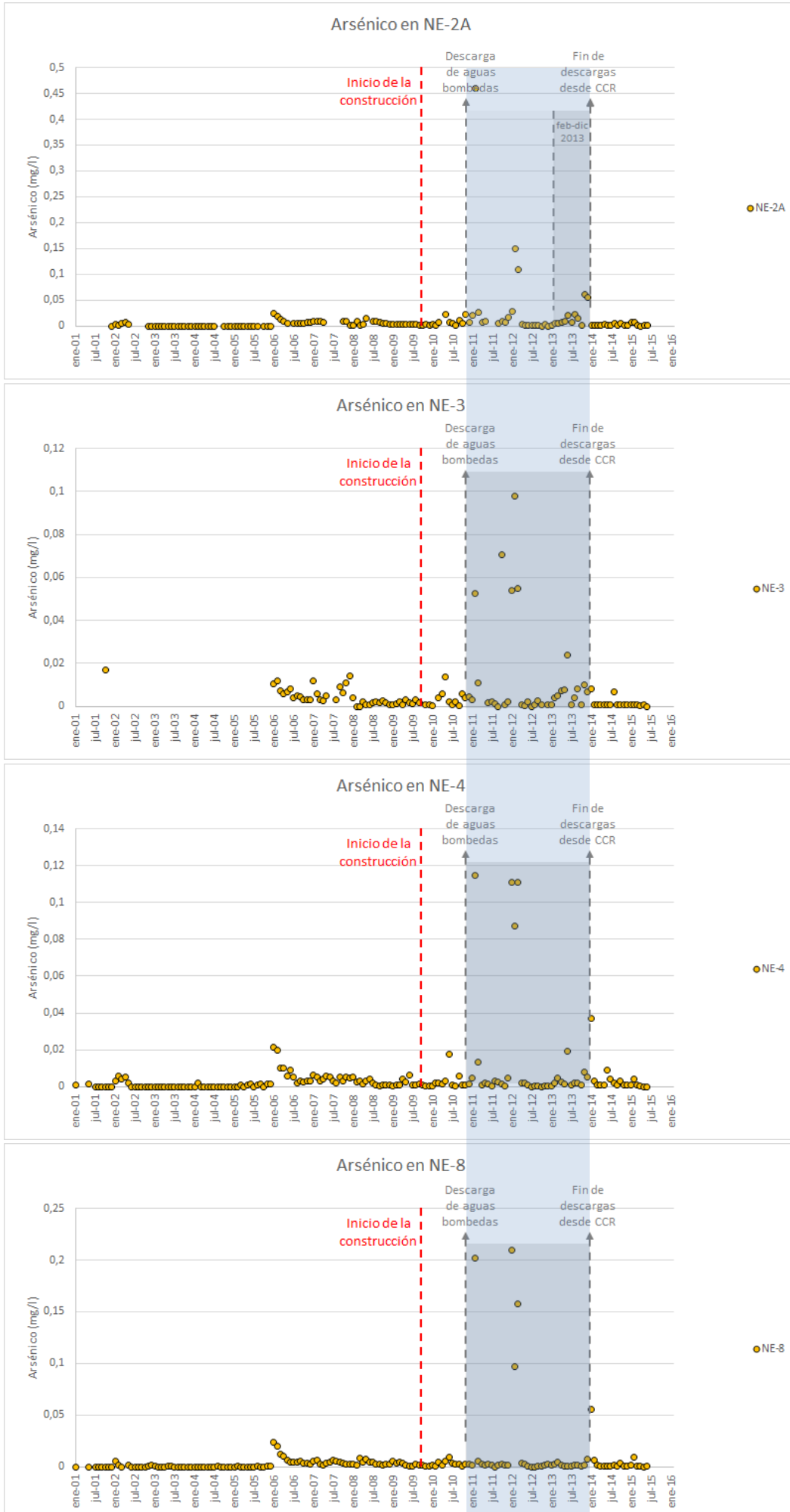
2. Comparación respecto del Sulfato



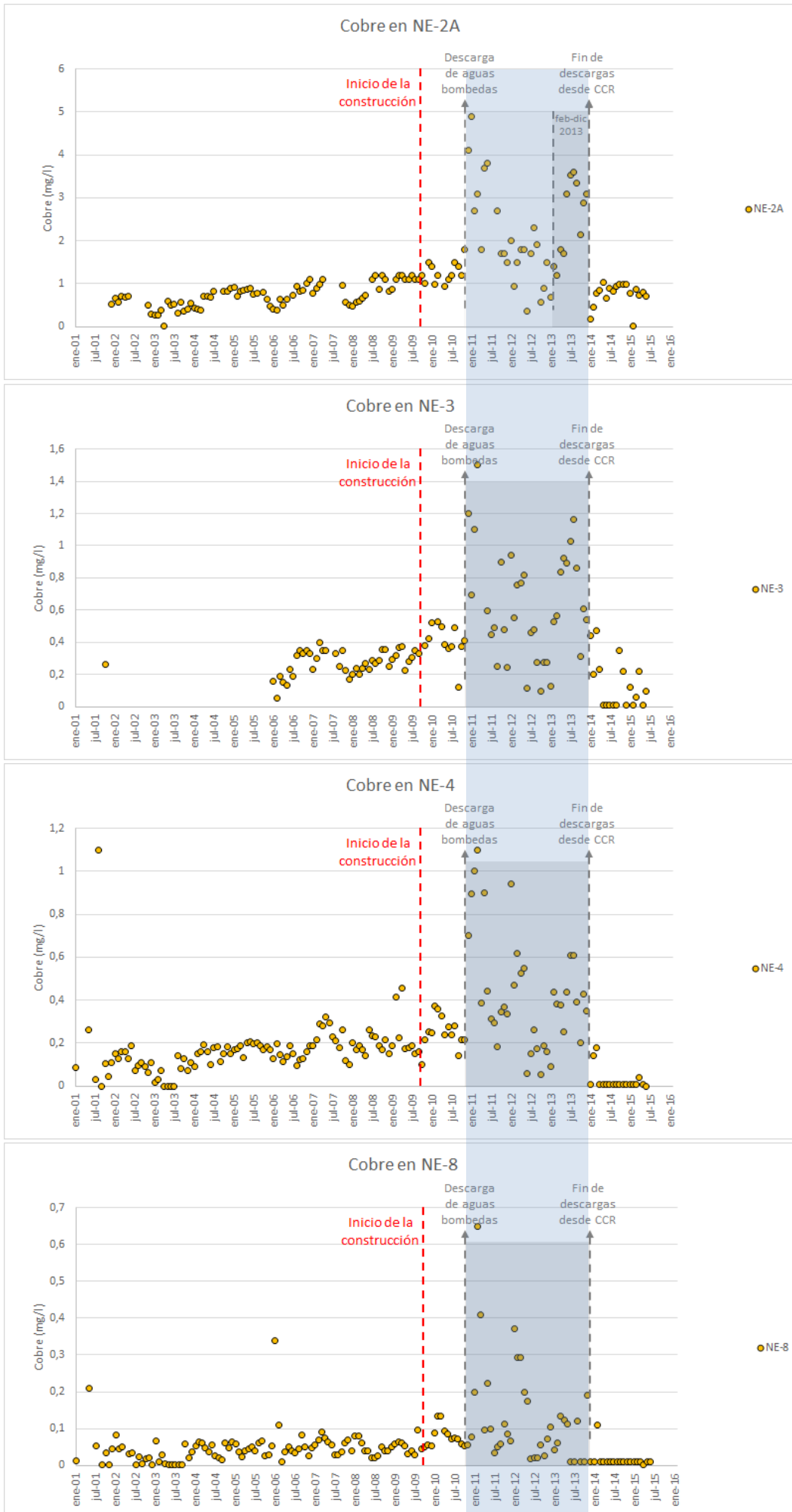
3. Comparación respecto del Aluminio



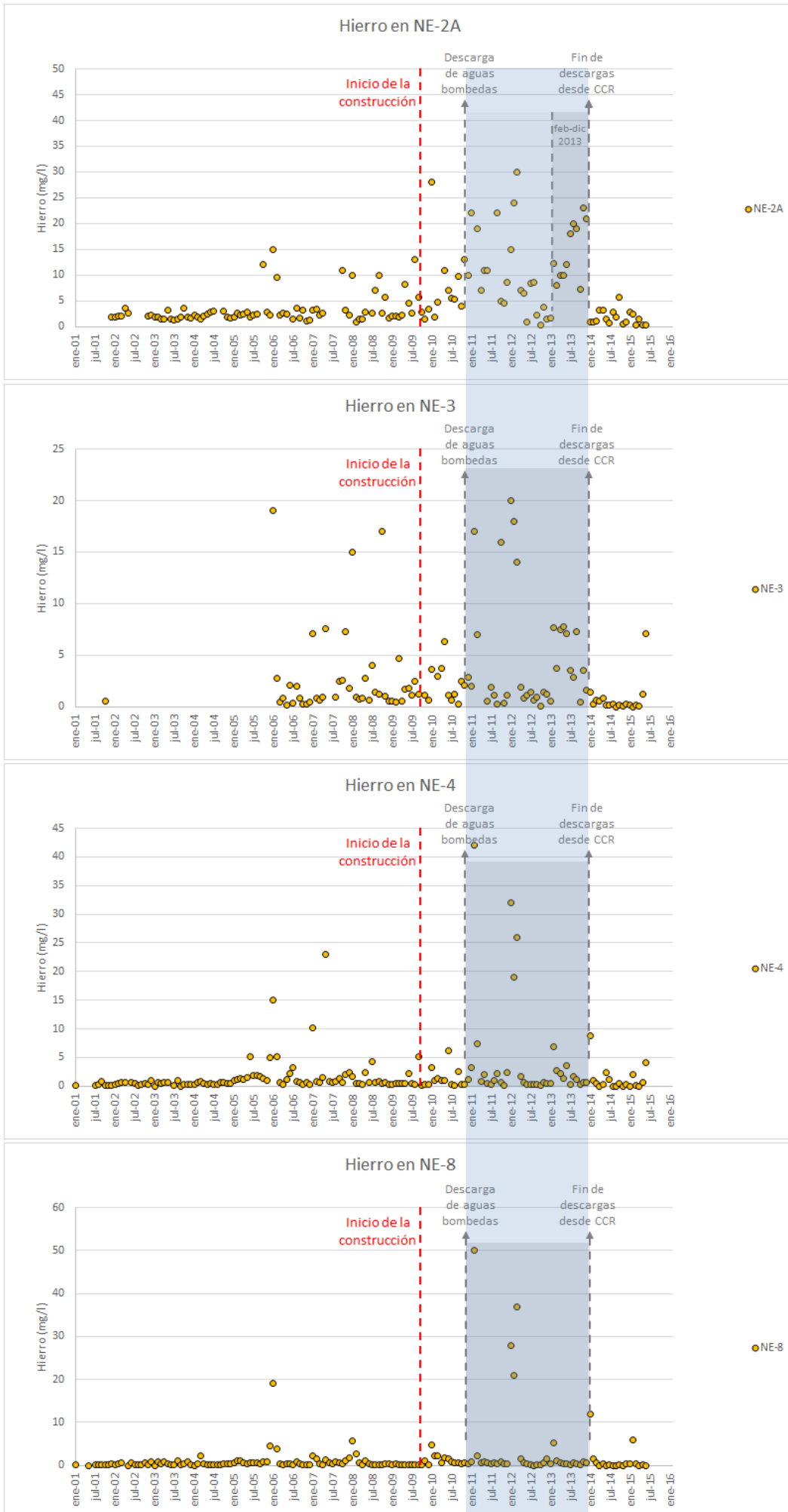
4. Comparación respecto del Arsénico



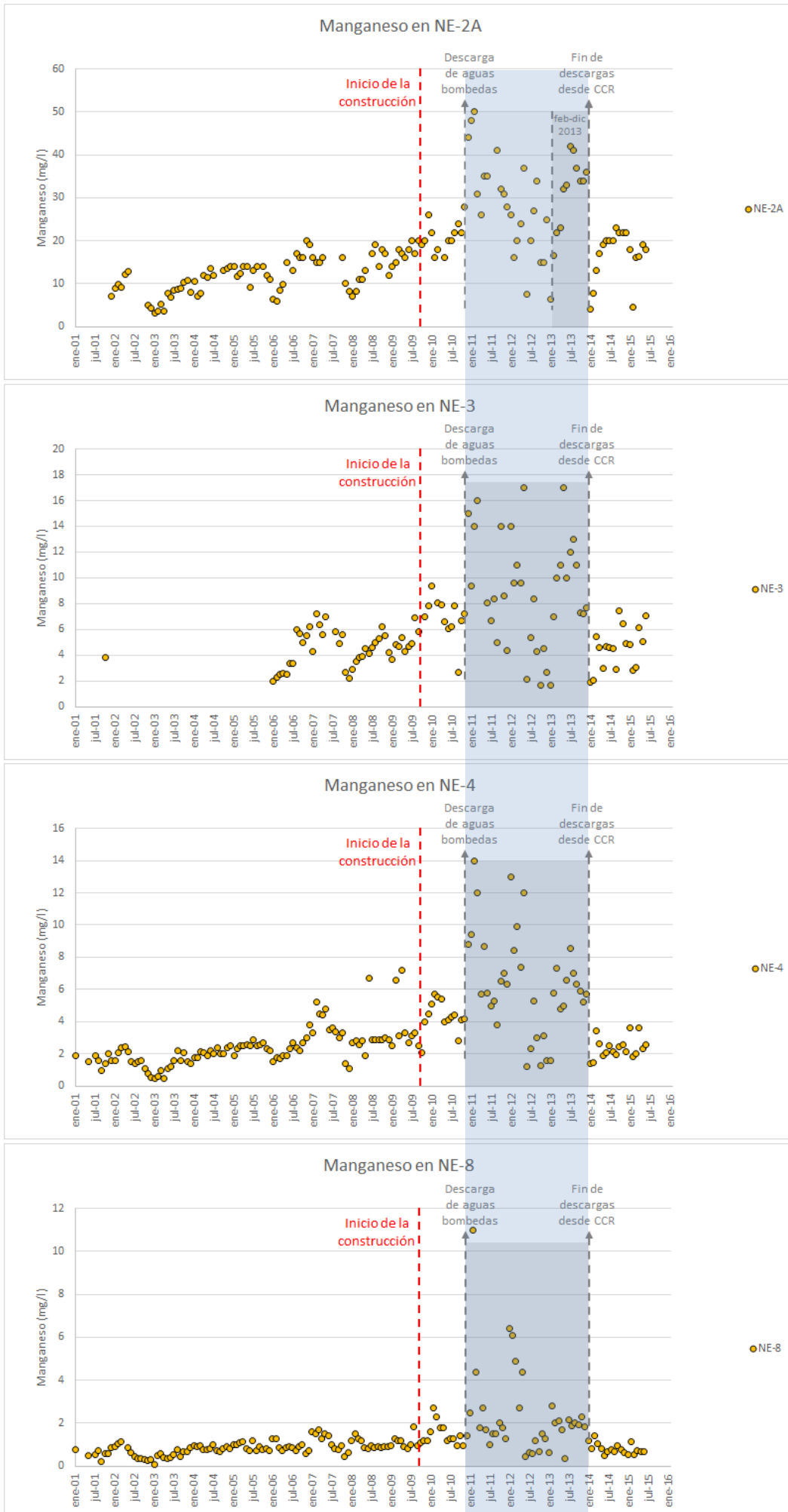
5. Comparación respecto del Cobre



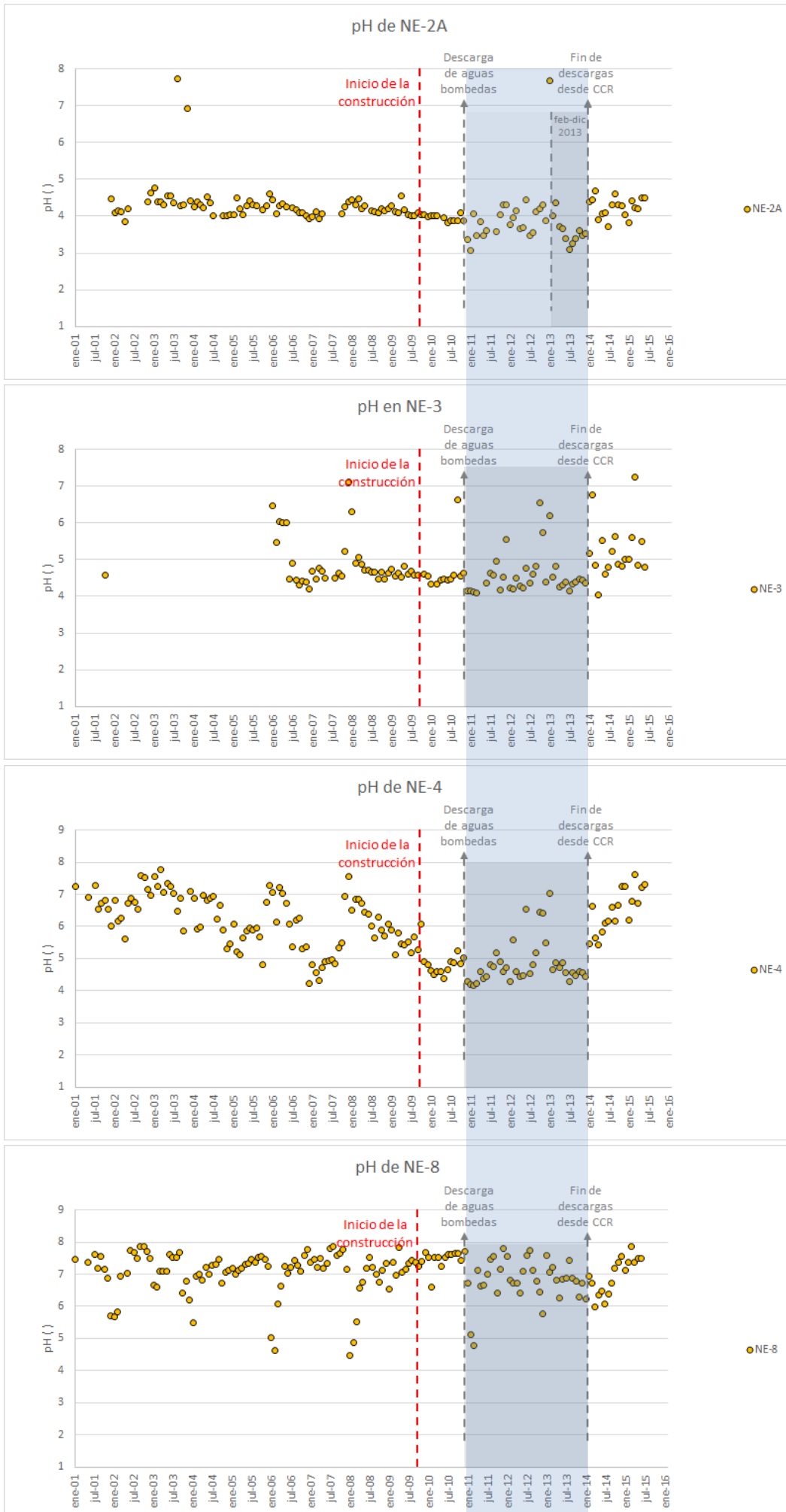
6. Comparación respecto del Hierro



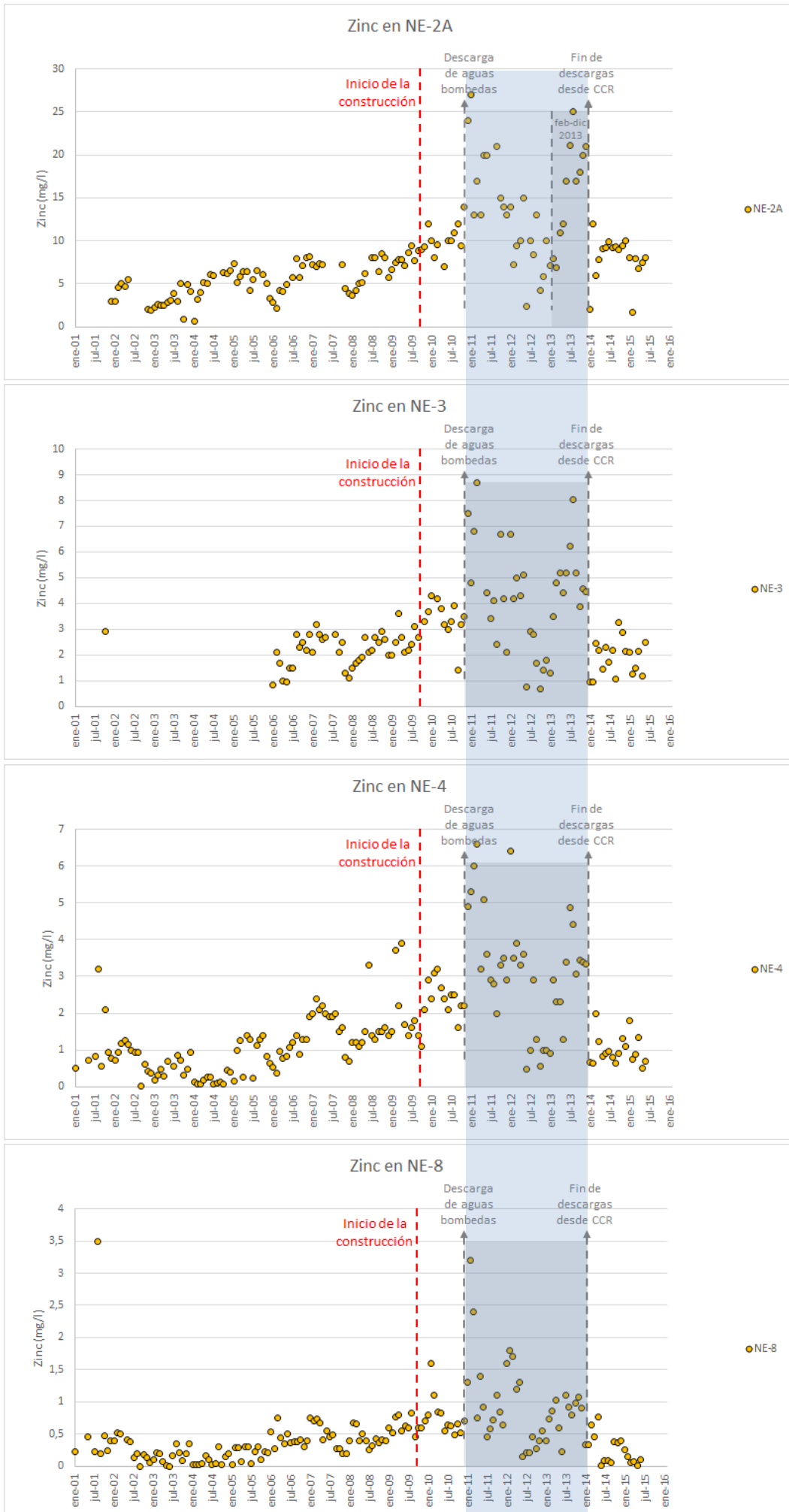
7. Comparación respecto del Manganeso



8. Comparación respecto del pH



9. Comparación respecto del Zinc



ANEXO 9: ANÁLISIS DEL PARÁMETRO TURBIDEZ

OBJETIVO: El presente Anexo contiene un análisis de los datos de turbidez en las estaciones ubicadas en la cuenca del río Estrecho y en estaciones de control ubicadas en cuencas laterales (no influenciadas por el proyecto). El objetivo es caracterizar, espacial y temporalmente, el comportamiento general de la cuenca y determinar si se han generado alteraciones en la turbidez producto de la ejecución del proyecto. En particular, se analiza la situación respecto de las remociones en masa informadas en diciembre de 2012 y enero de 2013, y el eventual aumento de turbidez que se podría haber generado hacia aguas abajo.

1. Disponibilidad de información de turbidez

La información disponible acerca de la turbidez proviene de cuatro fuentes, a saber:

- Información de línea de base remitida mediante Carta PL-006/2014 al Servicio de Evaluación Ambiental, en el marco del procedimiento de revisión de la RCA N°024/2006, conforme al artículo 25 quinquies de la Ley 19.300. Dicha información se extiende hasta abril del año 2012.
- Informes anuales de seguimiento ambiental, reportados por CMNSpA en cumplimiento de las obligaciones establecidas en la RCA N°024/2006. Se consideraron los reportes correspondientes a los períodos 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 y 2014/2015. En estos reportes se informa la turbidez medida en laboratorio, y ocasionalmente también la turbidez medida en campo (solo informes del período 2011/2012 y 2014/2015).
- Turbidez medida en campo, informada por CMSpA en su Carta PL-077/2013, conforme a lo requerido en la Res. Ex. N°107/2013 de esta Superintendencia. La información entregada consiste en monitoreos diarios que abarcan desde el día 04/02/2013 al 31/03/2013.
- Turbidez medida en línea, informada por CMSpA en su Carta PL-036/2017, conforme a lo requerido en la Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N°199/2017 de esta Superintendencia. La información disponible va desde marzo de 2011 hasta diciembre de 2015, y considera únicamente las estaciones que tienen implementado un monitoreo en línea, a saber, NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8.

Al cotejar los resultados informados por las distintas fuentes se observaron ciertas inconsistencias que se describen a continuación:

- En primer lugar, se observa que no se remitió la información requerida en línea de la estación NE-5. En relación a ello, CMSpA detalló en su Carta PL-036/2017 que *“Cabe hacer presente que la estación NE-5 dispone de información de sensores en línea, pero estos datos no son en general correctos debido al pequeño nivel de agua en dicho sector y al continuo congelamiento del agua que escurre”*. Siendo así, se asume que la información habría sido recabada, pero no fue entregada a esta Superintendencia por los motivos que expuso CMNSpA en su oportunidad.
- En cuanto a la información en línea entregada para el resto de las estaciones de monitoreo, se destaca el hecho de que los valores son -en su gran mayoría- discordantes en cuanto a tendencia y magnitud si se comparan con los datos medidos en campo y en laboratorio (ver Figuras 1 a 5). Tal es el grado de discordancia en cuanto a la magnitud, que es frecuente encontrar valores de turbidez medidos en línea que son más de cien veces superiores a la turbidez medida en laboratorio y en campo durante el mismo día. Se aprecia también que un número considerable de datos coincide con el valor de saturación del equipo de medición (3.000 NTU), siendo esto particularmente notorio en la estación NE-3, en la cual un 45% de los datos reportados se encuentra en esta situación. De esta forma, tampoco resulta posible utilizar los resultados de turbidez medida en línea para las estaciones NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8. Cabe

recordar que los sensores instalados en terreno para mediciones en línea requieren de una constante inspección, calibración y mantenimiento para asegurar la calidad de la información que recaban. Por tanto, la situación observada sugiere que (i) no se implementó un procedimiento de control de calidad de la información generada, y (ii) no se realizaron las acciones necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de los sensores instalados en las estaciones de monitoreo.

Atendido lo expuesto en el párrafo anterior, solo puede considerarse como válida la información de turbidez generada en el contexto de los muestreos que se realizan mensualmente, y los monitoreos diarios de campo realizados entre el 04/02/2013 y el 31/03/2013. Cabe señalar que la información mensual presenta vacíos en ciertos meses, sobre todo en las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca (NE-5 y NE-2A), sin que se expongan los motivos que subyacen a la falta de información. Sin perjuicio de lo anterior, cabe recordar que la turbidez es un parámetro incluido en la NCh N° 409, que el titular del proyecto debe cumplir en el punto NE-8.

2. Influencia de los deshielos en la turbidez

Las principales estaciones de monitoreo corresponden a las llamadas estaciones “DAR” y son NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8. En base a la información disponible, se recopiló los datos de turbidez en estas estaciones desde el año 2006 en adelante, puesto que es el período en que existe continuidad en la información. La información a nivel mensual se presenta en las Tablas 1 a 5 para las referidas estaciones.

En dichas tablas, además se destacan los valores extremos, representados por el 10% de los datos con un mayor nivel de turbidez en cada estación. Si se analiza la ocurrencia de estos valores extremos, es posible constatar que un 66% de ellos ocurre en el período de deshielos, entre diciembre y marzo. Asimismo, el mayor valor registrado ocurrió en el mes de febrero para cuatro de las cinco estaciones, y en enero para la quinta.

El mismo ejercicio se realizó para las estaciones de control ubicadas aguas arriba de NE-8. Estas estaciones son NE-1A, PX-1, CN-2 y NE-7, y se ubican en cuencas laterales, por lo que no están afectas a la influencia del proyecto. La información a nivel mensual se presenta en las Tablas 6 a 9, y puede observarse que PX-1 la turbidez es constantemente muy baja, mientras que en las otras estaciones presenta mayor variabilidad. En estas últimas se da el mismo fenómeno que en las estaciones DAR, es decir que los valores extremos se concentran entre diciembre y marzo.

La situación observada es coherente con la dinámica de la cuenca, en que se observan los mayores caudales durante los deshielos (ver Anexo 2), a los cuales se asocia a una mayor turbidez en el río Estrecho (debido a la mayor energía del agua, aumenta la turbulencia y el arrastre de sólidos). Fruto de lo anterior, queda en evidencia que los episodios de mayor turbidez se encuentran vinculados con la ocurrencia de los deshielos, los cuales podrían generar además -bajo condiciones excepcionales- escurrimientos del tipo aluvional con elevada turbidez.

3. Comportamiento general de la turbidez en la cuenca del río Estrecho

Se analizó la información de turbidez de todas las estaciones disponibles en la cuenca del río Estrecho (NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4, PX-2, PX-3, NE-8, CN-7, NE-9 y A-8), y de todas las estaciones de control asociadas, ubicadas en cuencas laterales fuera de la influencia del proyecto (NE-1A, PX-1, CN-2, NE-7, CN-8, A-10). La ubicación de las estaciones en el contexto de la cuenca puede ser visualizada en la Figura 6.

Para facilitar el análisis se agruparon las estaciones de la siguiente forma en la cuenca del río Estrecho:

- Zona 1 (NE-5, NE-2A, NE-3): estaciones ubicadas en la cabecera de la cuenca, sujetas a la influencia directa del proyecto. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 7.
- Zona 2 (NE-4, PX-2, PX-3): estaciones ubicadas aguas abajo del proyecto, sujetas a la influencia de los eventuales impactos generados por el proyecto en la cabecera. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 8.
- Zona 3 (NE-8): estación en que se encuentra comprometido el cumplimiento de la NCh. 409/2005, que involucra al parámetro de turbidez. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 9.
- Zona 4 (CN-7, NE-9, A-8): grupo de estaciones ubicadas al final del sector de monitoreo comprometido en RCA N°024/2006. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 10.

De forma coherente con la división anterior, se agruparon las estaciones de control como sigue:

- NE-1A: estación control susceptible de influenciar la Zona 1. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 11.
- PX-1, CN-2: estaciones control susceptibles de influenciar la Zona 2. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 12.
- NE-7: estación control susceptible de influenciar la Zona 3. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 13.
- CN-8, A-10: estaciones control susceptibles de influenciar la Zona 4. La información de turbidez durante los deshielos se muestra en la Figura 14.

A continuación se presenta un análisis según cada una de las zonas indicadas.

Zona 1: En la estación NE-5 se observan valores de turbidez mayores a los habituales durante los deshielos de los períodos 2010/2011 y 2011/2012, y en las estaciones NE-2A y NE-3 se observa la misma situación durante los deshielos de los períodos 2009/2010, 2010/2011 y 2011/2012. Si se analiza la estación control NE-1A, es posible observar que en los mismos períodos presenta también valores de turbidez mayores a los habituales, pero estos son significativamente menores en comparación con los de la cuenca principal. De esta forma es posible establecer que la turbidez tiene su origen en la cuenca del río Estrecho, aguas arriba de NE-2A (en NE-3 ya se observa cierta atenuación). Cabe mencionar que, dentro de las obras ejecutadas en el proyecto, se encuentran aquellas que componen el sistema de manejo de aguas de contacto y no contacto. Varias de estas obras se emplazan en el eje central de la cuenca del río Estrecho (por ejemplo los pozos, zanjas, tuberías, muro cortafuga) y otras inciden en la dinámica de las aguas del sector (canales perimetrales, cámara de captación y restitución, piscinas, planta de tratamiento). Tal como consta en el Anexo 3, la construcción de estas obras se llevó a cabo entre octubre del año 2009 y abril del año 2012, lo que se asocia a los períodos de deshielo 2009/2010, 2010/2011 y 2011/2012¹, pero sobre todo a los dos últimos, que es precisamente cuando se detectan los mayores niveles de turbidez. Atendido lo anterior, es posible vincular las actividades de construcción del proyecto con el aumento en la turbidez en esta zona, que alcanzó los mayores valores en la estación NE-2A.

Zona 2: En las tres estaciones de esta zona es posible diferenciar el comportamiento que muestra NE-4 del que muestran PX-2 y PX-3. El comportamiento en NE-4 guarda relación con lo observado en NE-3, y muestra también una mayor turbidez durante los deshielos 2010/2011 y 2011/2012, aunque esta es incluso mayor que la medida en NE-3, hecho que puede ser indicador de aportes intermedios de otras fuentes (por ejemplo, quebradas laterales) o de cambios en las condiciones de escurrimiento del río Estrecho. Por su parte, PX-2 y PX-3 también muestran valores mayores a lo habitual en el mismo período, pero sufren un aumento considerable de la turbidez en los meses de enero, lo cual sugiere que reciben una influencia que no se relaciona necesariamente con los puntos situados más aguas arriba. Si se analizan las estaciones de control PX-1 y CN-2, es posible observar que prácticamente no aportan turbidez al río Estrecho en el referido período, por lo cual no pueden ser relacionadas con el aumento observado en esta zona.

Zona 3: En la estación NE-8 se observa una atenuación sustancial de la turbidez respecto de la zona anterior. Es así como la turbidez del período 2010/2011 mantiene valores más altos que lo habitual, pero significativamente menores a los medidos aguas arriba, mientras que la turbidez del período de deshielos 2011/2012 se encuentra en un rango de comportamiento muy similar al observado antes del inicio de la construcción del proyecto, en circunstancias en que aguas arriba mostraba valores anormalmente altos en todas las estaciones. Si se analiza la estación control NE-7, es posible observar que se mantiene un comportamiento estable a lo largo de los años, con una turbidez típicamente entre 5 y 30 NTU, que podría contribuir -en parte- a atenuar los episodios de alta turbidez provenientes desde aguas arriba.

Zona 4: En las estaciones CN-7 y NE-9 se observa la ocurrencia de episodios de alta turbidez en los deshielos 2010/2011 y 2011/2012, que alcanzan magnitudes que no dicen relación con lo observado en la zona 3 anterior. Esto da cuenta de **la existencia de otras fuentes o condiciones que incorporan turbidez al río en esta sección**. Al analizar el comportamiento de la estación de control CN-8, se aprecia que es un tributario de baja turbidez consistentemente (turbidez inferior a 5 NTU), por lo que no permite explicar el aumento en la turbidez señalado.

¹ Los períodos van de julio del primer año a junio del segundo año, y corresponden a la forma de reportar la información de seguimiento ambiental.

Por su parte, la estación A-8 tiene una turbidez que dice relación con la que presentan CN-7 y NE-9, pero en menor magnitud. Esta atenuación puede explicarse por la contribución del río Conay (estación A-10), que mantiene valores de turbidez sustancialmente menores a los medidos en CN-7 y NE-9.

En términos generales, se observa que no existe una relación directa entre la turbidez medida en la cabecera de la cuenca sujeta a potenciales efectos del proyecto, y la turbidez medida hacia aguas abajo. Existen secciones en donde se puede incorporar turbidez en forma significativa (por ejemplo en PX-2/PX-3 o en CN-7), y otras donde se puede producir una importante atenuación (por ejemplo en NE-8). Para ilustrar lo anterior se presentan las Figuras 15 y 16, en las cuales se grafica la evolución espacial de la turbidez durante los meses de enero y febrero de distintos años, que son los meses en que suelen darse los episodios de elevada turbidez. En dichas figuras se aprecia que no existe una tendencia clara y estable en el comportamiento de la turbidez a lo largo de la cuenca, sino que depende de cada año, e incluso de cada mes. Al examinar el comportamiento de las cuencas de control no resulta posible explicar esta dinámica, pero debe tenerse presente que estas cuencas son solamente un subconjunto de todas las subcuencas laterales que tributan a la cuenca principal, algunas de las cuales podrían jugar un rol importante que no se ha tenido en cuenta². Existen también otros factores más complejos respecto de los cuales no existe información, tales como el rol de la morfología y pendiente longitudinal de las distintas secciones del río en el transporte de sedimentos, o bien las características de la geología local que podrían influir en la turbidez del río según los materiales que entren en contacto con el lecho, o que sean drenados por quebradas aportantes³. Por último, se debe tener presente la dilución que existe desde la cabecera hacia aguas abajo, y que juega un rol en la atenuación de la turbidez, y de todos los parámetros de calidad del agua. En el Anexo 5 se analizó esta situación determinándose que, respecto de NE-2A, existe una dilución del orden de 3 a 4 veces en NE-3, de 3,5 a 4,5 veces en NE-4, y de 10 a 15 veces en NE-8 (hasta 20 veces incluso).

Sin perjuicio de lo anterior, se observa claramente una alteración en los valores de turbidez en la cabecera de la cuenca durante los deshielos 2009/2010, 2010/2011 y 2011/2012. Esta situación se detecta en su mayor expresión en NE-2A, y puede ser asociada a la construcción de las obras del proyecto, que se desarrollaron en los mismos períodos. Si se consideran la totalidad de los datos anuales reportados, es posible observar este efecto con mayor claridad, tal como se aprecia en la Figura 17. El efecto puede ser detectado aguas abajo en NE-3 y NE-4 sobre todo para los períodos 2010/2011 y 2011/2012, tal como se ve en las Figuras 18 y 19, pero se atenúa considerablemente en NE-8 producto de la dinámica que ocurre naturalmente en dicha sección (ver Figura 20). En la Figura 21 se comparan las medianas⁴ de cada período reportado en las estaciones ubicadas en la cuenca del río Estrecho (hasta NE-8), y en las respectivas estaciones de control. Se puede visualizar que el origen de la alteración se encuentra en NE-2A, y afecta a las estaciones que se ubican aguas abajo, situación que dista considerablemente del comportamiento observado en las estaciones de control. De forma consistente con lo señalado anteriormente, se observa una atenuación importante de la turbidez en NE-8, en donde la diferencia llega a ser mínima respecto de lo observado en los años previos al inicio de la construcción del proyecto (incremento de 7 NTU para el período 2010/2011 y 1,5 NTU para el período 2011/2012).

4. Comparación de la turbidez en NE-8 con la Norma NCh. 409/2005

De acuerdo a la RCA, la turbidez es un parámetro incluido en la NCh N° 409, que el titular del proyecto debe cumplir en el punto NE-8. El valor de referencia a cumplir corresponde a 20 NTU⁵. En la Figura 22 se muestra el comportamiento de la turbidez en NE-8 según períodos anuales, mientras que en la Figura 23 se muestra el comportamiento a nivel mensual. En la primera figura es posible observar que existe una diferencia significativa entre el comportamiento del promedio y el de la mediana durante los períodos anuales 2009/2010, 2010/2011 y

² Dentro del seguimiento ambiental establecido en la RCA N°024/2006, se contempló el monitoreo de 5 estaciones en cuencas laterales entre NE-5 y NE-9. Estas son NE-1A (quebrada Barriales), PX-1 (quebrada De La Falda), CN-2 (río Del Toro), NE-7 (río Blanco), y CN-8 (río Pachuy). Cabe recordar que entre NE-5 y NE-9 el cauce recorre más de 40 km de distancia, y que en este tramo existe un número importante de otras cuencas laterales que aportan a la cuenca principal, y que no son monitoreadas. Si bien estas últimas pueden generar aportes individuales de menor cuantía que las cuencas objeto de monitoreo, en conjunto o bajo ciertas condiciones, podrían tener un efecto importante sobre la cuenca principal. En cualquier caso, al no disponerse de información sobre ellas, no resulta posible evaluar estos efectos.

³ Los diversos factores que se enumeran no fueron considerados puesto que no fueron parte de los procedimientos de evaluación ambiental, y por tanto no existe línea de base ni obligación de generar información al respecto.

⁴ Se considera el uso de la mediana en vez del promedio para evitar la distorsión que introducen los valores extremos en la muestra. En cualquier caso los valores extremos, que corresponden a los meses de deshielo, fueron considerados y analizados por separado.

⁵ Ver figura N°5 de la sentencia de la causa Rol R-06-2013 del Ilustre Segundo Tribunal Ambiental.

2013/2014, el cual está relacionado directamente con los valores extremos que se dieron durante los meses de deshielo de los mismos períodos, y que se aprecian en la segunda figura.

Respecto al cumplimiento del umbral, se observa que existen excedencias a nivel mensual que son puntuales y reiteradas, tanto en el período anterior a la construcción, como luego de su inicio. Se observa también que los períodos anuales en que el promedio supera las 20 NTU son el 2007/2008, 2009/2010, 2010/2011 y 2013/2014. El primer período es anterior al inicio de la construcción del proyecto, por lo que la situación responde al comportamiento natural de la cuenca. El segundo y tercer período podrían ser vinculados a los efectos derivados de la construcción del proyecto, siendo clara la excedencia del período 2010/2011, por la superación conjunta del promedio y la mediana. El último período no puede ser vinculado con las actividades del proyecto, puesto que la excedencia del promedio está asociada fuertemente al alto valor medido en enero de 2014 en NE-8, que no tiene relación con lo medido aguas arriba en la cuenca (ver Figura 15).

5. Antecedentes sobre las remociones en masa

Por medio de Carta PL-008/2013 CMNSpA ingresó una Autodenuncia, conforme al art. 41 de la Ley 20.417. En dicho documento se informó acerca de la ocurrencia de dos eventos de remoción en masa, en el siguiente tenor: *“(…) ocurrió un aumento del flujo el día 22 de Diciembre de 2012 que, siendo soportado correcta y adecuadamente por los canales Norte Superior e Inferior, llegaron a la obra de salida construida, con una energía que sobrepasó los estándares de protección que habían sido habilitados para estos eventos. Así, entonces, ocurrió una remoción en masa de coluvio, que superó, en particular, las obras de arte que habían sido diseñadas para el encauzamiento de las aguas hacia el sedimentador norte, afectándolas de tal manera que quedaron significativamente dañados para enfrentar un nuevo evento de similar magnitud”* (énfasis agregado).

“La presente autodenuncia, tiene por objeto también describir un segundo evento, de fecha 10 de enero de 2013, en el que un nuevo aumento de flujo de aguas de no contacto, puso a prueba el sistema completo. Respecto del sistema de manejo de aguas de no contacto, éste no tuvo problemas para conducir y redirigir las aguas nuevamente hacia la misma obra de salida que había sido dañada en el evento del 22 de diciembre. Sin embargo, y habiéndose reforzado los trabajos comprometidos en dichos sucesos, el aumento de caudal fue lo suficientemente significativo para dañarlos nuevamente. (...) Esta vez, no obstante, las obras de alivio no alcanzaron a activarse a tiempo, lo que impidió controlar completamente la caída de agua desde la obra de salida del canal norte inferior. En consecuencia, uno de los componentes ambientales ubicados cercano a esta obra, una zona de vegas, fue alcanzada por el movimiento de tierra ocasionado por las aguas” (énfasis agregado).

El trazado de la remoción en masa del segundo evento, junto con la ubicación de las estaciones de monitoreo más cercanas (NE-5 y NE-2A) se muestra en la Figura 24.

Frente a los hechos descritos, con fecha 31 de enero de 2013 se dictó la Resolución Exenta N° 107, ordenando entre otras medidas provisionales, en el resuelto Primero, capítulo I, numeral 1, lo siguiente: *“I. Retiro del material depositado y limpieza, en un plazo de diez días contados desde la notificación del presente acto administrativo, de las siguientes zonas: i) vegas afectadas; ii) Canal Perimetral Norte Inferior (en adelante, “CPNI”); y, iii) Obra de Salida del Canal Perimetral Norte Inferior. (...)”*. Estas acciones fueron ejecutadas entre el 04/02/2013 y el 28/02/2013⁶, e implicaron remoción del material depositado por el alud con maquinaria y manualmente con palas; construcción 2 niveles de contención para futuros deslizamientos en la ladera de exposición noroeste del Río Estrecho (aumento de altura del pretil de la piscina de decantación); restitución del curso del cauce del río a su curso natural antes del evento, especialmente en la zona en que pasa sobre la vegetación ribereña; construcción de un camino paralelo al cauce para permitir el acceso de las maquinarias necesarias para limpiar la ribera y los ambientes de vega; y limpieza de las vegas a través de maquinaria menor y manualmente (con pala, picota y rastrillos), así como lavado de las mismas con agua a presión a través de mangueras con camión aljibe.

6. Efectos de las remociones en masa informadas en 2013 sobre la turbidez

Las estaciones DAR más relevantes para el caso son NE-5 y NE-2A, puesto que la remoción en masa se habría incorporado al cauce del río Estrecho entre ambas estaciones, quedando así NE-5 aguas arriba y NE-2A aguas abajo. De esta forma, NE-5 puede ser considerada como una estación de “control”, que no fue afectada por la

⁶ Las medidas provisionales ordenadas concluyeron fuera de plazo, lo cual forma parte del cargo 24.1 del Ordinario U.I.P.S. N° 58/2013

remoción en masa. Por otra parte, NE-2A corresponde a la estación más cercana al evento, y por tanto aquella que susceptible de detectar los efectos con mayor intensidad. A su vez, las estaciones NE-3, NE-4 y NE-8 pueden dar cuenta de la propagación de un eventual efecto hacia aguas abajo.

En relación con los eventos de remoción en masa que, de acuerdo a lo señalado en la autodenuncia de CMNSpA, ocurrieron en diciembre de 2012 y enero de 2013, resulta de particular interés contar con información antes del primer evento, entre el primer y el segundo evento, y posterior al segundo evento. Los datos mensuales informados que cumplen con esta condición son aquellos de fecha 02/12/2012, 02/01/2013 y 01/03/2013 (ver Figura 25 a 29). Al analizar los datos correspondientes al mes de enero en las estaciones DAR (medidos 11 días después del primer evento), es posible observar que el máximo resultó ser 16,5 NTU, medido en NE-3. Estos valores no se condicen con una turbidez significativa, como la esperable producto de una remoción en masa, por lo que se debe descartar que el primer evento haya alterado significativamente la turbidez en la cuenca del río Estrecho.

Respecto del segundo evento, es posible constatar que no se reportaron resultados de turbidez en las estaciones NE-5, NE-2A, NE-3 y NE-4 para el mes de febrero de 2013, situación que no se encuentra justificada en el respectivo informe de seguimiento ambiental de CMNSpA. Es por ello que el primer dato de turbidez disponible en estas estaciones luego del segundo evento, tiene un desfase de 50 días respecto de la ocurrencia de éste, lo cual limita la utilidad de esta información al momento de evaluar los efectos derivados del segundo evento.

Los monitoreos diarios requeridos a CMNSpA en NE-2A permiten aminorar este desfase, puesto que comenzaron el día 04 de febrero (junto con la ejecución de las labores de limpieza ordenadas), esto es 25 días después de ocurrido el segundo evento. Ahora bien, en la Figura 26 se realiza una comparación de los valores de turbidez medidos en NE-2A entorno a los eventos, considerando tanto la información mensual como la diaria disponible. De esta comparación se desprende lo siguiente:

- I. **En base a los registros mensuales en NE-2A** es posible observar que la turbidez medida en diciembre de 2012, enero de 2013 y marzo de 2013 se encuentra en el mismo rango de valores que los medidos en los mismos meses cuando aún no existía influencia del proyecto. Asimismo, se observa que la turbidez resultó ser de 2,3 NTU, 10,3 NTU y 7,8 NTU para diciembre de 2012, enero de 2013 y marzo de 2013, respectivamente. Estos valores no se condicen con una turbidez significativa, como la esperable producto de una remoción en masa, sobre todo considerando que NE-2A corresponde al punto donde el impacto debiera haberse manifestado con mayor intensidad.
- II. **En base a los registros diarios en NE-2A** es posible observar que, desde el inicio del monitoreo (04/02/2013) hasta el día 26/02/2013, poco más de la mitad de los valores medidos de turbidez resultaron entre 500 y 1000 NTU. Esta magnitud es indicativa de un fenómeno de excepcional turbidez tal como el que fue reportado en febrero del año 2012⁷, en que los valores medidos fueron del orden de 800 NTU. A partir del 28/02/2013 los valores de turbidez vuelven a mantenerse en un rango bajo. Este lapso temporal en que se detectó una turbidez significativa, coincide plenamente con la ejecución de las labores de limpieza ordenadas por la Res. Ex. N°107/2013, las cuales, por su naturaleza, son susceptibles de generar dicho efecto.

En función de lo anterior resulta posible concluir que existió un aumento de la turbidez derivado de las labores de limpieza ejecutadas con posterioridad a segundo evento de remoción en masa, lo cual fue medido en el punto más cercano a dichas obras, que corresponde a NE-2A. Este aumento de la turbidez en NE-2A fue de carácter temporal y se mantuvo hasta el día 26 de febrero de 2013.

Como bien se señaló, no existe información que permita evaluar la propagación del efecto en las estaciones NE-3 y NE-4. Sin embargo, los resultados de turbidez del monitoreo correspondiente a febrero de 2013 sí fueron informados en las estaciones PX-2, PX-3, NE-8, CN-7, NE-9 y A-8. En la Figura 30 se comparan los resultados de turbidez de febrero del año 2013 con el mismo mes de los años 2007, 2008 y 2009, años en que aún no se iniciaba la construcción del proyecto. En dicha figura se observa que las mediciones de febrero de 2013 fueron realizadas en las distintas estaciones entre el 01 y el 20 de febrero. En función de las distintas fechas se puede distinguir

⁷ En el "Informe de registro online de los puntos de monitoreo de Niveles de Alerta de calidad del agua – Período octubre 2012 a enero 2013" (disponible en el Anexo 7 del Informe DFZ-2013-63-III-RCA-IA), CMNSpA hace referencia a la ocurrencia de un aluvión en febrero del año 2012, el cual habría afectado la estación de monitoreo NE-5.

entre (i) las mediciones realizadas en NE-9 y A-8 antes de la ejecución de las labores de limpieza ordenadas, y (ii) las mediciones realizadas en PX-2, PX-3, NE-8 y CN-7 durante la ejecución de dichas labores.

Los resultados en NE-9 y A-8 no son significativamente distintos entre febrero del año 2013, y febrero de los otros años, por lo que puede descartarse que reflejen alguna situación que pueda vincularse con el proyecto, y en particular con la ocurrencia de la segunda remoción en masa.

Por su parte, los resultados de PX-2, PX-3 y CN-7 medidos en febrero del año 2013 son mayores a los de los otros años, y alcanzan su mayor valor en esta última estación (137 NTU en CN-7). Estos resultados no son más que un reflejo de la compleja dinámica natural de la cuenca, que no sigue un patrón definido y estable, y que puede estar afectada, en algunos casos, a aportes intermedios significativos de turbidez (como el caso de febrero de 2010 que se aprecia en la Figura 16).

En el caso particular de NE-8, el muestreo correspondiente fue realizado con fecha 15 de febrero y arrojó una turbidez de 16 NTU, en circunstancias en que los valores de turbidez medidos en NE-2A para los días 13, 14 y 15 de febrero, se encontraban sobre las 800 NTU. Esto responde a la atenuación natural que ocurre entre la cabecera de la cuenca y NE-8, y que ya ha sido advertida como parte de la dinámica de la cuenca.

7. Conclusiones

En relación con toda la información expuesta, es dable concluir lo siguiente:

- Si bien CMNSpA implementó un sistema de monitoreo en línea de ciertos parámetros en las estaciones DAR, los resultados obtenidos para la turbidez no se condicen en tendencia y magnitud con los resultados obtenidos por las mediciones de laboratorio, y por lo tanto no pueden ser considerados como válidos.
- En términos generales, se observa que no existe necesariamente una relación directa entre la turbidez medida en la cabecera de la cuenca sujeta a potenciales efectos del proyecto, y la turbidez medida hacia aguas abajo. Existen secciones en donde se puede incorporar turbidez en forma significativa, y otras donde se puede producir una importante atenuación. Este comportamiento no sigue una tendencia clara y estable, sino que varía a nivel anual e incluso mensual. Esta compleja dinámica puede responder a una gran variedad de factores, de los cuales existe limitada o nula información, y que escapan al alcance del presente análisis.
- Sin perjuicio de lo anterior, se observa claramente una alteración en los valores de turbidez en la cabecera de la cuenca durante los deshielos 2009/2010, 2010/2011 y 2011/2012. Esta situación se detecta en su mayor expresión en NE-2A, y puede ser asociada a la construcción de las obras del proyecto, que se desarrollaron en los mismos períodos.
- De acuerdo a la RCA, la turbidez es un parámetro incluido en la NCh N° 409 que el titular del proyecto debe cumplir en el punto NE-8. Es del caso notar que una excedencia no puede ser vinculada automáticamente a efectos del proyecto, puesto que naturalmente ello ocurre bajo ciertas condiciones. Considerando esta situación, solo resulta posible asociar la excedencia detectada, en este punto, en el período 2010/2011 a efectos derivados de la construcción del proyecto.
- En relación con los eventos de remoción en masa informados en diciembre de 2012 y enero de 2013, y con los efectos derivados de las labores de limpieza ordenadas posteriormente mediante Res. Ex. N°107/2013, el análisis de la información de turbidez sugiere que la alteración generada en la parte alta de la cuenca (en particular NE-2A) no tuvo un efecto significativo en NE-8 y en las estaciones ubicadas más abajo.

FIGURAS

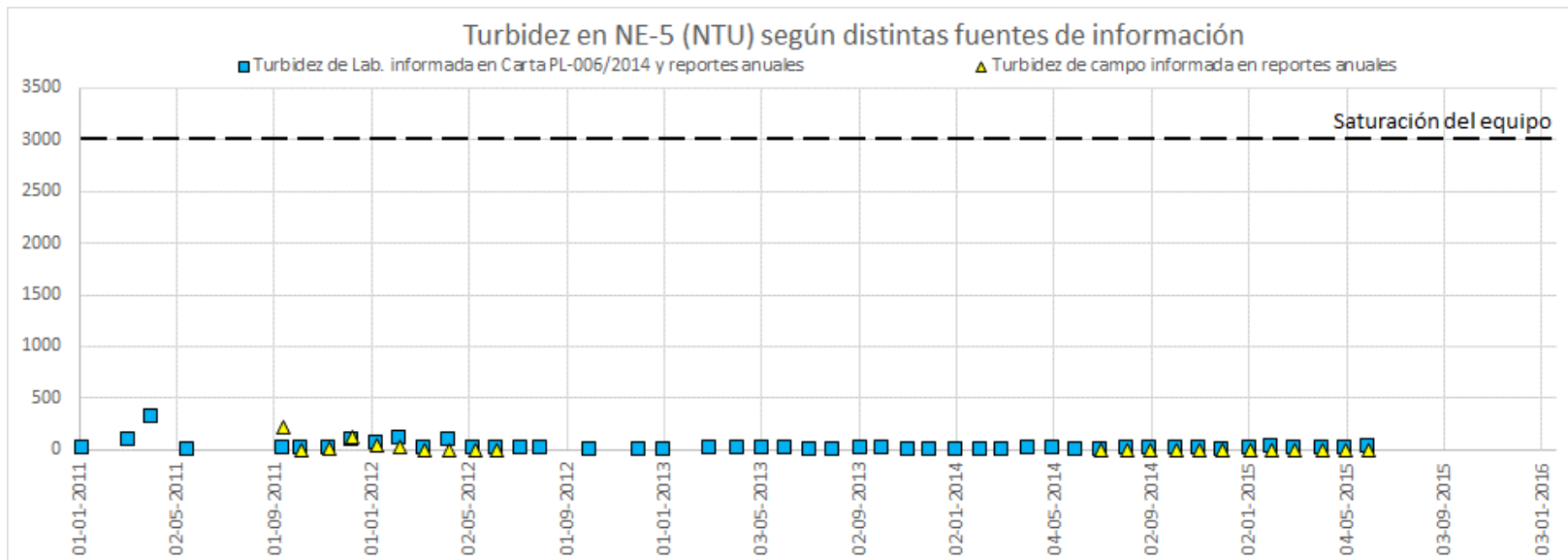


Figura 1. Comparación de las mediciones de Turbidez en NE-5 según las distintas fuentes de información disponibles.

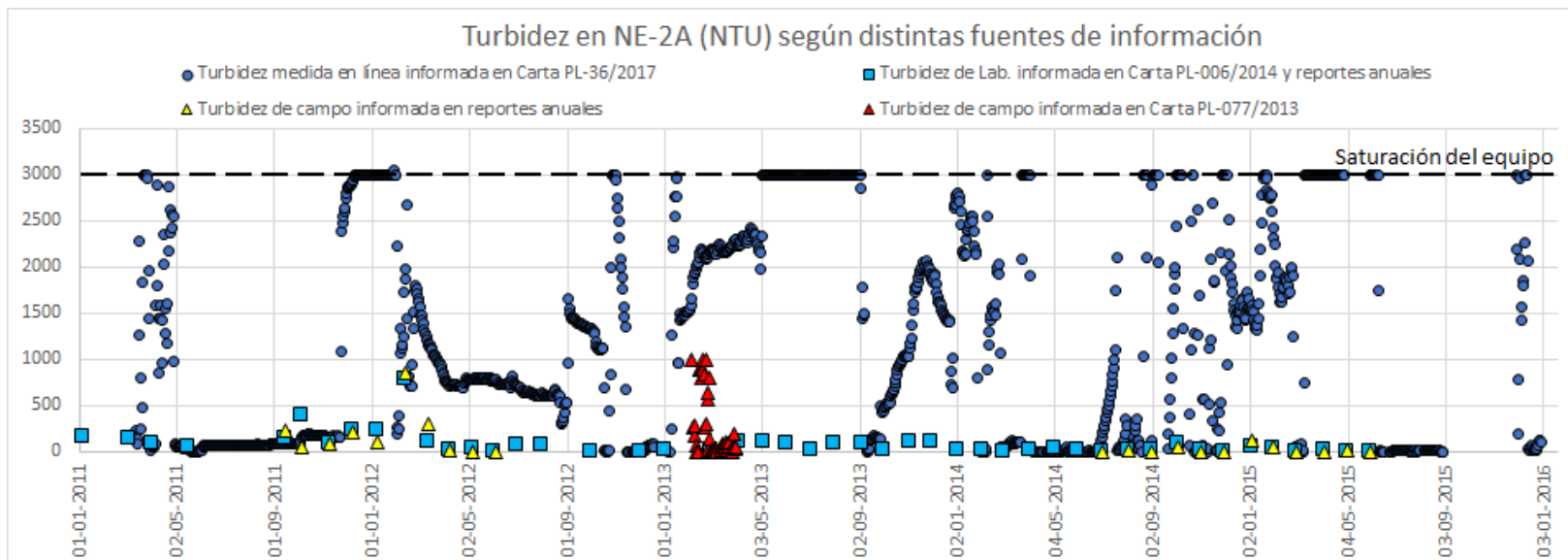


Figura 2. Comparación de las mediciones de Turbidez en NE-2A según las distintas fuentes de información disponibles.

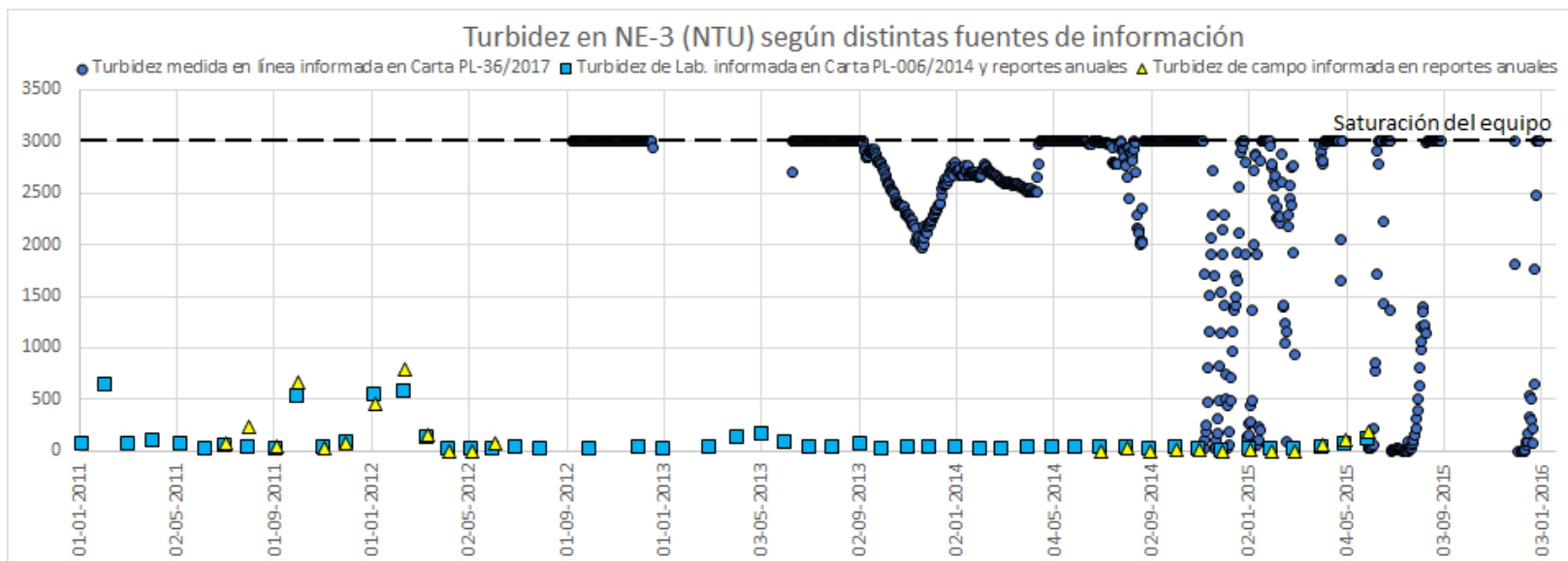


Figura 3. Comparación de las mediciones de Turbidez en NE-3 según las distintas fuentes de información disponibles.

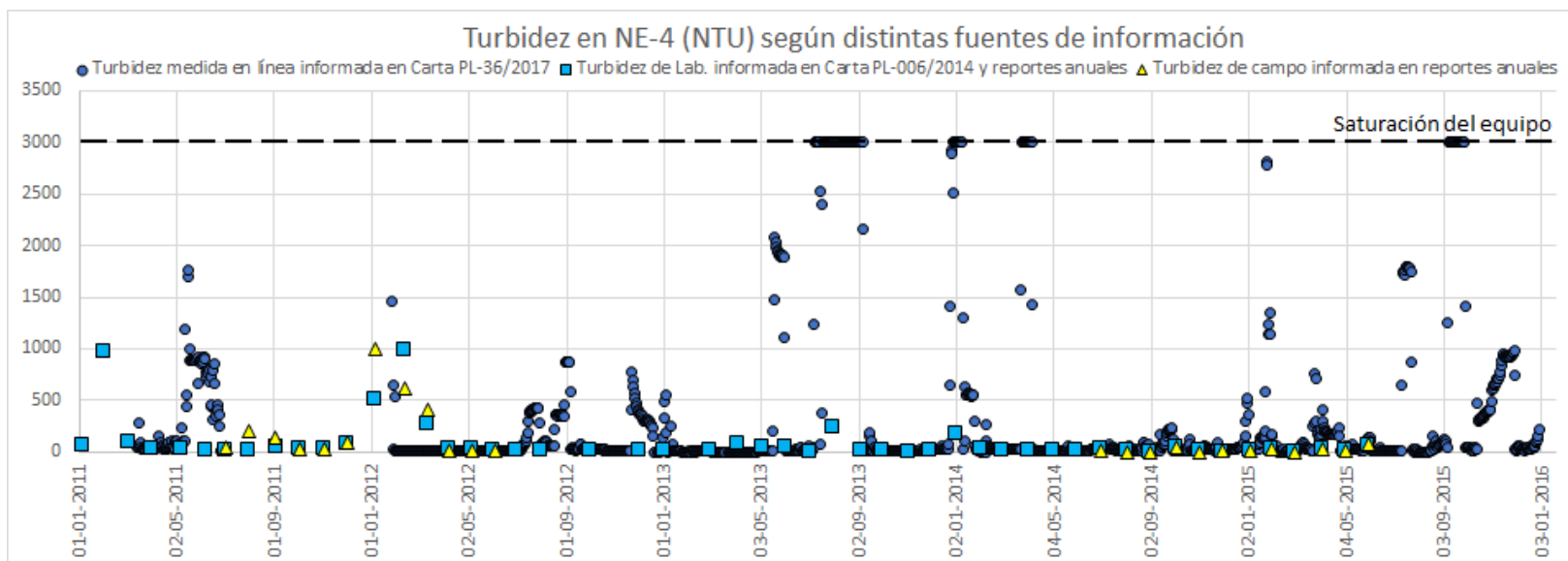


Figura 4. Comparación de las mediciones de Turbidez en NE-4 según las distintas fuentes de información disponibles.

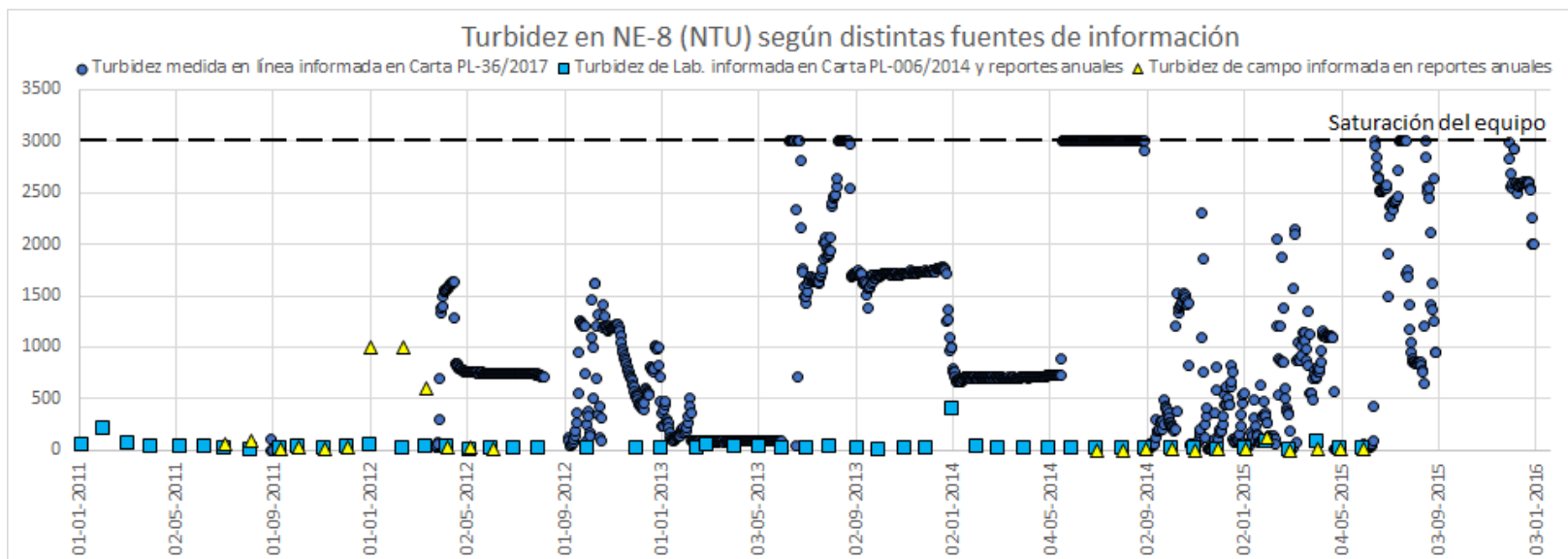


Figura 5. Comparación de las mediciones de Turbidez en NE-8 según las distintas fuentes de información disponibles.

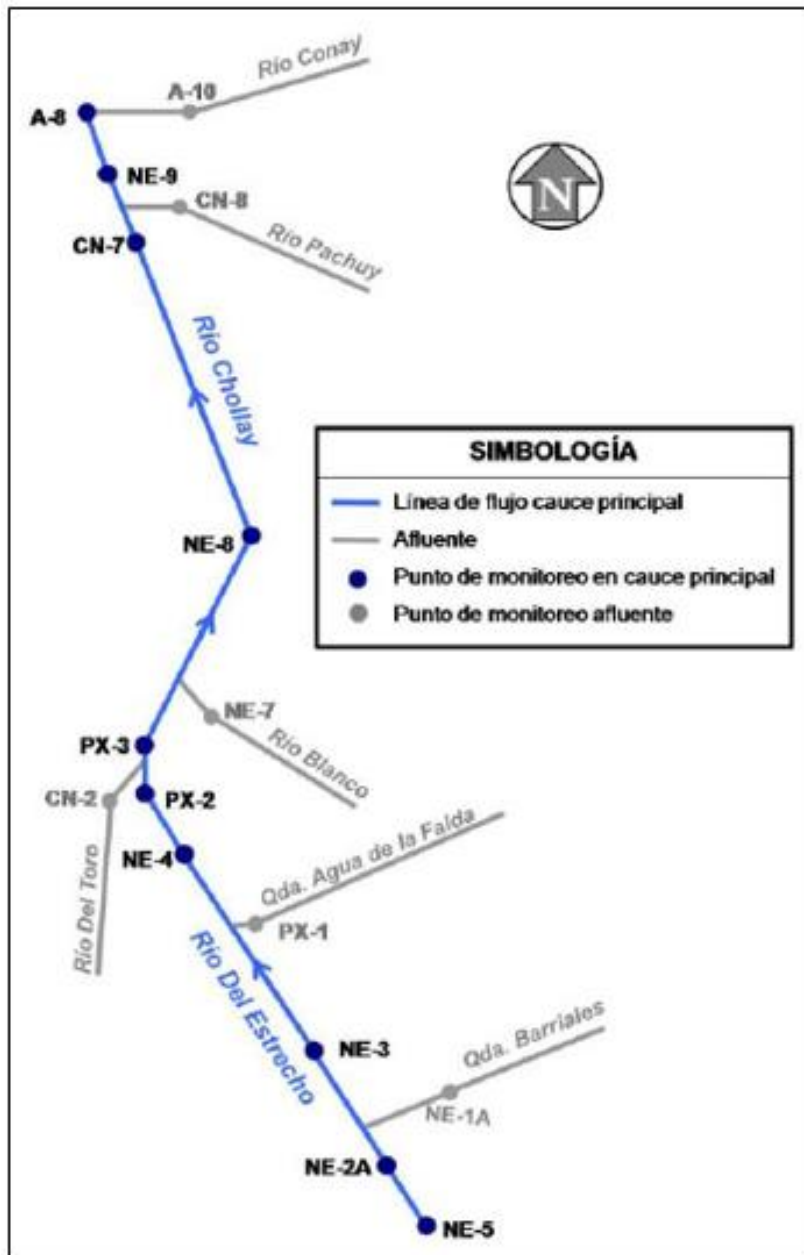


Figura 6. Diagrama unifilar con la ubicación de las estaciones de monitoreo (Fuente: Informe “Programa de monitoreo de aguas proyecto Pascua Lama Julio 2014 – Junio 2015”, remitido a través del sistema de seguimiento ambiental de RCA, código 37797).

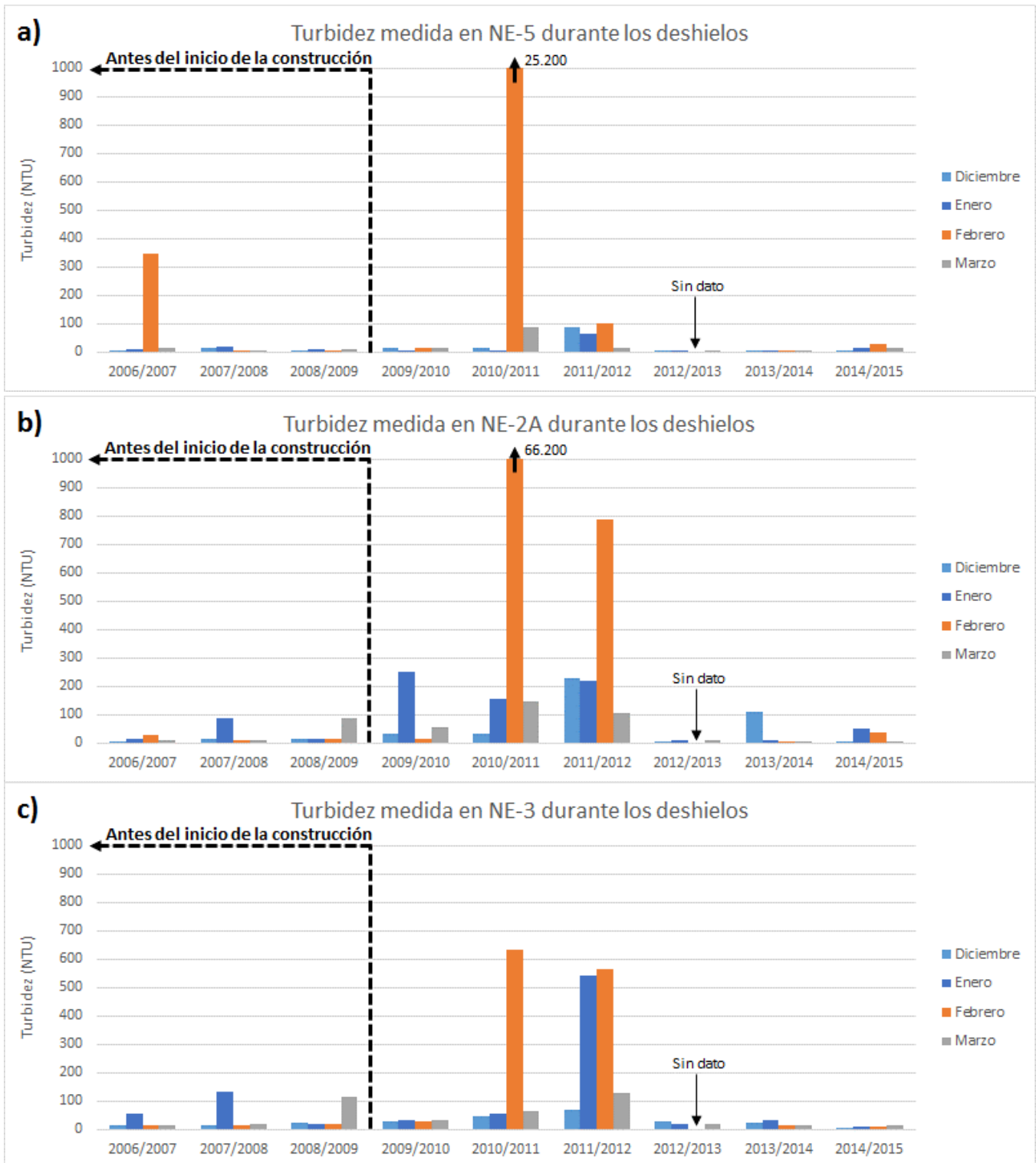


Figura 7. Turbidez durante los principales meses de deshielo en las estaciones de monitoreo de la Zona 1.

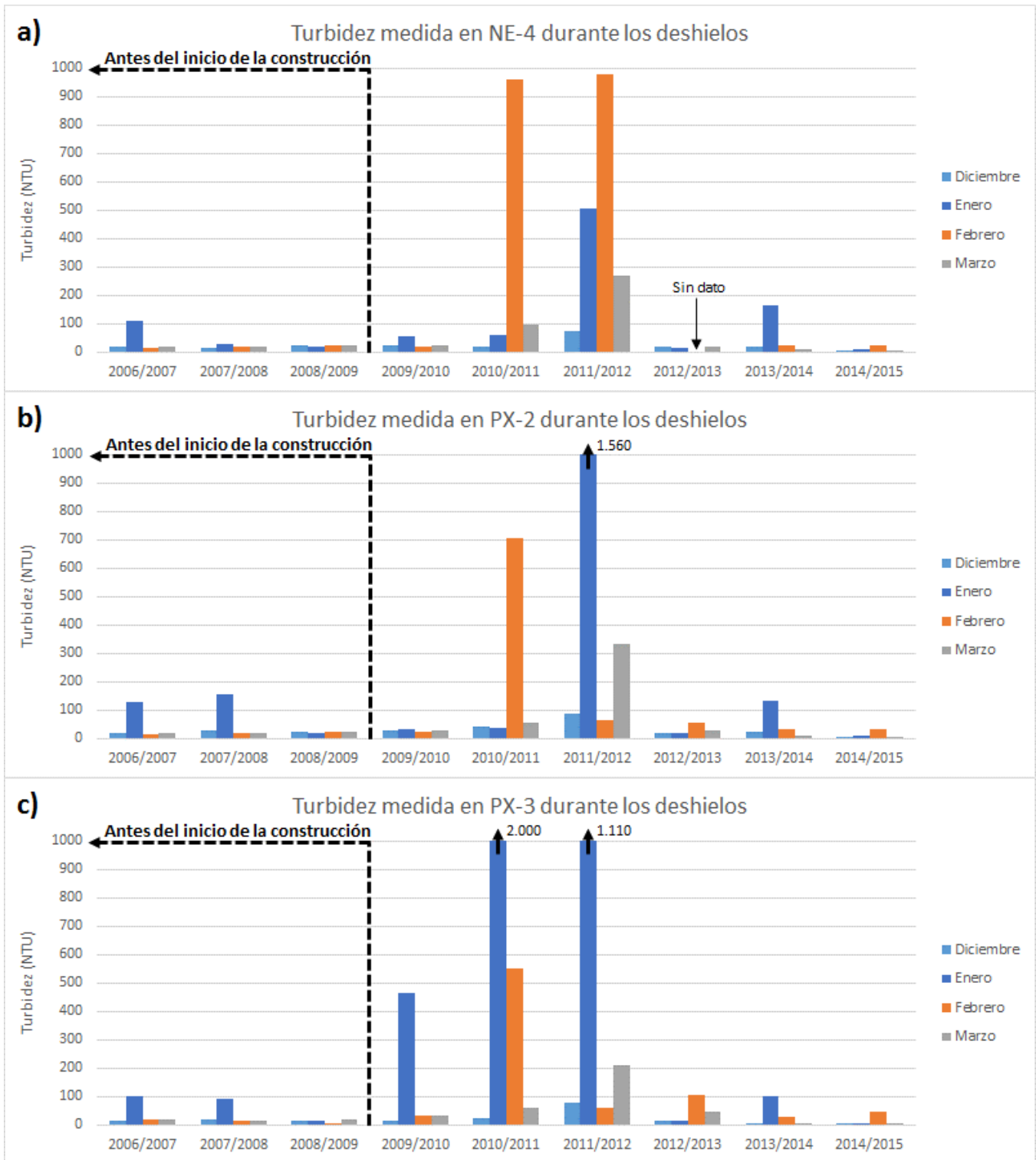


Figura 8. Turbidez durante los principales meses de deshielo en las estaciones de monitoreo de la Zona 2.

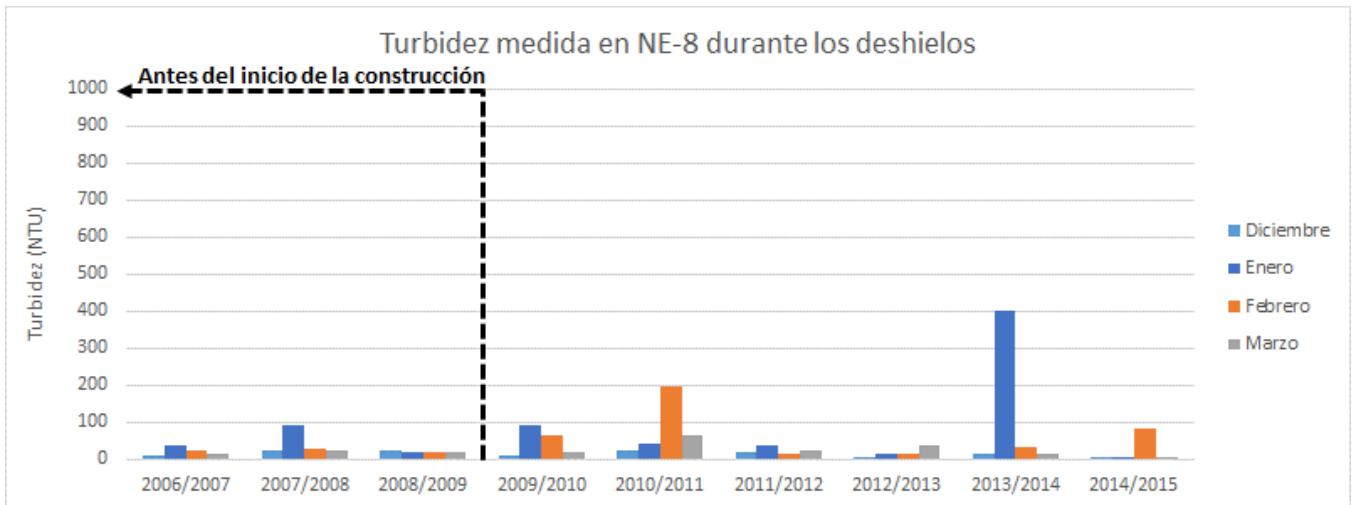


Figura 9. Turbidez durante los principales meses de deshielo en las estaciones de monitoreo de la Zona 3.

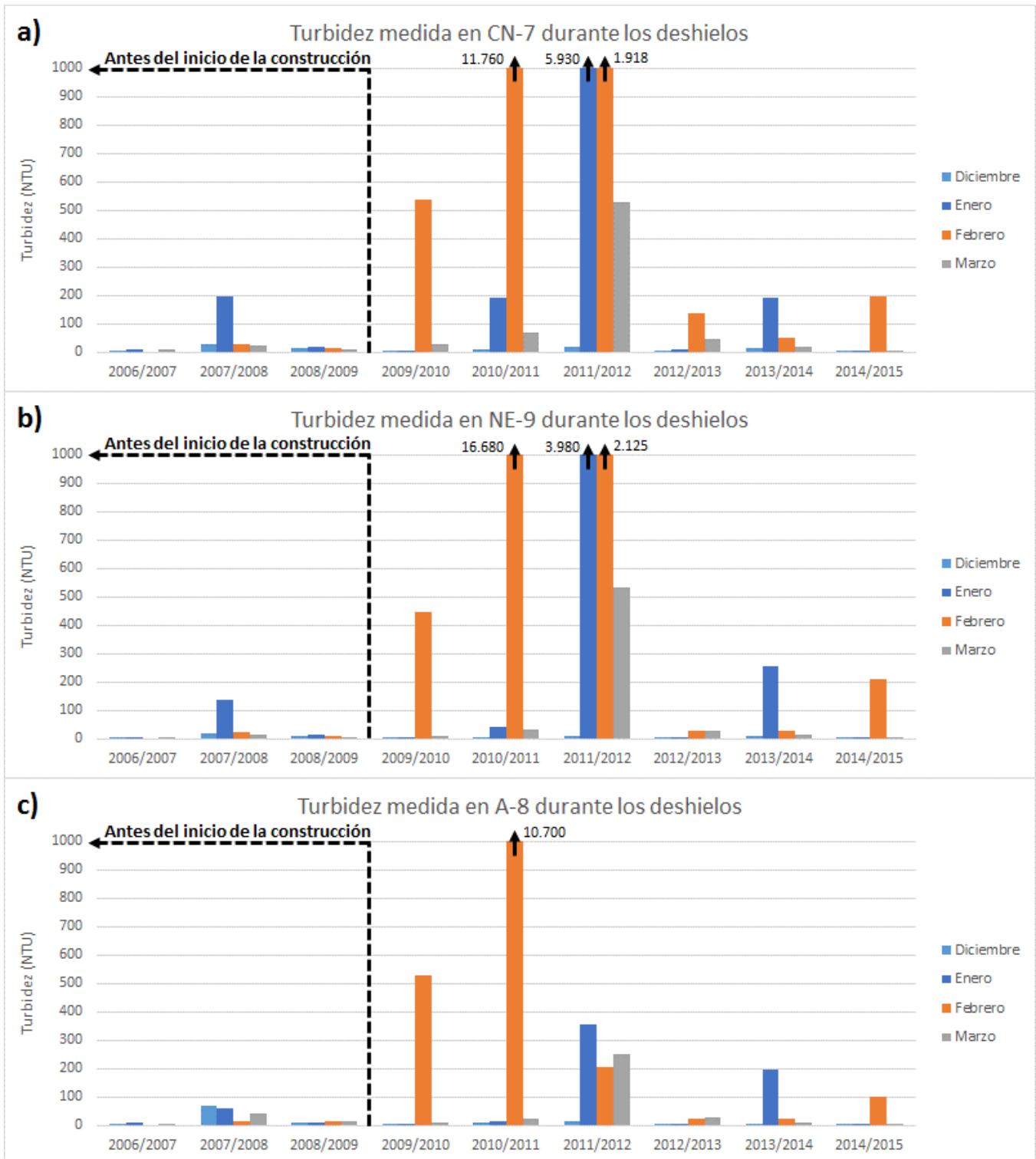


Figura 10. Turbidez durante los principales meses de deshielo en las estaciones de monitoreo de la Zona 4.

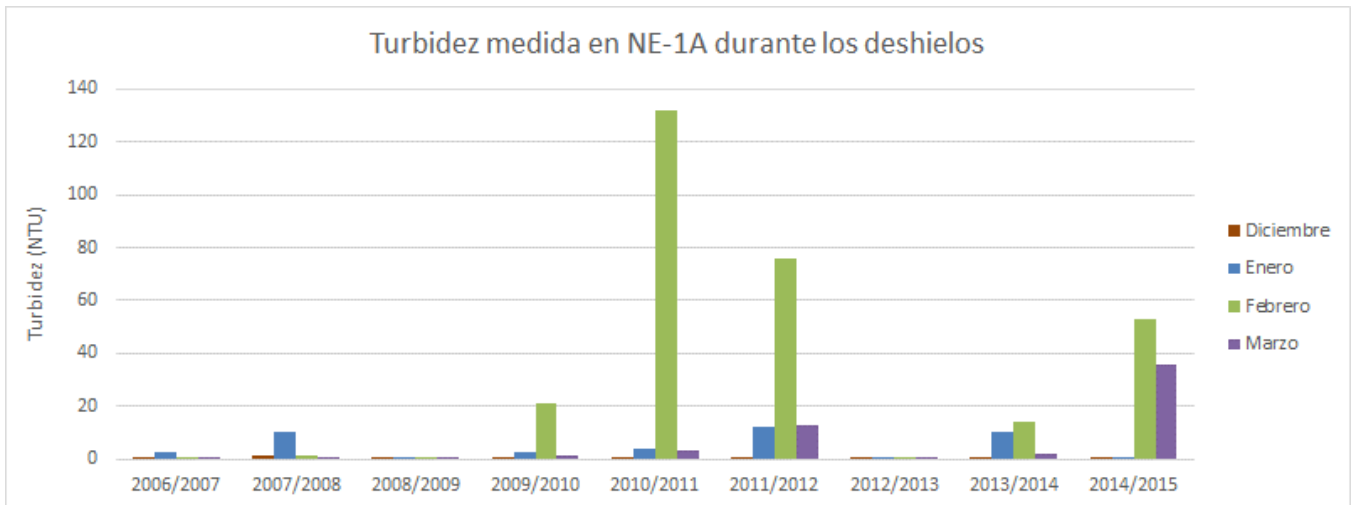


Figura 11. Turbidez en la estación control NE-1A durante los principales meses de deshielo.

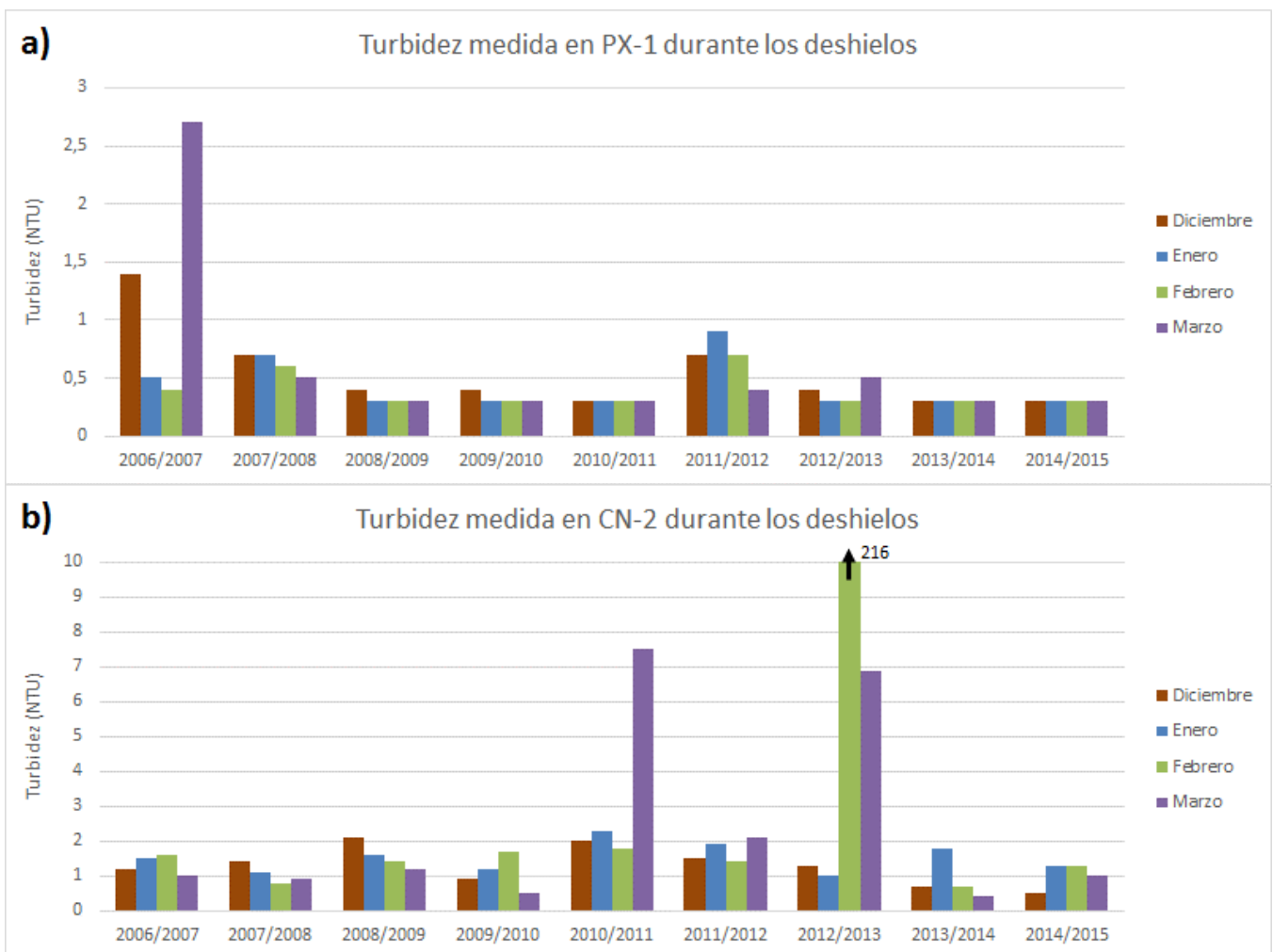


Figura 12. Turbidez en las estaciones control PX-1 y CN-2 durante los principales meses de deshielo.

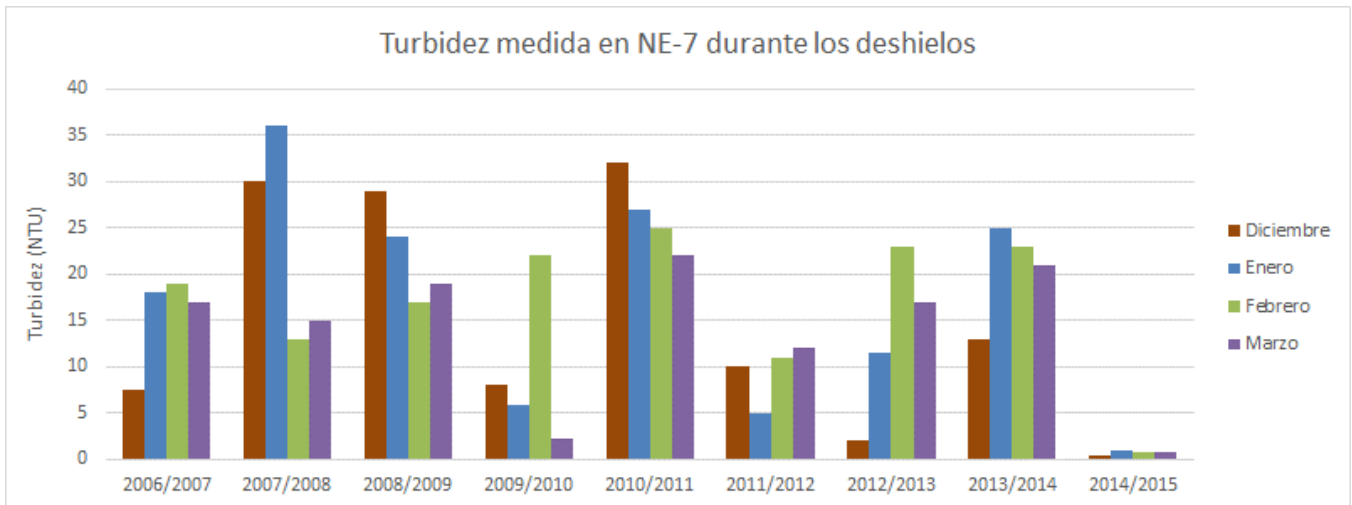


Figura 13. Turbidez en la estación control NE-7 durante los principales meses de deshielo.

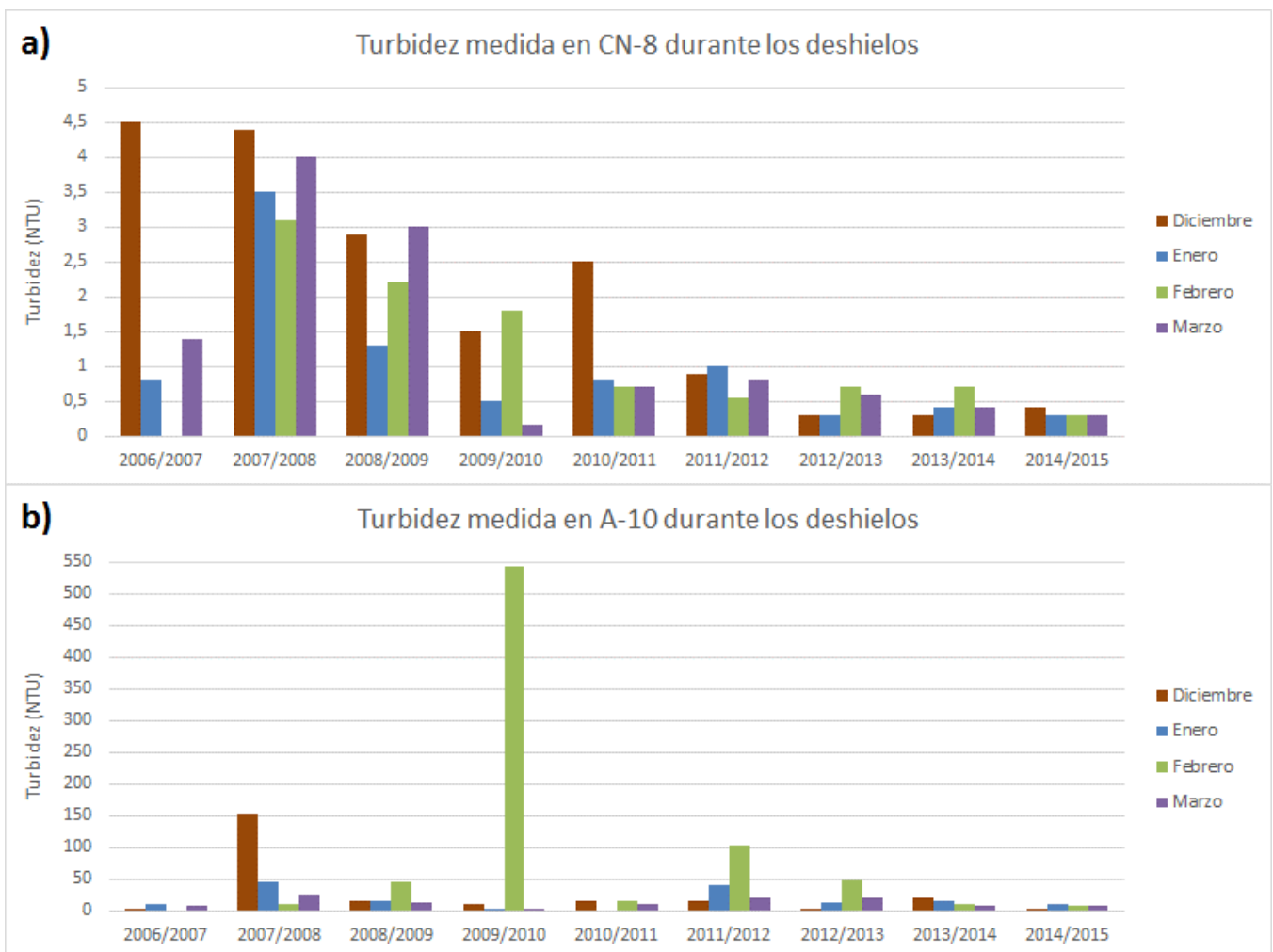


Figura 14. Turbidez en las estaciones control CN-8 y A-10 durante los principales meses de deshielo.



Figura 15. Evolución de la turbidez en la cuenca del río Estrecho para el mes de enero de distintos años (2007 al 2015).

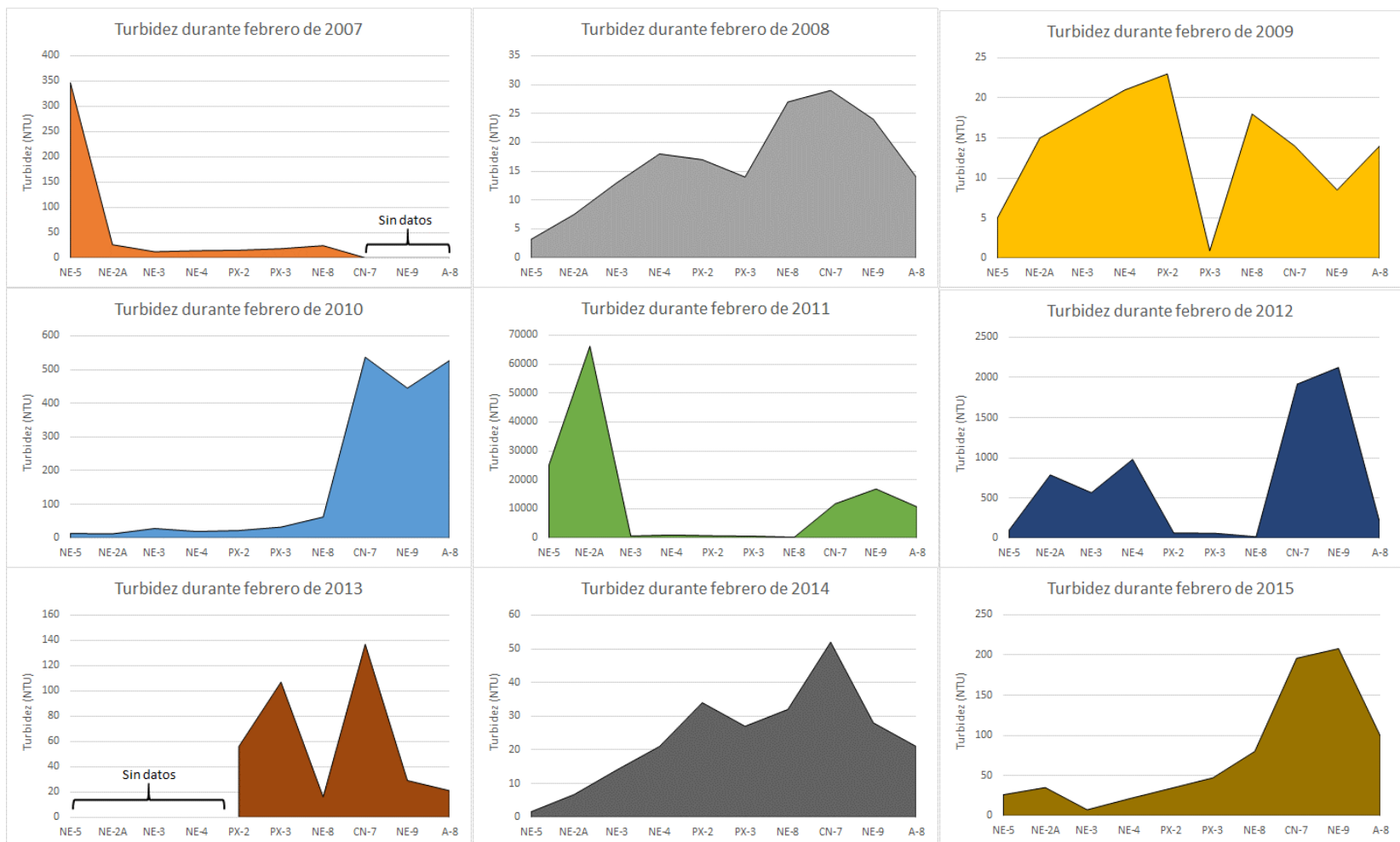


Figura 16. Evolución de la turbidez en la cuenca del río Estrecho para el mes de febrero de distintos años (2007 al 2015).

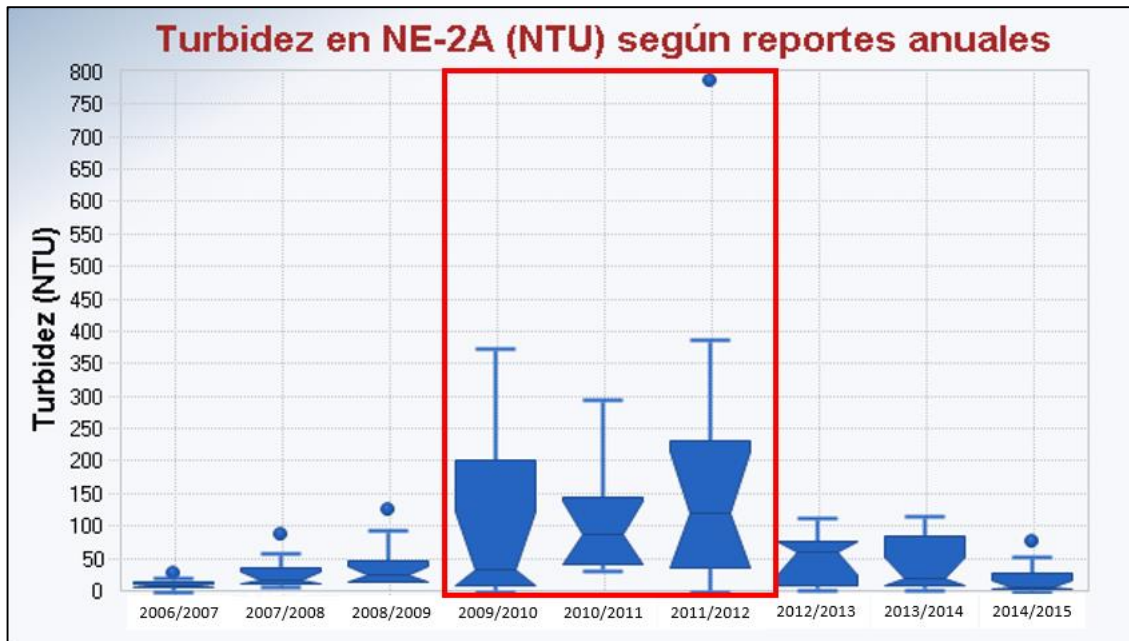


Figura 17. Turbidez en NE-2A por período anual presentada bajo la forma de diagramas de caja (en rojo se destacan los períodos donde se llevó a cabo la construcción del sistema de manejo de aguas de contacto). No se grafica el dato correspondiente a febrero de 2011 por encontrarse fuera del rango que permite una visualización adecuada de la información.

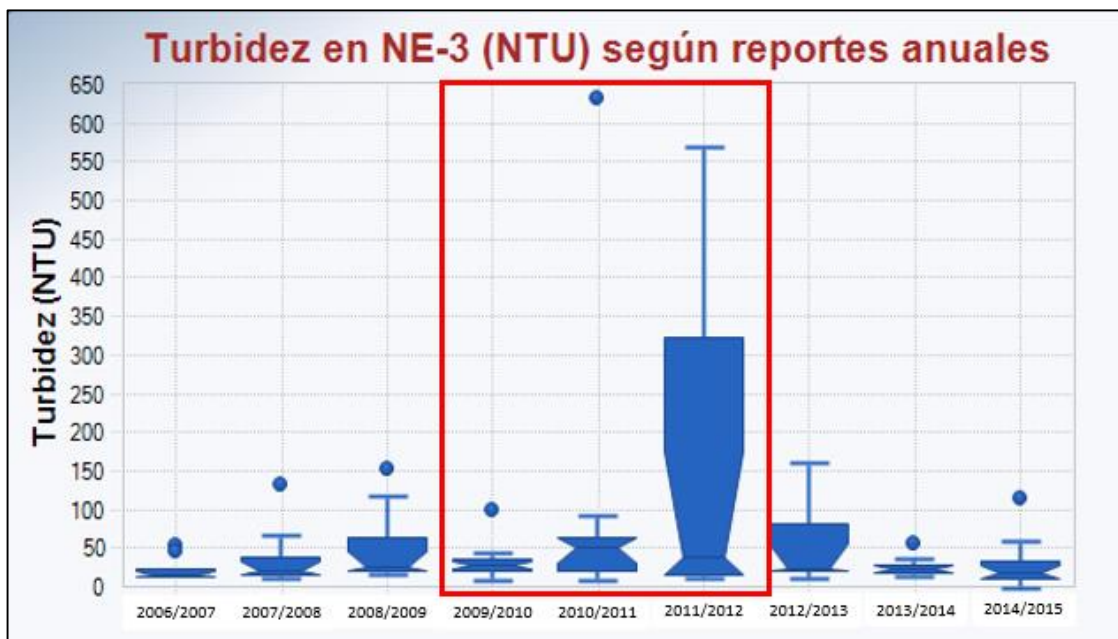


Figura 18. Turbidez en NE-3 por período anual presentada bajo la forma de diagramas de caja (en rojo se destacan los períodos donde se llevó a cabo la construcción del sistema de manejo de aguas de contacto).

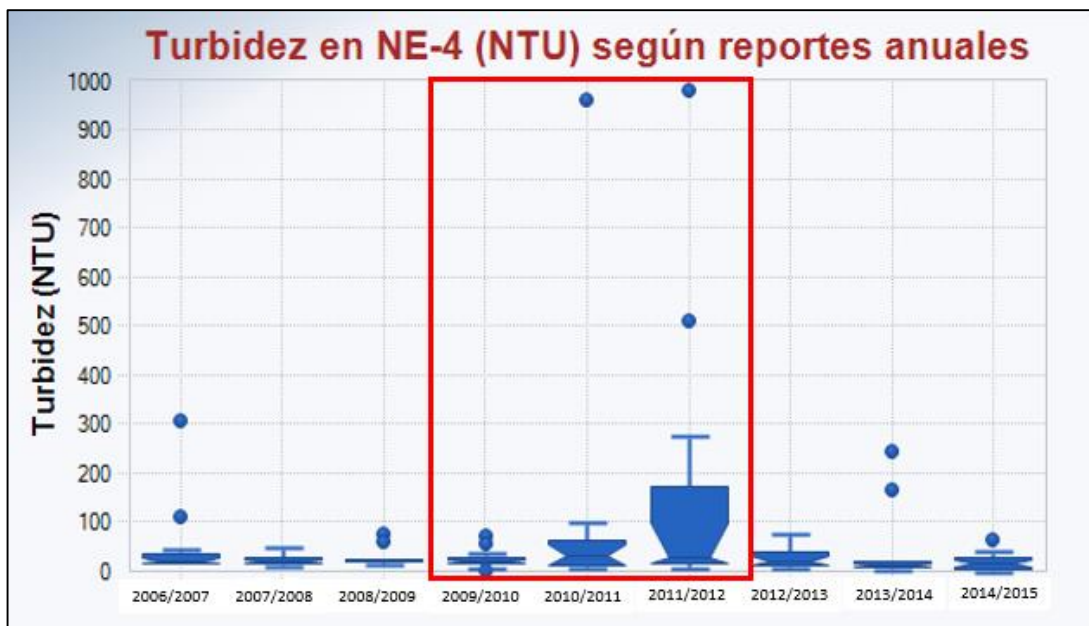


Figura 19. Turbidez en NE-4 por período anual presentada bajo la forma de diagramas de caja (en rojo se destacan los períodos donde se llevó a cabo la construcción del sistema de manejo de aguas de contacto).

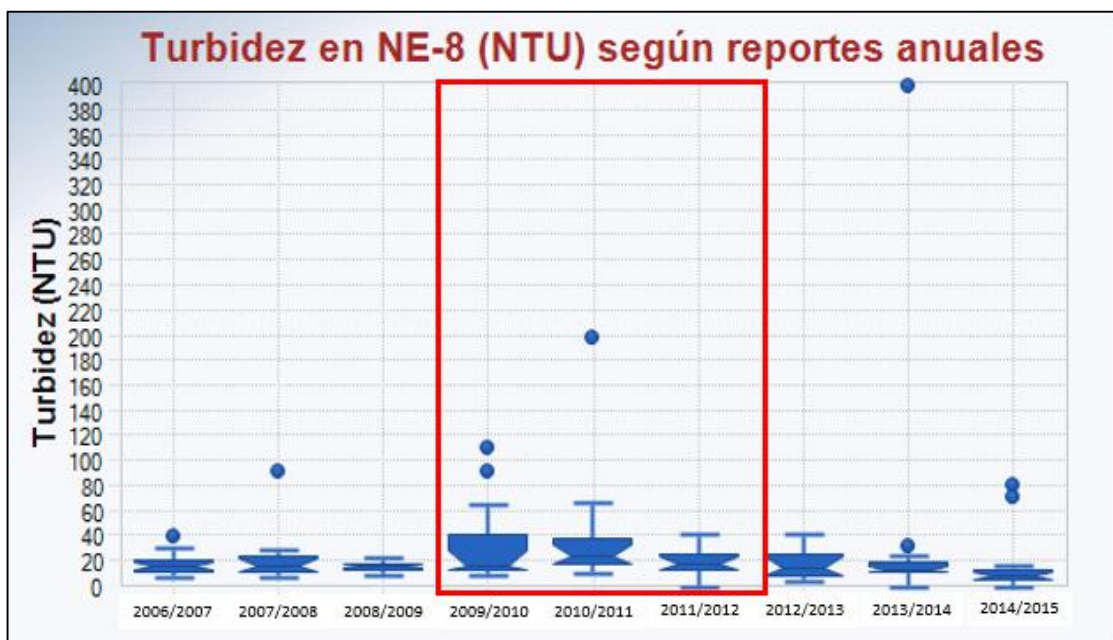


Figura 20. Turbidez en NE-8 por período anual presentada bajo la forma de diagramas de caja (en rojo se destacan los períodos donde se llevó a cabo la construcción del sistema de manejo de aguas de contacto).

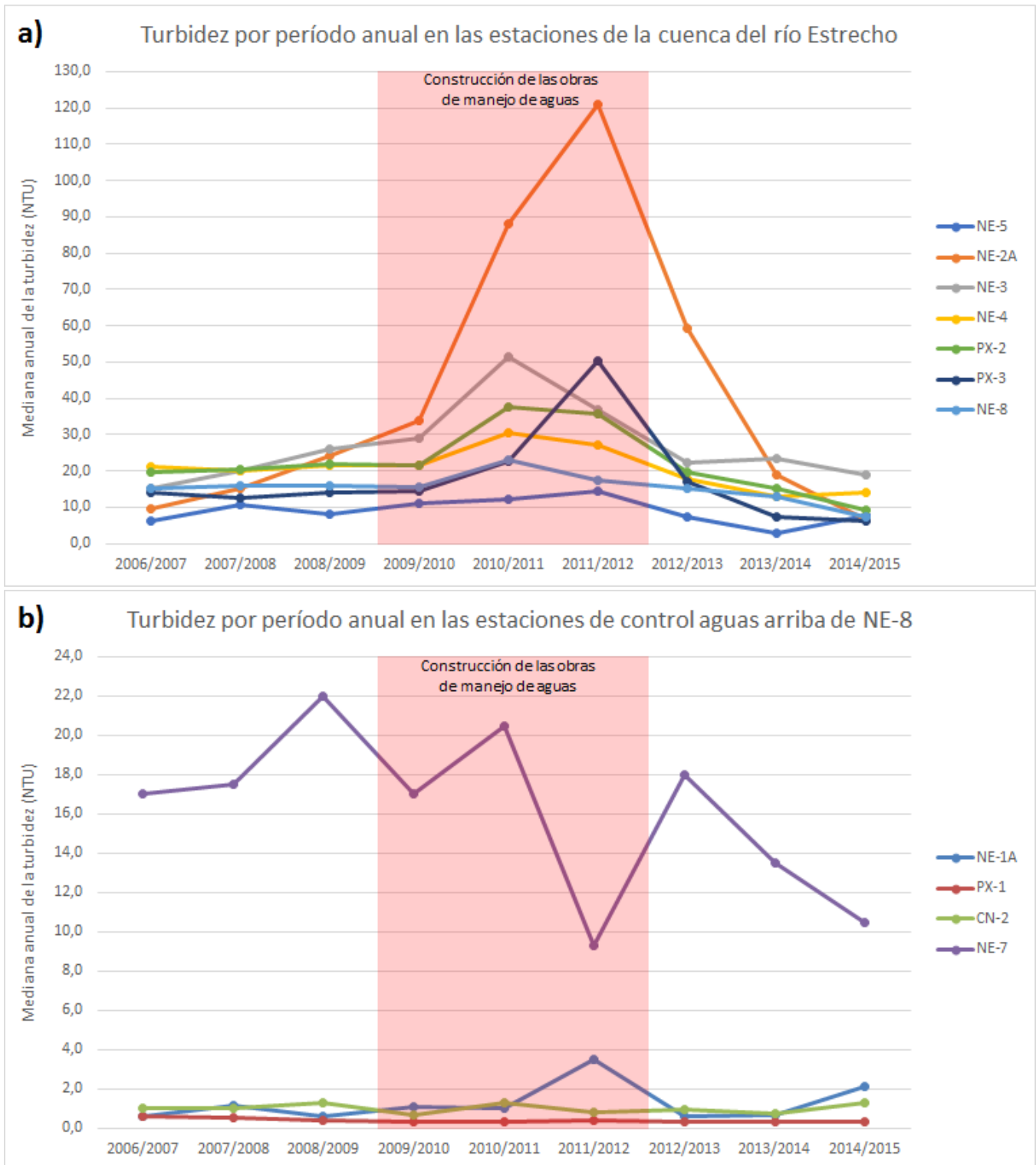


Figura 21. Turbidez (mediana) por período anual en las estaciones ubicadas en la cuenca del río estrecho (a) y en las estaciones de control asociadas (b).

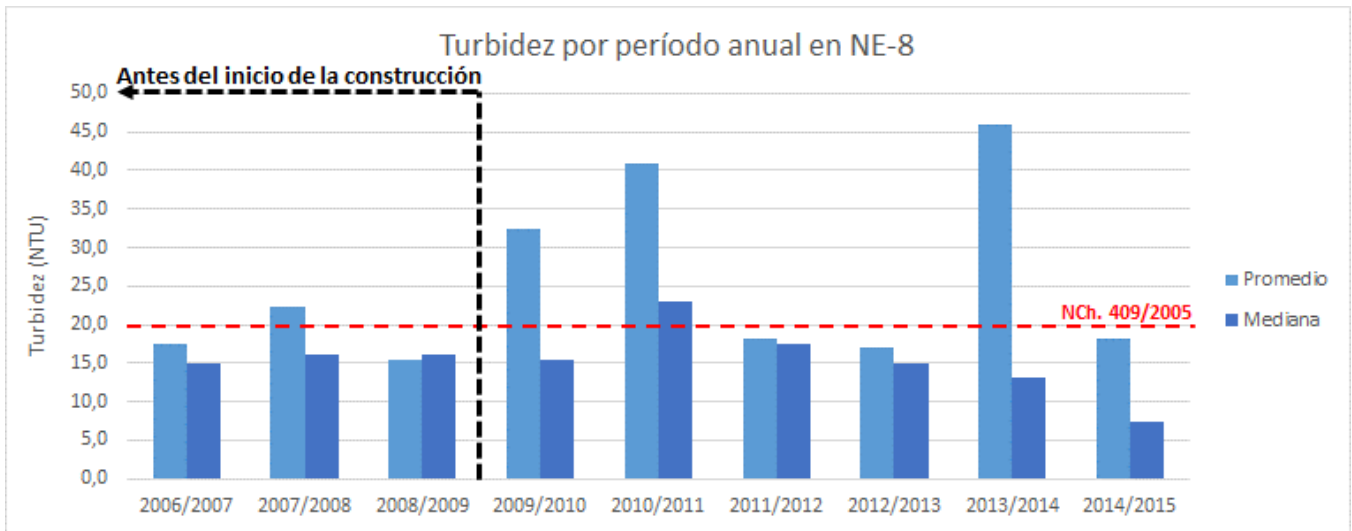


Figura 22. Turbidez en NE-8 considerando el promedio y la mediana de cada serie anual.

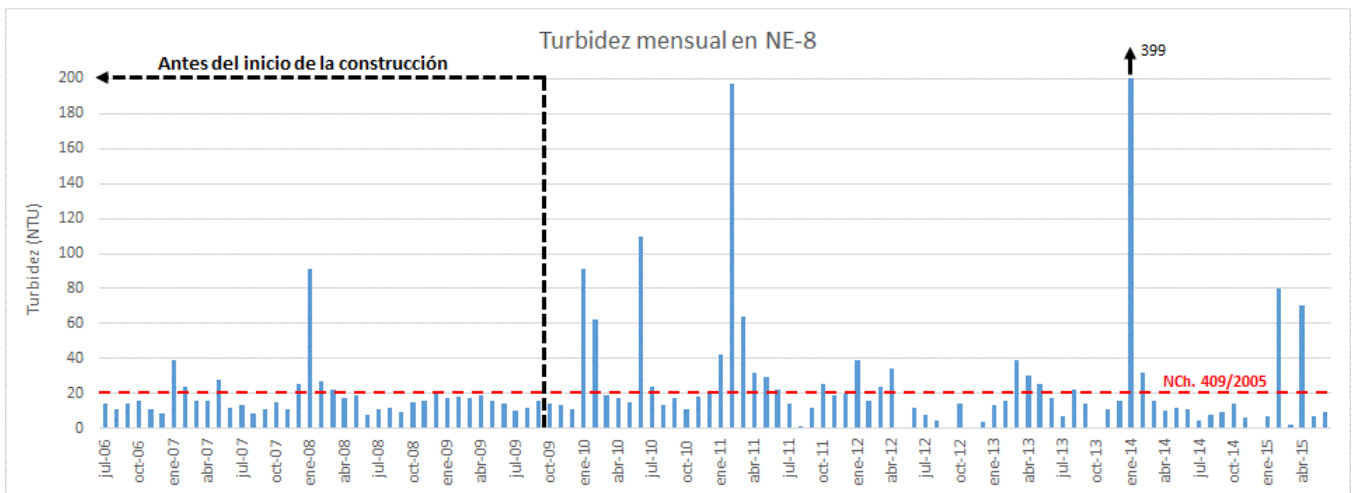


Figura 23. Turbidez en NE-8 medida mensualmente.

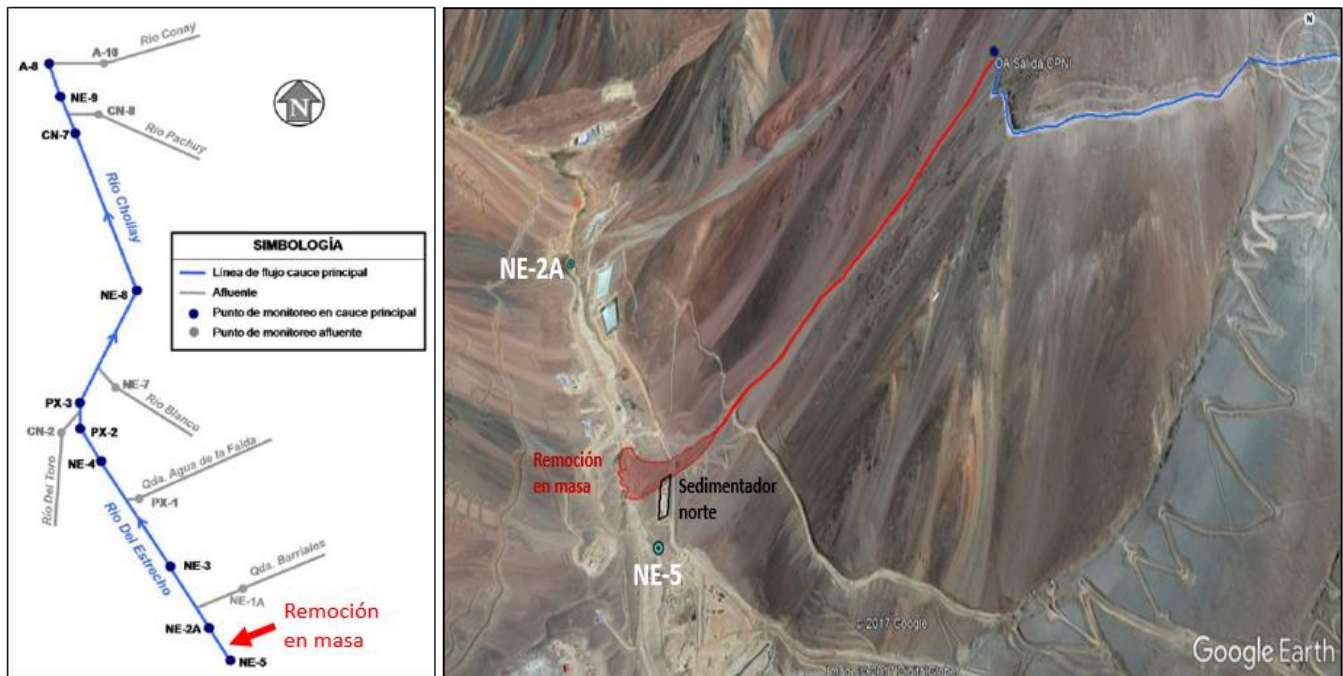


Figura 24. Ubicación referencial de la remoción en masa en relación con las estaciones de monitoreo.

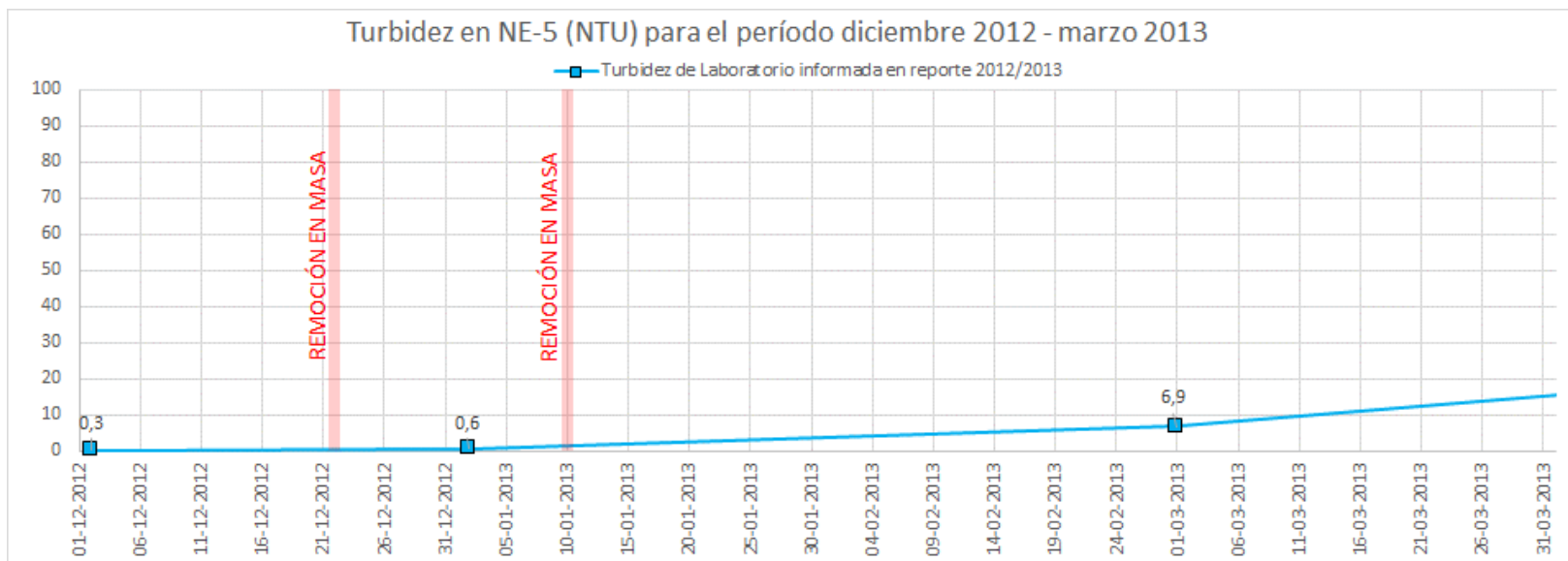


Figura 25. Relación entre la turbidez en NE-5 y los dos eventos de remoción en masa informados.

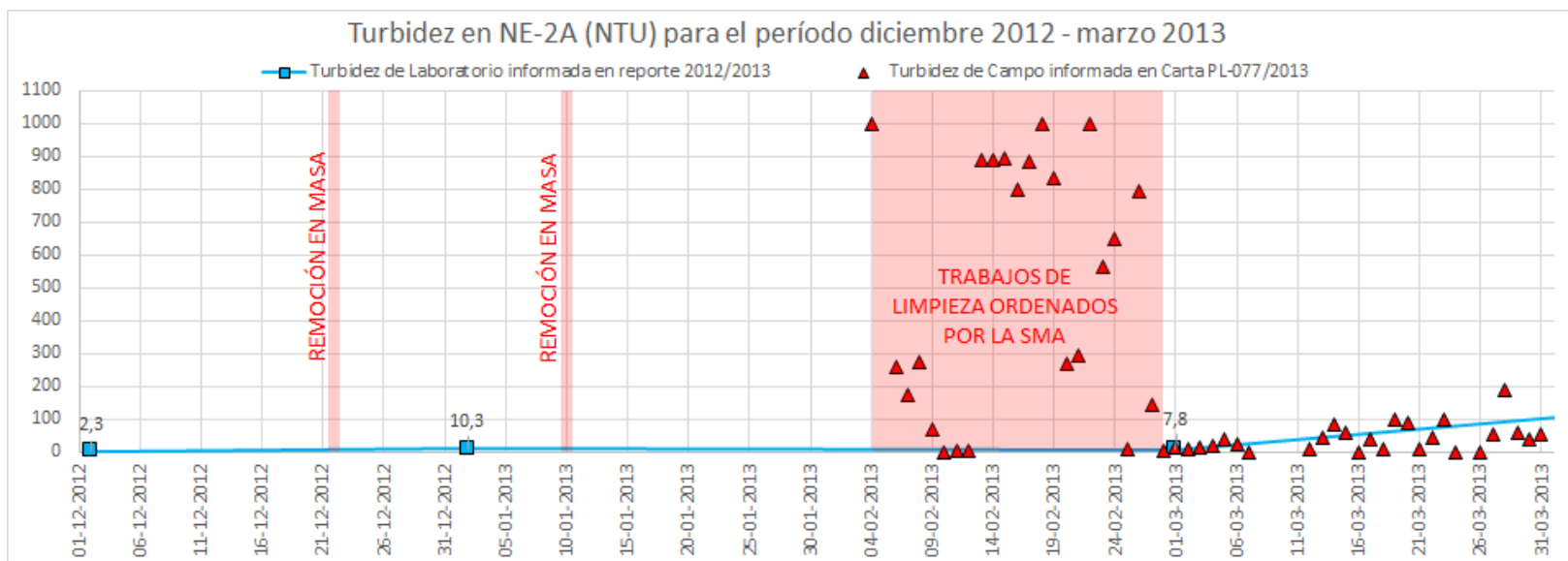


Figura 26. Relación entre la turbidez en NE-2A y los dos eventos de remoción en masa informados.

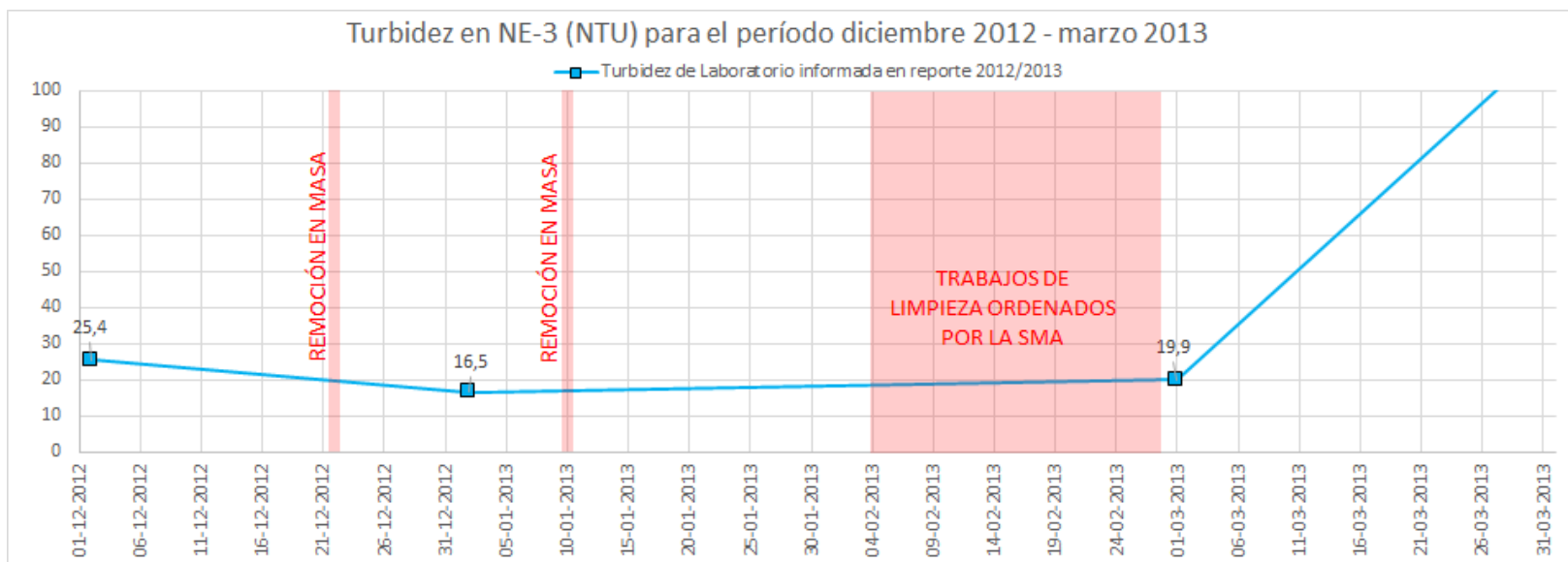


Figura 27. Relación entre la turbidez en NE-3 y los dos eventos de remoción en masa informados.

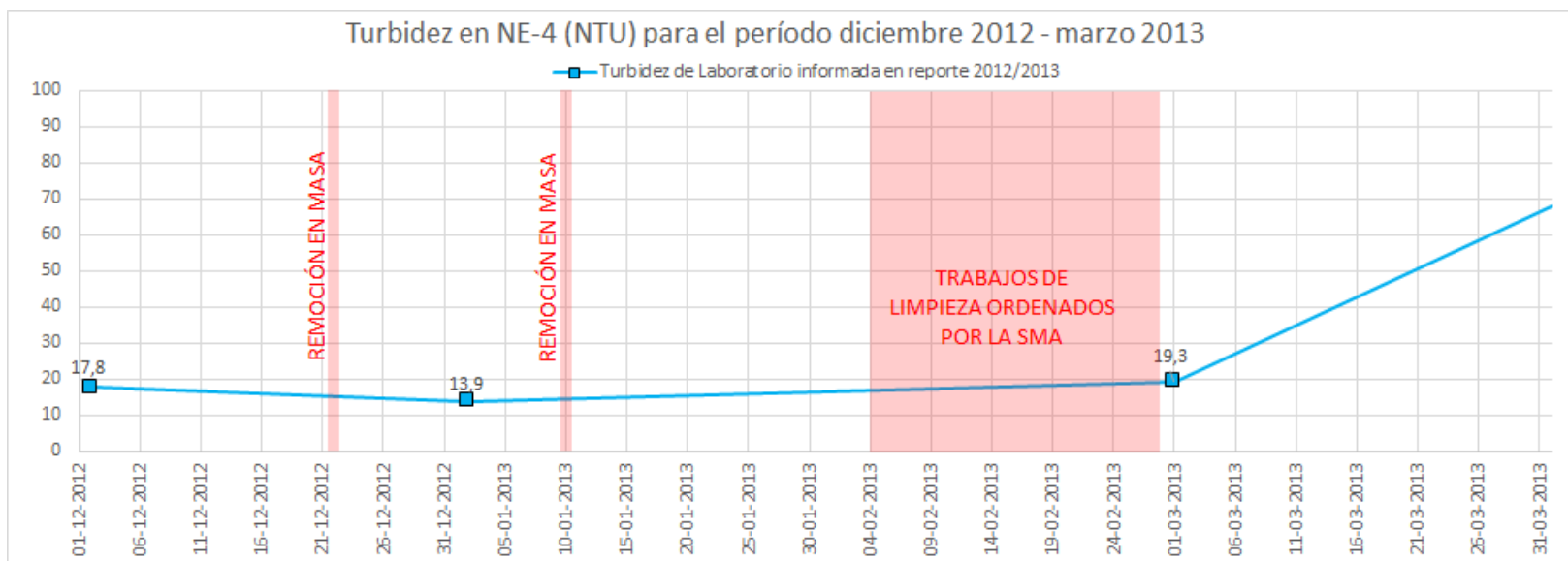


Figura 28. Relación entre la turbidez en NE-4 y los dos eventos de remoción en masa informados.

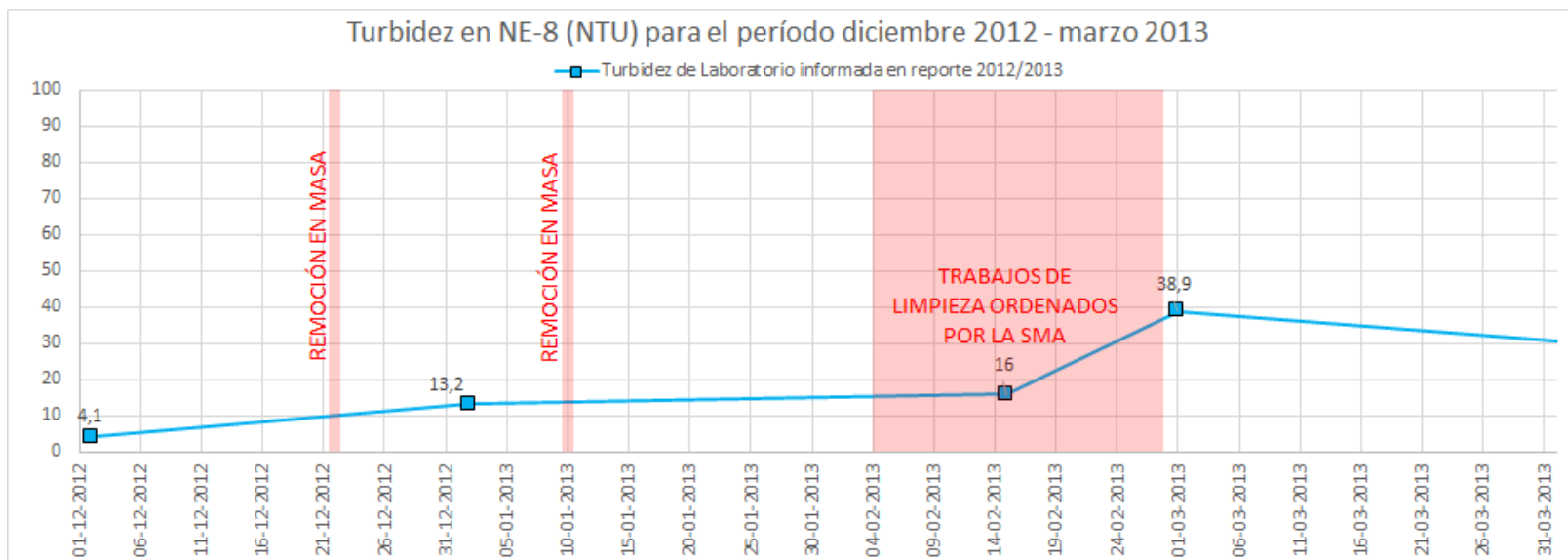


Figura 29. Relación entre la turbidez en NE-8 y los dos eventos de remoción en masa informados.

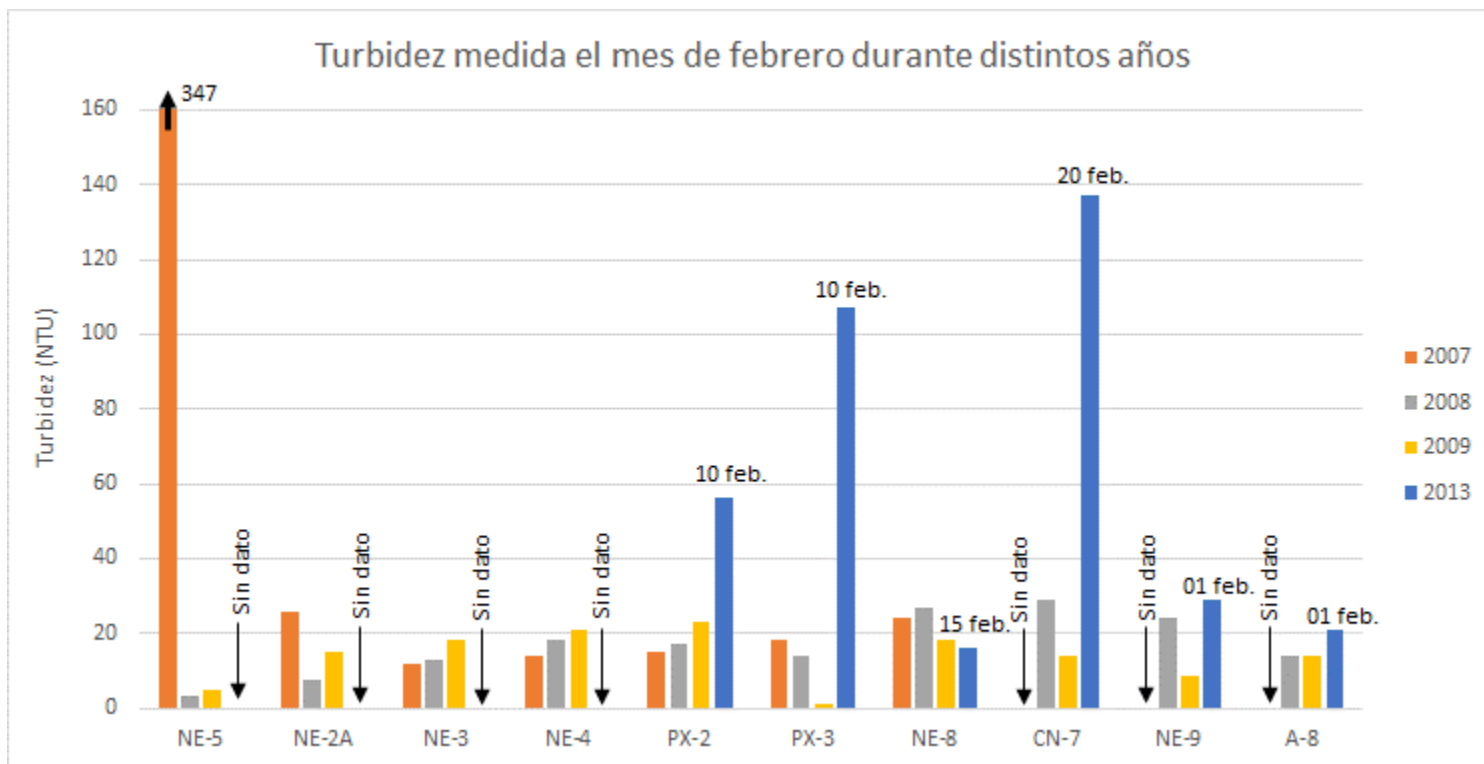


Figura 30. Comparación entre la turbidez medida en febrero del año 2013, y en febrero de los años previos al inicio de la construcción del proyecto (2007, 2008, 2009). Se indican los datos que no fueron reportados, y las fechas en que se tomaron las muestras en febrero del año 2013.

Tabla 1. Turbidez en NE-5 (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	6,6				12		15,9	0,4	1,1
Agosto	0,5		18	5,4	11		8	3,6	5,6
Septiembre	5,9		193	54	0,8	13		11	5,6
Octubre	7,5	25	6	6,3	11	15	0,6	10	13
Noviembre	5,1	14	4,9	8,8	18	8,9		2,4	4,2
Diciembre	3,1	13	5,5	14	15	85	0,3	0,3	0,5
Enero	7,3	20	8,2	5,8	6	62	0,6	0,5	15
Febrero	347	3,2	5	13	25200	100		1,6	26
Marzo	13	5	11	13	89	14	6,9	3,1	12
Abril	5,8	8	11		312	97,5	16	13	6,7
Mayo		7,3	15	16	1,4	5,34	15	7,9	8,5
Junio			2,2	6,4		4,54	7,3	1,7	29
MINIMO	0,5	3,2	2,2	5,4	0,8	4,5	0,3	0,3	0,5
PROMEDIO	40,2	11,9	25,4	14,3	2334,2	40,5	7,8	4,6	10,6
MEDIANA	6,3	10,5	8,2	10,9	12,0	14,5	7,3	2,8	7,6
MAXIMO	347,0	25,0	193,0	54,0	25200,0	100,0	16,0	13,0	29,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.

Tabla 2. Turbidez en NE-2A (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	9,3		20	16	95		59,3	19	3,3
Agosto	0,9		30	1,3	33		62,2	76	21
Septiembre	6,8		126	1,8	88	135		90	9,1
Octubre	17	55	14	8	42	385	3,6	19	76
Noviembre	3,8	18	60	64	292	79		94	4,4
Diciembre	6,5	15	14	34	34	230	2,3	111	0,3
Enero	13	88	13	250	154	220	10,3	9,5	49
Febrero	26	7,5	15	12	66200	787		6,7	35
Marzo	9,5	11	89	53	144	107	7,8	4	0,3
Abril	9,5	9,6	13		87	21,7	109	16	11
Mayo		15	34	370	47	36	95	23	4,1
Junio			28	200		0,3	77	6,6	2,2
MINIMO	0,9	7,5	13,0	1,3	33,0	0,3	2,3	4,0	0,3
PROMEDIO	10,2	27,4	38,0	91,8	6110,5	200,1	47,4	39,6	18,0
MEDIANA	9,4	15,0	24,0	34,0	88,0	121,0	59,3	19,0	6,8
MAXIMO	26,0	88,0	126,0	370,0	66200,0	787,0	109,0	111,0	76,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.

Tabla 3. Turbidez en NE-3 (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	16		95	23	21	44	22,1	25	21
Agosto	23	18	30	36	19	30	19,1	25	35
Septiembre	15	63	22	20	11	18		56	5,4
Octubre	16	28	153	11	49	515	13	15	24
Noviembre	12	39	20	15	63	27		29	17
Diciembre	15	14	21	27	44	68	25,4	24	0,3
Enero	53	131	18	30	54	541	16,5	32	11
Febrero	12	13	18	28	632	565		14	7,3
Marzo	12	20	113	32	65	128	19,9	14	12
Abril	14	17	20	40	89	14,4	121	22	30
Mayo	45	30	34	100	64	12	158	23	55
Junio		13	33	34	11	13,6	82	21	115
MINIMO	12,0	13,0	18,0	11,0	11,0	12,0	13,0	14,0	0,3
PROMEDIO	21,2	35,1	48,1	33,0	93,5	164,7	53,0	25,0	27,8
MEDIANA	15,0	20,0	26,0	29,0	51,5	37,0	22,1	23,5	19,0
MAXIMO	53,0	131,0	153,0	100,0	632,0	565,0	158,0	56,0	115,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.

Tabla 4. Turbidez en NE-4 (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	38	29	76	22	10	14	11,7	2,8	24
Agosto	17	25	19	15	7,9	13	6,5	242	6,2
Septiembre	22	45	17	30	68	43		12	1,7
Octubre	16	22	19	0,8	17	29	13	7,3	36
Noviembre	24	13	23	9,2	60	25		3,1	8,1
Diciembre	19	12	24	23	18	75	17,8	17	0,5
Enero	110	26	20	54	58	508	13,9	164	11
Febrero	14	18	21	19	960	980		21	21
Marzo	20	18	23	25	94	270	19,3	8,6	3,3
Abril	35	17	21	21	33	24,5	71	12	27
Mayo	306	34	22	20	28	20	42	14	17
Junio	18	13	57	70	8,7	6,59	38	18	64
MINIMO	14,0	12,0	17,0	0,8	7,9	6,6	6,5	2,8	0,5
PROMEDIO	53,3	22,7	28,5	25,8	113,6	167,3	25,9	43,5	18,3
MEDIANA	21,0	20,0	21,5	21,5	30,5	27,0	17,8	13,0	14,0
MAXIMO	306,0	45,0	76,0	70,0	960,0	980,0	71,0	242,0	64,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.

Tabla 5. Turbidez en NE-8 (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	14	13	11	10	24	14	8	7,3	4,7
Agosto	11	8,6	12	12	13	1	4,2	22	7,8
Septiembre	14	11	9,1	16	17	12		14	9,5
Octubre	16	15	15	14	11	25	14	0,3	14,5
Noviembre	11	11	16	13	18	19		11	6
Diciembre	8,4	25	21	11	21	20	4,1	16	0,6
Enero	39	91	17	91	42	39	13,2	399	6,6
Febrero	24	27	18	62	197	16	16	32	80
Marzo	16	22	17	19	64	24	38,9	16	2,5
Abril	16	17	19	17	32	34,6	30	9,8	70
Mayo	28	19	16	15	29	0,5	25	12	6,9
Junio	12	8,1	14	110	22	12	17	11	9,5
MINIMO	8,4	8,1	9,1	10,0	11,0	0,5	4,1	0,3	0,6
PROMEDIO	17,5	22,3	15,4	32,5	40,8	18,1	17,0	45,9	18,2
MEDIANA	15,0	16,0	16,0	15,5	23,0	17,5	15,0	13,0	7,4
MAXIMO	39,0	91,0	21,0	110,0	197,0	39,0	38,9	399,0	80,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro. El dato en rojo fue obtenido del cuerpo del informe, ya que no fue informado en el Anexo A del respectivo informe, correspondiente a la base de datos.

Tabla 6. Turbidez en NE-1A (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	0,6		0,8	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	3,1
Agosto	5,4		1,3	0,7	0,5	0,6	1	0,3	0,5
Septiembre	0,6		0,8	0,4	0,6	6,2	0,4	80	1,1
Octubre	0,5	1,2	0,6	0,3	1,2	6,7	0,7	0,3	0,6
Noviembre	0,6	1,2	0,8	0,9	0,8	0,5	0,5	0,3	0,3
Diciembre	0,6	1,5	0,4	0,3	0,6	0,8	0,3	0,4	0,4
Enero	2,4	10	0,5	2,6	3,9	12	0,9	10	0,3
Febrero	0,9	1,1	0,4	21	132	76	0,6	14	53
Marzo	0,7	0,6	0,3	1,27	3,4	13	0,5	2	36
Abril	0,5	0,7	0,5	1,4	1,3	0,78	16	2,9	80
Mayo		0,9	0,9	9,3	0,7	12	1,8	0,6	3,3
Junio			0,6	1,3	2,8	0,3	0,6	0,7	4,3
MINIMO	0,5	0,6	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
PROMEDIO	1,3	2,2	0,7	3,3	12,4	10,8	2,0	9,3	15,2
MEDIANA	0,6	1,2	0,6	1,1	1,0	3,5	0,6	0,7	2,1
MAXIMO	5,4	10,0	1,3	21,0	132,0	76,0	16,0	80,0	80,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.

Tabla 7. Turbidez en PX-1 (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	0,4		0,6	0,3	0,5	1,1	0,3	0,3	0,3
Agosto	0,5		0,5	0,5	0,3	0,3	0	0,3	0,5
Septiembre	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Octubre	1,2	2,8	0,8	0,3		0,3	0,3	0,3	0,3
Noviembre	0,6	0,5	2,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6
Diciembre	1,4	0,7	0,4	0,4	0,3	0,7	0,4	0,3	0,3
Enero	0,5	0,7	0,3	0,3	0,3	0,9	0,3	0,3	0,3
Febrero	0,4	0,6	0,3	0,3	0,3	0,7	0,3	0,3	0,3
Marzo	2,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3
Abril	2,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Mayo	0,7	0,4	0,3	0,4	0,3	0,88	0,3	0,3	0,3
Junio		0,3	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
MINIMO	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,3	0,3
PROMEDIO	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3
MEDIANA	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
MAXIMO	2,7	2,8	2,8	0,7	0,5	1,1	0,5	0,3	0,6

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.

Tabla 8. Turbidez en CN-2 (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	1,6	0,9	0,8	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,5
Agosto	0,8	1,5	1,3	1	0,3	0,3	0,6	1,1	0,8
Septiembre	0,6	0,7	0,7	0,6	1	0,4	0,7	0,5	1,3
Octubre	1	1,6	1,5	0,5	1	1,5	0,4	0,9	2,9
Noviembre	1,3	4,7	2,3	0,3	1,5	0,8	0,9	1,4	1,9
Diciembre	1,2	1,4	2,1	0,9	2	1,5	1,3	0,7	0,5
Enero	1,5	1,1	1,6	1,2	2,3	1,9	1	1,8	1,3
Febrero	1,6	0,8	1,4	1,7	1,8	1,4	216	0,7	1,3
Marzo	1	0,9	1,2	0,5	7,5	2,1	6,9	0,4	1
Abril	0,4	0,5	0,8	0,3	3,4	0,76	1,9	0,5	11
Mayo	0,6	1,5	0,4	0,7	0,5	0,5	0,4	0,9	0,9
Junio	0,7	0,4	0,7	0,7	0,3	0,3	1,7	0,4	1,4
MINIMO	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5
PROMEDIO	1,0	1,3	1,2	0,7	1,8	1,0	19,4	0,8	2,1
MEDIANA	1,0	1,0	1,3	0,7	1,3	0,8	1,0	0,7	1,3
MAXIMO	1,6	4,7	2,3	1,7	7,5	2,1	216,0	1,8	11,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.

Tabla 9. Turbidez en NE-7 (NTU) por período anual reportado.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Julio	19	13	18	17	12	8,4	3,5	4,9	9,9
Agosto	18	11	16	17,5	8,5	0	2,3	13	16
Septiembre	16	8,7	15	17	6,3	5,1	5	11	18
Octubre	23	19	21	0,5	16	19	22	14	44
Noviembre	12	23	24	21	24	22	21	6,6	11
Diciembre	7,5	30	29	8,1	32	10	2	13	0,3
Enero	18	36	24	5,9	27	5	11,4	25	1
Febrero	19	13	17	22	25	11	23	23	0,8
Marzo	17	15	19	2,2	22	12	17	21	0,8
Abril	17	20	24	17	1,5	8,65	26	19	26
Mayo	17	27	23	19	21	17	23	20	3,5
Junio	11	16	25	15	20	5,77	19	11	16
MINIMO	7,5	8,7	15,0	0,5	1,5	0,0	2,0	4,9	0,3
PROMEDIO	16,2	19,3	21,3	13,5	17,9	10,3	14,6	15,1	12,3
MEDIANA	17,0	17,5	22,0	17,0	20,5	9,3	18,0	13,5	10,5
MAXIMO	23,0	36,0	29,0	22,0	32,0	22,0	26,0	25,0	44,0

*En amarillo se indican los 11 datos mayores del registro.