CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

ESTABILIDAD QUÍMICA Y ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA

INFORME FINAL

Revisión 1

12 DE DICIEMBRE 2018

Índice

1. Introducción 16

2. Caracterización geoquímica de la cuenca del río Vis-Vis – Amanao junto con la química del agua del dique de colas 16

2.1 Introducción 16

2.2 Antecedentes previos a la explotación de la mina Bajo de la Alumbrera 18

2.3 Caracterización geoquímica y estadística de la cuenca del río Vis-vis – Amanao 22

2.3.1 Zona 1 – Área de dique de colas 27

2.3.2 Zona 2 - Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas 30

2.3.3 Zona 3 - Zona de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural. 34

2.3.4 Zona 4 - Zona al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el *Open-pit* 37

2.3.5 Zona 5 - Puntos de monitoreo aguas abajo de la zona afectada por la pluma de proceso y traza del río Vis-Vis-Amanao y sus afluentes 40

2.4 Propuesta de valores de alerta y máximos y mínimos no superables para los puntos de muestreo DS1, DS5, DS6 y DS8 considerados para el cierre de mina y desafectación de pozos del sistema de retrobombeo 59

2.5 Propuesta sobre modificación de los puntos de monitoreo 63

2.6 Comparación de valores de laboratorio de DiPGAM con los de MAA 65

2.7 Bibliografía consultada 66

3. Revegetación y cobertura del dique de colas 67

3.1 Comentario inicial 67

3.1.1 Documentos revisados y material de referencia bibliográfica 67

3.1.2 Criterios de análisis y procedimientos 67

3.2 Desarrollo analítico y evaluativo 69

3.2.1 Consideraciones acerca del marco legal, conceptual y operativo y el más reciente status de la explotación 69

3.2.2 Consideraciones acerca del informe “Diseño para la revegetación de Dique de Cola y boatederos” de Glencore 71

3.2.3 Consideraciones acerca de la cobertura del Dique de Colas y estabilidad de cobertura prevista 81

3.3 Conclusiones finales y recomendaciones 84

3.4 Bibliografía 86

4. Análisis del conjunto de drenajes laterales y de fundación del murallón que colectan las filtraciones y las conducen a una pileta de captación de drenajes situada aguas abajo del dique (DCP). 87

5. Análisis en lo relativo a la sistematización de la cuenca hídrica asociada al sistema de deposición de las colas. 91

6. Integración de todos los aspectos evaluados en recomendaciones para un diseño ingenieril relacionado con la Estabilidad FÍSICA Y química.....94

7. Estudio de filtraciones a través de la presa y su fundación 95

8. Estudio de estabilidad del talud a través del método estático y pseudo estático 99

9. Estudio de tensiones-deformaciones del dique de colas 100

10. Análisis de la evolución del diseño del vertedero.....102

11. Análisis de alternativas finales de cierre de componentes y subcomponentes mineros relacionados a las obras mineras de carácter permanente del proyecto (en este caso, presa de relaves), como por ejemplo las de atenuación de crecidas, canales perimetrales e internos de la superficie final de las colas y vertedero de emergencia, incluyendo aducción, disipador y canal evacuador. 102

12. Análisis económico del cierre del Dique de Colas. Revisión de análisis de precios 103

12.1 Revisión de documentos anteriores 103

12.2 Revisión del documento “Estimación de precios-Cierre de dique.xls”.....105

12.2.1 Análisis generales 105

Consideraciones generales.....105

Memoria a solicitar 105

Análisis hoja coeficiente resumen 106

Hoja mano de obra.....106

Hoja datos equipos 107

Hoja precio equipos 107

Hoja equipos. 107

12.2.2 Análisis por ítem.....108

Ítem 1.1.1.1 Colocación cobertura. Excavación en suelos.....108

Ítem 1.2.1.1 Relleno cobertura del cuenco.....108
Ítem 2.1.1.1 Construcción de sistema de manejo de aguas - Excavación en suelo.....108
Ítem 2.1.1.2 Construcción de sistema de manejo de aguas - Excavación en roca.....108
Ítem 2.2.1.1 Cobertura de Canales - Relleno material esteril de mina.....109
Ítem 2.2.1.2 Cobertura de Canales - Relleno con enrocado.....109
Ítem 2.3.1.1 Bermas de canales - Relleno de colas + Z9.....110
Ítem 3.1.1.1 Vertedero de Emergencia - Excavación en suelo.....110
Ítem 3.1.1.2 Vertedero de Emergencia - Excavación en roca.....110
Ítem 3.2.1.1 Vertedero de Emergencia - Hormigón H10.....110
Ítem 3.2.1.2 Vertedero de Emergencia - Hormigón H30.....111
Ítem 5.1.1 Pozos de monitoreo - Perforación y Tubería de PVC.....111
12.3 Relación de ítem con escenarios.....111
13. Tareas en las oficinas de IATASA en San Fernando del Valle de Catamarca 112
13.1 Jornadas Técnicas Introducción al Cierre de Minas (Abril 2018).....112
13.2 Visita a Mina (Abril 2018).....114
13.3 Jornadas Difusión de la Ingeniería 2018 (Junio 2018).....115
13.4 Visita a Mina (Julio 2018).....116
13.5 Presentación de tareas de explotación subterráneas (Minera Alumbrera, Julio 2018).....117
13.6 Campaña de muestreo de aguas subterráneas y superficiales (Agosto 2018).....118
13.7 Visitas a la mina (Agosto 2018).....120
13.8 Expo Productiva 2018 (Septiembre 2018).....122
13.9 Capacitaciones (Septiembre 2018).....122
14. Presencia de IATASA en las oficinas de SEM-DiPGAM en San Fernando del Valle de Catamarca.....123

Tablas

Tabla 2.1. Análisis químicos de muestras de agua tomadas por Knight Piesold 8/92 y Environment S.A. 2/93 publicadas en el Informe de Impacto Ambiental de MAA del año 1995. Dichos valores fueron contrastados con los niveles guía para agua de diversas categorías según anexo de la ley 24.585. Valores con fondo amarillo superan alguno de los valores guía. En cuanto a los valores con campo verde no puede descartarse que superen los niveles guía ya que poseen un límite de detección mayor al límite tolerable para la ley. 20
Tabla 2.2. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 1 – Dique de colas. 30
Tabla 2.3. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 2 – Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas. 34
Tabla 2.4. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 3 – Zona de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural. 37
Tabla 2.5. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 4 - zona al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el Open-pit. 40
Tabla 2.6. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos de monitoreo aguas abajo de la zona afectada por la pluma de proceso: pozos de monitoreo y retrobombeo. 45
Tabla 2.7. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís (trimestrales). 50
Tabla 2.8. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís (trimestrales + puntuales). 51
Tabla 2.9. Valores del coeficiente de correlación de Pearson r 52
Tabla 2.10. Datos fisicoquímicos de la vertiente Los Baños (MAA) y las estaciones DS1 y MW8 de MAA y SEM. 53
Tabla 2.11. Calculo de r y prueba de significación para los puntos superficiales en sulfato, cloruro y conductividad. 55

Tabla 2.12. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos de monitoreo en afluentes del río Vís-Vís 59
Tabla 2.13. Rangos de variabilidad histórica, de alerta y máximo no superable para cloruro, sulfato y conductividad en Res SEM 232/09 y 240/09.....60
Tabla 2.14. Niveles máximos y mínimos de alerta y no superables estimados a partir de muestreos trimestrales y puntuales en DS1, DS5, DS6 y DS8. 62
Tabla 2.15. Niveles máximos y mínimos de alerta y no superables estimados solamente a partir del muestreo trimestral en DS1, DS5, DS6 y DS8. 63
Tabla 3.1. Cuadro comparativo de costos estimados $/Ha. Resultados expresados en pesos argentinos convertidos al mes de setiembre de 2018. 80
Tabla 4.1. Caudal promedio aforado del dren de Muro y dren de fundación durante las etapas 17, 18 y 19 sobre la base de datos de Minera Alumbrera provistos por la DiPGAM. 88
Tabla 4.2. Permeabilidades adoptadas para los materiales de la presa sobre la base del Informe Final “CONSULTORIA TÉCNICA DE INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS: DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA” – IATASA 2014. 89
Tabla 7.1. Ubicaciones, profundidades y nivel de agua detectado durante la ejecución de los freatímetros sobre la base de información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM 95
Tabla 7.2. Freatímetros propuestos por IATASA y freatímetros instalados por Minera Alumbrera.....97

Figuras

Figura 2.1. Mapa de ubicación de las zonas establecidas para el análisis de valores fisicoquímicos del agua tomados en pozos de monitoreo, retrobombeo y puntos superficiales. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.2. Mapa de detalle de la Figura 2.1 sobre zonas 1, 2 y 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.3. Mapa de detalle de la Figura 2.1 sobre zonas 2, 3 y 5. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.4. Mapa de detalle de la Figura 2.1 sobre zona 5, tramo desde MW36 hasta DS8 Amanao. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.5. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.6. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.7. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.8. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.9. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.10. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.11. Tendencias evolutivas de manganeso y zinc en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.12. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.13. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.14. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.15. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.16. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.17. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.18. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.19. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.20. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.21. Tendencia evolutiva de sulfatos en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.22. Tendencia evolutiva de cloruros en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.23. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.24. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.25. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.26. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.27. Tendencia evolutiva de sulfatos en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.28. Tendencia evolutiva de cloruros en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.29. Tendencia evolutiva de conductividad en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.30. Tendencia evolutiva de pH en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.31. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.32. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.33. Gráficos de correlación. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.34. Gráficos de correlación (continua de la Figura 2.33). (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.35. Gráficos que muestra la relación existente entre variaciones de caudal con respecto al incremento o decrecimiento de las concentraciones en sulfatos y cloruros. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.36. Gráficos que muestra la relación existente entre variaciones de caudal con respecto al incremento o decrecimiento de las concentraciones en sulfatos y conductividad. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.37. Gráficos que muestra la relación existente entre variaciones de caudal con respecto al incremento o decrecimiento de las concentraciones en cloruros y conductividad. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.38. Diagramas de caja y bigotes. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.39. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.40. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.41. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.42. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.43. Histogramas de sulfatos, cloruros, conductividad y pH (DS1, DS5, DS6 y DS8; Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.44. Distribución de valores (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.45. Imagen satelital en la que se observa al curso fluvial principal del río Vis-Vis – Amanao y sus afluentes principales. Se destacan las zonas de depósitos minerales con alteración hidrotermal que tienen conexión directa con la cuenca del río (Mina Capillitas queda por fuera de la cuenca pero muy próxima a su límite). (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.46. Detalle del sector superior del río Vis-Vis en donde se marcan con círculos rojos los pozos MW38 y MW Atajo que se recomiendan sean puestos en funcionamiento para monitorear aguas de afluentes vinculados al Bajo El Espanto y Los Jejenes hacia el oeste y a Cerro Atajo hacia el este. Las áreas en color verde y violeta corresponden al agua de proceso y la zona de mezcla respectivamente de la pluma del dique de colas. Las líneas rojas representan el límite de la concesión minera. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.47. Detalle del sector inferior del río Vis-Vis en donde se destacan en rojo la ubicación del pozo/punto superficial DS6-O o MW6-O propuesto para que controle la calidad de aguas de los afluentes vinculados a Bajo Las Juntas al O y Bajo San Lucas al NO. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.48. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA - TLW. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.49. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW3. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.50. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW4. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.51. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW32. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.52. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW33. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.53. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DCP2. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.54. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB2. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.55. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB16. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.56. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB24. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.57. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB25. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.58. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB27. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.59. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – T6. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.60. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW28. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.61. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB28. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.62. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB36. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.63. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB38. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.64. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW19. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.65. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW25. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.66. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW26. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.67. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW7. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.68. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW8. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.69. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW15. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.70. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW17. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.71. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW18. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.72. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW21. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.73. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW30. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.74. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW35. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.75. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW36. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.76. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW36B. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.77. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – SP6. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.78. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – HON1. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.79. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB23. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.80. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB33. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.81. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS1. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.82. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS5. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.83. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS6. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.84. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS7. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.85. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS7D. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.86. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS8. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.87. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – QLB. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.88. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS4. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.89. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – QSB. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.90. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS7E. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 3.1. Plantación en curvas de nivel en área en recuperación: cuando se tienen pendientes superiores al 20 % se recomienda plantar siguiendo las curvas de nivel, estableciendo las distancias entre planta en función de las condiciones del suelo y los objetivos de la plantación. (Fuente: CONAFOR – México 2010 – 2011 en Magda Vanegas LOPEZ).

Figura 4.1. Caudales de los vertederos del dren de muro y dren de fundación y cota de pelo de agua libre de la laguna sobrenadante. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 4.2. Caudales de los vertederos del dren de muro y dren de fundación en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 4.3. Sección transversal etapa 19. Cota de coronamiento 2347m (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM en 2018).

Figura 4.4. Red de escurrimiento en todo su desarrollo durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 1.5. Red de escurrimiento en detalle de la zona de la presa durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 4.6. Líneas de corrientes y equipotenciales, secciones y caudales específicos del dren de fundación y los pozos de retrobombeo durante la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 4.7. Sólidos en suspensión y turbidez de la Pileta Colectora de Drenaje DCP/DCP-2 y cota de pelo de agua libre de la laguna sobrenadante (Fuente: elaborado por IATASA con información provista por la DiPGAM).

Figura 7.1. Ubicaciones de freatímetros propuestos por IATASA en 2014 y de los freatímetros instalados por Minera Alumbrera (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 7.2. Ubicación de piezómetros eléctricos en planta (Fuente: Plano SA201.00001.48-ID-PLN-CV-0085. PLAN DE INSTRUMENTACIÓN – PLANTA ETAPA 18. Knight Piésold)

Figura 7.3. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.4. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2205m. Etapa

17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.5. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.6. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.7. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.8. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.9. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2305m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.10. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2305m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.11 Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.12. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.14. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.14. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2210m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.15. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2220m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.16. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2220m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.17. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.18. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.19. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.20. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 7.21. Líneas equipotenciales y de corrientes en todo el desarrollo de la presa durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 7.22 Líneas equipotenciales en detalle en la zona de la presa durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA.

Figura 9.1. Esquema de ubicación de prismas topográficos (Fuente: información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM)

Figura 9.2. Desplazamiento de prisma 07-05 (25/05/2015 - 24/09/2015) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 9.3. Desplazamiento de prisma 06-05 (25/05/2015 - 24/09/2015) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 9.4. Desplazamiento de prisma 07-05 presentado por Minera Alumbrera (25/05/2015 – 19/11/2016) (Fuente: Cédula de notificación DiPGAM N° 154/16)

Figura 1.2. Desplazamiento de prisma 06-05 presentado por Minera Alumbrera (25/05/2015 – 19/11/2016) (Fuente: Cédula de notificación DiPGAM N° 154/16)

Figura 1.3. Desplazamiento de prisma 07-05 (25/05/2015 – 24/06/2018) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 1.4. Desplazamiento de prisma 06-05 (25/05/2015 – 24/06/2018) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 1.5. Sectores visitados el 23 de abril (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 1.6. Sectores visitados el 24 de abril (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 1.7. Sectores visitados el 25 de abril (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 13.4. Pozos de monitoreo, retrobombeo y puntos de muestreo superficial visitados (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 13.5. Pozos de monitoreo, retrobombeo y puntos de muestreo superficial visitados (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 13.6. Presentación de Daniel Moreno (MAA, Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 13.7. Presentación de Alejandra Baumgartner (EyC Asociados, Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 13.8. Detalle del sector superior del río Vis-Vis en donde se marcan con círculos rojos los pozos MW38 y MW Atajo, que se recomiendan sean puestos en funcionamiento para monitorear aguas de afluentes vinculados al Bajo El Espanto y Los Jejenes hacia el oeste y a Cerro Atajo hacia el este. Las áreas en color verde y violeta corresponden al agua de proceso y la zona de mezcla respectivamente de la pluma del dique de colas. Las líneas rojas representan el límite de la concesión minera (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 13.9. Detalle del sector inferior del río Vis-Vis en donde se destacan en rojo la ubicación del pozo DS6-O propuesto para que controle la calidad de aguas de los afluentes vinculados a Bajo Las Juntas al O y Bajo San Lucas al NO (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 13.10. Durante la última visita, vista de la instalación de piezómetro tipo Casagrande construido recientemente sobre las colas, aguas arriba de la Presa de Relaves (Fuente: IATASA).

Figura 13.11. Durante la última visita, medición de nivel de agua subterránea en la quebrada del río Vis Vis aguas abajo de la Presa de Relaves (Fuente: IATASA).

Figura 13.12. Afiche de la exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 de Estabilidad Física (Fuente: IATASA).

Figura 13.13. Afiche de la exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 de Estabilidad Química (Fuente: IATASA).

Figura 13.14. Afiche de la exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

Figura 13.15. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

Figura 13.16. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

Figura 13.17. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

Figura 13.18. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

DIQUE DE COLAS

MINA BAJO LA ALUMBRERA – PROVINCIA DE CATAMARCA

Informe Final Rev. 1 – 12 de Diciembre de 2018

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo es contribuir a garantizar la estabilidad química y física del Dique de Colas hasta su etapa de post-cierre, a partir de un seguimiento minucioso y continuo de las variables operacionales de la Obra.

El alcance de este Informe Final consiste en la recopilación y análisis de antecedentes en todo lo relacionado a los aspectos ambientales y estructurales de controles específicos vinculados con el Dique de Colas de esta explotación minera, para prevenir daños que podrían ocasionar impactos ambientales significativos.

2. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA CUENCA DEL RÍO VIS-VIS – AMANAO JUNTO CON LA QUÍMICA DEL AGUA DEL DIQUE DE COLAS

2.1 Introducción

El objetivo del trabajo es contribuir a garantizar la estabilidad química del Dique de Colas hasta su etapa de post-cierre, a partir del análisis geoquímico y estadístico de muestras de agua tomadas previas al inicio de actividad de la mina Bajo de la Alumbrera (1995 – 1996) y durante la actividad extractiva (1997) hasta datos obtenidos en agosto de 2017 (desde 1995 hasta el año 2000 datos generados por la Secretaría del Agua y del Ambiente de la provincia de Catamarca y desde el año 2001 hasta la actualidad información aportada por la Secretaría de Estado de Minería - DiPGAM), englobando de esta manera 20 años de muestreo sostenido en el tiempo con una densa cantidad de datos fisicoquímicos. Se cuentan con escasos datos entre 1995 y 1996, correspondientes a la fase previa de puesta en marcha de la mina, que han sido incluidos en el análisis.

Se cuentan con escasos datos entre 1995 y 1996 generados por MAA, correspondientes a la fase previa de puesta en marcha de la mina, que han sido considerados en el análisis.

Los valores utilizados corresponden a información generada por la DiPGAM y que han sido previamente validados por su Departamento de Geoquímica.

Para lograr el objetivo planteado en este trabajo, se han llevado a cabo diversas tareas:

- Recopilación y caracterización de antecedentes con información geoquímica previos a la puesta en marcha de la mina.
- Caracterización geoquímica y estadística de la cuenca del río Vis-vis – Amanao a partir de la vasta información generada por la DiPGAM desde el inicio de las operaciones de la mina hasta el año 2017 inclusive.
- A partir de la información analizada proponer valores de alerta y máximos y mínimos no tolerables para los puntos de muestreo DS1, DS5, DS6 y DS8 considerados para el cierre de mina, estableciendo de esta manera valores de ciertos parámetros fisicoquímicos para la desafectación de pozos del sistema de retrobombeo.
- Propuesta de implementación de nuevos puntos de monitoreo con la finalidad de contar con un mejor control de los cauces tributarios de la cuenca del río Vís-Vís y descarte de otros.

Además, para completar este estudio, se realizan comentarios sobre el reciente estudio hidrogeológico presentado por Matrix Solutions Inc. en julio de 2018 así como también una comparación del grado de exactitud entre las muestras analizadas por laboratorios de DiPGAM en relación a los utilizados por MAA.

Serán abordados los siguientes capítulos del presente contrato:

- 3. Análisis progresivo y caracterización química de los relaves
- 4. Análisis de la evolución de la pluma de dispersión, basado en los informes surgentes de variables analizadas en pozos de retrobombeo para conocer el comportamiento del agua subterránea y hacer recomendaciones, si fuera necesario, para evitar el desplazamiento de las filtraciones del dique.
- 5. Análisis del sistema de retrobombeo, a partir del control de los caudales de bombeo de las perforaciones que integran el Sistema.

  Evaluar la distribución eficaz de pozos para cumplir con la finalidad de mantener la pluma de aguas de proceso dentro de los límites mencionados. Analizar la eficacia en la reutilización del agua, teniendo en cuenta que se trata de recuperar la mayor parte del agua de proceso, proveniente del Dique de Colas, su posterior bombeo hasta la Laguna del Dique de Colas, para su uso nuevamente en el proceso de Concentración Mineral.

- 10. Análisis de las siguientes variables: análisis químico del agua colectada en vertederos de filtración y drenaje cercanos a la pileta de colección de drenajes (DCP), caudales ingresados a la presa mediante aportes externos (pluviométricos, etc.), análisis químicos cualitativos en pozos de retrobombeo y caudales de bombeo de las perforaciones que integran el Sistema de retrobombeo, caudales de todo el sistema de colas aguas abajo del dique de colas y capacidad de encapsulamiento para el material de los relaves brindada por la cobertura a aplicarse.

2.2 Antecedentes previos a la explotación de la mina Bajo de la Alumbrera

Los primeros datos ambientales de la calidad de agua de la cuenca del río Vís-Vis – Amanao se encuentran en el informe de impacto ambiental (IIA) del 9 de marzo de 1995 presentado por MAA para la etapa de explotación, el cual fue confeccionado por Knight Piésold and Co.

Si bien los análisis químicos relevados aquí presentados (ver Tabla 2.1) no constituyen una línea de base ambiental, ya que se trata de datos escasos y de muestreo puntual, no deben desestimarse y por lo contrario deben incorporarse al análisis de la información generada por la DiPGAM.

En dicho IIA se hace mención que el recurso de agua subterránea en la zona de la mina posee un alcance y volumen limitado y que a nivel regional fluye hacia el sudeste siguiendo los patrones del agua superficial, descargando la mayor parte de su volumen en el río Vís-Vís, información concordante con la disposición de la topografía en la comarca y con la orientación geográfica del sistema de fracturas dominante (NO-SE).

También en el informe se destaca la ausencia de pozos con agua potable en 10 kilómetros a la redonda del área de proyecto y que a partir del bombeo aguas abajo del dique de colas, con la finalidad de controlar el avance de la pluma de dispersión, se propiciará una disminución del caudal de agua pero sin generar efectos mesurables sobre el ecosistema de la región.

En función de los datos de la Tabla 2.1, se observa que el pH medido en campo oscila aproximadamente entre valores de 5,5 a 8,5, ubicándose 3 muestras por debajo del pH permitido para todas las categorías de uso del agua. Con respecto al rango de sulfatos en solución, este varía desde 441 a 580 mg/l con una media de 511 mg/l. Parte de dichos valores superan el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que instaura a 500 mg/l como nivel máximo tolerable y que por encima de ese valor puede causar diarrea sin mostrar otros efectos adversos en la salud.

En cuanto a los tenores de conductividad, se define un rango de 1570 a 1900 µS/cm con una media en 1693 µS/cm. En el caso de los cloruros, los valores observados varían entre 114 y 152 mg/l con un promedio de 133,5 mg/l.

El nivel de fluoruros supera todos los valores guía en todas las muestras con un rango de 1,7 a 2,9 mg/l y un valor promedio de 2,5 mg/l, mientras que los tenores de nitratos medido solo en 3 muestras son ampliamente superior al límite tolerable con valores de hasta 16400 µg/l.

En cuanto a los metales en solución, se observa en algunos sitios muestreados concentraciones de Mn, Cu, As y Al que superan los límites establecidos de agua para bebida humana, vida acuática de agua dulce y ganado. Los valores alcanzados máximos son de 600, 20, 100 y 1900 µg/l respectivamente.

Con respecto a metales como Cd, Hg, Ni, Cr, Pb y en algunos casos Al, el límite de detección del método empleado por el laboratorio no permite definir si se superan los valores máximos tolerables para los diversos usos de agua establecidos en la ley 24.585.

En síntesis, a partir del análisis de estas muestras tomadas se destaca un pH neutro en promedio con un rango de variación entre 5,5 y 8,5, que el agua posee alto contenido en fluoruros y nitratos, que los valores de sulfatos sobrepasan el máximo aconsejable según la OMS (500 mg/l), que los valores de conductividad y cloruros promedios son de 1693 µS/cm y 133,5 mg/l respectivamente y que presentan contenidos superiores a lo permitido por la ley 24.585 en Mn, Cu, As y Al.

Tabla 2.1. Análisis químicos de muestras de agua tomadas por Knight Piesold 8/92 y Environment S.A. 2/93 publicadas en el Informe de Impacto Ambiental de MAA del año 1995. Dichos valores fueron contrastados con los niveles guía para agua de diversas categorías según anexo de la ley 24.585. Valores con fondo amarillo superan alguno de los valores guía. En cuanto a los valores con campo verde no puede descartarse que superen los niveles guía ya que poseen un límite de detección mayor al límite tolerable para la ley.

Parámetros	Unidad	Muestras de Knight Piesold 8/92			Muestras de Environment S.A. 2/93								
Ubicación		32-4 9 km al N de Amanao	32-3 6,5 km al N de Amanao	32-1 1,5 km al norte de Amanao	E1 17 km al N de Amanao (DS1?)	E2 13 km al N de Amanao (DS5?)	E3 6 km al N de Amanao (DS7?)	Niv Guia Agua p/Irrigación Ley 24.585	Niv. Guia Agua p/Bebida humana Ley 24.585	Niv. Guia Vida Acuatica (agua salobre) Ley 24.585	Niv. Guia Vida Acuatica (agua salada) Ley 24.585	Niv. Guia Vida Acuatica (agua dulce) Ley 24.585	Niv. Guia Agua p/ganado. Ley 24.585
Parámetros de campo													
Hora		13:22 pm	12.28 pm	9:20 p. m.									
Caudal	m^3/seg	0,001	0,05	0,03									
Caudal	gpm	20	700	400									
Temperatura	Celsius	14,6	13,3	8,5									
pH	Unid. Std	5,5	6	5,5	7,65	8,35	8,41	6,5 <8,5	6,5 <8,5	6,5 <8,5	6,5 <8,5	6,5 <9,0	6,5 <8,5
Conductividad	umhos	1720	1900	1630	1580	1760	1570						
Solidos Totales en suspensión	mg/l	1190	1320	1100									
Parámetros de laboratorio													
pH	Unid. Std	7,7	8,3	6,1									
Total sólidos disueltos	µg/l	639000	1180000	864000	1264000	1362000	1230000	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
Total sólidos en suspensión	µg/l	<1000	<1000	<1000		140000	1328000						
Sulfatos	mg/l	441	536	437	531,1	579,9	540,7		500	(dato recomendado por la OMS)			
Cloruros	mg/l	121	127	114	148,7	152,2	138,1						
Fluoruros	mg/l	2,86	2,9	2,7	2,5	1,7	2,2		1,50	1,40	1,40		
Bicarbonatos	mg/ $CaCO_3$/l	260	134	181	353,8	309,4	307,4						
Alcanilidad total	mg/ $CaCO_3$/l	222	228	203	290	264	264						
Dureza	mg/l	412	438	368	344,5	443	372						
Nitratos y nitritos	µg/l	1700	2800	2700									
Nitratos	µg/l				24100	13500	16400		10000				

Nitritos	µg/l				<10	<10	<10		1000				
Cianuro Total	µg/l	<100	<100	<100	<20	<20	<20						
Amoníaco	µg/l	<50	<50	<50	<10	<10	<10						
Ca	µg/l	109000	121000	103000	96900	96900	96900						
Mg	µg/l	34000	39000	42000	25000	49000	31700						
Na	µg/l	215000	250000	295000	268600	251500	248400						
K	µg/l	17000	16000	13000	17700	19300	15900						
Fe	µg/l	150	150	250	100	1400	1300		300 - 3000 (según OMS)				
Mn	µg/l	<20	<20	<20	10	100	600	500 (según OMS)				400,00	
Cu	µg/l	<20	<20	<20	6	7	20	200,00	1000,00	50,00	4,00	2,00	1000,00
Zn	µg/l	<10	<10	<10	20	10	30	2000,00	5000,00	170,00	0,20	30,00	50,00
Cd	µg/l	<10	<10	<10	<2	<2	<2	10,00	5,00		5,00	0,20	20,00
Hg	µg/l	<5	<5	<5	<2	<2	<2	2,00	1,00		0,10	0,10	2,00
As	µg/l	<10	<10	<10	100	50	50	100,00	50,00		0,50	16,00	500,00
Ni	µg/l	<40	<40	<40	<10	<10	<10	200,00	25,00	100,00	7,10	25,00	1000,00
Co	µg/l	<50	<50	<50	<10	<10	<10	50,00					1000,00
Cr	µg/l	<50	<50	<50	<10	<10	<10	100,00	50,00	50,00	18,00	2,00	1000,00
Pb	µg/l	<60	<60	<60	<10	<10	<10	200,00	50,00	10,00	10,00	1,00	100,00
Al	µg/l	<500	<500	<500	500	1400	1900	5000,00	200,00		1500,00		5000,00
Se	µg/l							20,00	10,00		10,00		50,00
Mo	µg/l							10,00	70 (OMS)				500,00
Ba	µg/l								1000,00		1000,00		
Carbonato	µg/l					3200	3600						

2.3 Caracterización geoquímica y estadística de la cuenca del río Vis-vis – Amanao

Para abordar el análisis de la variación en los parámetros fisicoquímicos del agua a lo largo del río Vis-Vis-Amanao, se decidió subdividir en secciones las áreas de estudio en función de su relación con respecto a la actividad minera y su disposición geográfica, geológica y topográfica dentro de la cuenca hídrogeológica. De esta manera se constituyeron 5 categorías (Figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4):

1. Dique de colas (laguna sobrenadante).
2. Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas (incluye antiguos pozos que fueron sepultados por el avance del dique).
3. Zona de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural.
4. Zona al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el Open-pit.
5. Puntos de monitoreo aguas abajo de la zona afectada por la pluma de proceso y traza del río Vis-Vis-Amanao y sus afluentes.

Los puntos de muestreo tenidos en cuenta para el análisis de cada sección fueron (entre paréntesis período de muestreo):

1) TLW laguna sobrenadante (1998 – actualidad)

MW3 (1998 – 2007)

MW4 (2005 – 2007)

MW32 (2009 – actualidad)

MW33 (2007 – actualidad)

2) DCP2 (1999 – actualidad). Pileta de bombeo

MW5 (1996 – 2000)

PB2 (1998 – 2008)

PB11 (1998 – 2000). Quedó incorporado al dique de colas.

PB16 (1997/98 – actualidad)

PB24 (2000 – actualidad). Límite oeste.

PB25 (2008 – actualidad) Límite dique de colas.

PB27 (2007 – actualidad)

PB29 (2016 – actualidad)

T6 (2000 – actualidad). Superficial.

WW13 (1998 – 2001; pocos datos entre 2001 – 2007)

3) MW27 (2016)

MW28 (2016 – 2017)

PB28 (2007 – actualidad)

PB36 (2013 – actualidad)

PB38 (2016 – actualidad)

4) MW19 (2003 – actualidad)

MW25 (2004 – actualidad)

MW26 (2005 – actualidad)

5) Sobre quebrada del río Vis-Vis – Amanao

DS1 (1995 – actualidad).

DS5 (1995 – actualidad)

DS6 (1998 – actualidad)

DS7 (1995 – actualidad)

DS8 (1995 – actualidad). Amanao.

HON1 (2001 – actualidad)

MW7 (1996 – actualidad)

MW8 (1996 – actualidad)

MW15 (2001 – actualidad)

MW17 (2003 – actualidad).

MW18 (2003 – actualidad)

MW21 (2003 – actualidad)

MW30 (2010 – actualidad)

MW35 (2010 – actualidad)

MW36 (2016 - actualidad). Primer pozo fuera de la propiedad minera.

MW36B (2016 - actualidad)

PB23 (2004 – 2015)

PB33 (2013 – 2014)

SP6 (1999 – actualidad).

*Referencias: MW (pozo de monitoreo), PB (pozo de retrobombeo), DS (punto de muestreo superficial). TLW, DCP2 y T6 son también puntos de muestreo superficiales y HON1 es un pozo de monitoreo.

Afluentes monitoreados del río Vis-Vis – Amanao

- **QLB (1999 – actualidad):** Ubicado en la quebrada de Las Burras, entre los puntos de muestreo DS1 y MW15, controla el aporte fluvial a partir del efluente al O.
- **MW Huaico / DS4 (1997 – actualidad):** Ubicado en la quebrada del río Huaico, entre los puntos de muestreo MW15 y DS5. Controla el aporte fluvial del río Huaico proveniente desde el E.
- **QSB (2006 – actualidad):** Ubicado inmediatamente aguas abajo del punto DS5, este sitio de muestreo controla el aporte fluvial de la quebrada de Santa Bárbara (E).
- **DS7E (1995 – actualidad):** Ubicado entre los puntos de muestreo DS7 y DS8 controla el aporte fluvial de la subcuenca del río Yacuchuyo al E. Las nacientes de este río distan de aproximadamente 2 kilómetros del yacimiento vetiforme de rodocrosita y sulfuros de metales base Mina Capillitas.
- **SP6** (1999 – actualidad): Controla la vertiente de una pequeña subcuenca que aporta a la quebrada Vís-Vís, muy próximo a los puntos de retrobombeo PB28 y PB36. Dicho sitio de muestreo superficial ha sido descartado del análisis ya que no presenta un muestreo periódico y su química se ha visto alterada por la presencia de ganado que suele concentrarse en el sector.

A partir de cada categoría definida se realizó la caracterización geoquímica del agua, la generación de gráficos evolutivos de cada parámetro en función del tiempo y se estudiaron las tendencias observadas.

Se ha utilizado para todos los casos los muestreos del programa trimestral (Programa de monitoreo de agua proyecto Bajo de la Alumbrera – Subprograma Cuenca Vis Vis – Amanao) salvo para los sitios DS1, DS5, DS6, DS8 y QLB en los cuales se incluye también los datos obtenidos a partir de muestreos del programa puntual.

Las muestras de agua del programa trimestral han sido analizadas en los laboratorios Obra Sanitaria Catamarca (OsCa), SGS y CERIDE en los años 1995 y 1997, mientras que para el período comprendido entre 1998 y 2000 el laboratorio encargado fue el de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Posteriormente y hasta la actualidad se ha utilizado el laboratorio de INTEMIN. Este último fue acreditado en el año 2014 y la técnica empleada es la de cromatografía iónica.

En cuanto a las muestras del programa de muestreo puntual del río Vis Vis – Amanao (DS1, DS5, DS6, DS8 y QLB), estas son analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) en la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, el cual no posee acreditación.

Los datos informados por el laboratorio y los obtenidos *in situ*, son cargados en una base de datos por el Departamento de Geoquímica Ambiental de la DiPGAM, quien se encarga de ejecutar la validación de los mismos mediante relaciones interparamétricas, de acuerdo a procedimiento PG-INF-01 Elaboración de Informe de Resultados. Son aplicados los controles de calidad del muestreo de acuerdo con PG-QC-03 “Control y Aseguramiento de la calidad”. Estos procedimientos mencionados se encuentran dentro del Sistema de Gestión de la Calidad certificado por IRAM, acorde a la norma ISO 9001:2008.

Por su parte, MAA realiza sus análisis en la Planta de Filtros de Tucumán mediante la técnica de cromatografía iónica.

Este análisis junto a las muestras de agua del río Vis-Vis - Amanao tomadas previas a la explotación minera, resumidos en la Tabla 2.1, permitirán definir valores guía para los diferentes parámetros fisicoquímicos del agua analizados para la desafectación futura de los pozos de bombeo.

Otras de las tareas llevadas a cabo fue la recopilación en tablas de los datos de geoquímica isotópica de aguas obtenidos por la empresa Aquaconsult S.A. Dicha información se viene generando de manera bianual desde el año 2004 hasta la actualidad y IATASA pudo participar de la campaña de obtención de datos para el informe isotópico 2018.

Además, personal de IATASA se ha encargado de la recopilación de datos fisicoquímicos de muestras de agua obtenidos por MAA y organizado en tablas con formato semejante al utilizado por la DiPGAM.

Este aporte realizado por parte de IATASA ayuda a darle un mejor uso a la valiosa información química e isotópica, ya que al encontrase recopilada en una única tabla permite efectuar un mejor análisis, integrado, y cotejarlo con valores de análisis químicos obtenidos por la DiPGAM. Además, los datos isotópicos constituyen una herramienta poderosa para poder discriminar diferentes fuentes de agua en el sistema Open pit – dique de colas – cuenca del río Vis-Vis – Amanao y poner en evidencia alguna posible situación de mezcla. Este recurso será aplicado a la caracterización de las 5 categorías discriminadas al inicio.

Para la caracterización química de las diferentes zonas delimitadas se han empleado los siguientes parámetros:

-Cloruros

-Sulfatos

-Conductividad medida en laboratorio a 25° C

-pH medido en laboratorio

-Manganeso disuelto (Mn)

-Zinc disuelto (Zn)

-Estroncio disuelto (Sr)

-Molibdeno disuelto (Mo)

Los primeros tres son parámetros utilizados tradicionalmente por la SEM para identificar la presencia de agua de proceso e identificar el posicionamiento en el espacio de la pluma de dispersión. Son los únicos parámetros que cuentan con valores guía de alerta y máximo no superable (Resoluciones SEM 232/09 y 240/09).

A estas variables analizadas se añaden los valores registrados de pH para complementar la caracterización y evaluar el grado de acidez y basicidad de las aguas en función del tiempo.

Con respecto a los elementos traza, gran parte de ellos no pueden ser utilizados ya que el límite de detección de los laboratorios empleados supera los tenores presentes en solución. Ejemplo de esta situación ocurre con el Pb, Cd, Se, Cr, Cu, Ni, por nombrar algunos.

Los elementos utilizados fueron Mn, Zn, Sr y Mo. Poseen moderada a alta movilidad en ambiente exógeno, es decir, tienen la capacidad de circular fácilmente en solución. El Mn, Zn y Mo son característicos de la zona mineralizada.

El Mn se encuentra ampliamente distribuido en la comarca participando tanto en óxidos como en carbonatos. Su movilidad está fuertemente controlada por el estado de óxido-reducción del ambiente.

El Zn se concentra principalmente en la esfalerita (sulfuro de Zn), mineral identificado en vetas y vetillas que se sobreimponen al pórfiro de Bajo de la Alumbrera, además de ser un sulfuro abundante en las vetas de Farallón Negro y Alto de la Blenda.

El Mo, que conforma parte de la mena diseminada en los pórfiros de Bajo de la Alumbrera y Durazno como molibdenita, en particular, una vez en solución el catión (Mo6+), forma un oxocomplejo (MoO42-) de naturaleza soluble pero que reacciona fácilmente con otros elementos formando molibdatos estabilizándose. Este metal comenzó a ser monitoreado en 2013, hecho vinculado con el inicio de su explotación hacia niveles más profundos del pórfiro de Bajo de la Alumbrera.

Los valores de concentración de Sr son importantes en la zona del dique de colas y en el agua de la pluma de proceso. Este elemento, debido a su potencial iónico tiene la capacidad de reemplazar al Rb, Ba, Ca y K en los minerales. El Ca y K son elementos principales en los minerales formadores de roca de la región (carbonatos y silicatos) que al ser sometidos a los procesos de trituración y molienda produce el efecto de incremento de la superficie de contacto permitiendo de estar manera una mayor exposición del Sr (que este reemplazando al Ca y K) al agua de proceso y ser lixiviado e incorporado en solución.

Para los pozos donde se realiza muestreo, se indicará entre paréntesis la profundidad a la que se encuentra el filtro en el sondeo.

2.3.1 Zona 1 – Área de dique de colas

Para la caracterización del área del dique de colas, se toma a el punto de muestro TLW como base ya que es representativo del agua del dique in situ. Los puntos de muestreo MW3 (41 – 53 m) y MW4 (8 – 13,5 m) se encuentran hacia el norte del dique de colas. MW3 posee registros entre los años 1997 y 2003 y luego desde 2005 hasta 2007 mientras que MW4 ha funcionado por un corto período de tiempo, entre finales de 2005 e inicios de 2007 y el cual registró valores excepcionales de cloruro y conductividad que no guardan relación con el resto de las mediciones obtenidas a lo largo del tiempo en la zona.

MW32 y MW33 son pozos ubicados inmediatamente al oeste del dique de colas, donde el primero capta el agua a una profundidad intermedia (48,7-66,7 m) mientras que MW33 lo hace a mayor profundidad (149,5 – 170,5 m).

Para el caso del **sulfato**, se observa una tendencia creciente moderada en el dique de colas entre el inicio de la actividad y el año 2011 para luego continuar a una tasa de aumento leve con tendencia a la estabilización en valores cercanos a los 2300 mg/L aproximadamente. En los puntos MW32 y MW33 se destaca la presencia de valores inferiores al dique de colas al inicio del monitoreo pero que a partir del año

2011 en MW32 y 2013 en MW33 se alcanzan valores similares a los registrados en TLW y continúan en una evolución creciente conjunta. Estos puntos indudablemente reflejan la composición química del agua de la presa de relaves.

Con respecto al **cloruro**, se identifica una tendencia estable a lo largo del tiempo, con un valor promedio de 252,42 ± 32,46 sin registrar ni aumentos ni descensos significativos. Mientras que los valores en MW32 y MW33 van en constante aumento desde 2007 hasta 2013 para luego mantenerse estables hasta el día de hoy con valores semejantes a los registrados en TLW. En el caso de MW3 y MW4, registran valores que sobresalen de las concentraciones representativas del agua del dique y la falta de datos desde el 2007 en adelante no permiten realizar un análisis mayor.

La **conductividad** presenta una tendencia creciente en todos los puntos de monitoreo, partiendo en TLW desde valores cercanos a 3000 µS/cm hasta valores en torno a los 5500 µS/cm en la actualidad. Esta tendencia es creciente hasta el año 2010 para luego mantenerse constante en un promedio de 5177 ± 333 µS/cm. MW32 a partir del 2011 y MW33 en el 2013 acompañan las fluctuaciones y trayectoria observadas en TLW. MW4 no se grafica ya que se va fuera de escala debido a sus valores de conductividad, sin embargo, los valores pueden observarse en la tabla 2.

En cuanto al **pH**, es la variable más estable observada y con menor diferencia entre los diferentes sitios de monitoreo. Fluctúa en un rango entre 6 y 9 con un promedio para la zona 1 de 7,21 ± 0,70 caracterizando al agua como neutra a levemente alcalina.

En cuanto a los elementos traza, el **Mn** y **Zn** muestran un comportamiento constante en TLW con valores promedios de 201,83 ± 145,97 y 17,74 ± 28 µg/L respectivamente. Acompañan esta tendencia los datos obtenidos en MW3, MW4 para ambos casos y en MW33 con respecto al Zn (valores inferiores a TLW pero constantes). Sin embargo, MW33 en cuanto a los tenores de Mn es muy variable alcanzando picos extraordinarios de hasta 1638 µg/L (fuera del gráfico) mientras que MW32 presenta una fuerte variación en ambos metales con valores promedio de 1000,52 ± 957,93 µg/L de Mn y 126,42 ± 177,96 µg/L de Zn, muy superiores a los registrados en TLW.

El **Sr**, a diferencia del Mn y Zn, muestra un aumento constante en el tiempo en todos los sitios de monitoreo, siendo su comportamiento más regular en los pozos MW32 y MW33, mientras que en TLW presenta fluctuaciones mayores. El valor promedio y su desviación estándar para la zona 1 es de 4330,06 ± 1420,33 µg/L y un rango de datos observados en TLW de 1616 a 7347 µg/L.

Con respecto al **Mo**, presenta fuertes fluctuaciones en TLW, MW4 y MW32 que no permiten identificar una tendencia creciente ni decreciente a lo largo del tiempo, mientras que para los sitios de monitoreo MW3 y MW33 el comportamiento

es estable y constante con tenores muy inferiores a los registrados en la laguna sobrenadante. El promedio de Mo para el agua del dique de colas es de 190,67 ± 71,33 µg/L abarcando un rango de datos desde 10 hasta 340 µg/L.

A grandes rasgos, es pertinente afirmar que en la actualidad el agua de la laguna sobrenadante posee valores estabilizados para sulfato, cloruro, conductividad, pH, Zn y Mn, no esperándose un aumento considerable en los tenores mencionados. Sin embargo, los valores de Sr mantienen una tendencia creciente leve y no se descarta la posibilidad de que sigan en aumento, mientras que el comportamiento de Mo es incierto gracias a la fuerte variabilidad registrada.

En cuanto a la geoquímica isotópica, el agua de la zona 1 presenta valores promedio de -3,62 ± 1,27 de $\delta^{18}O$ y -21,23 ± 7,91 $\delta^{2}H$ mientras que para el anión sulfato los valores isotópicos registrados son 8,06 ± 1,06 $\delta^{34}S$ y 3,70 ± 1,66 $\delta^{18}O$.

Estos tenores son los característicos de agua de proceso que se diferencian de los valores observados en agua natural, los cuales serán expuestos en las siguientes secciones.

En la Tabla 2.2 se encuentran resumidos los valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) de los parámetros analizados en los puntos de monitoreo y su ponderación total. Ténganse en cuenta que estos datos abarcan todo el registro existente no diferenciando, en contraste de cómo fue indicado en el texto, quiebres en las tendencias evolutivas.

En las Figuras 2.5 a 2.8 se observan las tendencias evolutivas.

Tabla 2.2. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 1 – Dique de colas.

ZONA 1 - ÁREA DIQUE DE COLAS														
Estación	**Parámetro**	**Nivel Piezométrico (m)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
TLW	MEDIA	-	201,83	17,74	3841,25	190,67	252,42	2092,63	7,15	4646,03	-2,65	-14,62	8,66	3,19
TLW	DS	-	145,97	28,11	1380,07	71,33	32,46	192,60	1,06	742,02	0,46	2,45	1,30	1,52
TLW	MAX	-	751,00	198,00	7347,00	340,00	321,00	2504,00	11,20	6046,00	-2,03	-11,80	10,08	4,30
TLW	MIN	-	6,00	0,70	1616,00	10,00	174,00	1600,00	5,70	3050,00	-3,22	-18,60	7,24	0,64
TLW	N	-	64,00	67,00	68,00	55,00	67,00	67,00	68,00	68,00	6	6	5	5
MW3	MEDIA	14,27	2,93	32,31	4089,90	10,44	270,93	1414,07	7,36	3262,45	-5,4	-33,4	7,0	4,35
MW3	DS	5,31	0,91	23,17	1411,63	1,33	223,36	454,82	0,34	1232,21	-	-	-	-
MW3	MAX	20,68	4,00	120,00	7885,00	14,00	868,00	2502,00	7,81	5825,00	-	-	-	-
MW3	MIN	3,45	2,00	2,00	2296,00	10,00	75,00	667,00	6,60	1810,00	-	-	-	-
MW3	N	23	6	29	29	9	29	29	30	29	1	1	1	1
MW4	MEDIA	4,49	26,60	66,00	4761,17	86,83	2322,17	3015,33	7,75	12783,67	-3,27	-26,4	7,1	6,78
MW4	DS	2,07	37,90	72,25	2862,04	59,05	1943,14	1404,23	0,42	4232,86	-	-	-	-
MW4	MAX	7,07	90,00	188,00	8917,00	164,00	5287,00	4318,00	8,60	18560,00	-	-	-	-
MW4	MIN	1,29	3,00	11,00	2427,00	21,00	123,00	619,00	7,50	6572,00	-	-	-	-
MW4	N	6,00	5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	1	1	1	1
MW32	MEDIA	41,55	1000,52	126,42	4443,19	101,61	235,81	2002,32	6,97	4727,13				
MW32	DS	9,31	957,93	177,96	977,25	79,47	38,81	186,32	0,23	455,15				
MW32	MAX	64,42	3189,00	802,00	5861,00	311,00	292,00	2264,00	7,30	5274,00				
MW32	MIN	30,36	19,00	0,70	1951,00	2,80	105,00	1557,00	6,40	3260,00				
MW32	N	30	31	31	31	31	31	31	31	31				
MW33	MEDIA	48,98	53,61	230,94	5142,19	20,63	196,88	1638,52	7,28	3981,60	-4,73	-26,81	7,83	3,41
MW33	DS	14,25	94,35	296,82	1135,79	13,59	54,69	364,75	0,20	861,39	0,95	5,67	0,33	1,51
MW33	MAX	72,66	575,00	1638,00	7111,00	69,00	257,00	2157,00	7,80	5362,00	-3,72	-21,55	8,22	4,80
MW33	MIN	30,58	2,00	3,10	1562,00	1,20	69,00	640,00	6,70	1615,00	-5,66	-33,30	7,42	1,96
MW33	N	41	38	42	42	42	42	42	42	42	4	4	4	4
Estación	**Parámetro**	**Nivel Piezométrico (m)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
TOTAL	**MEDIA**	**-**	**320,29**	**92,38**	**4330,06**	**105,72**	**238,75**	**1886,83**	**7,21**	**4260,64**	**-3,62**	**-21,23**	**8,06**	**3,70**
TOTAL	**DS**	**-**	**580,49**	**185,83**	**1420,33**	**94,74**	**102,08**	**506,05**	**0,70**	**988,25**	**1,27**	**7,91**	**1,06**	**1,66**
TOTAL	**MAX**	**-**	**3189,00**	**1638,00**	**8917,00**	**340,00**	**868,00**	**4318,00**	**11,20**	**6046,00**	**-2,03**	**-11,80**	**10,08**	**6,78**
TOTAL	**MIN**	**-**	**0,91**	**0,70**	**1562,00**	**1,20**	**69,00**	**619,00**	**5,70**	**1615,00**	**-5,66**	**-33,40**	**7,00**	**0,64**
TOTAL	**N**	**-**	**144**	**174**	**176**	**143**	**169**	**175**	**177**	**170**	**12**	**12**	**11**	**11**
Para el cálculo total no se incluyeron los valores de cloruros ni de conductividad de MW4 debido a la gran distorción que genera sobre la totalidad de los datos para la zona.														

2.3.2 Zona 2 - Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas

Se incluyen en esta zona a todos los pozos de monitoreo (MW5 y WW13) y retrobombeo (PB2, PB11, PB16, PB24, PB25 y PB27) que han sido, a partir de la interpretación de los parámetros químicos analizados, alcanzados por la pluma de agua de proceso proveniente del dique de colas. También se circunscriben los sitios de muestreo superficiales como DCP2 y T6.

La ubicación de los filtros en los distintos pozos es la siguiente:

- MW5 (44,73 – 68,1 m)
- WW13 (38 – 48 m, 60 – 65 m, 70 – 75 m y 80 – 91 m)
- PB2 (95,39 – 120,39 m y 135,32 – 160,62 m)
- PB11 (30,93 – 49,01 m, 55,09 – 80,09 m, 124,32 – 130,91 m, 137,14 – 162,14 m y 185,94 – 204,02 m)
- PB16 (44,33 – 84,33 m y 100,02 – 110,02 m)

- PB24 (6 – 11 m, 17 – 27 m, 45 – 55 m, 61 – 81 m, 87 – 92 m, 115 – 130 m y 148 – 163 m)
- PB25 (62 – 74 m, 98 – 122 m y 146 – 164 m)
- PB27 (110 – 152 m, 164 – 182 m y 188 – 200 m)

Con respecto al **sulfato**, el comportamiento y los tenores alcanzados es similar en todos los puntos de monitoreo a lo largo del tiempo. Se destaca una leve tendencia creciente continua desde inicio del muestreo con valores cercanos a los 500 mg/L a tenores al día de hoy de 1965 ± 384 mg/L. Esta tendencia creciente parece estabilizarse en el año 2012 hasta la actualidad independientemente de la presencia de picos negativos (31/05/06 y 21/08/14) y positivo (17/02/17) registrados en la mayoría de los puntos de monitoreo.

En cuanto a los valores de **cloruro**, se observa una variación constante y tenores similares para todos los sitios de monitoreo con un valor promedio total de 282 ± 48 mg/L. A partir del año 2013 se atenúan las diferencias de cloruro registradas en todos los puntos de muestreo. Sobresale de la gráfica el pico negativo registrado el 31/05/06 en sintonía con la desviación de valores de sulfato.

La **conductividad** registra un aumento sostenido en el tiempo que parte de valores de aproximadamente 2000 µS/cm hasta tenores cercanos a 5500 µS/cm en la actualidad. Esta tendencia creciente se estabiliza en el año 2013 y permanece constante hasta la fecha sin mostrar una tendencia positiva. Por lo tanto, el promedio de los datos y su desviación estándar para los pozos PB25 (cercano al espaldón del dique) y PB27 (hacia el límite sur de la pluma) que fueron puestos en funcionamiento recién en 2008 y 2007 respectivamente otorgan una idea más clara del rango de valores de conductividad esperables, 5521 ± 331 µS/cm y 5124 ± 333 µS/cm respectivamente.

Los valores de **pH** se han mantenido constantes a lo largo del tiempo sin mostrar tendencias crecientes ni decrecientes. Los valores han oscilado históricamente entre 6,5 y 8,5, donde DCP2, que posee valores más bajos que el resto de los puntos de monitoreo, presenta un promedio de 7,10 ± 0,36 mientras que PB24, por tomar alguno de los pozos de retrobombeo que ha tenido la mayor continuidad temporal, registra un valor promedio de 7,61 ± 0,21.

El contenido de **Mn** es significativamente mayor en los puntos cercanos al espaldón del dique de colas y disminuye considerablemente hacia el límite oeste y sur de la pluma de agua de proceso. Independientemente de los tenores obtenidos, los registros muestran una tendencia constante en el tiempo, salvo para el caso de DCP2 en donde puede observarse una leve tendencia creciente hasta la actualidad.

PB2, PB25 y DCP2 documentan valores promedio de 2909 ± 961, 1860 ± 365 y 2118 ± 649 µg/L respectivamente. Mientras que hacia los límites de la pluma de

agua de proceso estos valores disminuyen a 465 ± 255 µg/L en PB24 y 18,8 ± 34 µg/L en PB27. Esto indicaría que, si bien el Mn posee moderada a alta movilidad en ambiente exógeno, indudablemente la interacción con la roca actúa como una barrera natural y promueve la precipitación del elemento a una fase sólida.

En cuanto al contenido en **Zn**, no es posible distinguir una tendencia en particular. El elemento se encuentra por debajo de los 80 µg/L en todos los puntos relvados a lo largo de 20 años a excepción de la muestra tomada el 13/08/03 que presentó tenores de 173 y 198 µg/L para DCP2 y T6 respectivamente. El valor de Zn promedio para la zona 2 es de 22,58 ± 21,46 µg/L. Cabe aclarar que los valores de Zn así como los de Mo podrían ser menores ya que no se han ponderado en el cálculo resultados inferiores al límite de detección del método, el cual fue optimizado en el año 2014 pasando de 2 a 0,7 µg/L para el Zn y de 10 a 1,2 µg/L para el Mo.

En el caso del **Sr** se observa una tendencia creciente leve desde inicios de la actividad minera con aproximadamente 2000 µg/L hasta tenores que alcanzan en promedio los 7000 µg/L en la actualidad. Particularmente esta tendencia creciente se estabiliza en el año 2011 manteniéndose constante en adelante. La distribución del elemento no sigue un patrón vinculado estrictamente a la distancia respecto al dique de colas, siendo el punto de muestreo PB24 (límite hacia el O de la pluma) el que mayores valores de Sr posee y el pozo de retrobombeo PB25 (cercano al espaldón lado E de la pluma) el que presenta los tenores más bajos. En función de lo observado en el gráfico, el valor promedio de DCP2 entre los años 2011 y 2017 resulta ser una buena aproximación de los valores esperables promedio en Sr para los puntos de muestreo de la zona 2, siendo este de 6269 ± 379 µg/L.

Finalmente, con respecto al **Mo**, no se distingue una tendencia definida y el valor se ha mantenido constante a lo largo del tiempo. Puede observarse con claridad el efecto de estabilización del ion molibdato (MoO_4^{2-}) al aumentar la distancia respecto al espaldón del dique de colas ya que los puntos de muestreo PB2, PB25 y DCP más cercanos al dique poseen valores promedio de 49,44 ± 14,61 µg/L, 79,39 ± 16,95 µg/L y 57,70 ± 15,49 µg/L respectivamente mientras que hacia los sitios más alejados estos valores disminuyen progresivamente de acuerdo a tenores registrados en T6 de 38,85 ± 12,73 µg/L, 22,11 ± 10,60 µg/L en PB27 y 21,43 ± 7,86 µg/L en PB24. Cabe aclarar, como se mencionó para el caso del Zn, que estos valores podrían ser inferiores ya que se han descartado datos por quedar debajo del límite de detección de laboratorio, el cual fue optimizado en 2014.

En síntesis, se puede afirmar que las características fisicoquímicas registradas en la zona 2 responden a agua proveniente del dique de colas ya que se alcanzan valores semejantes a los de la zona 1 en cuanto a sulfato, cloruro, conductividad y pH. Al respecto, los valores de sulfato y conductividad se estabilizan hacia los años 2012-2013 manteniéndose luego en una tendencia constante y no en aumento.

Por un lado, valores de Mn y Mo disminuyen en la zona 2 a medida que aumenta la distancia respecto del dique de colas, sin embargo, los niveles de Mn son muy superiores a los registrados para el agua del dique en el área cercana al espaldón. Por el otro lado, se registra un leve aumento de Sr respecto al agua del dique y el Zn se mantiene en niveles constantes pero con tenores inferiores a los registrados en TLW.

En cuanto a la geoquímica isotópica, el agua de la zona 2 presenta valores promedio de -3,69 ± 0,40 de $\delta^{18}O$ y -20,74 ± 2,87 $\delta^{2}H$ mientras que para el anión sulfato los valores isotópicos registrados son 9,41± 0,72 $\delta^{34}S$ y 4,34 ± 0,94 $\delta^{18}O$.

Estos tenores son muy similares a los obtenidos para la zona 1 (dique de colas) y por lo tanto reflejan la composición isotópica de agua de proceso.

En la Tabla 2.3 se encuentran resumidos los valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) de los parámetros analizados en los puntos de monitoreo y su ponderación total. Ténganse en cuenta que estos datos abarcan todo el registro existente no diferenciando, en contraste de cómo fue indicado en el texto, quiebres en las tendencias evolutivas.

En las Figuras 2.9 a 2.12 se observan las tendencias evolutivas.

Tabla 2.3. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 2 – Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas.

ZONA 2 - PLUMA DE DIPERSIÓN AGUAS ABAJO DEL DIQUE DE COLAS

Estación	Parámetros	Nivel Piezométrico (m)	Manganeso (µg/L)	Cinc (µg/L)	Estroncio (µg/L)	Molibdeno (µg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)	$\delta^{18}O$ en agua	$\delta^{2}H$ en agua	$\delta^{34}S$ en Sulfato	$\delta^{18}O$ en Sulfato
DCP2	MEDIA	-	2117,68	25,07	5076,10	57,70	265,69	1994,46	7,10	4596,14	-3,39	-18,96	10,09	3,45
DCP2	DS	-	648,89	28,12	1156,68	15,49	28,14	220,00	0,36	656,61	0,25	2,66	0,42	0,30
DCP2	MAX	-	4349,00	173,00	7078,00	137,00	335,00	2326,00	8,50	5800,00	-3,09	-15,00	10,72	3,74
DCP2	MIN	-	116,00	2,20	2502,00	23,00	191,00	544,00	5,70	3270,00	-3,82	-23,2	9,6	3,05
DCP2	N	-	71	49	71	56	71	71	70	71	6	6	5	5
MW5	MEDIA	42,38	SD	43,33	2950,00	SD	200,51	963,44	7,46	2314,22				
MW5	DS	24,49	SD	23,38	1190,44	SD	76,61	579,81	0,45	697,25				
MW5	MAX	68,19	SD	70,00	4200,00	SD	284,00	1607,00	8,21	3090,00				
MW5	MIN	12,43	SD	20,00	1200,00	SD	77,10	210,00	6,60	1020,00				
MW5	N	9	SD	6	8	SD	10	9	11	9				
PB2	MEDIA	35,30	2909,39	27,10	3818,63	49,44	298,56	1893,06	7,63	4077,32	-3,3	-20,2	9,3	3,76
PB2	DS	8,99	960,59	16,20	1042,24	14,61	51,69	467,91	0,38	689,96	-	-	-	-
PB2	MAX	67,10	4519,00	69,00	5600,00	80,00	390,00	2447,00	8,60	5270,00	-	-	-	-
PB2	MIN	11,10	160,00	2,20	700,00	23,00	105,00	290,00	6,50	1176,00	-	-	-	-
PB2	N	32	36	32	38	16	38	36	38	38	1	1	1	1
PB11	MEDIA	15,19	2676,67	10,00	4150,00	SD	299,17	2068,83	6,82	3778,33				
PB11	DS	0,20	1370,57	-	151,66	SD	38,92	128,47	0,47	540,50				
PB11	MAX	15,33	4100,00	10,00	4300,00	SD	366,00	2226,00	7,60	4690,00				
PB11	MIN	15,05	360,00	10,00	3900,00	SD	254,00	1931,00	6,30	3090,00				
PB11	N	2	6	1	6	SD	6	6	6	6				
PB16	MEDIA	72,68	5,68	22,00	4078,53	21,76	251,12	1610,84	7,59	3787,02	-4,31	-24,90	8,66	4,31
PB16	DS	17,36	6,19	16,49	1377,76	5,75	44,40	493,81	0,31	1095,29	0,01	0,99	0,06	1,32
PB16	MAX	88,71	30,00	67,00	6884,00	32,00	306,00	2877,00	8,00	5595,00	-4,30	-24,20	8,70	5,24
PB16	MIN	8,85	2,00	1,70	1671,00	13,00	101,00	475,00	6,50	1870,00	-4,31	-25,60	8,62	3,37
PB16	N	37	19	34	49	21	49	49	49	49	2	2	2	2
PB24	MEDIA	40,89	464,73	21,04	5861,93	21,43	262,57	1896,43	7,61	4542,93	-3,51	-19,70	9,81	4,11
PB24	DS	11,66	254,51	15,24	1503,82	7,86	37,74	298,89	0,21	655,36	0,25	3,22	0,87	1,00
PB24	MAX	56,92	1015,00	64,00	8695,00	49,00	340,00	2268,00	8,10	5640,00	-3,06	-14,00	10,59	5,72
PB24	MIN	6,10	11,00	1,50	1171,00	8,30	25,00	72,00	6,80	3070,00	-3,76	-22,60	8,69	3,16
PB24	N	58	67	54	68	49	67	67	67	67	6	6	5	5
PB25	MEDIA	78,60	1860,13	15,15	4430,11	79,39	308,56	2264,95	7,75	5521,31				
PB25	DS	14,97	364,64	11,10	766,78	16,95	26,61	117,81	0,20	331,40				
PB25	MAX	112,38	2854,00	46,00	5714,00	117,00	383,00	2481,00	8,30	6157,00				
PB25	MIN	41,94	1236,00	2,70	2279,00	28,00	256,00	2026,00	7,10	4549,00				
PB25	N	39	38	23	38	38	39	39	39	39				
PB27	MEDIA	115,97	18,79	19,59	5485,61	22,11	303,61	2100,17	7,54	5123,95	-4,11	-22,64	8,96	5,36
PB27	DS	29,08	34,37	18,40	1164,84	10,60	15,32	236,10	0,16	333,34	0,26	2,10	0,29	0,82
PB27	MAX	141,30	139,00	79,00	8062,00	65,00	342,00	3190,00	7,80	5634,00	-3,71	-19,6	9,24	6,56
PB27	MIN	29,21	2,00	3,00	2590,00	11,00	265,00	1678,00	7,00	4410,00	-4,41	-25	8,69	4,73
PB27	N	26	21	36	41	36	41	41	41	41	5	5	4	4
T6	MEDIA	-	133,63	21,22	5481,84	38,85	323,37	2154,61	7,73	5212,02	-3,59	-20,10	9,21	4,80
T6	DS	-	207,25	30,65	1125,57	12,73	44,43	307,42	0,24	669,82	0,29	1,74	0,64	0,63
T6	MAX	-	1426,00	198,00	7497,00	81,00	526,00	2535,00	8,20	6178,00	-3,27	-16,6	9,57	5,61
T6	MIN	-	2,40	1,80	2711,00	13,00	171,00	576,00	7,00	3580,00	-4,08	-21,55	7,96	3,88
T6	N	-	55	41	57	53	57	57	57	57	7	7	6	5
WW13	MEDIA	52,70	10,00	34,40	3263,00	SD	243,78	1287,22	7,42	2799,78	-4,2	-24,8	8,6	4,13
WW13	DS	6,65	-	10,90	1069,35	SD	46,30	374,82	0,45	572,72	-	-	-	-
WW13	MAX	57,90	10,00	50,00	4500,00	SD	328,00	1742,00	7,90	3438,00	-	-	-	-
WW13	MIN	43,00	10,00	20,00	1800,00	SD	175,00	713,00	6,60	1885,00	-	-	-	-
WW13	N	4	1	5	9	SD	9	9	9	9	1	1	1	1
	Parámetros	**Nivel Piezométrico (m)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
TOTAL	MEDIA	-	**1212,85**	**22,58**	**4902,74**	**42,38**	**281,69**	**1965,33**	**7,52**	**4565,8**	**-3,69**	**-20,74**	**9,41**	**4,34**
TOTAL	DS	-	**1177,34**	**21,46**	**1429,71**	**24,04**	**48,13**	**383,91**	**0,37**	**972,25**	**0,40**	**2,87**	**0,72**	**0,94**
TOTAL	MAX	-	**4519**	**198**	**8695**	**137**	**526**	**3190**	**8,60**	**6178**	**-3,06**	**-14,00**	**10,72**	**6,56**
TOTAL	MIN	-	**2**	**1,5**	**700**	**8,30**	**25**	**72**	**5,70**	**1020**	**-4,41**	**-25,60**	**7,96**	**3,05**
TOTAL	N	-	**326**	**281**	**385**	**269**	**387**	**375**	**387**	**386**	**28**	**28**	**24**	**23**

2.3.3 Zona 3 - Zona de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural.

Comprenden la zona de mezcla los pozos de monitoreo MW27 (127 – 154 m) y MW28 (111,5 – 147,5 m) y los pozos de retrobombeo PB28 (114 – 177 m y 183 – 189 m), PB36 (111,3 – 165,3 m y 177,9 – 183,9 m) y PB38 (150 – 168 m, 174 – 198 m, 204 – 228 m y 236 – 248 m).

Este sector está caracterizado por presentar valores químicos que reflejan la interacción de la pluma de proceso con agua natural del sistema hidrogeológico, interpretado a partir de tenores intermedios entre los característicos de agua de pluma de proceso aguas arriba (zona 2) y agua natural de pozos de monitoreo no afectados por la pluma aguas abajo (zona 5).

Los sitios de monitoreo que se destacan por su estado activo en el tiempo son el PB28 y PB36. El resto de los pozos reflejan rangos de muestreo acotados de 1 o 2 años.

En cuanto al contenido en **sulfato**, PB28 muestra un incremento constante desde 1000 mg/L aproximadamente para 2007 (puesta en funcionamiento) hasta 1700 mg/L aproximadamente en 2014, registrando un pico negativo en 2009 de 470 mg/L debido posiblemente a un retroceso puntual de la pluma. Luego esta tendencia positiva se invierte y se le acoplan en forma concordante los valores de PB36 (operativo desde 2013) alcanzando concentraciones para agosto de 2017 de 1114 mg/L de sulfato. MW27 y MW28 reflejan concentraciones similares mientras que PB38, pozo en donde los filtros están a la mayor profundidad de la zona, registra un fuerte aumento del contenido en sulfato en febrero de 2017 cuyo valor es indicativo de agua de proceso (2469 mg/L), posteriormente los valores descienden a tenores típicos de la zona de mezcla.

El nivel de **cloruro** registra un comportamiento similar al del sulfato. Se observa en PB28 un aumento progresivo desde valores cercanos a 170 mg/L hasta 250 mg/L hacia fines del año 2013. Posteriormente, invierte su tendencia ascendente, avalada también por los datos de PB36, hasta alcanzar concentraciones en torno a los 170 mg/L en agosto de 2017. Se destaca un pico negativo registrado en PB28 en febrero de 2009 de 105 mg/L y un pico positivo en PB38 en febrero de 2017 de 293 mg/L (ambos coincidentes con el comportamiento del sulfato).

La **conductividad** repite las mismas tendencias observadas en sulfato y cloruro. En PB28 se registra un aumento leve constante, variando desde 2500 a 4500 µS/cm aproximadamente, para luego, a partir del año 2013, invertir la tendencia hasta alcanzar tenores de aproximadamente 2750 µS/cm registrados en PB36. MW27 y MW28 acompañan la tendencia mientras que PB38 muestra valores superiores y en progresivo aumento, alcanzando conductividades del orden de los 4375 µS/cm. Al igual que en sulfato y cloruro, para febrero de 2009, PB28 registra un pico negativo de 1487 µS/cm.

El **pH** es una variable que se mantiene constante en el tiempo con un valor promedio de 7,68 ± 0,20. Particularmente, en febrero de 2014 registra un pico negativo tanto en PB28 como en PB36 alcanzando un valor mínimo de 7,10.

En términos generales el contenido de **Mn** se ha mantenido estable con una media de 9,80 ± 8,53 µg/L. Particularmente, PB28 es el sitio de muestreo que ha

presentado los mayores desvíos con picos positivos de 32 µg/L en febrero de 2009 (coincidente con el comportamiento de sulfato, cloruro y conductividad) y de 48 µg/L en noviembre de 2009.

En cuanto a los valores de **Zn**, no se registra una tendencia en particular a lo largo del tiempo, para el cual se estima un valor promedio de 13,51 ± 11,15 µg/L y un valor máximo de 51 µg/L en PB36 en agosto de 2015.

El **Sr**, a diferencia del Zn y Mn repite el patrón observado en sulfato, cloruro y conductividad. Se distingue un aumento creciente de concentraciones desde 1700 µg/L hasta 5300 µg/L aproximadamente para inicio de 2014. Posteriormente, dicho valor disminuye hasta alcanzar tenores cercanos a 2900 µg/L para agosto de 2017. PB38, al igual que en los valores de cloruro y sulfato, registra un pico positivo de 5523 µg/L en mayo de 2017.

Los valores promedios registrados de **Mo** son de 8 µg/L y con tendencia constante. Se destaca un pico de 41 µg/L en PB28 en febrero de 2012 pero posteriormente cae por debajo de 10 µg/L (límite de detección del laboratorio en ese momento).

En resumen, estos sitios de muestreo reflejan valores químicos intermedios entre el agua de pluma de proceso (zona 2) y agua sin interacción aparente con la pluma (zona 5). El comportamiento del sulfato, cloruro, conductividad y estroncio ha sido análogo evidenciando claramente el progreso y retroceso de la pluma del dique de colas. Por lo cual pueden considerarse como variables útiles para definir el posicionamiento espacial de agua de proceso en el terreno.

En cuanto a la geoquímica isotópica, el agua de la zona 3 presenta valores promedio de -5,28 ± 0,37 de $\delta^{18}O$ y -30,40 ± 2,50 $\delta^{2}H$ mientras que para el anión sulfato los valores isotópicos registrados son 8,52 ± 0,63 $\delta^{34}S$ y 4,84 ± 0,71 $\delta^{18}O$.

Estos tenores son distintos a los obtenidos para las zonas 1 y 2, reflejando nuevamente que no se trata puramente de agua de proceso, sino que esta composición isotópica representa valores de mezcla.

En la tabla 2.4 se encuentran resumidos los valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) de los parámetros analizados en los puntos de monitoreo y su ponderación total. Ténganse en cuenta que estos datos abarcan todo el registro existente no diferenciando, en contraste de cómo fue indicado en el texto, quiebres en las tendencias evolutivas.

En las Figuras 2.13 a 2.16 se observan las tendencias evolutivas.

Tabla 2.4. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 3 – Zona de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural.

ZONA 3 - ZONA DE MEZCLA ENTRE EL AGUA DE PROCESOS DE LA PUNA Y EL APORTE HÍDRICO NATURAL														
Estación	**Parámetro**	**Nivel Piezométrico (m)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
MW27	MEDIA	122,51	SD	SD	2466,00	14,00	168,00	969,00	7,90	2601,00	-5,54	-31,85	7,50	4,65
MW27	DS	-	SD	SD	-	-	-	-	-	-	0,10	2,511	-	-
MW27	MAX	122,51	SD	SD	2466,00	14,00	168,00	969,00	7,90	2601,00	-5,41	-28,60	-	-
MW27	MIN	122,51	SD	SD	2466,00	14,00	168,00	969,00	7,90	2601,00	-5,65	-34,20	-	-
MW27	N	1	SD	SD	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1
MW28	MEDIA	126,39	10,00	4,80	3083,00	12,00	211,33	1242,67	7,93	2967,00	-5,23	-29,98	8,35	5,07
MW28	DS	2,72	1,41	5,80	155,20	1,00	20,11	162,95	0,12	178,26	0,32	3,09	0,70	1,05
MW28	MAX	129,50	11,00	8,90	3246,00	13,00	228,00	1423,00	8,00	3170,00	-4,83	-26,46	9,15	6,22
MW28	MIN	124,49	9,00	0,70	2937,00	11,00	189,00	1106,00	7,80	2836,00	-5,58	-34,60	7,84	4,17
MW28	N	3	2	2	3	3	3	3	3	3	5	5	3	3
PB28	MEDIA	75,79	10,29	11,66	3487,89	9,52	218,32	1281,57	7,69	3302,16	-5,17	-29,57	8,90	4,72
PB28	DS	24,37	10,13	7,66	1177,06	9,75	40,66	298,07	0,20	671,40	0,53	2,29	0,16	0,59
PB28	MAX	132,47	48,00	30,00	5371,00	41,00	305,00	1767,00	8,10	4495,00	-4,44	-27,06	9,04	5,26
PB28	MIN	33,12	2,10	0,90	705,00	4,20	90,00	403,00	7,10	1282,00	-5,75	-31,88	8,73	3,98
PB28	N	29	28	31	37	13	37	37	37	37	5	5	4	4
PB36	MEDIA	101,50	8,53	19,57	3724,50	5,20	217,31	1387,13	7,58	3469,38	-5,1	-30,7		
PB36	DS	22,08	3,41	15,97	1043,75	3,01	25,86	202,38	0,14	484,47	0,4	1,7		
PB36	MAX	124,22	16,00	51,00	4868,00	9,50	250,00	1676,00	7,80	4212,00	-4,9	-29,4		
PB36	MIN	80,69	4,40	3,30	741,00	1,30	170,00	1050,00	7,20	2728,00	-5,4	-31,9		
PB36	N	4	11	15	16	12	16	16	16	16	2	2		
PB38	MEDIA	123,97	SD	9,40	4853,75	10,08	254,00	1872,00	7,85	4248,25				
PB38	DS	2,28	SD	5,69	490,65	2,70	26,96	402,45	0,17	130,38				
PB38	MAX	127,16	SD	14,00	5523,00	14,00	293,00	2469,00	8,00	4375,00				
PB38	MIN	122,16	SD	2,30	4356,00	7,80	231,00	1589,00	7,60	4078,00				
PB38	N	4	SD	4	4	4	4	4	4	4				
Estación	**Parámetro**	**Nivel Piezométrico (m)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
TOTAL	**MEDIA**	**-**	**9,80**	**13,51**	**3602,85**	**8,38**	**219,23**	**1340,93**	**7,68**	**3393,07**	**-5,28**	**-30,40**	**8,52**	**4,84**
TOTAL	**DS**	**-**	**8,53**	**11,15**	**1126,03**	**6,81**	**36,58**	**311,23**	**0,20**	**634,22**	**0,37**	**2,50**	**0,63**	**0,71**
TOTAL	**MAX**	**-**	**48,00**	**51,00**	**5523,00**	**41,00**	**305,00**	**2469,00**	**8,10**	**4495,00**	**-4,44**	**-26,46**	**9,15**	**6,22**
TOTAL	**MIN**	**-**	**2,10**	**0,70**	**705,00**	**1,30**	**90,00**	**403,00**	**7,10**	**1282,00**	**-5,75**	**-34,60**	**7,50**	**3,98**
TOTAL	**N**	**-**	**41**	**52**	**61**	**33**	**61**	**61**	**61**	**61**	**16**	**16**	**8**	**8**

2.3.4 Zona 4 - Zona al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el *Open-pit*.

Esta zona está representada por tres pozos de monitoreo, MW25 (2 – 138 m), MW26 (12 – 152 m) y MW19 (0 – 150 m sin filtro) dispuestos en sentido NO-SE. Estos sitios de control permiten caracterizar la fisicoquímica del agua que circula por una subcuenca de orientación NO-SE separada hacia el oeste de la cuenca del río Vís-Vís y que a su vez se encuentra muy próxima al *open-pit* de Bajo de la Alumbrera. La disposición de la quebrada esta controlada estructuralmente por fallas locales de rumbo NO-SE, las cuales son también puestas en evidencia en la zona mineralizada de Bajo de la Alumbrera y se extienden a través del complejo volcánico Farallón Negro. Los pozos más representativos son MW19 y MW25 mientras que MW26 cuenta con escasos datos.

El contenido de **sulfato** se ha mantenido constante a lo largo del tiempo para los tres sitios de monitoreo, siendo mayor los valores registrados en MW25 con un promedio de 163,78 ± 26,10 mg/L y menores en MW19 con un valor medio de 89,19 ± 12,60 mg/L. MW26 muestra valores intermedios entre ambos pozos. Se deduce

que el contenido de sulfato disminuye a lo largo de la quebrada en sentido NO-SE hacia la intersección con la quebrada de Vís-Vís.

Los valores de **cloruro** también se mantienen constantes en el tiempo y en este caso no se registran diferencias significativas entre MW25 y MW19. MW26 aporta valores ligeramente superiores. El contenido promedio de la zona es de 36,02 ± 10,12 mg/L.

Los tenores de **conductividad** tienen un comportamiento similar a lo registrado en el sulfato. La tendencia es constante para los puntos de monitoreo experimentando una dilución aguas abajo, pasando de un promedio de 787,61 ± 96,85 µS/cm en MW25 a 561,58 ± 38,69 µS/cm en MW19. MW26 aporta valores intermedios.

El **pH** se ha mantenido constante a lo largo del tiempo y los tres pozos muestran valores similares, con un promedio de 7,83 ± 0,19.

En cuanto al contenido de **Mn**, se mantienen constantes y son homogéneos entre los diferentes sitios de monitoreo, salvo por un pico positivo detectado en MW25 en febrero de 2017 de 399 µg/L. Se puede considerar el valor promedio de MW19 como representativo de la zona 4 que es de 10,71 ± 15,79 µg/L.

La concentración de **Zn** no sigue un patrón definido y posee alta variabilidad. La zona está caracterizada por un contenido medio de 20,34 ± 25,69 µg/L registrándose picos positivos de 98 µg/L en MW19 y de 94, 113, 109 y 156 µg/L en MW25.

Con respecto al **Sr**, MW25 posee una concentración superior a MW19 con 492,65 ± 134,44 µg/L y 163,94 ± 93,11 µg/L respectivamente. Entre los años 2003 y 2010 se observa una leve tendencia negativa para luego cambiar a una tendencia positiva desde 2010 hasta 2013, posteriormente se mantiene con valores constantes. Se destaca un pico positivo de 613 µg/L para MW19 y de 902 para MW25. Los valores registrados en MW26 se acoplan a la distribución de los de MW19.

Los datos de **Mo** son irregulares y no permiten visualizar una tendencia en particular. Hay una gran cantidad de datos ausentes debido a contar con valores inferiores al límite de detección, esto implica que el valor promedio total de Mo podría ser inferior al calculado. Para la zona es característica una concentración media de 8,30 ± 4,07 µg/L.

En síntesis, la zona 4 está caracterizada por presentar tendencias constantes de los parámetros analizados a lo largo del tiempo, evidenciándose particularmente un efecto de dilución aguas abajo en sulfato y conductividad. El contenido de metales es escaso.

No se refleja interacción entre agua de la zona mineralizada del *open-pit* con el agua que aporta esta cuenca, aun estando vinculadas por un mismo corredor estructural NO-SE. Los bajos valores observados en general, inferiores a los registrados a lo largo de la quebrada del río Vís-Vís, responderían a la circulación de agua muy localizada capturada dentro del área de esta subcuenca cuyo aporte principal es el agua de precipitación. Además, la roca dominante es la andesita del complejo volcánico Farallón Negro, la cual, debido a su composición mineralógica, no aporta valores significativos de los parámetros analizados al sistema y de hecho tiene capacidad neutralizante frente a soluciones ácidas.

En cuanto a la geoquímica isotópica, el agua de la zona 4 presenta valores promedio de -4,92 ± 0,96 de $\delta^{18}O$ y -27,80 ± 5,66 $\delta^{2}H$ mientras que para el anión sulfato los valores isotópicos registrados son 6,66 ± 0,23 $\delta^{34}S$ y 6,91 ± 1,92 $\delta^{18}O$.

Estos tenores son distintos a los obtenidos para las zonas 1 y 2, influenciadas por el agua de proceso. Se asemejan más a los de la zona 3 (mezcla) aunque se diferencian con respecto a los isotopos en sulfato.

En la Tabla 2.5 se encuentran resumidos los valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) de los parámetros analizados en los puntos de monitoreo y su ponderación total. Ténganse en cuenta que estos datos abarcan todo el registro existente no diferenciando, en contraste de cómo fue indicado en el texto, quiebres en las tendencias evolutivas.

En las Figuras 2.17 a 2.20 se observan las tendencias evolutivas.

Tabla 2.5. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 4 - zona al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el *Open-pit*.

ZONA 4 - ZONA AL OESTE DEL DIQUE DE COLAS Y PLUMA DE DISPERSIÓN														
Estación	**Parámetro**	**Nivel Piezométrico a Ras del Suelo (m)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 ºC (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
MW19	MEDIA	48,86	10,71	18,08	163,94	8,59	32,23	89,19	7,87	561,58	-5,72	-32,60	6,79	5,86
MW19	DS	1,49	15,79	17,53	93,11	3,60	6,39	12,60	0,20	38,69	0,08	0,28	0,12	0,85
MW19	MAX	50,55	67,00	98,00	600,00	15,00	51,00	132,00	8,30	653,00	-5,66	-32,40	6,87	6,46
MW19	MIN	42,14	2,00	1,20	77,00	2,90	17,00	67,00	7,20	450,00	-5,77	-32,80	6,70	5,26
MW19	N	48	25	44	48	22	48	48	48	48	2	2	2	2
MW25	MEDIA	3,71	36,51	23,90	492,65	7,89	35,41	163,78	7,80	787,61	-4,1	-23,0	6,4	9,0
MW25	DS	1,62	89,15	33,98	134,44	4,74	8,62	26,10	0,18	96,85	0,5	2,0		
MW25	MAX	5,89	399,00	156,00	902,00	18,00	56,00	242,00	8,20	907,00	-3,8	-21,6		
MW25	MIN	0,14	2,20	1,60	129,00	2,30	17,00	105,00	7,10	405,00	-4,5	-24,4		
MW25	N	45	31	40	46	16	46	46	46	46	2	2	1	1
MW26	MEDIA	22,44	14,13	16,45	162,09	SD	55,09	108,18	7,72	664,36				
MW26	DS	0,23	26,34	16,91	54,56	SD	8,26	9,55	0,15	45,10				
MW26	MAX	22,75	79,00	59,00	219,00	SD	69,00	125,00	8,00	706,00				
MW26	MIN	22,08	2,00	2,00	52,00	SD	43,00	96,00	7,50	537,00				
MW26	N	9	8	11	11	SD	11	11	11	11				
Estación	**Parámetro**	**Nivel Piezométrico a Ras del Suelo (m)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 ºC (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
TOTAL	MEDIA	-	23,63	20,34	307,75	8,30	36,02	123,86	7,83	671,37	-4,92	-27,80	6,66	6,91
TOTAL	DS	-	64,17	25,69	197,32	4,07	10,12	40,76	0,19	128,35	0,96	5,66	0,23	1,92
TOTAL	MAX	-	399,00	156,00	902,00	18,00	69,00	242,00	8,30	907,00	-3,78	-21,60	6,87	9,01
TOTAL	MIN	-	2,00	1,20	52,00	2,30	17,00	67,00	7,10	405,00	-5,77	-32,80	6,42	5,26
TOTAL	N	-	64	95	105	38	105	105	105	105	4	4	3	3

2.3.5 Zona 5 - Puntos de monitoreo aguas abajo de la zona afectada por la pluma de proceso y traza del río Vis-Vis-Amanao y sus afluentes

Se subdivide a la zona 5 en tres partes para poder realizar un mejor análisis y caracterizar con mayor eficiencia estos tres sectores que poseen rasgos diferentes.

Por un lado, se estudia el conjunto de pozos de monitoreo y retrobombeo que se encuentren al sur de la zona de mezcla, es decir, no afectados por la pluma, tanto en la quebrada Vís-Vís como aledañas (se excluye pozos de la zona 4).

Por el otro lado, se estudian los puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís.

Por último, se analiza en forma separada los afluentes al río Vís-Vís.

- <u>Pozos de monitoreo y retrobombeo</u>

Todos estos sitios de muestreo se encuentran dentro de la concesión minera a excepción de M36, MW36B y MW15 (pozo entre DS1 y DS5).

Participan en total en este tramo 13 puntos de monitoreo, a continuación, se detalla la profundidad a la que esta ubicado el filtro en cada uno de ellos:

- Quebrada del ducto
  - HON1 (1 – 124,3 m)
  - PB23 (varios filtros entre 46,90 y 156 m)

- Quebrada de los Jejenes o Buenaventura
  - MW8 (8,8 – 14,7 m) Agua termal
  - MW35 (104 – 116 m, 128 – 152 m y 164 – 176 m) Agua termal

- Quebrada Vís-Vís
  - MW7 (37,6 – 67,1 m)
  - MW15 (60 – 144 m)
  - MW17 (48 – 269 m)
  - MW18 (24 – 113 m)
  - MW21 (0 – 50 m)
  - MW30 (60 – 124 m)
  - MW36 (0 – 23,34 m sin filtro)
  - MW36B (132 – 196 m)
  - PB33 (29 – 47 m, 59 – 77 m y 89 – 107 m)

Al analizar el gráfico para la variación del contenido de **sulfato** desde 1996 (previo inicio de explotación) hasta 2017 se observa que el parámetro se ha mantenido, en la mayoría de los puntos de muestreo, bajo una tendencia constante oscilando entre valores de 300 y 700 mg/L aproximadamente, con una concentración promedio para todo el sector estudiado de 482,35 ± 214,67. Es decir que los valores más esperables se encontrarían dentro de un rango de 267,68 a 697,02 mg/L.

En particular, los pozos HON1 y PB23 (que registran el agua proveniente de la quebrada del ducto) junto con MW18 (ubicado en la quebrada Vís-Vís y alineado con la orientación de la quebrada del ducto) muestran una tendencia decreciente leve a lo largo de todo el tiempo de monitoreo.

En junio de 2006 PB23, MW7, MW8, MW15 y MW21 registran un fuerte aumento en el contenido de sulfato. La margen oeste de la quebrada Vís-Vís fue la

que se vio afectada por el incremento en sulfato e incluso el pozo MW15, ubicado por fuera de la propiedad minera registró el aumento más intenso (2946 mg/L). Sin embargo, está anomalía no fue registrada a niveles superficiales (ni en DS1 ni DS5). También habría que descartar que no sea un error de laboratorio ya que los valores difieren de los tomados por MAA y el duplicado realizado en MW8 posee valores muy distintos.

Otros picos aislados que se destacan del gráfico son 1165 mg/L en MW18 para febrero de 2009, 1180 mg/L en MW17 para agosto de 2010 y 1255 mg/L en MW17 durante febrero de 2017. Este último evento fue acompañado por el incremento de los valores de sulfato en todos los puntos de monitoreo activos con excepción de MW18 y MW21.

Las concentraciones medidas en MW8 (agua termal) y MW15 poseen valores entre 150 y 200 mg/L superiores al resto de los sitios de monitoreo y se mantienen en una tendencia constante a lo largo del tiempo.

Los valores de **cloruro** se mantienen constantes a lo largo del tiempo dentro de un rango de aproximadamente 60 a 220 mg/L, siendo el pozo MW8 el que mayor tenor de cloruro posee. El promedio de la variable para la zona es de 133,82 ± 53,25 mg/L. HON1, PB23 y MW18, al igual que para el sulfato, registran una tendencia decreciente leve a lo largo del tiempo.

Igual que para el caso del sulfato, en junio de 2006 se registra una fuerte anomalía en los puntos PB23, MW7, MW8, MW15 y MW21, siendo MW15 el que mayor valor alcanza con 528,7 mg/L. También se observa una pequeña anomalía puntual en el valor de cloruro en todos los pozos, a excepción de MW18, en febrero 2017 donde el valor máximo registrado fue en MW8 de 264 mg/L y el punto que más se diferenció de su comportamiento promedio fue MW17 (113,58 ± 28,91) alcanzando un valor de 174 mg/L. Vale idéntica aclaración anterior respecto al laboratorio.

En cuanto a la **conductividad**, los valores oscilan entre 1150 y 2500 µS/cm con un promedio para todo el sector analizado de 1725,52 ± 426,41 µS/cm. Las tendencias en los sitios de muestreo se mantienen constantes en el tiempo a excepción de las de HON1, PB23 y MW18 que, como ocurre para sulfato y cloruro, disminuyen de forma sostenida a lo largo del tiempo evaluado.

Se observan dos picos importantes aislados para MW18 de 3109 µS/cm en febrero de 2009 y para MW17 de 3250 µS/cm en agosto de 2010. Son concordantes con los registrados en sulfato.

Con respecto al **pH**, su comportamiento es muy constante a lo largo del tiempo evaluado, cuya media es de 7,56 ± 0,39. MW8 es el pozo con menor valor de pH con un promedio de 7,16 ± 0,27, sin embargo, el pozo MW35 cercano y también

con agua termal ostenta uno de los valores promedio más elevados (7,72 ± 0,44). Esta diferencia registrada en MW8 (somero) y MW35 (profundo) también se observa de forma sostenida en sulfato, cloruro y conductividad, por lo que puede suponerse que el agua termal, proveniente desde un ambiente profundo en la corteza, al ascender modifica, a partir de la interacción con la roca local, sus características fisicoquímicas.

El contenido en **Mn** mantiene muy bajos tenores en torno a los 15 µg/L entre 2001 y 2011. Posteriormente, si bien muchos puntos de monitoreo mantienen bajos valores y constantes, otros como MW8 y MW15 junto con la incorporación de MW30, MW35 y MW36 registran grandes fluctuaciones sin marcar una tendencia determinada, con picos que alcanzan concentraciones de 257, 316, 374 y 409 µg/L en MW30.

En cuanto al **Zn**, se observan valores constantes con una media de 41,73 ± 60,59 µg/L. Sin embargo, a partir de 2012 comienza a registrarse picos aislados en diferentes sitios de monitoreo como en HON1 (131 y 187 µg/L), MW30 (171 y 182 µg/L), MW8 (162 y 251 µg/L), MW17 (487 y 532 µg/L) y MW36B (495 y 652 µg/L).

En la mayoría de los pozos de monitoreo, los tenores de **Sr** poseen alta variabilidad a lo largo del tiempo evaluado sin marcar una tendencia definida. Solamente HON1 y MW8 enseñan una tendencia decreciente. En el primer caso, la disminución de Sr es constante y leve en todo el período, mientras que, para el segundo, el descenso en esta variable es entre los años 1997 y 2009 fuerte a moderado, fluctuando entre valores de 3100 µg/L y 1006 µg/L. Posteriormente se invierte la tendencia aumentando de forma leve hasta agosto de 2017 donde alcanza un tenor de 2028 µg/L. Esta tendencia observada en MW8 no es siempre acompañada por el otro pozo con agua termal cercano MW35, teniendo este último un mayor contenido promedio del elemento.

Mayo de 2007, febrero de 2010 y febrero de 2014 son fechas en donde se registra aumento en todos los puntos de monitoreo de forma conjunta a excepción de PB33 para la última situación. El valor promedio adjudicado para los pozos de monitoreo y retrobombeo de la zona 5 es de 1435,20 ± 570,86 µg/L.

Los valores de **Mo** son, en gran parte de los casos, inferiores a los 10 µg/L, con una media en 8,10 ± 4,51 µg/L, lo cual restringió la obtención de información previa al año 2014 donde el límite de detección del laboratorio utilizado era de 10 µg/L.

En resumen, independientemente de la presencia de ciertos picos aislados, la información fisicoquímica evaluada de los pozos de monitoreo y retrobombeo de la zona 5 muestra una clara diferencia con respecto a los valores observados con influencia de agua del dique de colas.

El agua de la quebrada el ducto representada por los sitios HON1 y PB23 afectan directamente a los valores de MW18 que se encuentra dentro de la quebrada Vís-Vís en función del comportamiento del sulfato, cloruro y conductividad.

Diferencias marcadas y constantes de sulfato, cloruro, conductividad y pH entre los pozos cercanos entre sí con agua termal MW8 y MW35 implicaría que a medida que el agua de origen más profundo asciende a través del sustrato rocoso altera su fisicoquímica producto de la interacción con la roca.

Situaciones descriptas de los años 2006, 2009, 2010 y 2017 merecen una especial atención y análisis para determinar si el aumento en varios de los parámetros estudiados corresponde con un avance aguas abajo de la pluma de proceso, a un error de laboratorio o simplemente a variaciones en el agua de los aportes aledaños a la quebrada Vís-Vís.

En cuanto a la geoquímica isotópica, el agua de la zona 5 (pozos de monitoreo y retrobombeo) presenta valores promedio de -6,00± 0,51 de $\delta^{18}O$ y -34,69 ± 3,07 $\delta^{2}H$ mientras que para el anión sulfato los valores isotópicos registrados son 8,21 ± 2,26 $\delta^{34}S$ y 6,12 ± 1,16 $\delta^{18}O$.

Estos tenores son muy distintos a los obtenidos para las zonas 1 y 2 influenciadas por el agua de proceso y son más inferiores aún que los registrados en la zona 3 (mezcla). Dicha diferencia isotópica da la pauta que el agua de estas zonas posee un origen marcadamente diferente.

En la Tabla 2.6 se encuentran resumidos los valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) de los parámetros analizados en los puntos de monitoreo y su ponderación total. Ténganse en cuenta que estos datos abarcan todo el registro existente no diferenciando, en contraste de cómo fue indicado en el texto, quiebres en las tendencias evolutivas.

En las Figuras 2.21 a 2.26 se observan las tendencias evolutivas.

Tabla 2.6. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos de monitoreo aguas abajo de la zona afectada por la pluma de proceso: pozos de monitoreo y retrobombeo.

ZONA 5 - POZOS DE MONITOREO Y RETROBOMBEO AGUAS ABAJO DE LA ZONA AFECTADA POR LA PLUMA DE PROCESO														
Estación	Parámetro	Nivel Piezométrico (m)	Manganeso (µg/L)	Cinc (µg/L)	Estroncio (µg/L)	Molibdeno (µg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)	$\delta^{18}O$ en agua	$\delta^{2}H$ en agua	$\delta^{34}S$ en Sulfato	$\delta^{18}O$ en Sulfato
HON1	MEDIA	17,36	7,34	24,94	1205,05	6,38	117,03	520,87	7,70	1568,62	-5,22	-30,6	8,24	5,55
HON1	DS	10,50	7,28	30,41	344,50	2,98	28,70	165,21	0,14	334,59	-	-	-	-
HON1	MAX	73,13	36,00	181,00	2289,00	11,00	203,00	948,00	8,10	2294,00	-	-	-	-
HON1	MIN	7,67	2,00	1,60	704,00	2,00	83,00	344,00	7,20	1185,00	-	-	-	-
HON1	N	61	28	56	61	17	61	61	61	61	1	1	1	1
PB23	MEDIA	49,70	12,93	17,03	1057,33	2,50	139,11	639,33	7,94	1511,11	-5,28	-30,06	13,74	6,87
PB23	DS	29,32	7,97	14,12	454,71	-	47,84	485,83	0,27	491,35	0,22	3,24	5,36	2,84
PB23	MAX	83,28	29,00	45,00	1503,00	2,50	253,00	1785,00	8,60	2006,00	-5,07	-26,40	18,20	9,09
PB23	MIN	14,74	4,00	3,00	208,00	2,50	98,00	172,00	7,70	801,00	-5,51	-32,58	7,80	3,67
PB23	N	8	9	7	9	1	9	9	9	9	3	3	3	3
PB33	MEDIA	38,42	15,18	13,72	910,00	8,43	88,67	382,83	7,90	1314,17	-	-	-	-
PB33	DS	11,26	4,63	9,91	49,38	1,25	2,66	15,47	0,23	21,66	-	-	-	-
PB33	MAX	60,28	20,00	32,00	975,00	9,70	92,00	395,00	8,10	1338,00	-	-	-	-
PB33	MIN	28,29	8,10	5,80	864,00	7,20	85,00	361,00	7,60	1277,00	-	-	-	-
PB33	N	6	6	6	6	3	6	6	6	6	-	-	-	-
MW7	MEDIA	15,88	15,45	32,59	1102,65	6,79	115,82	391,48	7,41	1516,18	-6,15	-35,05	7,32	6,20
MW7	DS	1,56	35,38	22,80	364,37	3,54	21,41	177,32	0,23	142,11	0,21	1,76	0,53	1,11
MW7	MAX	19,99	212,00	136,00	2981,00	15,00	241,00	1899,00	8,20	1760,00	-5,92	-31,7	7,96	8,06
MW7	MIN	7,62	2,00	9,00	457,00	2,00	60,00	220,00	6,50	964,00	-6,55	-36,6	6,58	5,24
MW7	N	81	37	73	77	19	79	79	79	78	7	7	6	6
MW8	MEDIA	11,98	32,72	45,67	1943,74	6,08	202,70	536,87	7,16	2256,33	-6,56	-39,36	8,43	6,07
MW8	DS	1,98	50,92	40,45	667,87	4,54	27,08	181,97	0,27	215,78	0,17	2,03	0,21	0,82
MW8	MAX	14,56	212,00	251,00	4200,00	18,00	319,00	2002,00	8,20	2651,00	-6,2	-35,1	8,61	7,23
MW8	MIN	1,86	2,00	4,90	369,00	1,30	125,00	320,00	6,80	1560,00	-6,71	-40,95	8,04	5,02
MW8	N	80	52	73	77	15	79	79	78	78	7	7	6	6
MW15	MEDIA	9,24	17,98	38,22	1768,08	5,01	194,24	634,45	7,42	2297,65	-6,18	-35,56	7,37	5,66
MW15	DS	0,47	32,08	28,53	280,64	3,27	46,85	305,41	0,17	137,22	0,17	1,32	0,53	0,75
MW15	MAX	10,14	203,00	151,00	2801,00	12,00	528,70	2946,00	7,90	2829,00	-6,01	-33,30	8,30	6,71
MW15	MIN	8,38	2,00	8,00	1060,00	1,60	155,00	460,00	7,10	2071,00	-6,48	-37,03	6,84	4,75
MW15	N	61	41	60	62	13	62	62	62	62	7	7	6	6
MW17	MEDIA	64,86	12,84	67,81	1510,35	10,52	113,58	561,36	7,70	1685,35	-5,80	-33,91	7,20	6,38
MW17	DS	27,58	16,89	107,95	481,08	2,79	28,91	168,53	0,20	349,30	0,24	1,41	0,32	1,18
MW17	MAX	124,33	76,00	532,00	2747,00	15,00	211,00	1255,00	8,50	3250,00	-5,55	-31,21	7,47	8,56
MW17	MIN	19,18	2,00	3,50	615,00	4,10	64,00	360,00	7,10	1300,00	-6,19	-35,70	6,80	5,27
MW17	N	55	36	53	55	17	55	55	55	55	7	7	6	6
MW18	MEDIA	21,30	9,22	28,01	1319,41	8,59	108,17	478,40	7,74	1505,57	-	-	-	-
MW18	DS	2,88	11,74	26,18	460,66	3,11	26,32	152,37	0,13	314,86	-	-	-	-
MW18	MAX	25,95	63,00	171,00	2961,00	15,00	212,00	1165,00	8,10	3109,00	-	-	-	-
MW18	MIN	13,50	2,00	1,90	201,00	3,90	71,00	323,00	7,30	1209,00	-	-	-	-
MW18	N	58	39	56	58	18	58	58	58	58	-	-	-	-
MW21	MEDIA	14,49	21,06	35,66	1144,34	11,04	80,52	369,41	7,61	1277,21	-5,60	-32,57	7,97	6,00
MW21	DS	1,13	31,61	24,56	231,02	3,91	34,85	218,12	0,16	118,78	0,71	1,42	0,36	1,03
MW21	MAX	17,31	134,00	123,00	2052,00	21,00	308,00	1957,00	8,10	1533,00	-4,08	-30,50	8,56	7,42
MW21	MIN	10,83	2,20	1,80	562,00	3,50	34,00	241,00	7,30	965,00	-6,30	-34,47	7,50	4,65
MW21	N	58	39	57	58	30	58	58	58	58	7	7	6	6
MW30	MEDIA	18,60	142,10	53,59	1323,14	8,95	62,03	355,79	7,32	1313,24	-5,95	-33,24	-	-
MW30	DS	1,28	120,06	41,32	288,84	4,36	3,96	39,04	0,20	56,51	0,23	1,60	-	-
MW30	MAX	20,01	409,00	182,00	2210,00	22,00	71,00	467,00	7,80	1440,00	-5,79	-30,50	-	-
MW30	MIN	13,17	5,90	18,00	993,00	3,20	53,00	274,00	7,00	1222,00	-6,35	-34,43	-	-
MW30	N	29	27	29	29	18	29	29	29	29	5	5	-	-
MW35	MEDIA	13,19	39,52	17,30	2199,28	3,78	161,90	399,90	7,72	1903,93	-	-	-	-
MW35	DS	1,14	30,68	15,21	505,99	2,70	12,11	36,87	0,44	57,31	-	-	-	-
MW35	MAX	14,20	145,00	55,00	3352,00	11,00	198,00	543,00	8,70	2081,00	-	-	-	-
MW35	MIN	8,03	7,10	1,60	1492,00	1,40	130,00	323,00	7,20	1792,00	-	-	-	-
MW35	N	29	25	24	29	11	29	29	29	29	-	-	-	-
MW36	MEDIA	7,28	99,00	10,05	371,00	15,46	178,43	455,86	8,43	1841,71	-	-	-	-
MW36	DS	0,45	23,34	8,18	155,00	5,67	11,53	62,16	0,08	56,70	-	-	-	-
MW36	MAX	7,76	118,00	22,00	713,00	20,00	201,00	593,00	8,50	1956,00	-	-	-	-
MW36	MIN	6,63	49,00	3,60	276,00	3,20	166,00	408,00	8,30	1789,00	-	-	-	-
MW36	N	7	7	4	7	7	7	7	7	7	-	-	-	-
MW36B	MEDIA	6,22	10,35	323,71	634,57	3,40	152,57	333,57	9,10	1777,14	-6,98	-38,96	-	-
MW36B	DS	0,45	4,55	184,18	574,68	2,97	12,59	211,48	1,23	150,94	-	-	-	-
MW36B	MAX	6,75	16,00	652,00	1303,00	9,40	174,00	578,00	10,80	1987,00	-	-	-	-
MW36B	MIN	5,57	6,10	156,00	25,00	1,60	134,00	40,00	8,00	1565,00	-	-	-	-
MW36B	N	7	4	7	7	6	7	7	7	7	1	1	-	-
Estación	Parámetro	Nivel Piezométrico (m)	Manganeso (µg/L)	Cinc (µg/L)	Estroncio (µg/L)	Molibdeno (µg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)	$\delta^{18}O$ en agua	$\delta^{2}H$ en agua	$\delta^{34}S$ en Sulfato	$\delta^{18}O$ en Sulfato
TOTAL	MEDIA	-	30,36	41,73	1435,20	8,10	133,82	482,35	7,56	1725,52	-6,00	-34,69	8,21	6,12
TOTAL	DS	-	56,49	60,59	570,86	4,51	53,25	214,67	0,39	426,41	0,51	3,07	2,26	1,16
TOTAL	MAX	-	409,00	652,00	4200,00	22,00	528,70	2946,00	10,80	3250,00	-4,08	-26,40	18,20	9,09
TOTAL	MIN	-	2,00	1,60	25,00	1,30	34,00	40,00	6,50	801,00	-6,98	-40,95	6,58	3,67
TOTAL	N	-	350	505	535	175	539	539	538	537	45	45	34	34

- Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís.

Participan en total en este tramo 5 puntos de monitoreo superficial (DS1, DS5, DS6, DS7/DS7D y DS8). Estos sitios de muestreo abarcan toda la traza del río Vís-Vís desde su surgencia aguas arriba (DS1) hasta la salida del valle que lo mantiene encajonado (DS8) en donde se ubica la población Amanao con escasos habitantes. Luego de pasar por Amanao, el río se dispersa constituyendo un abanico aluvial y sus aguas se pierden en la cuenca endorreica del salar de Pipanaco.

Para llevar a cabo el análisis en este sector se evaluaron tanto los datos de los muestreos trimestrales (1995-actualidad mayoritarios y trazas) como los muestreos puntuales (desde 2006 en DS8, 2007 en DS5 y DS6, 2009 en DS1 hasta la actualidad, solo mayoritarios). De esta manera se obtuvo un gran volumen de datos, que, al día de hoy, permiten lograr una muy buena caracterización fisicoquímica del agua del río Vís-Vís.

Cabe aclarar que, a fines prácticos del estudio de la información, se unificaron los valores de DS7 y DS7D (El Derrumbe), ya que si bien no se corresponden exactamente con el mismo punto de monitoreo (están muy cercanos), el muestreo se alterna entre ambos y los análisis reflejan las mismas características del agua circulante.

Los valores promedios calculados para sulfato, cloruro, pH y conductividad usando solo los muestreos trimestrales en comparación a la sumatoria de muestreos trimestrales y puntuales son muy similares y de hecho pueden considerarse homogéneos para DS1 y DS5 al 95 % de confianza, a excepción de la conductividad, parámetro que siempre ha presentado una mayor variabilidad.

Por esta razón se procederá a analizar las variables utilizando toda la información disponible, aunque se grafican los muestreos trimestrales de los puntuales por separado.

El contenido de **sulfato** en el río Vís-Vís se ha mantenido en una variabilidad estable a lo largo del tiempo evaluado. Los pocos datos obtenidos previos a la actividad minera (1995-1997) se correlacionan con el resto de la información posterior.

Las concentraciones promedio para los puntos de muestreo (trimestrales + puntuales) son: 602,87 ± 52,95 mg/L en DS1, 633,40 ± 55,46 mg/L en DS5, 452,59 ± 68,27 mg/L en DS6, 511,72 ± 77,06 mg/L en DS7/DS7D y 373,84 ± 86,93 mg/L en DS8.

A partir del gráfico, así como se refleja en los valores medios para cada sitio, se pone en evidencia el efecto de dilución a lo largo de la traza del río hacia aguas abajo. La excepción ocurre con DS5 ya que debido a que recibe el aporte con alto

contenido de sulfato del tributario Huaico (DS4), la concentración de sulfato en el río Vís-Vís aumenta.

Particularmente se observa en DS6, DS7/D y DS8 un patrón de un paulatino aumento de la concentración de sulfato hacia finales de la primavera y una fuerte disminución durante la época estival. Este rasgo esta directamente vinculado con el caudal del río controlado por el régimen hidrológico. La correlación del caudal con sulfato, cloruro y conductividad será evaluada más adelante en el texto.

En el gráfico de los muestreos trimestrales, se destacan tres sucesos donde se produce un aumento al unísono de los sitios de monitoreo a excepción de DS8: diciembre de 2006, noviembre de 2009 y febrero de 2017. Los dos primeros eventos no revisten carácter de importancia, sin embargo, en el último, la concentración de sulfato alcanza el valor máximo no superable en DS1 (849 mg/L) y en DS5 lo sobrepasa (988 mg/L) respecto al tenor indicado de 840 mg/L para dicho sitio, de acuerdo con la resolución S.E.M. N°232/09.

Cabe destacar que para este período en cuestión se registran picos positivos de sulfato en las muestras de DS4 y QLB, ambos afluentes del río Vís-Vís, que impactan directamente en la química registrada en DS5.

En cuanto al **cloruro**, su comportamiento acompaña al del sulfato y su concentración se ha mantenido con variabilidad estable a lo largo del tiempo en donde los valores previos a la actividad minera se correlacionan con los contemporáneos.

Las concentraciones promedio para los puntos de muestreo (trimestrales + puntuales) son: 168,97 ± 17,38 mg/L en DS1, 165,82 ± 14,62 mg/L en DS5, 118,80 ± 17,13 mg/L en DS6, 126,13 ± 18,99 mg/L en DS7/DS7D y 97,94 ± 17,67 mg/L en DS8.

También se observa el efecto de la dilución como en el caso del sulfato. DS5 debido al aporte que recibe del afluente Huaico (DS4), alcanza valores similares e incluso supera a los registrados en DS1.

Además, en DS6, DS7/D y DS8 se observan picos negativos durante la época estival, lo cual estaría vinculado al aumento del caudal del río.

Nuevamente se destacan los períodos de diciembre de 2006 y febrero de 2017 en donde aumentan en forma conjunta las concentraciones en todos los sitios de monitoreo a excepción de DS8. Particularmente el del año 2017 es el más sobresaliente, aunque se produce un menor desvío en relación a la media en comparación con el caso del sulfato.

Con respecto a la **conductividad**, los tenores medios para los sitios de muestreo (trimestrales + puntuales) son: 2219,40 ± 134,05 µS/cm en DS1, 2193,92 ±

128,27 µS/cm en DS5, 1729,69 ± 161,19 µS/cm en DS6, 1770,10 ± 159,36 µS/cm en DS7/DS7D y 1438,59 ± 199,61 µS/cm en DS8.

Los valores de este parámetro se mantienen constantes a lo largo del tiempo, aunque se registra una tendencia leve creciente a partir de fines de 2012 en DS1 y DS5 alcanzando en diciembre de 2017 tenores de hasta 2400 y 2440 µS/cm respectivamente.

Al igual que para el sulfato y cloruro, se destaca el efecto de dilución aguas abajo y picos negativos en la época estival relacionado al aumento de caudal del río.

El patrón de **pH** se mantiene constante a lo largo del tiempo con poca variabilidad y el agua es de característica neutra a levemente alcalina. Como rasgo sobresaliente se observa que aguas abajo el agua se torna levemente más alcalina, siendo los tenores promedio de los sitios de muestreo los siguientes: 8,00 ± 0,28 en DS1, 8,38 ± 0,26 en DS5, 8,41 ± 0,26 en DS6, 8,43 ± 0,27 en DS7/DS7D y 8,45 ± 0,26 en DS8.

Las concentraciones de **Mn**, **Zn** y **Mo** son similares a lo largo de toda la traza del río y su distribución irregular. Poseen a lo largo del curso fluvial valores promedio por debajo de 26, 20 y 8 µg/L respectivamente, tenores ligeramente inferiores a los descriptos para los pozos de la zona 5 y similares a los del pozo MW15.

En cuanto al Zn, se observan tres picos anómalos a lo largo de todo el registro: uno en DS5 con 119 µg/L y dos en DS7/DS7D de 93 y 70 µg/L.

En el caso del Mn, DS8 registra los mayores valores con picos de 86, 147, 178 y 168 µg/L, mientras que DS7/DS7D alcanza concentraciones de 110 y 89 µg/L y DS6 144, 117 y 95 µg/L.

Estos tenores anómalos no se encontrarían vinculados a la actividad minera y es precisamente DS1 el punto de monitoreo, junto con DS6, que posee menor desviación estándar.

Los valores de **Sr** se mantienen con una variabilidad estable a lo largo del periodo evaluado y al igual que en sulfato, cloruro y conductividad se aprecia el efecto de dilución aguas abajo.

Todos los sitios de muestreo siguen un patrón muy similar y las concentraciones medias son: 2226,19 ± 507,52 µg/L en DS1, 1491,81 ± 266,08 µg/L en DS5, 1070,13 ± 221,71 µg/L µg/L en DS6, 967,54 ± 160,27 µg/L en DS7/DS7D y 732,97 ± 156,22 µg/L en DS8.

Solamente en diciembre de 2000 se registra un pico de 4639 µg/L en DS1 que sobresale de la tendencia general pero que se normaliza al trimestre siguiente.

En cuanto a la geoquímica isotópica, los puntos superficiales presentan valores promedio de:

DS1) -6,24 ± 0,25 de $\delta^{18}O$ y -36,55 ± 1,77 $\delta^{2}H$, y en sulfato 7,39 ± 0,29 $\delta^{34}S$ y 5,47 ± 1,20 $\delta^{18}O$.

DS5) -5,69 ± 0,17 de $\delta^{18}O$ y -32,35 ± 1,46 $\delta^{2}H$, y en sulfato 6,79 ± 0,34 $\delta^{34}S$ y 5,14 ± 1,08 $\delta^{18}O$.

DS6) -5,41 ± 0,39 de $\delta^{18}O$ y -30,30 ± 1,62 $\delta^{2}H$, y en sulfato 6,90 $\delta^{34}S$ y 6,82 $\delta^{18}O$.

DS8) -5,15 ± 0,26 de $\delta^{18}O$ y -28,89 ± 1,56 $\delta^{2}H$, y en sulfato 6,53 ± 0,37 $\delta^{34}S$ y 5,98 ± 0,82 $\delta^{18}O$.

El fraccionamiento isotópico observado en el agua del río Vís-Vís es muy similar al registrado en los pozos de monitoreo y retrobombeo de la zona 5 (no afectados por la pluma).

De hecho, los valores isotópicos de DS1 son muy similares y correlacionables con el promedio de tenores isotópico de la vertiente Los Baños que está caracterizada según -6,32 ± 0,21 de $\delta^{18}O$ y -36,96 ± 1,86 $\delta^{2}H$, y en sulfato 7,56 ± 0,30 $\delta^{34}S$ y 5,32 ± 0,99 $\delta^{18}O$. También son semejantes los valores del pozo MW8 portador de agua termal.

A lo largo de la traza del río se observa como la evaporación afecta al agua circulante y va aumentando la relación isotópica del oxígeno y deuterio en el agua. En cuanto al fraccionamiento isotópico del sulfato, no presenta un patrón definido a lo largo del curso fluvial.

En las Tablas 2.7 y 2.8 se encuentran resumidos los valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) de los parámetros analizados en los puntos de monitoreo y su ponderación total.

En las Figuras 2.27 a 2.32 se observan las tendencias evolutivas.

Tabla 2.7. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís (trimestrales).

ZONA 5 - PUNTOS SUPERFICIALES TOMADOS A LO LARGO DE LA TRAZA DEL RÍO VÍS-VÍS (TRIMESTRALES)														
Estación	**Parámetros**	**Caudal (L/sg)**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
DS1	MEDIA	19,27	17,23	18,16	2226,19	5,46	168,41	602,41	7,91	2147,80	-6,24	-36,55	7,39	5,47
DS1	DS	20,78	21,62	12,69	507,52	2,76	18,25	75,42	0,28	163,21	0,25	1,77	0,29	1,20
DS1	MAX	130,65	82,00	53,00	4639,00	12,00	227,00	849,00	8,40	2489,00	-5,98	-33,20	7,75	6,86
DS1	MIN	2,07	2,00	1,50	1052,00	1,40	124,00	413,00	6,80	1440,00	-6,76	-38,52	6,90	3,98
DS1	N	79,00	36,00	56,00	80,00	15,00	86,00	83,00	86,00	84,00	7	7	6	6
DS5	MEDIA	27,12	10,91	18,59	1491,81	5,49	163,55	623,10	8,29	2138,01	-5,69	-32,35	6,79	5,14
DS5	DS	24,52	14,88	19,09	266,08	3,60	23,05	75,69	0,28	178,81	0,17	1,46	0,34	1,08
DS5	MAX	146,98	84,00	119,00	2259,00	11,00	218,00	988,00	8,70	2478,00	-5,52	-29,80	7,48	7,14
DS5	MIN	3,45	2,00	1,20	868,00	1,50	82,00	427,00	7,20	1579,00	-6,02	-34,00	6,59	4,17
DS5	N	72,00	37,00	54,00	77,00	15,00	82,00	81,00	81,00	81,00	7	7	6	6
DS6	MEDIA	37,53	22,52	16,52	1070,13	6,20	127,61	495,06	8,24	1811,38	-5,41	-30,30	6,90	6,82
DS6	DS	42,54	35,81	11,09	221,71	3,80	24,22	111,93	0,33	207,47	0,39	1,62	-	-
DS6	MAX	200,6	144	48	1809	14	211	667	8,7	2155	-4,79	-28,00	-	-
DS6	MIN	0,88	2	2	525	1,7	62	245	7,1	1105	-6,00	-31,90	-	-
DS6	N	66	30	40	71	16	72	70	72	72	6	6	1	1
DS7/DS7D	MEDIA	80,22	20,37	20,00	967,54	7,75	126,13	511,72	8,43	1770,10	-	-	-	-
DS7/DS7D	DS	44,39	27,60	17,62	160,27	3,09	18,99	77,06	0,37	159,36	-	-	-	-
DS7/DS7D	MAX	221,55	110	93	1304	14	170	700	9,3	2224	-	-	-	-
DS7/DS7D	MIN	10,84	1,1	2,8	462	2,8	92	368	6,9	1371	-	-	-	-
DS7/DS7D	N	47	34	48	71	17	75	75	74	73	-	-	-	-
DS8	MEDIA	166,32	25,84	16,97	732,97	6,38	103,83	390,49	8,32	1463,81	-5,15	-28,89	6,53	5,98
DS8	DS	206,81	40,28	15,54	156,22	3,01	22,59	88,91	0,34	238,49	0,26	1,56	0,37	0,82
DS8	MAX	1591,98	178	100	1200	12	163	673	9,1	2161	-4,88	-26,60	7,02	7,48
DS8	MIN	27,75	2	1	296	1,5	37	129	6,4	667	-5,47	-31,33	5,90	5,20
DS8	N	75	47	48	77	17	82	79	82	81	7	7	6	6

Tabla 2.8. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís (trimestrales + puntuales).

ZONA 5 - PUNTOS SUPERFICIALES TOMADOS A LO LARGO DE LA TRAZA DEL RÍO VÍS-VÍS (TRIMESTRALES + PUNTUALES)														
Estación	**Parámetro**	**Caudal**	**Manganeso (µg/L)**	**Cinc (µg/L)**	**Estroncio (µg/L)**	**Molibdeno (µg/L)**	**Cloruros (mg/L)**	**Sulfatos (mg/L)**	**pH Laboratorio**	**Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)**	**$\delta^{18}O$ en agua**	**$\delta^{2}H$ en agua**	**$\delta^{34}S$ en Sulfato**	**$\delta^{18}O$ en Sulfato**
DS1	MEDIA	22,21	17,23	18,16	2226,19	5,46	168,97	602,87	8,00	2219,40	-6,24	-36,55	7,39	5,47
DS1	DS	40,79	21,62	12,69	507,52	2,76	17,38	52,95	0,28	134,05	0,25	1,77	0,29	1,20
DS1	MAX	578,94	82,00	53,00	4639,00	12,00	227,00	849,00	8,89	2510,00	-5,98	-33,20	7,75	6,86
DS1	MIN	1,30	2,00	1,50	1052,00	1,40	116,00	413,00	6,60	1440,00	-6,76	-38,52	6,90	3,98
DS1	N	292	36	56	80	15	300	297	300	298	7	7	6	6
DS5	MEDIA	31,84	10,91	18,59	1491,81	5,49	165,82	633,40	8,38	2193,92	-5,69	-32,35	6,79	5,14
DS5	DS	41,85	14,88	19,09	266,08	3,60	14,62	55,46	0,26	128,27	0,17	1,46	0,34	1,08
DS5	MAX	465,03	84,00	119,00	2259,00	11,00	218,00	988,00	9,20	2478,00	-5,52	-29,80	7,48	7,14
DS5	MIN	0,58	2,00	1,20	868,00	1,50	102,00	427,00	6,10	1579,00	-6,02	-34,00	6,59	4,17
DS5	N	351	37	54	77	15	363	362	362	362	7	7	6	6
DS6	MEDIA	48,04	22,52	16,52	1070,13	6,20	118,80	452,59	8,41	1729,69	-5,41	-30,30	6,90	6,82
DS6	DS	68,58	35,81	11,09	221,71	3,80	17,13	68,27	0,26	161,19	0,39	1,62	-	-
DS6	MAX	845,28	144,00	48,00	1809,00	14,00	211,00	667,00	9,20	2155,00	-4,79	-28,00	-	-
DS6	MIN	0,88	2,00	2,00	525,00	1,70	62,00	245,00	7,10	1105,00	-6,00	-31,90	-	-
DS6	N	342	30	40	71	16	353	351	353	353	6	6	1	1
DS7/DS7D	MEDIA	80,22	20,37	20,00	967,54	7,75	126,13	511,72	8,43	1770,10	-	-	-	-
DS7/DS7D	DS	44,39	27,60	17,62	160,27	3,09	18,99	77,06	0,37	159,36	-	-	-	-
DS7/DS7D	MAX	221,55	110,00	93,00	1304,00	14,00	170,00	700,00	9,30	2224,00	-	-	-	-
DS7/DS7D	MIN	10,84	1,10	2,80	462,00	2,80	92,00	368,00	6,90	1371,00	-	-	-	-
DS7/DS7D	N	47	34	48	71	17	75	75	74	73	-	-	-	-
DS8	MEDIA	243,81	25,84	16,97	732,97	6,38	97,94	373,84	8,45	1438,59	-5,15	-28,89	6,53	5,98
DS8	DS	367,87	40,28	15,54	156,22	3,01	17,67	86,93	0,26	199,61	0,26	1,56	0,37	0,82
DS8	MAX	4653,30	178,00	100,00	1200,00	12,00	163,00	673,00	9,70	2161,00	-4,88	-26,60	7,02	7,48
DS8	MIN	8,30	2,00	1,00	296,00	1,50	20,00	63,00	6,40	432,00	-5,47	-31,33	5,90	5,20
DS8	N	406	47	48	77	17	555	552	555	554	7	7	6	6

Además de esta semejanza isotópica entre el agua de la vertiente Los Baños y la muestreada en DS1, se procedió a comparar los valores de sulfato, cloruro, conductividad, pH y estroncio entre ambas, y además entre la vertiente con el agua del pozo MW8 de origen termal (Tabla 2.10). De esta manera, si bien son escasos los datos, se busca evaluar si el agua termal registrada en los 3 sectores es semejante avalando un origen común o bien si existen diferencias significativas.

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r ó ρ), utilizando información de MAA y la SEM, el cual se define mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Este coeficiente es un índice adimensional acotado entre -1,0 y 1,0, ambos incluidos, que refleja el grado de dependencia lineal entre dos conjuntos de datos. Cuando r es igual a 1, significa que existe correlación perfecta positiva, es decir, cuando la variable X aumenta, Y lo hace de forma conjunta. Si r es igual a -1 entonces se tiene una correlación perfecta negativa, las variables X e Y se

comportan de forma inversamente proporcional. En caso de que *r* sea igual a 0, significa ausencia de correlación lineal entre las variables y por ende *X* e *Y* son independientes entre sí.

Este coeficiente es más robusto cuando se tiene gran cantidad de datos ya que se torna muy sensible a grandes modificaciones con un número reducido de mediciones. Esto ha resultado ser un problema ya que se tienen pocos datos de la vertiente que sean correlacionables según fecha con los datos de DS1 y MW8 y en el caso particular de la SEM hay más cantidad de datos tomados en días distintos (menores a una semana de diferencia), lo que afecta determinantemente a la correlación. En MW8 solo se calcula *r* con datos de MAA ya que la SEM solo posee 3 datos correlacionables tomados en distintas fechas. Sin embargo, se obtuvieron resultados interesantes de correlaciones (Tabla 2.9):

Tabla 2.9. Valores del coeficiente de correlación de Pearson r.

Estaciones	Parámetro	*r*
V Los Baños - DS1 MAA	Sulfato	0,96
V Los Baños - DS1 SEM	Sulfato	0,57
V Los Baños - MW8 MAA	Sulfato	0,77
V Los Baños - DS1 MAA	Cloruro	0,96
V Los Baños - DS1 SEM	Cloruro	0,41
V Los Baños - MW8 MAA	Cloruro	0,82
V Los Baños - DS1 MAA	pH	-0,04
V Los Baños - DS1 SEM	pH	0,80
V Los Baños - MW8 MAA	pH	0,14
V Los Baños - DS1 MAA	Conductividad	0,98
V Los Baños - DS1 SEM	Conductividad	0,95
V Los Baños - MW8 MAA	Conductividad	0,93
V Los Baños - DS1 MAA	Estroncio	0,93
V Los Baños - MW8 MAA	Estroncio	0,68

Tabla 2.10. Datos fisicoquímicos de la vertiente Los Baños (MAA) y las estaciones DS1 y MW8 de MAA y SEM.

Estación	Fecha de extracción de muestra	Manganeso (µg/L)	Cinc (µg/L)	Estroncio (µg/L)	Molibdeno (µg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 ºC (µS/cm)
Vertiente los Baños (MAA)	14/06/04	<50	<50	2740	8	169	570	7,6	2160
	30/05/06								
	09/09/08	<100		2400	<15	150	540	7,7	2020
	15/06/10	<4	<10	2740	<20	188,9	529	7,4	2200
	17/10/12	<10	<10	2340	<10	140,92	507,3	7,6	2010
	18/08/14	<10	<10	3300	<10	181	594	7,7	2300
	16/11/16	<10	<10	3000	<10	188	641	7,8	2360
DS1 (MAA)	14/06/04	<50	<50	2890	10	165	618	7,7	2160
	30/05/06	<500	<200	2700	< 15	171	584	8,6	2140
	09/09/08	<100		2400	<15	143	580	8,2	2040
	18/06/10	<4	<10	2640	<20	178,5	559	8,3	2190
	17/10/12	<10	<10	2470	<10	141,06	570,56	8,3	2080
	18/08/14	<10	<10	3200	<10	173	619	8,0	2270
	16/11/16	<10	<10	2800	<10	193	670	8,3	2350
DS1 (SEM)	14/06/04	2,00	29	2784	<10	165	626	8,00	2136
	30/05/06	<2	15	2451	<10	174	587	7,80	2085
	-								
	15/06/10					186	534	8,01	2260
	22/10/12					176	602	8,12	2090
	18/08/14	<4,0(**)	8	2547	5,9	175	644	8,1	2305
	16/11/16	<4(**)	<0,7(**)	2436	5,4	180	620	8,2	2350
MW8 (MAA)	13/06/04	<50	<50	2410	5	216	564	7,2	2390
	01/06/06	<500	<200	<2000	< 15	215	535	7,7	2340
	10/09/08	<100		1600	<15	192	479	7,4	2190
	15/06/10	10	149	1860	<20	202,4	491	7,0	2330
	17/10/12	51	50	1510	<10	168,75	434,91	8,0	2140
	19/08/14	14	139	2300	<10	211	500	7,0	2370
	17/11/16	37	<10	1800	<10	234	554	7,3	2480
MW8 (SEM)	13/06/04	4	64	2133	<10	218	558	7,30	2366
	01/06/06	<2	64	1643	<10	319	2002	7,0	2294
	-								
	-								
	-								
	19/08/14	14	162	1874	4,6	213	502	7,4	2387
	17/11/16	14	4,9	1670	3,7	228	538	7,3	2455

De acuerdo con los *r* calculados, queda en evidencia la muy buena correlación para las variables analizadas entre el agua termal de la vertiente Los Baños con el punto de monitoreo DS1 y MW8. La correlación de sulfato y cloruro para la estación DS1 con los datos de la SEM es regular debido a la desviación de un dato. Si no se lo considerara, la correlación sería mucho mejor. Esto guarda relación con lo expuesto anteriormente sobre la sensibilidad del índice a grandes variaciones cuando se emplean pocos datos. Lo mismo ocurre para el pH tanto en DS1 como en

MW8 con la información de MAA. Debido a la presencia de un solo valor con mayor desvío, se genera tanta distorsión en la nube de datos que termina dando una ausencia de correlación, mientras que en el caso de la SEM se obtiene un muy buen índice (ver Figuras 2.33 y 2.34).

En síntesis, si bien sería necesario una mayor cantidad de datos para realizar un análisis robusto y significativo, la información disponible hasta el momento da muy buenos indicios de que el agua termal tendría un origen común y que es captada tanto en MW8 como en la vertiente Los Baños. Posiblemente la falla de Buenaventura, profunda y de alto ángulo, que se encuentra en las inmediaciones, podría estar actuando como una zona de buena permeabilidad permitiendo el ascenso de aguas profundas.

Otro aspecto en el cual se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson fue para evaluar la relación existente entre variaciones de caudal con respecto al incremento o decrecimiento de las concentraciones en sulfato, cloruro y conductividad.

Utilizando el mismo mecanismo que para el agua termal, se procedió a comparar los datos para las estaciones DS1, DS5, DS6, DS7/DS7D y DS8 tanto para valores trimestrales por un lado, así como para la sumatoria de trimestrales y puntuales por el otro (ver Figuras 2.35 a 2.37). Se utiliza escala logarítmica en el eje de abscisas para una mejor visualización.

Como en este caso se contó con un gran número de datos (N), se pudo evaluar el grado de significación del índice calculado (Tabla 2.11). Para ello, luego de calcular *r* se realizó una prueba de significación al 95 % de confianza mediante la prueba *t* (Student) según el siguiente estadígrafo:

$$t = \sqrt{\frac{r^2(n-2)}{1-r^2}} \rightarrow t_{\alpha,(n-2)}$$

Tabla 2.11. Calculo de r y prueba de significación para los puntos superficiales en sulfato, cloruro y conductividad.

Estación	Parámetro	Cloruro	Sulfato	Conductividad
DS1	*r*	-0,09	0,00	-0,06
trimestrales	*t* estadígrafo	0,77	0,04	0,55
	t estadístico	1,99	1,99	1,99
	N	76	75	76
		NO SIGNIFICATIVO		
DS1	*r*	-0,07	0,02	0,02
trimestrales + puntuales	*t* estadígrafo	1,12	0,34	0,39
	t estadístico	1,97	1,97	1,97
	N	292	291	292
		NO SIGNIFICATIVO		
DS5	*r*	-0,37	-0,34	-0,25
trimestrales	*t* estadígrafo	3,29	2,98	2,15
	t estadístico	1,99	1,99	1,99
	N	72	72	72
		SIGNIFICATIVO		
DS5	*r*	-0,19	-0,09	-0,07
trimestrales + puntuales	*t* estadígrafo	3,63	1,76	1,26
	t estadístico	1,97	1,97	1,97
	N	352	352	352
		SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	
DS6	*r*	-0,43	-0,44	-0,57
trimestrales	*t* estadígrafo	3,96	4,14	5,88
	t estadístico	1,99	1,99	1,99
	N	72	72	72
		SIGNIFICATIVO		
DS6	*r*	-0,34	-0,32	-0,40
trimestrales + puntuales	*t* estadígrafo	6,60	6,27	8,04
	t estadístico	1,97	1,97	1,97
	N	342	341	342
		SIGNIFICATIVO		
DS7/DS7D	*r*	-0,32	-0,43	-0,30
trimestrales	*t* estadígrafo	2,21	3,17	2,07
	t estadístico	2,02	2,02	2,02
	N	46	46	46
		SIGNIFICATIVO		
DS8	*r*	-0,60	-0,60	-0,57
trimestrales	*t* estadígrafo	6,00	6,03	5,53
	t estadístico	2,00	2,00	2,00
	N	67	65	66
		SIGNIFICATIVO		
DS8	*r*	-0,40	-0,38	-0,42
trimestrales + puntuales	*t* estadígrafo	8,86	8,37	9,27
	t estadístico	1,97	1,97	1,97
	N	408	406	407
		SIGNIFICATIVO		

A partir de los gráficos y del cálculo de *r* se puede concluir que no existe correlación entre el nivel de caudal del río con el grado de aumento o descenso de

las concentraciones de cloruro, sulfato y conductividad para DS1, tanto utilizando los datos trimestrales solos o añadiendo también los puntuales.

Para el caso de DS5, si se evalúan los datos trimestrales, existe correlación, aunque baja, entre las variables mencionadas. Sin embargo, cuando se incrementa el volúmen de datos, la correlación deja ser significativa a excepción del cloruro.

Luego para los sitios DS6, DS7/DS7D y DS8 existe correlación significativa, aunque el índice *r* es bajo a regular. DS8 es el punto de monitoreo que registra el mejor grado de correlación y es concordante con lo observado en los gráficos previamente.

Por lo tanto, en función de lo analizado en los gráficos de concentración de los parámetros en función del tiempo y a partir de las correlaciones halladas entre dichas variables y el caudal, se interpreta que existe una influencia sobre las concentraciones de cloruro, sulfato y conductividad que aumenta a lo largo de la traza del río Vís-Vís aguas abajo.

El hecho que DS1 no acompañe esta relación podría estar vinculado a que la mayor parte del agua aportada provenga de la vertiente Los Baños y en menor medida del subsuelo, cuyo volumen no está estrictamente asociado a las variaciones hidrológicas locales estacionales de la región.

Caso distinto sucede con los puntos de monitoreo aguas abajo, que a lo largo de la quebrada Vís-Vís incorporan agua de escorrentía y subterránea aportada por ríos tributarios regulados por la distribución de las precipitaciones, siendo estas mayores en la época estival.

Además, el aumento progresivo de caudal desde DS1 a DS8 afecta de forma constante a los tenores de sulfato, cloruro, conductividad y estroncio diluyéndolos. El pH aumenta ligeramente tornándose un poco más básico hacia Amanao. En la Figura 2.38 (diagramas de cajas y bigotes) puede visualizarse las variaciones mencionadas.

- Puntos de monitoreo en afluentes del río Vís-Vís

A lo largo de la traza del río Vís-Vís, son varios los ríos secundarios, con caudal permanente o efímero que aportan sus aguas al curso fluvial. Algunas de estas subcuencas se encuentran monitoreadas, otras sin embargo no poseen un punto de control que permita caracterizar la fisicoquímica del agua que aportan al curso principal.

De estas quebradas, ya se han mencionado anteriormente la Del Ducto y la de Los Jejenes o Buenaventura, las cuales aportan agua subterránea a la quebrada Vís-Vís.

Aguas abajo, cuando el agua del Vís-Vís es surgente, las quebradas monitoreadas son:

- Al oeste: Quebrada Las Burras (QLB), entre DS1 y DS5.
- Al este: Quebrada Huaico (DS4 / MWHuaico, pozo de 6 m), entre DS1 y DS5
  Quebrada Santa Bárbara (QSB), entre DS5 y DS6
  Quebrada Yacuchuyo (DS7E), entre DS7 y DS8

Solamente se cuentan con datos de muestreos trimestrales, a excepción de QLB que esta incorporado en el muestreo puntual. Los datos de este sitio se informarán en conjunto en la tabla, aunque solo se esquematizaran los datos trimestrales a fin de no generar tanta distorsión en el gráfico con respecto a los otros sitios de muestreo.

Los patrones de **sulfato**, **cloruro** y **conductividad** presentan una variabilidad constante a lo largo de todo el periodo evaluado en todos los puntos de monitoreo.

DS4/MWHuaico se caracteriza por presentar elevados valores de sulfato, con una media de 795,96 ± 133,43 mg/L y se destaca un pico máximo de 1206 mg/L en febrero de 2017, aunque ya previamente se habían registrado altos valores como 1077, 1097 y 1087 mg/L para diciembre de 2006, noviembre de 2007 y noviembre de 2009 respectivamente. Este aporte considerable de sulfato al río Vís-Vís impacta directamente en las lecturas realizadas en DS5. El valor medio de cloruro es de 150,28 ± 21,18 mg/L y de conductividad es 2413,98 ± 280,52 µS/cm.

QLB aporta una menor cantidad de sulfatos al río, cuyo promedio es de 457,54 ± 46,41 mg/L, guardando una mejor relación con el contenido en el anión del río Vís-Vís. Los valores más altos alcanzados ocurrieron en febrero de 2017 con 703 mg/L y en mayo de 2009 con 612 mg/L. Presenta un promedio de 208,92 ± 20,20 mg/L de cloruro, significativamente mayor al de DS4 y de 1831,93 ± 132,73 µS/cm de conductividad. Se destacan tres picos positivos en cloruro en mayo de 2009 (285 mg/L), febrero de 2011 (312 mg/L) y febrero de 2017 (277 mg/L).

DS7E, es el afluente más caudaloso de todos los registrados y diluye al agua del río Vís-Vís, afectando de forma directa a los valores registrados en DS8. Posee un promedio de sulfato de 195,38 ± 47,50 mg/L, cloruro de 63,45 ± 11,95 mg/L y de conductividad de 930,81 ± 111,91 µS/cm. Al poseer un mayor caudal, se detecta la variación de concentración de estos parámetros en función del volumen de agua

circulante, promoviendo que durante la época estival los tenores de estas variables disminuyan.

QSB posee escasas mediciones, pero en función de los datos obtenidos, el agua que aporte sería más diluida en sulfato, cloruro y conductividad que la de DS7E. Los tenores promedios para estas variables son 79,00 ± 14,44 mg/L, 26,60 ± 4,28 mg/L y 559,00 ± 150,27 µS/cm respectivamente.

Los valores de **pH** también se han sostenido de forma constante a lo largo del tiempo, dando al agua una impronta alcalina leve, aunque se destacan algunos picos negativos ocurridos en forma conjunta. DS4/MWHuaico y DS7E poseen valores muy similares con media en 8,47 ± 0,28 y 8,40 ± 0,31 respectivamente. El agua en QLB es ligeramente más neutra con un promedio de 7,98 ± 0,23. QSB posee un valor medio de 8,20 ± 0,75. En febrero de 2006 y entre agosto y noviembre de 2008 se registró un descenso de pH en todos los puntos monitoreados, alcanzando en el primer caso valores de hasta 6,9 en QSB y 7,1 en DS7E en el segundo.

Los valores de **Mn** registrados son bajos, ubicándose siempre por debajo de los 50 µg/L. Solo se observan dos situaciones con altos valores de Mn registrados en DS7E. Estás anomalías sucedieron en febrero de 2008 y febrero de 2014 con tenores de 363 y 168 µg/L respectivamente.

En cuanto al **Zn**, la mayor parte de los valores se encuentran también por debajo de los 50 µg/L con tenores promedio ente 7 y 18 µg/L. DS7E registra el valor más alto en el elemento en noviembre de 2008 con 103 µg/L mientras que en QLB se registraron picos de hasta 73 µg/L.

El **Sr** tiene un comportamiento muy similar al observado en la conductividad, donde los valores medios en QLB y DS4/MWHuiaco son muy similares, con promedios de 1046,64 ± 180,20 y 1102,75 ± 172,75 µg/L respectivamente. DS7E posee valores menores con un promedio de 393,13 ± 81,25 µg/L y registra descensos durante la época estival. QSB reporta tenores inferiores aun, con media en 258,60 ± 37,46 µg/L,

Finalmente, con respecto a la concentración de **Mo**, todos los puntos poseen valores similares con promedios entre 2 y 7 µg/L.

En cuanto a la geoquímica isotópica, solo se tienen datos para DS4/MWHuaico con valor promedio de -4,94± 0,26 de $\delta^{18}O$ y -26,90 ± 2,44 $\delta^{2}H$ mientras que para el anión sulfato los valores isotópicos registrados son 6,01 ± 0,71 $\delta^{34}S$ y 6,78 ± 0,65 $\delta^{18}O$.

Estos tenores son muy similares a los obtenidos en DS8, especialmente en isótopos en agua, lo que da la pauta que el fraccionamiento isotópico en la región es afectado por evaporación a lo largo de los cursos fluviales. Cabe destacar que DS4

se ubica hacia el tramo final de la subcuenca a la que pertenece, así como DS8 lo hace respecto al Vís-Vís.

En la Tabla 2.12 se encuentran resumidos los valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) de los parámetros analizados en los puntos de monitoreo y su ponderación total.

En las Figuras 2.39 a 2.42 se observan las tendencias evolutivas.

Tabla 2.12. Valores promedios, desviación estándar, máximo, mínimo y número de datos (N) para los parámetros fisicoquímicos analizados y datos isotópicos de la zona 5 - Puntos de monitoreo en afluentes del río Vís-Vís

ZONA 5 - PUNTOS DE MONITOREO EN AFLUENTES DEL RÍO VÍS-VÍS													
Estación	Parámetro	Manganeso (µg/L)	Cinc (µg/L)	Estroncio (µg/L)	Molibdeno (µg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)	$\delta^{18}O$ en agua	$\delta^{2}H$ en agua	$\delta^{34}S$ en Sulfato	$\delta^{18}O$ en Sulfato
QLB	MEDIA	4,40	18,10	1046,64	6,27	208,92	457,54	7,98	1831,93	-	-	-	-
QLB	DS	3,74	15,64	180,20	4,30	20,20	46,41	0,23	132,73	-	-	-	-
QLB	MAX	16,00	73,00	1690,00	17,00	321,00	745,00	8,67	2640,00	-	-	-	-
QLB	MIN	1,10	2,30	561,00	1,40	144,00	349,00	6,40	1409,00	-	-	-	-
QLB	N	14	48	69	15	282	282	282	282	-	-	-	-
DS4	MEDIA	5,65	12,59	1102,75	4,63	150,28	795,96	8,47	2413,98	-4,94	-26,90	6,01	6,78
DS4	DS	4,17	9,86	172,75	3,44	21,18	133,43	0,28	280,52	0,26	2,44	0,71	0,65
DS4	MAX	16,00	35,00	1683,00	12,00	206,00	1206,00	8,90	3222,00	-4,64	-23,90	6,51	7,24
DS4	MIN	2,00	1,20	631,00	1,60	114,00	547,00	7,50	1717,00	-5,24	-30,60	5,50	6,32
DS4	N	20	25	44	11	43	45	45	45	5	5	2	2
QSB	MEDIA	71,00	7,78	258,60	2,95	26,60	79,00	8,20	559,00	-	-	-	-
QSB	DS	38,18	5,62	37,46	0,78	4,28	14,44	0,75	150,27	-	-	-	-
QSB	MAX	98,00	15,00	303,00	3,50	31,00	98,00	8,70	670,00	-	-	-	-
QSB	MIN	44,00	2,80	217,00	2,40	20,00	59,00	6,90	314,00	-	-	-	-
QSB	N	2	4	5	2	5	5	5	5	-	-	-	-
DS7E	MEDIA	29,08	15,49	393,13	6,23	63,45	195,38	8,40	930,81	-	-	-	-
DS7E	DS	68,78	17,68	81,25	3,10	11,95	47,50	0,31	111,91	-	-	-	-
DS7E	MAX	363,00	103,00	597,00	12,00	90,00	401,00	8,90	1069,00	-	-	-	-
DS7E	MIN	3,00	1,80	105,00	1,60	21,00	61,00	7,10	440,00	-	-	-	-
DS7E	N	31	37	56	14	58	58	58	58	-	-	-	-

2.4 Propuesta de valores de alerta y máximos y mínimos no superables para los puntos de muestreo DS1, DS5, DS6 y DS8 considerados para el cierre de mina y desafectación de pozos del sistema de retrobombeo

A partir del análisis realizado en el apartado anterior se ha logrado diferenciar con claridad las características fisicoquímicas del agua de proceso del agua de origen natural.

Si bien no se cuenta con una línea de base definida y robusta, ya que los valores previos a la actividad minera son escasos y puntuales, los análisis previos a la explotación (años 1995/1996 del Informe de Impacto Ambiental presentado por MAA y elaborado por Knight Piésold and Co y datos relevados por la Secretaría del

Agua y del Ambiente) junto con la información geoquímica e isotópica relevada de forma constante durante 20 años (1997/2017 Estado de Catamarca) dentro de un marco geológico y topográfico conocido permite concluir que las concentraciones de las diversas variables analizadas en el río Vís-Vís son propias del sistema natural y no están afectadas por la actividad extractiva.

Hasta la fecha la SEM ha aplicado las resoluciones 232/09 y 240/09 en donde se definen rangos de variabilidad, rangos de alerta y máximos no superables para sulfato, cloruro y conductividad en los sitios DS1, DS5, DS6 y DS8, definidos con información disponible hasta el año 2009 (ver Tabla 2.13).

Tabla 2.13. Rangos de variabilidad histórica, de alerta y máximo no superable para cloruro, sulfato y conductividad en Res SEM 232/09 y 240/09.

DS1	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Conductividad a 25°C (µS/cm)
Rango de variablidad histórica	151-186	527-688	1934-2272
Rango de alerta	186-203	688-768	2272-2441
Máximo no superable	220	849	2609
DS5	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Conductividad a 25°C (µS/cm)
Rango de variablidad histórica	139-191	555-697	1940-2274
Rango de alerta	191-216	697-769	2274-2441
Máximo no superable	243	840	2609
DS6	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Conductividad a 25°C (µS/cm)
Rango de variablidad histórica	119-168	485-637	1773-2108
Rango de alerta	168-193	637-713	2108-2275
Máximo no superable	218	789	2443
DS8	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Conductividad a 25°C (µS/cm)
Rango de variablidad histórica	92-134	347-512	1315-1725
Rango de alerta	134-155	512-594	1725-1930
Máximo no superable	176	676	2135

Al día de hoy, el volumen de datos químicos se ha incrementado enormemente permitiendo conocer con mayor grado de certeza la distribución de la muestra (datos trimestrales + puntuales sulfato n = 1562, cloruro n = 1571, pH n = 1570, conductividad n = 1567). De esta manera se plantea la necesidad de confeccionar valores y rangos guía a considerar para el cierre de mina, una vez

finalizada la explotación para los puntos del sistema de retrobombeo. Además, se incorpora al pH como otro factor más de control.

Se confeccionaron los histogramas (ver Figura 2.43) de las cuatro variables mencionadas para cada sitio de monitoreo que demuestran que las formas de las distribuciones se asemejan a la de una distribución normal.

En las resoluciones SEM 232/09 y 240/09 se utilizaron la 2da y 3^{era} desviación estándar de las distribuciones para determinar los límites máximos de alerta y máximos no superable respectivamente, lo cual fue coherente en relación a la cantidad de datos disponibles hasta ese entonces.

Sin embargo, actualmente el número de datos es mucho mayor, gracias en parte a la incorporación de los muestreos puntuales. El volumen de información actual ha permitido conocer mejor la forma y estilo de la distribución y por ende la naturaleza de las fluctuaciones propias del sistema, por lo que, en consecuencia, el desvió estándar disminuyó acotando el rango de probabilidad de obtener valores típicos.

Como se mencionó al comienzo de este inciso, se ha determinado que todos los valores registrados, excepto algún que otro caso puntual señalado en el apartado anterior, corresponden a la naturaleza propia del río Vís-Vís. Partiendo de esta afirmación, los valores de hasta 3 desvíos estándar (99,7%) serían propios de las fluctuaciones naturales del sistema y no deberían ser descartados (Figura 2.44).

Es por ello que se propone utilizar al 3er desvío estándar como límite de alerta y al 4to desvío estándar como valor máximo/mínimo no superable. El empleo de esta herramienta estadística, de extensa aplicación en el ámbito científico y social (Lepeltier 1969, Merodio 1985, Davis 1986 y Siegel 1992) permite asignar valores límites que se relacionan al promedio de los datos y dispersión natural de la distribución y de esta manera evitar la utilización de valores de origen arbitrario.

De esta manera, se evitaría poner en situación de alerta frente a tenores naturales en el agua del río Vís-Vís e inclusive dejar un margen para registrar valores ligeramente superiores al 3er desvío estándar, ya que, si bien en la actualidad se tiene un mejor conocimiento de la distribución, no quiere decir que en el tiempo no se obtengan valores de origen natural superiores con muy baja probabilidad de ocurrencia.

También es importante mencionar que los límites de alerta y valores no superables deben calcularse e informarse tanto para los máximos como para los mínimos, ya que un descenso por debajo de los valores normales del sistema fluvial implicaría una alteración del medio y desequilibrio en el ecosistema.

A continuación, en la Tabla 2.14, se detallan los valores límites guías calculados para cloruro, sulfato, pH y conductividad. También se agregan valores de

referencia para Mn, Zn, Sr y Mo, los cuales son interesantes para tenerlos en cuenta como tendencia, pero no para ser empleados como control:

Tabla 2.14. Niveles máximos y mínimos de alerta y no superables estimados a partir de muestreos trimestrales y puntuales en DS1, DS5, DS6 y DS8.

Estación	Límites guía	Manganeso (µg/L)	Cinc (µg/L)	Estroncio (µg/L)	Molibdeno (µg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)
DS1	MAX no superable	104	69	4256	17	**238**	**815**	**9,10**	**2756**
DS1	MAX alerta	82	56	3749	14	**221**	**762**	**8,83**	**2622**
DS1	MIN alerta			704		**117**	**444**	**7,17**	**1817**
DS1	MIN no superable			196		**99**	**391**	**6,89**	**1683**
DS5	MAX no superable	70	95	2556	20	**224**	**855**	**9,41**	**2707**
DS5	MAX alerta	56	76	2290	16	**210**	**800**	**9,15**	**2579**
DS5	MIN alerta			694		**122**	**467**	**7,61**	**1809**
DS5	MIN no superable			427		**107**	**412**	**7,35**	**1681**
DS6	MAX no superable	166	61	1957	21	**187**	**726**	**9,46**	**2374**
DS6	MAX alerta	130	50	1735	18	**170**	**657**	**9,19**	**2213**
DS6	MIN alerta			405		**67**	**248**	**7,63**	**1246**
DS6	MIN no superable			183		**50**	**180**	**7,37**	**1085**
DS8	MAX no superable	187	79	1358	18	**169**	**722**	**9,51**	**2237**
DS8	MAX alerta	147	64	1202	15	**151**	**635**	**9,25**	**2037**
DS8	MIN alerta			264		**45**	**113**	**7,66**	**840**
DS8	MIN no superable			108		**27**	**26**	**7,40**	**640**

También se calcularon los niveles guía utilizando solo los valores trimestrales (Tabla 2.15), pero al ser mucho menor la cantidad de datos los desvíos estándar son mayores, incrementando los rangos de alerta y valores no superables. Por esta razón se aconseja utilizar los valores de la Tabla 2.14 que fueron calculados para el volumen total de datos.

Tabla 2.15. Niveles máximos y mínimos de alerta y no superables estimados solamente a partir del muestreo trimestral en DS1, DS5, DS6 y DS8.

Estación	Límites guía	Manganeso (µg/L)	Cinc (µg/L)	Estroncio (µg/L)	Molibdeno (µg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)
DS1	MAX no superable	104	69	4256	17	241	904	9,04	2801
DS1	MAX alerta	82	56	3749	14	223	829	8,76	2637
DS1	MIN alerta					114	376	7,06	1658
DS1	MIN no superable					95	301	6,78	1495
DS5	MAX no superable	70	95	2556	20	256	926	9,43	2853
DS5	MAX alerta	56	76	2290	16	233	850	9,14	2674
DS5	MIN alerta					94	396	7,44	1602
DS5	MIN no superable					71	320	7,16	1423
DS6	MAX no superable	166	61	1957	21	225	879	9,57	2641
DS6	MAX alerta	130	50	1735	18	200	783	9,24	2434
DS6	MIN alerta					55	207	7,25	1189
DS6	MIN no superable					31	111	6,92	981
DS8	MAX no superable	187	79	1358	18	194	746	9,68	2418
DS8	MAX alerta	147	64	1202	15	172	657	9,34	2179
DS8	MIN alerta					36	124	7,30	748
DS8	MIN no superable					13	35	6,97	510

Dentro del marco de plan de cierre de mina, podría entonces, a partir de la caracterización geoquímica de la zona 5 y del cálculo de los niveles guía, utilizarse los valores de alerta máximos para DS1 (cloruro 221 mg/L, sulfato 762 mg/L, pH 8,83-7,17 y 2622 µS/cm de conductividad) como tenores que no deban superarse por no menos de 5 años, para así entonces desafectar pozos de retrobombeo.

La estimación del tiempo de desafectación de los pozos de retrobombeo debe establecerse en conjunto con los datos volcados en el informe hidrogeológico presentado en agosto de 2018 por MAA. En dicho informe es aconsejable que se indique en el modelado de las curvas de isoconcentración de sulfato, el contorno de 849 mg/L, que es el que actualmente rige como valor máximo no superable para DS1. Además, sería pertinente una respuesta por parte de MAA sobre qué acciones tomará a partir del resultado del modelado realizado por Matrix Solutions.

2.5 Propuesta sobre modificación de los puntos de monitoreo

Conocer la naturaleza del agua de los afluentes es esencial para poder discriminar sus proveniencias del cauce principal del río Vis-Vis (Figura 2.45).

En función de lo expuesto previamente se aconseja que se ponga en marcha el muestreo de los pozos MW38, MW Atajo y se incorpore al muestreo la vertiente Los Baños y un pozo o punto superficial aquí denominado DS6-O/MW Las Juntas (Figuras 2.46 y 2.47). La ubicación de estos puntos de control debe ser lo suficientemente distante del curso fluvial principal de manera tal de garantizar que no haya interacción de aguas, especialmente en momentos de crecidas repentinas de los cauces fluviales.

En particular todos estos afluentes controlados por los puntos mencionados se encuentran vinculados a zonas de depósitos minerales y alteración hidrotermal que puede imprimirle al agua valores anómalos para varios elementos químicos y sustancias que no guarden relación con la presencia del dique de colas hacia la cabecera de la quebrada Vis-Vis.

- **MW38:** Controla el aporte de la quebrada de Los Jejenes o Buenaventura a lo largo de la falla de Buenaventura y recibe el aporte de las quebradas en cuyas nacientes se encuentran los depósitos minerales de Bajo El Espanto y Los Jejenes. En este punto de muestreo el pozo existente se encuentra inutilizable (presenta barro) y no se cuentan con registros históricos de datos fisicoquímicos. Se aconseja poner en marcha el muestreo sistemático para poder controlar la calidad de agua que es aportada al curso fluvial principal y si es de origen termal, considerando además que atraviesa una zona mineralizada con alteración hidrotermal similar a otros depósitos y yacimientos de la región como Bajo de la Alumbrera.

- **MW Atajo:** Controla la quebrada Atajo por donde circula el río homónimo vinculada hacia su cabecera con la mineralización y alteración hidrotermal del depósito epitermal Cerro Atajo (Au-Cu-Ag), actualmente bajo tareas de exploración. En este punto de muestreo existe un pozo de 6 m de profundidad que no posee monitoreo ni registros de datos fisicoquímicos por parte de la SEM, aunque existen monitoreos puntuales realizados por MAA en donde las concentraciones de sulfato, cloruro y conductividad alcanzan los 1065 mg/L, 95,8 mg/L y 2210 µS/cm respectivamente. Se aconseja poner en marcha el muestreo sistemático para poder controlar la calidad de agua que es aportada al curso fluvial principal.

- **DS6-O/MW Las Juntas**: Aguas abajo de DS5, este punto controlaría la intersección entre el río Vis-Vis con el afluente desde el oeste (Quebrada Las Juntas?). Cabe destacar que dicho afluente se encuentra directamente vinculado con la mineralización y alteración hidrotermal del depósito porfírico Bajo San Lucas (Au-Cu-Mo) y con la zona de alteración hidrotermal de Bajo Las Juntas. Se aconseja poner en marcha el muestreo sistemático para poder controlar la calidad de agua que es aportada al curso fluvial principal.

Además de agregar puntos de muestro al esquema actual también se podría contemplar eliminar algunos sitios a fin de balancear los costos con los puntos agregados y el tiempo de campaña de muestreo.

En la zona 1 debido a la cercanía entre los pozos MW32 y MW33 y siendo que el sector ha sido totalmente invadido por el agua del dique, inclusive generando una laguna al otro lado de los pozos entre el camino principal y las escombreras hacia el oeste, podría eliminarse alguno de los dos, preferentemente el más somero (MW32).

En la zona 2 el pozo PB16 posee un registro similar a PB25, que se encuentra aguas arriba, y a PB27. PB16 está muy cercano al pozo profundo PB27 y cumple la misma función que PB27 en lo que respecta a definir la posición espacial de la pluma de agua de proceso. Por lo tanto, podría considerarse descartarlo del plan de monitoreo.

En la zona 3 los pozos PB28 y PB36 poseen una profundidad de filtros bastante similar y se encuentran muy cerca entre sí. Además, registran parámetros químicos similares, por lo que se podría optar por eliminar alguno de los dos del monitoreo.

En la zona 4 MW26 se ubica espacialmente entre MW25 (hacia la divisoria de aguas) y MW19 (cercano a la desembocadura con la quebrada Vís-Vís). En general presenta valores intermedios sin brindar información relevante y la caracterización de la subcuenca podría representarse de forma adecuada con los otros dos pozos. Por este motivo se sugiere que se contemple la posibilidad de descartar a MW26 del plan de monitoreo.

En la zona 5 podría excluirse a PB23 ya que esta contiguo a HON1 y presenta valores químicos muy similares en promedio. También, si se pusiera en funcionamiento el pozo MW38 en la quebrada de Buenaventura, podría obviarse el muestreo de MW35 manteniendo en actividad a MW8.

Podría considerarse también discontinuar el muestreo puntual en QLB ya que la información relevada es consistente con la obtenida en el muestreo trimestral y representativa del aporte de este afluente.

De esta manera, aunque se incorporen sitios de monitoreo, podría revisarse la posibilidad de sustraer de las campañas de monitoreo a 6 pozos y una medición puntual.

2.6 Comparación de valores de laboratorio de DiPGAM con los de MAA

Si bien IATASA ha podido presenciar los procedimientos de muestreo en campo y dar certeza que se cumplen con los protocolos establecidos, existen

diferencias, a veces significativas, entre los análisis químicos realizados por la DiPGAM con respecto a los de MAA.

Se procedió a graficar para cloruro, sulfato y conductividad los valores reportados tanto por la SEM así como por MAA durante los muestreos trimestrales y debajo de cada gráfico se representó la diferencia entre los valores obtenidos (Figuras 2.48 a 2.90). De esta manera se logra visualizar de manera rápida el o los momentos en donde se registran disparidades importantes y evaluar la posible problemática acontecida. Algunos gráficos muestran un periodo más corto porque no había análisis de ambas partes para comparar.

Es esperable que los datos previos al año 2010 presenten una mayor discrepancia ya que las campañas de muestreo no se hacían en general de forma conjunta entre los dos organismos. Pero, luego de ese año, en el mayor porcentaje de los casos se tomaron las muestras en el mismo momento, sin embargo, se observan diferencias significativas en algunas ocasiones.

Actualmente se emplean duplicados y blancos intercalados en la serie de muestras de agua tomadas. Estos permiten identificar problemas de precisión y contaminación de muestra respectivamente. Sin embargo, no se emplean muestras estándar que son las que permiten evaluar la exactitud del laboratorio al momento de efectuar la medición.

Por lo tanto, en función de las discrepancias observadas y que resulta fundamental contar con datos fiables, se aconseja emplear estándares preparados por laboratorios con certificación internacional para controlar y evaluar la exactitud del laboratorio utilizado. Lo mismo sería pertinente que lo realice la empresa minera en caso de no hacerlo en la actualidad. Además, verificar si al momento de toma de muestra los procesos de filtrados realizados por cada una de las partes, así como el mecanismo de conservación y transporte, estén afectando el resultado final medido en laboratorio.

2.7 Bibliografía consultada

- Davis, J. C., 1986. Staystics and Data Analysis in Geoogy (2nd. ed). John Wiley & Sons, 646 pp. New York.

- Lepeltier, C., 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. Economic Geology, 64:538 -550.

- Merodio, J., 1985. Métodos estadísticos en geología. Publicación especial de la Asociación Geológica Argentina, serie B (didáctica y complementaria), 13, 230 p., Buenos Aires.

- Siegel, F. R., 1992. Geoquímica Aplicada. O.E.A., 170 pp., Washington D. C.

3. REVEGETACIÓN Y COBERTURA DEL DIQUE DE COLAS

3.1 Comentario inicial

Este capítulo ha tomado como ejes de sus contenidos los siguientes documentos y los criterios con que se han considerado:

3.1.1 Documentos revisados y material de referencia bibliográfica

- Los tres documentos más recientes recibidos, a saber:

  - PROGRAMA DE CONTROL AMBIENTAL – MATERIAL ALUVIAL TAMPA TAMPA – INFORME GLOBAL 2012-2015
  - PLAN DE CIERRE DE MINA REV. 03 MAA ABRIL 2018
  - DISEÑO PARA LA REVEGETACI+ON DE DIQUE DE COLAS Y BOTADEROS . PROYECTO ALUMBRERA – GLENCORE – ABRIL 2018

  De estos tres documentos sólo el último no se había revisado con anterioridad y fue recibido en el transcurso del mes de agosto del año en curso, por ello es que se centró la atención en el mismo recurriendo a los restantes en la medida en que se necesitase información adicional.

- Bibliografía específica sobre revegetación de enclaves mineros los que se citan a pie de página y en el apartado bibliográfica

- Los tres informes parciales elaborados por esta asesoría, en particular el tercero considerando que desde la entrega del mismo no se ha recibido información sustantiva en relación al tema revegetación y cobertura.

3.1.2 Criterios de análisis y procedimientos

- Dado que cada informe ha sido elaborado teniendo en cuenta que debía tener autonomía en su desarrollo constituyendo un producto en sí mismo se optó por IDENTIFICAR factores de análisis en común que vinculasen esos avances a través de una línea metodológica capaz de dar unidad al conjunto. Para ello se definieron áreas críticas o de interés a referenciar en cada

informe parcial empleando las áreas así definidas como una estructura analítica común a cada período-

- Asumir que no existe un método único para una revegetación exitosa. Cada caso ofrece potencialidades y restricciones propias que obligan a ajustar modelos de actuación. Las observaciones realizadas tienen por ello consideración de factores específicos del caso en tratamiento

- Los aspectos conceptuales y legales tienen una influencia significativa en la ejecución de las acciones de revegetación y su integración a los presupuestos de diseño de proyectos y acciones se ha tenido particularmente en cuenta

- Resulta imprescindible lograr una definición de los alcances y las limitaciones de la revegetación como elemento de estabilización del dique de colas así como la definición del marco conceptual y operativo en el cual esa acción está inserta.

- Entender al paisaje como bien un bien ambiental, complejo y diverso y contenedor primario de las acciones de restauración / revegetación, al que se ha dado particular trascendencia en estas observaciones

- Comprender el paisaje como integrador síntesis de componentes bióticos y abióticos y expresión de la calidad/salud del ambiente y de las funciones eco sistémicas

- Considerar al componente abiotico en su importante rol como soporte obligado de las comunidades vegetales y animales

- Entender las acciones de recuperación ambiental como una oportunidad para lograr mayor rentabilidad con mayor sostenibilidad ambiental

- Asumirr la necesidad e importancia de desarrollar programas específicos de revegetación desde el inicio de las actividades mineras

- Apreciar la prolongación de la explotación de Alumbrera como una oportunidad de desarrollar con mayor profundidad las acciones de recuperación ambiental

- Orientar la recuperación ambiental de la Alumbrera como un caso líder de la minería en la región

- Asumir que la prolongación de la vida útil de la alumbrera lleva a un cambio de escenarios que obliga a modifica o adecuar los

supuestos y proyectos elaborados en torno a la sostenibilidad ambiental desarrollados hasta la fecha.

- Reconocer que las comunidades locales constituyen un destinatario principal de las acciones orientadas a la recuperación ambiental y al logro de una mejor calidad de vida para la población en un marco de desarrollo sostenible.

3.2 Desarrollo analítico y evaluativo

3.2.1 Consideraciones acerca del marco legal, conceptual y operativo y el más reciente status de la explotación

Se evalúan a continuación las distintas medidas de cierre propuestas, en términos del impacto que las mismas deberán poseer a fin de dar cumplimiento al marco regulatorio vigente, destacándose los aspectos más relevantes que a continuación se detallan:

Normas nacionales de presupuestos mínimos de protección ambiental.

En el marco de lo establecido en la Ley General del Ambiente N° 25.675, su Art. 4 establece los principios de la política ambiental, entre los cuales se destaca la relevancia del Principio de Prevención, bajo el cual las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir. Por su parte, en virtud de los Art. 27 y 28, la efectividad a largo plazo de las medidas de cierre resulta de vital importancia, toda vez que una falla de las mismas podría generar procesos de afectación ambiental que, en caso de adquirir una magnitud que pueda considerarse relevante, constituirían un Daño Ambiental en los términos de la referida Ley, generando la obligación de recomposición, la cual recaerá primariamente sobre el causante, es decir, MAA, o sobre el heredero de manera subsidiaria.

Normas nacionales sectoriales aplicables a la actividad minera.

o La Ley de Inversiones Mineras N° 24.196, establece en su Art. 23 la obligación de las empresas de establecer previsiones financieras especiales para prevenir y subsanar las alteraciones que en el medio ambiente pueda ocasionar la actividad minera.

o El Art 3 de la Ley Nacional de Gestión Ambiental Minera N° 24.585 establece del mismo modo la responsabilidad por la generación de daños, mientras que el Art. 4 incluye al cierre de mina dentro de las actividades comprendidas en dicho régimen.

Normas provinciales relativas a la gestión ambiental

o La Ley provincial N° 4.865 adhiere a la Ley Nacional 24.051 sobre Residuos Peligrosos, en el marco de la cual toda corriente residual que pudiera generarse durante el proceso de cierre y pudiera configurarse como peligrosa, deberá ser gestionada en acuerdo a los lineamientos de dicha Ley.

o El Código de Aguas de la Provincia de Catamarca se identifica bajo el Decreto Ley 2.577, y regula los usos de agua y la generación de vertidos.

Normas provinciales sectoriales relativas al desarrollo, control, y gestión de la actividad minera.

o El Decreto 1318/97 establece la autoridad competente en materia ambiental minera, la cual es responsable de la evaluación del Informe de Impacto Ambiental, exige la elaboración del Plan de Manejo Ambiental en las distintas etapas, incluyendo el cese y abandono de la explotación**.**

Normas provinciales sobre regulación de cierre de minas.

o La Resolución 396/2016 aprueba la Guía para la Elaboración del Plan de Cierre para la industria minera en la Provincia de Catamarca.

Lineamientos metodológicos que se encuentran en consideración a los fines del desarrollo de un régimen nacional de cierre de minas-en consonancia con los compromisos refrendados en el Nuevo Acuerdo Federal Minero.

Considerando que las medidas de cierre deberán cumplimentar el marco regulatorio que pudiera resultar aplicable en el año 2029, resultará prudente adecuar a lineamientos regulatorios que actualmente puedan estar contemplándose en instancias de desarrollo, como por ejemplo nuevos regímenes sobre residuos, o cierre de minas

3.2.2 Consideraciones acerca del informe "Diseño para la revegetación de Dique de Cola y boatederos" de Glencore

El informe al que refiere este ítem es el último y más reciente documento al que se ha tenido acceso para la elaboración del presente, En lo esencial desarrolla el tema relativo a la REVEGETACIÓN DE ÁREAS REHABILITADAS del dique de colas y botaderos de mina LA ALUMBRERA tal cual se expresa en el resumen ejecutivo y asume las limitaciones y excepciones del caso al advertir que:

> *"Este documento se limita a reportar las condiciones identificadas en y cerca del predio, tal como eran al momento de confeccionarlo y las conclusiones alcanzadas en función de la información recopilada y lo asumido durante el proceso de evaluación y se limita al alcance de los trabajos oportunamente solicitados, acordados con el cliente y ejecutados hasta el momento de emitir el presente informe.*
>
> *Las conclusiones alcanzadas representan opinión y juicio profesional basado en la información estudiada en el transcurso de esta evaluación, no certezas científicas.*
>
> *Todas las tareas desarrolladas para la confección del documento se han ejecutado de acuerdo con las reglas del buen arte y prácticas profesionales habitualmente aceptadas y ejecutadas por consultores respetables en condiciones similares. No se otorga ningún otro tipo de garantía, explicita ni implícita."* ***(Límites y Excepciones pág. i)***

Las observaciones que aquí se formulan tienen en consideración la advertencia de los autores y se expresan dentro de los límites del caso recurriendo a señalar aquellos aspectos con los que existe algún tipo de diferencia de criterios o que se estima que requieren aclaraciones específicas, Para ello se recurrirá a copiar el párrafo al que se hace referencia a fin de facilitar la lectura e interpretación de cada comentario.

En este orden y entendiendo la limitación y alcance del trabajo se puede afirmar que no constituye un proyecto ejecutivo, sino una propuesta sintética de diseño y de criterios de revegetación, como uno de los elementos constitutivos de un PLAN DE CIERRE.

Los puntos II a V comprenden una caracterización del área a escala regional y sintetizan lo actuado por MAA en materia de revegetación en el período 2007 – 2017 según surge del listado de antecedentes obrante en la página 12, comprendiendo en este tramo en particular lo que tiene que ver con una caracterización geográfica , fitogeográfica y climática de la locación a escala regional.

No se incluye referencia a la cobertura del dique y botaderos en tanto "sustrato edáfico o soporte de la vegetación" como tampoco a las potenciales consecuencias de la generación de drenaje ácido sobre la vegetación a instalar ni de la profundidad de la cobertura y su aptitud para el uso agrícola. Como toda referencia al particular el punto 4.2 expresa:

"4.2. Dique de Colas

El Dique de Colas o de relaves, es el sitio de almacenamiento de los materiales residuales del proceso de separación de los metales explotados, se trata de materiales finos molidos sin valor económico resultantes del proceso de extracción de cobre.

Actualmente en la mayoría de la superficie los relaves se encuentran cubiertos por agua, al finalizar las operaciones, se dejará evaporar el agua presente y una vez que sea completada la estabilización de las colas, se aplicará una cobertura de material aluvial de 0,5 m encima de las misma a los fines de reducir el contacto directo con el aire y prevenir procesos de oxidación de sulfuros metálicos.

La Superficie de Dique a revegetar se estima de 900 Ha."

Los datos a los que se hace referencia no contemplan las modificaciones habidas en el escenario operativo a partir de la decisión de continuar las actividades de explotación en tunelería. Debería revisarse la incidencia del material originado en la expansión de la actividad minera en función de los requerimientos de la vegetación-

En este mismo sentido, se reitera la necesidad de contar con una caracterización del material de cobertura y de la profundidad efectiva del perfil de esa cobertura a fin de concluir con una aproximación a su aptitud para el uso agrícola, que es el tipo de uso correspondiente a una revegetación multiespecífica. Del igual modo se advierte que no se contempla la consideración de la rugosidad de superficie (aportada por el microrelieve y las geoformas) entre los factores que deberían integrarse en el diseño de la plantación. En síntesis: calidad físico-química-biológica de la cobertura, homogeneidad/heterogeneidad esperable, profundidad útil del perfil , desarrollo radicular de las especies escogidas, potenciales efectos del material de colas en contacto con las raíces, entre otras variables.

Se formula a partir de allí un diseño para la revegetación de botaderos y Dique de Colas en cuanto a la selección del diseño y método de plantación, de la secuencia de tareas , del cronograma estimativo y de los costos.asociados.

Ya en el punto 6 se abordan algunos conceptos acerca del significado de las acciones de revegetación en el marco de una restauración ambiental, arribando a un encuadre con el que se coincide y que es conveniente destacar. El Informe GT dice:

"Existen diferentes estrategias para revertir el deterioro o impacto causado por las actividades humanas, como la rehabilitación, reclamación y

restauración ecológica, que se diferencian en cuanto a objetivos, metas y compromisos en la recuperación del ecosistema.

La rehabilitación de botaderos y dique puede ser colocada en el marco de una restauración ecológica…..

En este caso la revegetación de estas áreas tiene como objetivo, crear una condición de partida para favorecer las dinámicas de sucesión que lleven a la formación de un ecosistema con funciones similares a los ecosistemas presentes en los ambientes aledaños a la minera" (Punto 6 pág 13)

Se comparte esta posición y se reitera la necesidad de consensuarla por cuanto, tal como ya se ha manifestado en los informes preliminares, un marco conceptual acorde con el marco regulatorio vigente son elementos indispensables para definir objetivos y metas y derivar de allí el proyecto correspondiente de mejoramiento ambiental.

En el punto 6.1 se aborda el tema de la justificación del método de plantación escojido, confirmando en razón de los resultados de pruebas experimentales realizadas a campo desde el 2007 en el sitio, la modalidad de plantación por plantines y esquejes.

Aunque se coincide con tal decisión, se recomienda sea considerada la posibilidad de un sistema mixto PLANTINES-SIEMBRA como medida de reaseguro. Los tiempos que quedan por delante en mérito al cambio del escenario de producción ameritarían la realización de ensayos a este respecto.

También se manifiesta acuerdo con una revegetación basada en especies nativas , pero, como ya se ha manifestado en informes previos, no se deberían descartar las alternativas que incluyan especies exóticas en situaciones de ambientes complejos en los que la aceleración de procesos sucesionales demandaría la introducción temporal de especies pioneras exóticas en etapas serales tempranas y con un manejo prudente de los sitios de aplicación.

En el punto 6.2 se inicia el tratamiento del tema costos basándose en algunas premisas entre las que se menciona la densidad de plantación, factor sin duda relevante.

No se comprende el motivo por el que se adopta una determinada densidad para diferentes especies (2.500 plantas /Ha), ni tampoco la justificación de esos valores previo al diseño de la plantación. Una determinada distribución espacial y una composición específica no deberían necesariamente plantarse a una misma densidad. Esta cuestión debería ser dependiente de ese diseño y de la consecuente

composición o patrones de plantación, así como de la estructura de la vegetación y los índices de diversidad a que se desea llegar.

En cuanto al punto 6.3 PERSONAL A EMPLEAR, aún cuando no refiere a una cuestión técnica se considera necesario manifestar desacuerdo por cuanto no se entiende que un programa que promueve un desarrollo sustentable evalúe la mano de obra con criterio exclusivamente económico y con la justificación en los menores costos. Al respecto se asigna al método de siembra directa una mayor demanda de capacitación juzgándose esto una circunstancia desfavorable por cuanto que se traduciría en mayores costos lo que se interpreta a partir de los párrafos que se transcriben:

> *"Si se plantea un horizonte de revegetación anual determinado y se compara el personal necesario, se observa que tanto el promedio mensual como los picos máximos de personal, resultan mayores para la plantación con plantines. Sin embargo, el tipo de actividades a desarrollar, no requieren un adiestramiento previo significativo. En cambio, la actividad crítica y que mayor cantidad de mano de obra requiere en el método de siembra directa, es la cosecha, la cual demanda de un alto nivel de adiestramiento y/o experiencia previa. Actualmente, el personal con experiencia en este tipo de actividad es limitado al personal que trabajó en los proyectos en MAA.*
>
> *Es decir, el comenzar a desarrollar el trabajo a gran escala implicaría para las actividades de cosecha*
>
> *una importante asignación de recursos en tareas de capacitación y al menos, la Esta primera temporada"*

Si esta interpretación es correcta, no concuerda con los objetivos que apuntan a resolver las consecuencias en desocupación al momento del cierre de mina. Para ello se han pensado estrategias que justamente están orientadas a incrementar el nivel de capacitación de la población local y a la generación de actividades productivas, una de las cuales es precisamente la cosecha de semillas de plantas nativas y la multiplicación de ejemplares. No se comprende entonces que se justifique un menor costo a expensas de la capacitación de los pobladores y del desarrollo derivado.

Sería deseable contar con los valores discriminados de mano de obra en relación a los costos totales del Plan acorde con lo afirmado en el Plan de Sostenibilidad del año 2012:

> *"**Buscamos fortalecer el desarrollo social y el crecimiento económico locales, con resultados permanentes que continúen más allá de la vida útil del yacimiento.***

El 12º Informe de Sostenibilidad de Minera Alumbrera, presenta los programas e iniciativas relacionados con el desempeño económico, social y ambiental en Argentina.
A través de esta publicación buscamos informar anualmente a la sociedad sobre la manera en que trabajamos y responder así a las expectativas de nuestros grupos de interés.
Invitamos a la comunidad a leer y descargar el documento para conocer en detalle de nuestras actividades"

Este principio se expresa también en el Plan se Sostenibilidad del año 2015:

Capacitar a las comunidades para formar parte de los proyectos de reforestación. En la sección "legado para las comunidades" del capítulo"Medio Ambiente" se explica el involucramiento de las comunidades en el proyecto de reforestación

CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO ECONÓMICO -Generar beneficios para el desarrollo socio- económico de las localidades vecinas que promuevan oportunidades de crecimiento sostenible en las regiones mineras. -Empoderar a la cadena de valor mediante capacitación y la transmisión de buenas prácticas. -Incrementar el capital humano basado en los aprendizajes vinculados a las actividades laborales, modos de trabajo y procesos de empresas grandes.

El punto 8 aborda el tema del ordenamiento de la plantación mencionándose la elección del un patrón de distribución cuadrado o rectangular con los mismos niveles de densidad.

Aquí se señalan dos aspectos con los cuales no se acuerda. Por una parte se reitera en la justificación del diseño el menor requerimiento de personal altamente capacitado por lo que no es necesaria la capacitación en tareas de supervisión así como tampoco, en razón de la estandarización del procedimiento, tampoco se requiere adiestramiento o experiencia previa además de resultar menos demandante en horas hombre. La oposición entre este justificativo a los objetivos enunciados en el Plan de Sostenibilidad es evidente y no requiere más aclaraciones: de esta forma se vulnera el propósito de **"*proveer a la calificación laboral de las comunidades locales y de promover oportunidades de trabajo*" de esos objetivos**

El otro justificativo se basa en "***antecedentes que habría de eficiencia y confiabilidad del método"***, pero en los que no se advierte estén sustentados en criterios ecológicos que apunten a restituir la diversidad específica y otras propiedades que son la causa de las funciones que presta el ecosistema. Para ello debería contarse con un estudio más profundo en el diagnóstico respectivo que

apunte a algo más que un relevamiento de especies, sin duda importante pero insuficiente . Un conocimiento de las comunidades vegetales, del comportamiento diferencial de las especies empleadas y del paisaje que ha sido sustituido por material de colas, no justificaría el reemplazo de un patrón de distribución heterogéneo como es el de un ecosistema, por una malla homogénea adecuada sin duda para cultivos comerciales para los que se prioriza rentabilidad y facilidad de manejo. Aquí el propósito buscado es la recuperación en lo posible de un paisaje asimilable al original que no ostenta esa homogeneidad. Esto a menos que se redefinan los objetivos de la revegetación y de destino o uso a futuro del área a revegetar, circunstancia de la que no se tiene conocimiento.

Valga como ejemplo el de la fotografía (Figura 3.1) que se adjunta que incorpora el relieve del sitio a recuperar y aplica otro criterio de distribución de la plantación, acorde por cierto con razones concurrentes con la protección del suelo.

Otro aspecto sobre el que se insiste es que no se han proporcionado suficientes razones para la elección de un grupo de alrededor de 7 especies para implantar en reemplazo y representación de un sistema que según el relevamiento encomendado por MA.cuenta con 87 especies :

> A partir de los datos recabados durante dos años de relevamiento exhaustivo, se realizó un inventario de las que se encuentran en la zona. El trabajo se desarrolló en Campo de Tampa Tampa, proximidades del dique de agua fresca, márgenes del dique de colas y en Campo del Arenal, este último, fuera del área de mina. **Se identificaron un total de 98 especies de plantas con flores, reunidas en 87 géneros y 37 familias**.
>
> Además de la observación e inventariado, el trabajo continúa en un vivero con laboratorio que se construyó.

La selección de especies para revegetación es uno de los pasos esenciales y debería estar justificado en criterios ecológicos tanto como en las facilidades del cultivo de cada especie.

Si bien este interrogante se ha formulado en informes anteriores no habiendo respuesta se reitera la necesidad de explicar los criterios de selección de las especies. Obsérvese que se emplean sólo 7 especies sobre un total de 87 géneros relevados y sin que se explique cuáles fueron las razones de esa elección.

Así por ejemplo, la CONABI0 – México, sugiere que las plantas valiosas para la restauración y la reforestación deben presentar las siguientes cualidades.

- Ser de fácil propagación.
- En función de las condiciones del ecosistema a restaurar deben resistir condiciones limitantes, como baja fertilidad, sequía, suelos compactados, pH alto o bajo, salinidad, etcétera.

- Tener crecimiento rápido y una relación alta de C/N
- Tener alguna utilidad adicional a su efecto restaurador; por ejemplo, producir leña, carbón, forraje nutritivo, vainas comestibles, madera o néctar.
- Nula tendencia a adquirir una propagación invasora e incontrolable.
- Que tiendan a favorecer el restablecimiento de las poblaciones de elementos de la flora y fauna nativas, proporcionándoles un hábitat y alimento.

Otro de los criterios de selección aplicables los proporciona el conocimiento de las comunidades a restaurar y que las caracterizan tanto por la estructura como por el funcionamiento del sistema. Entre ellos el Índice de Diversidad que relaciona el número de especies (riqueza) y el número de individuos de cada especie. También los índices de valor de importancia constituyen indicadores útiles para establecer criterios sustentables para la elección de especies. Este último vinculando la dominancia, densidad y frecuencia de una especie revela la importancia relativa de cada especie en una comunidad. Estos elementos de juicio parecen no haber sido considerados.

El Punto 8.3 refiere a densidad de plantación estableciendo un valor conforme a criterio profesional de 1.250 a 2.600 plantas por Ha, la que asume valores que duplican los de referencias internacionales. La bibliografía consultada da cuenta de recomendaciones de densidad de plantación en zonas áridas y semiáridas que oscilan entre 400 a 1000 plantas por Ha. **Se sugiere revisar este parámetro**.

En el Punto IX se proporciona el cálculo de costos de implantación y mantenimiento, y cuyo listado de actividades, se estima, debe responder a un proyecto ejecutivo de plantación del que no se dispone, a excepción del contenido de los Puntos VII (ACTIVIDADES PRELIMINARES) y VIII (PLANTACIÓN – ESPECIFICACIONES) que no alcanzan a tener el detalle requerible a un proyecto ejecutivo como el que se requeriría para un cálculo presupuestario.

De cualquier modo dada la prolongación del período de explotación de la mina sería útil y oportuno elaborar un proyecto con ese nivel de detalle que contemple ese nuevo escenario. Por esta razón se toma el presente como un producto preliminar que proporciona los rubros a volcar en el presupuesto del punto IX.

En estos términos la metodología de elaboración del presupuesto de revegetación de dique de colas expresado en las planillas 9.1 y 9.2 y los resultados de síntesis de la planilla 9.3, se considera una aproximación al cálculo final de costos toda vez que no se ha desarrollado aún el plan operativo de plantación con el detalle requerible, tal como ya se ha comentado: por una parte las modificaciones en las dimensiones del dique como consecuencia de la extensión de operaciones de extracción, en particular la superficie a revegetar, no estaría aún definida. Otro aspecto que se destaca es que para el presupuesto correspondiente al Dique de

Colas no se ha incluido el costo de extracción, transporte y distribución en superficie del material de cobertura. A menos que esta actividad esté contenida en otro rubro, su participación en los costos finales debe ser significativa.

No se formulan más comentarios en torno a las restantes planillas pues en principio están derivadas de las anteriores y por otra parte responden a un cronograma que no está ya vigente. Sí en cambio se incluye una instancia de comparación de presupuestos de restauración y reforestación y otro de forestación comercial obtenidos de consulta bibliográfica los que si bien no responden exactamente al modelo de plantación presentado en este informe (en rigor no hay un plan estándar que pueda ajustarse a cada caso en mérito a la gran variedad de situaciones que pueden plantearse, se entiende útil para una etapa preliminar de planificación y costeo de actividades “semejantes”.

Se ha tratado para ello de obtener un valor a moneda constante de un proyecto de restauración en zonas áridas y semiáridas en México, un proyecto de plantación de eucaliptus en la provincia de Entre Ríos y el que nos ocupa desarrollado en el punto IX. Se advierte que estos datos son meramente ilustrativos y no han de ser tomados como punto de referencia válida sino sólo comparativa.

Se ha tratado para ello de obtener un valor a moneda constante de un proyecto de restauración en zonas áridas y semiáridas en México, un proyecto de plantación de eucaliptus en la provincia de Entre Ríos y el que nos ocupa desarrollado en el punto IX. Se advierte que estos datos son meramente ilustrativos y no han de ser tomados como punto de referencia válida sino sólo comparativa (ver Tabla 3.1 para una comparación de los casos).

- **CASO MÉXICO**

Cuadro No. 8.- Concentrado de actividades de reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso del suelo en terrenos forestales para el ecosistema árido y semiárido:

Tipo de actividad	Actividad específica	Unidad de medida	Costo Unitario ($)	Cantidad mínima por ha.	Costo Total ($)
Restauración de suelos	Zanja bordo con maquinaria	m	6.63	1,000	6,630.00
Reforestación	Producción de planta	Planta	3.08	400	1,232.00
	Transporte de planta	Planta	0.34	400	136.00
	Reforestación mediante cepa común	Planta	3.85	400	1,540.00
Mantenimiento	Producción de planta	Planta	3.08	160	492.80
	Transporte de planta	Planta	0.34	160	54.40
	Reforestación mediante cepa común	Pieza	3.85	160	616.00
Protección	Brechas cortafuego	Km	5,487.91	0.058	318.30
	Cercado	km	26,193.86	0.050	1,309.69
Asistencia técnica	Asesoría técnica	ha	1,673.30	1	1,673.30
Costo total		**Hectárea**		**1**	**14,002.49**

- **CASO ENTRE RIOS – INTA**

COSTOS DE IMPLANTACION Y MANEJO DE EUCALIPTOS EN N.E. DE ENTRE RIOS
abr-17 **INTA EEA Concordia**

Costos de implantación			
Suma de Total	Año		
Tarea	0	1	Total
Control de malezas	$ 1.910	$ 4.006	$ 5.915
Control de plagas	$ 2.866	$ 1.433	$ 4.299
Fertilización	$ 1.506		$ 1.506
Plantación	$ 4.771	$ 18	$ 4.789
Preparación del terreno	$ 1.353		$ 1.353
Administración	$ 470	$ 988	$ 1.459
Total	$ 12.876	$ 6.445	$ 19.321

Costo de implantación por elemento			
	Año		
Datos	0	1	Total
Insumos	$ 3.742	$ 414	$ 4.156
Trabajo	$ 6.997	$ 4.829	$ 11.826
Costos indirectos	$ 2.138	$ 1.202	$ 3.339
Suma de Total	$ 12.876	$ 6.445	$ 19.321

Otros costos											
Suma de Total	Año										
Tarea	2	3	4	7	5	6	8	9	10	11	12
Limpieza caminos y cortafu	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114	$ 114
Raleo			$ 540	$ 540							
Poda	$ 2.336	$ 3.553									
Administración	$ 402	$ 208	$ 208	$ 208	$ 208	$ 208	$ 208	$ 208	$ 208	$ 208	$ 208
Total general	$ 2.852	$ 3.874	$ 861	$ 861	$ 322	$ 322	$ 322	$ 322	$ 322	$ 322	$ 322

Nota: Respecto al costo de implantación de 4/2016 ($16.421) se observa un aumento de cerca del 18%.

- **CASO MAA**

Proyecto N°: 170913 - 104 - Rev02
Diseño para la revegetación de Dique de Colas y Botaderos Proyecto Alumbrera - Minera Alumbrera Limited
Cliente: Glencore Abril 2018

Tabla 9-2. Costos de trasplante en Dique de Colas

Actividad	Recursos	Tiempo de trabajo (hs) Densidad 2500 plantas/ha	Costos/ha ($) 2500 plantas/ha	Tiempo de trabajo (hs) Densidad 1250 plantas/ha	Costos/ha ($) 1250 plantas/ha
Realización de surco (pre-tratamiento de suelo en área a plantar)	Motoniveladora cat 16 M con ripper de 50 cm y 20 cm de ancho con operador	1	1240	0,65	800
Carga, traslado y descarga de las macetas hasta sectores de trabajo en campo en camioneta	Camioneta y 2 viveristas	6,6	1951,12	3,3	975
Distribución de plantines a lo largo del surco	2 viveristas	3,75	1214	2,2	710
Plantación de plantines (corte de maceta plástica; ensanchado de surco, colocación de planta con pan de tierra y tapado	2 viveristas , 1 pala, 1 cuchillo para cortar maceta, bolsas para residuos	20	6478,3	10	3239,15
Riego manual de las plantas	2 viveristas con baldes (5 litros cada planta) x 2 riegos	10,375	3785,8951	6,5	2371
Dedicación del ingeniero residente	1 ingeniero 0,5 días por ha	5	2006	4	1605
Estadía en Mina	Alojamiento en campamento	87,5	7371	48,65	4085
Gasoil	Gasoil	1	925	0,65	600
Camioneta	Alquiler	45	5965	25	2982
Total			30936		17367

Tabla 3.1. Cuadro comparativo de costos estimados $/Ha. Resultados expresados en pesos argentinos convertidos al mes de setiembre de 2018.

DENSIDAD	COSTOS DE IMPLANTACIÓN $ / Ha		
	MEXICO	ENTRE RIOS	MAA
1250 PL/Ha	17,912	24.151	17.367
A 2500 PL/Ha	35,831	48.302	30.936

No se observan diferencias significativas entre los costos de los casos de México y MAA. Son en cambio más elevados en el caso Entre Ríos, lo cual se justifica en que los dos primeros tratan de costos de restauración, el segundo es una plantación comercial en la que las labores culturales y la aplicación de plaguicidas tiene una mayor incidencia en los costos finales.

3.2.3 Consideraciones acerca de la cobertura del Dique de Colas y estabilidad de cobertura prevista

CONSTITUCION, CONSTRUCCIÓN Y MONITOREO

Con respecto a las decisiones adoptadas acerca de la constitución y construcción y monitoreo de la cobertura, la última referencia que se tiene es la contenida en la Versión 1 Revisión 3 del PLAN DE CIERRE DE MINA ALUMBRERA de abril de 2018, material éste que fue revisado y comentado en el Informe preliminar N° 3 por lo que se reiteran en el presente aquellos comentarios en los párrafos que siguen..

Las características de la cobertura resultan fundamentales no solo a los fines de prevenir procesos de acidificación, sino también para brindar soporte agronómico a la cobertura vegetal. A su vez, la vegetación cumplirá un rol esencial en la prevención de procesos erosivos y en la captación de agua de lluvia que será posteriormente liberada a la atmósfera en forma de transpiración, contribuyendo de esa manera a la eficacia de todo el sistema de cierre del dique de colas. En tal sentido, la capacidad de la cobertura para favorecer el saludable crecimiento y mantenimiento autónomo de la vegetación a implantar será una premisa clave en el proceso de evaluación del Plan de Cierre. Para ello, la capacidad del sustrato Tampa-Tampa para nutrir a la vegetación, y la ausencia de factores de estrés tales como contenido de metales o potencial intrínseco de generación ácida, serán variables que deberán sustentarse en base a una caracterización minuciosa. En tal sentido, MAA no ha cumplimentado a la fecha con los requerimientos de caracterización solicitados (ítems 14 y 15) de la cédula de notificación 44/18.

Por otra parte, la efectividad de una cobertura capaz de sostener vegetación, independientemente de la configuración estratigráfica que se resuelva adoptar, estará asimismo ligada a la operación de instalación de la cobertura, la que según las modelizaciones efectuadas, deberá contemplar un período de tiempo crítico de secado de las colas. Por ello, la instalación de la cobertura deberá programarse en fases concordantes con los patrones de secado que se observen en los distintos sectores del dique. La extensión de la vida útil de las instalaciones productivas vinculada a la etapa de explotación subterránea supone una cantidad sustancial de colas que serán depositadas en el dique, por lo que las modelizaciones asociadas a la deshidratación de las colas deberán corregirse a fin de asegurar que el proceso de cierre se efectúe de manera adecuada. De acuerdo con las modelizaciones efectuadas, se presumía un plazo de 10 años para la deshidratación de las colas, período que correría a partir del año 2029, en que cesaría la producción de la fase subterránea. Asimismo, debe considerarse la posibilidad de que dicho horizonte de tiempo se prolongue aún más debido a eventuales hallazgos de nuevas áreas explotables.

ESTABILIDAD DE LA COBERTURA. ASPECTOS DE DISEÑO DE SUPERFICIE Y DE PERFIL EN RELACIÓN A LA REVEGETACIÓN

En las distintas instancias de planificación de las medidas de cierre se desarrollaron diferentes hipótesis para la configuración estratigráfica de la cobertura del dique de colas, llegando incluso a efectuarse ensayos en celdas de prueba con distintas configuraciones, y lectura en tiempo real de la evolución de distintas variables como humedad, temperatura o succión.

Si bien ninguna de las configuraciones ofreció evidencias incuestionables de efectividad a largo plazo, se observaron diferencias significativas entre las distintas alternativas, las que consideraban distintos espesores, así como la combinación con distintas granulometrías que generen efectos de barrera capilar, en complemento con geotextiles.

La evaluación de la estabilidad química de la cobertura analiza la eficacia de la misma en términos de almacenamiento transitorio de humedad proveniente de precipitaciones, favoreciendo su posterior liberación por evaporación. Este desempeño debe ser lo suficientemente eficaz para:

- Impedir el ingreso de oxígeno atmosférico que genere la oxidación de las colas y la consecuente generación de procesos de acidificación.
- Evitar la lixiviación gradual de un excedente hídrico capaz de arrastrar un posible drenaje ácido de roca así como metales pesados.
- Evitar la migración capilar ascendente de agua, a fin de prevenir la acidificación de la cobertura y su consecuente impacto sobre el sistema de revegetación.

Tanto las modelizaciones como los ensayos de campo poseen limitaciones que suponen cierta incertidumbre respecto al efectivo desempeño de la cobertura a perpetuidad, por lo que resulta necesario compensar dicha incertidumbre con decisiones conservadoras que ofrezcan mayores garantías.

En tal sentido, la modelación predictiva efectuada por MAA para arribar a la conclusión de que una cobertura de 0,5 m resulta adecuada, no ofrece una certidumbre superior a la que los ensayos empíricos de campo generaron, y cuyos resultados no respaldan como válida una cobertura de 0,5 m. Dado que el horizonte de tiempo se amplió considerablemente en virtud de la incorporación de una fase subterránea que prolongaría en 13 años el momento de inicio de la instalación de la cobertura del dique de colas, surge la oportunidad de enmarcar esta actividad dentro del concepto de cierre progresivo, para lo cual el nuevo escenario temporal provee la posibilidad de aprovisionar y acopiar gradualmente el material necesario para una cobertura de modalidad store and release que cumpla con el desempeño que fuera

determinado como más eficaz durante los ensayos efectuados en las distintas celdas de prueba que se desarrollaron. En base a los ensayos de campo efectuados por MAA, surge que ninguno de los formatos de cobertura contemplados demostró 100% de efectividad en el almacenamiento de agua de precipitación, observándose en todos los casos un excedente hídrico que lograba alcanzar las colas, e incluso atravesarlas para llegar a los lisímetros instalados. En tanto dicho excedente resulte limitado, y la cobertura resulte efectiva en la aislación de las colas del oxígeno atmosférico, puede presumirse que no se generará un proceso de acidificación.

En base a los resultados de dichos ensayos, los que fueran documentados en los sucesivos reportes, dicha cobertura deberá contemplar un espesor de material no generador de DAR de suficiente espesor como para alojar los episodios de precipitaciones que típicamente se generan en la zona de la mina, una capa subyacente de material grueso no generador de DAR que actúe como barrera para impedir la migración capilar ascendente, y la instalación, entre ambas capas, de un material geotextil no tejido que prevenga la colmatación de finos dentro de la barrera capilar y, de esta forma, garantice su integridad a largo plazo.

Asimismo, resultará necesario evitar el ingreso de escorrentía superficial de áreas aledañas al dique que pudiera sobrecargar la cobertura, y garantizar el drenaje del excedente de agua de lluvia que precipite dentro del dique, a través de los canales de captación y conducción, los que deberán estar diseñados de forma tal que aseguren su integridad y funcionalidad a largo plazo, sin un esfuerzo de mantenimiento.

La efectividad de la cobertura deberá ser clave para evitar eventuales procesos de acidificación que deterioren la cobertura vegetal. De esta forma, la cobertura vegetal logrará evitar la erosión de la cobertura y contribuir a la captación y transpiración de agua de lluvia.

En observaciones anteriores se planteó la necesidad de determinar con mayor detalle la calidad del material Tampa Tampa, más allá de su condición de no generador de DAR. Si el material Tampa Tampa no ofrece un soporte agronómico suficientemente apto para el desarrollo de la cobertura vegetal, resultará necesario retomar la premisa inicialmente considerada por MMA acerca de la incorporación de un sustrato complementario de mayor fertilidad, tal como compost generado a partir de residuos orgánicos, como biosólidos provenientes del tratamiento de los efluentes cloacales generados en la mina.

En la tercera revisión del Plan de Cierre se afirma que el espesor final a adoptar y la metodología de disposición de los materiales de cobertura están en sintonía con la factibilidad técnica y económica de su aplicación. En tal sentido, la oportunidad de prorratear costos en un mayor período de tiempo asociado a la fase de explotación

subterránea ofrece nuevas posibilidades para la conformación de una cobertura que ofrezca garantías a perpetuidad.

PROGRAMA DE MONITOREO

La ingeniería de detalle del sistema de cobertura será diseñada en base a premisas, modelos y ensayos que conllevan una cierta incertidumbre. En tal sentido, las proyecciones en términos de desempeño podrán verificarse durante los años en los que se ejecute el cierre y durante el período de post cierre, a fin de ponderar la necesidad de medidas complementarias o medidas correctivas que permitan introducir los cambios necesarios para garantizar la estabilidad química deseada en el largo plazo. Asimismo, el nuevo horizonte temporal de explotación supone la oportunidad de realizar nuevos ensayos con nuevas configuraciones y materiales, lo que permitirá arribar a diseños más efectivos, menos riesgosos y, en consecuencia, menos propensos a escenarios de contingencia que ameriten medidas correctivas.

La suficiencia de la cantidad y calidad de información que permita tomar decisiones sobre eventuales correcciones en las medidas de cierre, estará ligada a la representatividad del programa de monitoreo, pero asimismo se verá fortalecida en la medida en que las incertezas que se despejen a través de nuevos ensayos empíricos conlleve una ingeniería de detalle más eficaz.

El Plan de Monitoreo contemplado en el Plan de Cierre Rev. 3 puede considerarse suficiente a los fines propuestos, aunque se recomienda que el horizonte mínimo de monitoreo, luego de ejecutadas las acciones de cierre final, no sea inferior a los 10 años, pudiendo acotarse la densidad y frecuencia de muestreo en la medida en que los resultados reflejen la efectividad de las medidas de cierre.

Un factor clave que deberá ser monitoreado es el comportamiento de la cobertura en sus distintos estratos, en términos de contenido de humedad, acidez, presencia de metales, y demás variables que reflejen no solo la capacidad demostrada de la cobertura para almacenar y liberar humedad, sino también identificar procesos de migración capilar ascendente que pudieran deteriorar la cobertura y afectar a la vegetación implantada**.**

3.3 Conclusiones finales y recomendaciones

- Los objetivos planteados para el Plan de Cierre en su versión 3 están orientados a generar una condición de restauración ambiental, entendida como la restitución de los espacios físicos que fueran ocupados por la operación minera a una condición cercana a la del ambiente circundante a la misma. En concreto, esta condición se encuentra sujeta al logro de la

estabilidad física, estabilidad química, e integración con los sistemas y condiciones naturales propios del área de estudio.

Este comentario está ligado a la necesidad y conveniencia de establecer un alcance más preciso de las intervenciones orientadas a la restauración discutiendo y consensuando las interpretaciones posibles de lo determinado en este particular por la Ley 24.585 toda vez que es factible adoptar en circunstancias disímiles de metas a lograr en un proceso de recuperación ambiental y siempre dentro de un marco amplio como el que propone esta ley. Esta amplitud se manifiesta en las siguientes definiciones expuestas en el mismo glosario:

- Recomposición: conjunto de acciones de protección del ambiente que comprenden la mitigación, la rehabilitación o restauración del impacto negativo, según correspondiere.

- Rehabilitación: acción de restablecimiento de la función productiva o aptitud potencial de un recurso hídrico o del suelo.

- Restauración: acción de reposición o restablecimiento de un sitio histórico o arqueológico a las condiciones originales o anteriores a la actividad minera.

La amplitud de criterios y alcances que proporciona la Ley 24.585 es una oportunidad para el logro de los mejores resultados en escensarios diferentes y otorga al cuerpo normativo una ventaja sobre modelos regulatorios rígidos.

- En tal sentido, la eficacia de las medidas de cierre contempladas está ligada no solo a la performance intrínseca de las mismas, sino al impacto que eventuales deficiencias en un componente pudieran tener sobre el resto de los componentes. Garantizar que el cierre del Dique de Colas logre controlar los procesos erosivos, dependerá de la eficacia del sistema de revegetación. Por su parte, la supervivencia del sistema de revegetación dependerá en parte de la eficacia de la cobertura de cierre para prevenir la oxidación de las colas que pudieran, entre otros efectos, generar la acidificación y potenciar la migración de metales hacia la zona radicular.

- En virtud de ello, de la evaluación del Plan de Cierre V3, y en vista de que la conformación de los distintos componentes de la mina se verá modificada sustancialmente con motivo de la extensión de la vida útil de la mina, se recomienda elaborar modelos que integren las distintas medidas de cierre,

reflejando no solo la efectividad de cada una, sino también los efectos encadenados que con el paso de los años podrían manifestarse. A tal efecto, se recomienda incluir un análisis de árbol de fallas que permita articular variables de distintos sistemas y proyectar e incluso estimar probabilísticamente, los posibles incidentes y efectos adversos asociados que pudieran suscitarse.

- Profundizar aspectos revegetación incluyendo paisaje y uso futuro

- Crear un centro de referencia en restauración ambiental de explotaciones mineras en ARGENTINA

- Promover la apropiación de la actividad y de las actividades derivadas por parte de la población local

- Promover la relación ambiente -. actividad minera para entender el cuidado del ambiente en una locación minera como una oportunidad de utilización sustentable de los recursos mineros generando al mismo tiempo un cuerpo de actividades económicas innovadoras capaces de enriquecer el perfil productivo provincial

En el Anexo 1 se sintetizan las conclusiones y recomendaciones por áreas de interés.

En el Anexo 2 se muestran fotografías tomadas en las visitas a Mina pertinentes a este apartado.

3.4 Bibliografía

- Bussière, Bruno, Michel Aubertin, Mostafa Benzaazoua y Danielle Gagnon. URSTM-UQAT, Rouyn-Noranda MODELO DE ESTIMACIÓN DE COSTOS DE RESTAURACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS MINEROS GENERADORES DE DAM, Québec 2École Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, 2015
- Carrizo, Julieta, Graciela Esteban, Virginia Córdoba para Minera Alumbrera - Guía de Vegetación Nativa Bajo de la Alumbrera - Mina y oficinas centrales4139 Distrito de Hualfín Departamento Belén Provincia de Catamarca Diciembre de 2006
- COMISION NACIONAL FORESTAL - MEXICO -- ACUERDO mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación. 2014

- IRAM - Esquema 1 de norma IRAM 29557 – Calidad del Suelo – Calidad Ambiental. Calidad del suelo. Caracterización de suelo excavado y otros materiales tipo suelo destinados a reuso
- Vanegas López, M. 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 "Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras". CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. México. 158 p
- VARGAS, Orlando, LOS PASOS FUNDAMENTALES EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA- Universidad Nacional de Colombia.
- Vera Luis, Larocca Federico. INTA EEA Concordia "Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el nordeste de Entre Ríos; manejo tradicional vs. con raleos" http://inta.gob.ar/documentos/costos-de-implantacion-y-manejo-de-eucaliptos-en-n.e.-Eentrerios

4. ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE DRENAJES LATERALES Y DE FUNDACIÓN DEL MURALLÓN QUE COLECTAN LAS FILTRACIONES Y LAS CONDUCEN A UNA PILETA DE CAPTACIÓN DE DRENAJES SITUADA AGUAS ABAJO DEL DIQUE (DCP).

De acuerdo con la información proporcionada por la DiPGAM en el presente contrato, se cuenta con caudales registrados en los vertederos del dren de muro y dren de fundación del Dique de Colas correspondiente al período desarrollado entre el 30/06/2016 y el 24/06/2018.

En el Informe Final "ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA: ESTABILIDAD QUÍMICA" desarrollado por IATASA en Mayo de 2017, se analizaron los caudales registrados en los vertederos del dren de muro y dren de fundación para las etapas 17 y 18, mediante un análisis de las redes de infiltración con el GeoStudio 2007: Seep/W.

Los caudales obtenidos de un modelo bidimensional dieron valores del orden de los caudales promedios aforados por el dren de muro y dren de fundación durante la construcción de la etapa 17 y 18.

Según el cronograma presentado por Minera Alumbrera en las respuestas a la "Cedula de Notificación DiPGAM Departamento de programas especiales Nº 131/17, la etapa 19 se inició el 20 de agosto de 2017 y hasta el 21 de marzo de 2018 se encontraban un 72% de las tareas ejecutadas.

En las Figuras 4.1 y 4.2 se presentan gráficos donde se relaciona los caudales registrados en los vertederos del dren de muro y dren de fundación y el nivel de agua de la laguna de sobrenadante, durante la construcción de las etapas 17, 18 y 19.

Como puede observarse en las mencionadas figuras, no existe una dependencia significativa entre los caudales del dren de muro y dren de fundación con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de las etapas 17, 18 y 19.

En la etapa 19 el caudal promedio en el dren de fundación es de 46 l/seg con un incremento hacia finales de la misma de 56 l/seg. Esto representa una disminución del orden del 30% en el caudal promedio del dren de fundación respecto de las etapas 17 y 18, que puede ser producto de una mayor lejanía de la laguna sobrenadante respecto al coronamiento del Dique de colas (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Caudal promedio aforado del dren de Muro y dren de fundación durante las etapas 17, 18 y 19 sobre la base de datos de Minera Alumbrera provistos por la DiPGAM.

Etapa	Caudal Promedio aforado Dren de muro (l/seg)	Caudal promedio aforado Dren de fundación (l/seg)
17	36	76
18	38	69
19	38	46

Teniendo en cuenta los datos disponibles, se evaluó el conjunto de drenajes laterales y de fundación de la presa, para la etapa 19, mediante un análisis de las redes de infiltración con el software GeoStudio 2007: Seep/W.

Para la modelización se ingresó la geometría de la sección de la presa para la cota de coronamiento de 2347m, correspondiente a la etapa 19 (ver figura 4.3).

Luego se modeló la estratificación de los relaves y las permeabilidades de cada material, teniendo en cuenta los modelos para el estudio de infiltraciones y posibilidad de sifonamiento en fundación y presa desarrollados por IATASA en el informe final del 13 de Noviembre de 2014 (“CONSULTORIA TÉCNICA DE INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS: DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA”).

En estos modelos se utilizaron, para la estratificación del material de colas los datos aportados en el estudio realizado en el año 2013 (“Actualización Estudio Geotécnico Alumbrera Rev 1. (Ref. No. SA201-00001/37-01 Rev. 1)”), donde se tomó como referencia el sondeo 3 que coincide con la sección de máxima altura modelada. Según los estudios realizados en esta campaña se definió un estrato superior de 16m de espesor que mayoritariamente está compuesto por arenas limosas SM (según la clasificación SUCS), que se asume que continúa hasta el nivel, que alcancen los relaves, correspondiente a la cota de coronamiento 2347m. Subyacen limos de baja plasticidad de clasificación ML, en un espesor de 97m.

En cuanto a las permeabilidades, las mismas fueron obtenidas de los ant**e**cedentes disponibles. En el siguiente cuadro se informan las permeabilidades promedio y máxima (las celdas en verde indican los valores utilizados en los modelos):

Tabla 4.2. Permeabilidades adoptadas para los materiales de la presa sobre la base del Informe Final “CONSULTORIA TÉCNICA DE INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS: DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA” – IATASA 2014.

	K prom (cm/s)	K max (cm/s)
z 1	1*10^-4	1*10^-4
z 1ª	1*10^-4	1*10^-4
z 2	3*10^-4	5*10^-3
z 4	1*10^-3	1*10^-3
z 5	1*10^-3	1*10^-3
z 6	1*10^-3	1*10^-3
z 7	3*10^-4	5*10^-4
z 8	1*10^-3	1*10^-3
z 9	3*10^-3	5*10^-3
z 10	3*10^-3	5*10^-3
z 11	3*10^-3	5*10^-3
Relaves	Kh	Kv

	K prom (cm/s)	K max (cm/s)
SM	1,16*10^-3	5,79*10^-4
ML	1,04*10^-3	5,21*10^-4
Aluvión	3*10^-3	5*10^-3
Roca madre intacta	5*10^-5	5*10^-5

Con el objetivo de representar las condiciones durante la construcción, el modelo se extendió 1500 m hacia aguas arriba del cierre hasta alcanzar la laguna de sobrenadantes, donde se fijó el pelo de agua libre; y hacia aguas abajo hasta la zona de la Pileta Colectora de Drenaje (DCP).

La cota de pelo de agua libre de la laguna de sobrenadante se determinó, considerando una cota promedio representativa a lo largo de la construcción de la etapa 19 de 2338m.

A su vez se incorporó al modelo un caudal específico de extracción en la zona del dren de muro que simula su efecto. El cálculo de dicho caudal se efectuó teniendo en cuenta el caudal real promedio que escurrió por el dren aforado durante la etapa 19 (antes de verterse en la DCP) y la longitud de desarrollo del dren estimada en 2.950m, dando un valor promedio 0,013 l/seg/m.

Para simular el efecto del bombeo de los pozos, se agregó al modelo una altura piezométrica en la zona de de los pozos de retrobombeo, representativo del nivel dinámico de los mismos.

En las Figuras 4.4 y 4.5 se puede apreciar la red de escurrimiento en todo su desarrollo y en detalle de la zona de presa durante la construcción de la etapa 19.

Teniendo en cuenta las líneas de corrientes o vectores de velocidad, se determinó una sección representativa del caudal captado por el dren de fundación de la presa.

En la figura 4.6 se visualizan la sección trazada al pie de la presa y el caudal específico (m^3/seg/m) obtenido del modelo.

El caudal específico del dren de fundación obtenido de un modelo bidimensional, tal como se aprecia en la figura 4.6, fue de 0,117 l/seg/m, que multiplicado por un desarrollo de la presa adoptado de 550m (que es la longitud de los filtros de

fundación), da un caudal de 64 l/seg. Este valor es del orden del caudal aforado por el dren de fundación hacia finales de la etapa 19 (56 l/seg).

Por otra parte, se analizaron los datos de sólidos en suspensión y turbidez tomados de muestras de aguas superficiales en el punto DCP/DCP-2 para evaluar el arrastre de sólidos. En este punto, se extrae la muestra de agua directamente del canal que colecta los drenajes del dren de muro del Dique de Colas y los transporta hacia la pileta de captación de drenajes.

En figura 4.7 se presenta un gráfico donde se visualiza toda la información detallada de los valores obtenidos de sólidos en suspensión y turbidez en las muestras de agua mencionadas y el nivel de agua de la laguna de sobrenadante. Los valores de sólidos en suspensión indicados en la figura como 20mg/L representan valores <20mg/L (límite inferior del rango de trabajo).

Las mediciones realizadas durante las etapas 18 y 19 se encuentran estables, no evidenciando arrastre de sólidos, ni turbidez, mostrando un buen comportamiento del dren de muro del Dique de Colas. Estas mediciones no permiten evaluar el arrastre de sólidos en el dren de fundación, por lo que se recomienda realizar también la medición de sólidos en suspensión y turbidez en el mismo.

5. ANÁLISIS EN LO RELATIVO A LA SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA HÍDRICA ASOCIADA AL SISTEMA DE DEPOSICIÓN DE LAS COLAS.

Se ha revisado el documento “ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO (Ref. No. SA201-00001/59-0100 Rev.0., Knight Piésold, Mayo 2018)”, presentado en las respuestas a la *Cedula de Notificación Nº 044/18*. A partir del análisis del mismo surgen los siguientes comentarios:

1. SECCIÓN “1.0 INTRODUCCIÓN”, punto “1.1 GENERALIDADES”:
    - Sería conveniente aclarar el significado de la sigla “MAA”.
    - Se considera que el primer párrafo de la página 2 del Documento debería ser redactado con mayor detalle, a fin de permitir una correcta interpretación.
    - En el segundo párrafo de la página 2 del Documento se señala: “De acuerdo a lo antes mencionado , en el presente informe se describen las etapas de: actualización de estadística hidrológica; análisis pluviométrico; identificación y caracterización de las cuencas asociadas a las quebradas que drenan al área del tranque de relaves, determinación de los mencionados caudales de crecidas de las sub-cuencas drenantes al sitio del tranque mediante modelo numérico de precipitación-escorrentía, y estimación de volumen de arrastre de sedimentos producto de las

tormentas de diseño en sector Dique de Colas.” El término “tranque” no es de uso habitual en Argentina, por ello se considera conveniente el empleo de “embalse”.

2. SECCIÓN “3.0 METODOLOGÍA”, punto “3.1 ESTADÍSTICA PRECIPITACIONES CONSIDERADA”:
   - El título del punto debería ser “ESTADÍSTICA DE PRECIPITACIONES CONSIDERADAS”.
   - En el tercer párrafo de la página 6, se señala: *“Considerando la estadística presentada en el Cuadro 2.1-1…”*. El mencionado cuadro no muestra una estadística, indica el registro disponible en cada estación.
   - Revisar la redacción del cuarto párrafo de la página 6.
3. SECCIÓN “3.0 METODOLOGÍA”, punto “3.2 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO”:
   - Debería presentarse la serie de datos que dio origen a la estadística de las precipitaciones de 24 horas de duración cuyos valores se indican en el Cuadro 3.2-1.
   - En el quinto párrafo de la página 6 se dice que los valores que se presentan en el Cuadro 3.2-1 son registros. Esta afirmación no es correcta, se trata de los valores que surgen del ajuste estadístico realizado, el que debería ser presentado.
   - No se considera correcto el Título del Cuadro 3.2-1.
   - No se explica por qué se considera la duración de 72 horas.
   - La expresión de Bell tiene un rango de validez comprendido entre duraciones de 5 a 120 minutos, por lo que su uso para establecer los valores atribuidos a 72 horas de duración no parece correcto.
4. SECCIÓN “3.0 METODOLOGÍA”, punto “3.3 DEFINICIÓN DE CUENCAS APORTANTES”:
   - La cuenca 10 no debería ser mencionada en el primer párrafo de la página 8, ni indicada en la Ilustración 3.3-1 bajo el título “Cuencas Afluentes al Dique de Colas”. Esto se debe a que, tal como se indica en el texto de página 8, esta cuenca no aporta al Dique de Colas.
5. SECCIÓN “3.0 METODOLOGÍA”, punto “3.4 ESTIMACIÓN DE VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DEL DIQUE DE COLAS”:
   - Debería explicarse en forma más clara lo desarrollado en este punto. Dicha explicación debería contener las tablas y las figuras necesarias.

- Se menciona el “Apéndice A, pero no se presenta como tal (sólo hay unas tablas y figuras al final del texto).
- Los valores indicados en página 9 difieren de los indicados en las tablas y figuras presentadas al final del texto.
- En el último párrafo de la página 9, se menciona una figura del Apéndice A que muestra el espejo de agua y se hace referencia a que el mismo no ingresa al “canal federal” ni al “norte del depósito”. En la figura presentada al final del texto, no se indica el canal federal ni la ubicación del sector mencionado.

6. SECCIÓN “3.0 METODOLOGÍA”, punto “3.5 MODELO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA”:
   - Deberían presentarse las corridas efectuadas con el modelo de transformación lluvia – caudal (HEC – HMS).
   - En la Ilustración 3.5-1 se designa al Dique de Colas como “Tranque de relaves”. Se considera conveniente utilizar la designación indicada en la Ilustración 3.5-1 (Dique de Colas).
   - En la página 11, se indica: “El tranque de relaves fue modelado con la curva de llenado incorporada en el Plan de Cierre”. Se debería presentar la mencionada curva.
   - Se debería presentar la fórmula de Grunsky, mencionada en el punto 3.5.2, y explicar por qué y cómo se la ha empleado.
   - Revisar y adecuar la redacción del primer párrafo del punto 3.5.2 Precipitación Efectiva (página 11).
   - En los puntos 3.5.3 y 3.5.4 reemplazar el término “peak” por “pico”.
   - El coeficiente “Cp” indicado en página 12 (0.4) parece bajo.
   - En el último párrafo de la página 12, se debería indicar que el término PMP corresponde a la Precipitación Máxima Probable. Además se debería indicar cómo ha sido estimada.
   - La Ilustración 3.5-2 se designa con el título “Hidrogramas Precipitación Máxima Probable”. Debería designarse con el título “Hietogramas Precipitación Máxima Probable”.
   - En el Cuadro 3.5-1, reemplazar término “peak” por “pico”.
   - Ilustraciones 3.5-3, 4 y 5, aclarar el significado del término “TMS”.

7. SECCIÓN “3.0 METODOLOGÍA”, punto “3.6 COMPARACIÓN VOLÚMENES DE CRECIDA CON CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEPÓSITO DE RELAVES”:
    - Se debería presentar el modelo empleado y las corridas efectuadas.
    - Se deberían explicar con mayor detalle los análisis efectuados.
8. SECCIÓN “4.0 CONCLUSIONES”:
    - Reemplazar el término “peak” por “pico”.

Se deberá efectuar una revisión del Informe teniendo en cuenta los comentarios realizados en los puntos indicados anteriormente. Asimismo, se considera que el Informe debe ser autosuficiente, es decir que debe contener toda la información a la que se hace referencia en el mismo y el detalle de los cálculos efectuados, de forma tal de que pueda ser interpretado por cualquier lector y no sólo por aquellos que eventualmente recuerden la historia del proceso desarrollado a lo largo de los años.

Para el caso del nuevo escenario planteado en el “Plan de Cierre de Mina Rev.3” (Minera Alumbrera, abril 2018) en el que la cota superior del cierre es 2352 metros, se deberá realizar el mismo análisis efectuado en el Informe ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO (Ref. No. SA201-00001/59-0100 Rev.0., Knight Piésold, Mayo 2018)”.

Teniendo en cuenta que en el nuevo escenario el dique de colas va a estar operativo 10 años más hasta el cierre definitivo, se deberá realizar un estudio de Análisis de Riesgo para evaluar cuales son las crecidas que se deberán tener en cuenta en esos 10 años y verificar que la obra no se encuentre en riesgo hidrológico de falla.

Por otra parte, no se dispuso del Plan de Cierre a nivel de Ingeniería de Detalle, comprometido para Julio de 2018 en las respuestas a las cédulas de Notificación Nº 045/18 y 097/17.

6. INTEGRACIÓN DE TODOS LOS ASPECTOS EVALUADOS EN RECOMENDACIONES PARA UN DISEÑO INGENIERIL RELACIONADO CON LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA

No se dispuso del Plan de Cierre a nivel de Ingeniería de Detalle, comprometido para Julio de 2018 en las respuestas a las cédulas de Notificación Nº 045/18 y 097/17.

Se recomienda que el mismo contenga: memorias descriptivas, memorias de cálculo, planos, cómputos, precios unitarios, presupuesto y especificaciones técnicas

generales y particulares de cada ítem de las obras de cierre. Los tiempos necesarios de Proyecto y su revisión, continuando con el proceso de licitación, adjudicación y finalmente el de construcción y auditoría de las obras serán significativos, por lo que se recomienda que se compatibilicen estos tiempos con la fecha de cierre de mina y el plan de obra.

Teniendo en cuenta que, si bien se trata de una obra en construcción, dada la extensión del plazo considerada (10 años), se recomienda que se construya con las exigencias de seguridad de una obra permanente.

7. ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

En el Informe Final “ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA: AUSCULTACIÓN” desarrollado por IATASA en Mayo de 2017, se analizó el instrumental presente en la presa para el conocimiento del nivel freático durante las etapas 17 y 18, observándose un elevado porcentaje de falla de los piezómetros eléctricos que impide una mejor interpretación del sistema. Por tal motivo, se reiteró la recomendación, realizada por IATASA en 2014, de instalar freatímetros en los relaves, presa y fundación para tener más datos medidos en forma directa y de esta forma permitir un mejor conocimiento del comportamiento real de la presa (incluso el químico).

De acuerdo con la información provista por la DiPGAM, durante el presente contrato, se instalaron 6 freatímetros (A0-PC1-01, A3-PC1-01, E0-PC1-01, E3-PC1-01, GTS-1-17 y Z0-PC1-01) de los 9 recomendados por IATASA. A su vez, Minera Alumbrera ejecutó un freatímetro inclinado hacia aguas abajo del dique de colas A2-PC1-05A. En la siguiente Tabla 7.1 se muestra las ubicaciones, profundidades y nivel de agua detectado durante la ejecución de los freatímetros.

Tabla 7.1. Ubicaciones, profundidades y nivel de agua detectado durante la ejecución de los freatímetros sobre la base de información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM

FREATÍMETRO	COORDENADAS		COTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL DE AGUA (m)
	E	N			

E3-PC1-01	3.444.095 ,036	6.976.192 ,724	2.345, 967	65,0	46,0
A3-PC1-01	3.444.566 ,396	6.976.086 ,193	2.345, 452	72,0	57,0
GTS-1-17	3.444.970 ,740	6.976.377 ,495	2.344, 519	67,5	54,0
A2-PC1-05A	3.444.828 ,663	6.976.176 ,750	2.346, 203	72,0 (inclinado 56º hacia aguas abajo)	Sin presencia
E0-PC1-01	3.444.009 ,776	6.975.916 ,452	2.277, 270	19,0	14,0
Z0-PC1-01	3.444.594 ,760	6.975.769 ,295	2.253, 411	23,8	Sin presencia
A0-PC1-01	3.444.914 ,293	6.975.924 ,891	2.220, 792	24,4	Sin presencia

En la figura 7.1 se puede visualizar las ubicaciones y profundidades de los freatímetros propuestos por IATASA en 2014 y las ubicaciones de los freatímetros instalados por Minera Alumbrera.

Cabe recordar que las profundidades recomendadas por IATASA para los freatímetros ubicados aguas arriba fueron entre 120m y 105m (las cuales recomendamos que sean alcanzadas en los ejecutados en las proximidades de los freatímetros 1 a 5, propuestos por IATASA), como se puede ver en la figura 7.1, con el objetivo de atravesar las colas en toda su altura y de esta manera poder evaluar el descenso del nivel de agua que se producirá durante el cierre de mina. En la tabla 7.2 se realiza una comparativa entre los freatímetros propuesto por IATASA y los ejecutados por Minera Alumbrera.

Tabla 7.2. Freatímetros propuestos por IATASA y freatímetros instalados por Minera Alumbrera

Freatímetros propuesto por IATASA	Profundidad (m)	Freatímetros instalados por Minera Alumbrera	Profundidad (m)	Recomendación
1	120	-		Ejecutar freatímetro
2	105	E3-PC1-01	65	Alcanzar profundidad indicada por IATASA
3	115	A3-PC1-01	72	Alcanzar profundidad indicada por IATASA
4	125	-		Ejecutar freatímetro
5	115	GTS-1-17	67,5	Alcanzar profundidad indicada por IATASA
6	10	E0-PC1-01	19	-
7	15	Z0-PC1-01	23,8	-
8	15	A0-PC1-01	24,4	-
9	10	-		Ejecutar freatímetro
No indicado		A2-PC1-05A	72 (inclinado 56º hacia aguas abajo)	-

Además se debe considerar la protección de los pozos a ubicar aguas abajo, ya que falta aún la construcción de la cobertura y se debe tener en cuenta que se ha recomendado que el talud final (conforme a obra) de la presa sea 1V:2H.

Asimismo, debido a que en el "Plan de Cierre de Mina Rev.3" (Minera Alumbrera, abril 2018) se contempla continuar con la explotación del yacimiento Bajo de la Alumbrera bajo la modalidad subterránea, implicando un recrecimiento del muro del Dique de Colas hasta alcanzar una cota final de 2.352 m, se recomienda la prolongación del caño de los freatímetros a medida que recrecen los relaves hasta alcanzar su cota definitiva.

Por otro lado, de acuerdo con la información proporcionada por la DiPGAM en el presente contrato, se cuenta con registros de niveles piezométricos correspondientes al período desarrollado entre el 30/06/2016 y el 24/06/2018.

Teniendo en cuenta estos datos, con la modelización de redes de infiltración desarrollada en el punto 5. Análisis del conjunto de drenajes laterales y de fundación del murallón que colectan las filtraciones y las conducen a una pileta de captación de drenajes situada aguas abajo del Dique (DCP), para la etapa 19, se analizaron las mediciones arrojadas por los piezómetros eléctricos de cuerda vibrante. El perfil de la presa utilizado en la modelización se encuentra entre los grupos de instrumentación A y B (ver figura 7.2).

En las figuras 7.3 a 7.20 se muestra la variación temporal de los niveles piezométricos (en el eje de la ordenada principal, con cotas) de los piezómetros de cuerda vibrante de los grupos de instrumentación A y B y el nivel de agua de la laguna de sobrenadante (en el eje de la ordenada secundaria, con cotas) durante la construcción de las etapas 17, 18 y 19. Además, se incluyen gráficos que relacionan los niveles piezométricos con el nivel de agua de la laguna sobrenadante para evaluar su correlación.

Como se puede observar en las mencionadas figuras, la mayoría de los niveles piezométricos de los grupos de instrumentación A y B se mantienen relativamente constantes con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de las etapas 17, 18 y 19.

Dentro del grupo de instrumentación A, los piezómetros A3-PE1-13, A3-PE1-03a y A2-PE-04 indican cotas piezométricas entre 2256 a 2258m durante la construcción de la etapa 19 y el A2-PE-02 entre cotas 2208 a 2207m. Estos 4 piezómetros indican valores con un rango de precisión de +/-5m respecto de los obtenidos del modelo (ver figuras 7.21 y 7.22).

En cuanto al grupo de instrumentación B, el piezómetro B3-PE1-03 indica cotas piezométricas entre cotas 2264,5 a 2265,5m durante la construcción de la etapa 19,

el piezómetro B3-PE1-13 entre cotas 2259 a 2260m y los piezómetros B2-PE1-02 y B2-PE1-03 entre cotas 2205 a 2207m. Estos 4 piezómetros miden valores con un rango de precisión +/-5m respecto de los obtenidos del modelo, representando un 19% de los piezómetros instalados (ver figuras 7.21 a 7.22).

De los análisis se observa, como ya se ha mencionado anteriormente, que el porcentaje de falla de los piezómetros eléctricos es elevado, impidiendo una mejor interpretación del sistema. **Por tal motivo, resulta conveniente tener datos medidos en forma directa a través de los freatímetros instalados, de manera tal que puedan compararse con los del modelo y sirvan para su ajuste.**

Las mediciones que se realicen en los freatímetros permitirán comparar las lecturas con los piezómetros eléctricos. Se recomienda tomar la misma frecuencia de lectura de los freatímetros y los piezómetros eléctricos. Servirán, además, para tomar muestras de agua que podrán ser sometidas a análisis químicos.

8. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL TALUD A TRAVÉS DEL MÉTODO ESTÁTICO Y PSEUDO ESTÁTICO

De acuerdo con el "Plan de Cierre de Mina Rev.3" (Minera Alumbrera, abril 2018), se contempla continuar la explotación del yacimiento Bajo de la Alumbrera bajo la modalidad subterránea, extendiéndose así la vida útil del proyecto hasta el año 2029. Esto implicaría un recrecimiento del muro del Dique de Colas de 1m de altura los años 2019-2021-2023-2025-2027 hasta alcanzar una cota final de 2.352 m.

Como el Dique de Colas fue diseñado para una cota máxima de coronamiento de 2.347m., se recomienda que se solicite a Minera Alumbrera el proyecto de la presa para alcanzar la cota final de 2.352m, con sus correspondientes cálculos de estabilidad estática y dinámica de taludes y espesores de cobertura a colocar para asegurar la estabilidad química.

Cabe señalar que en el Informe Final "ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA: AUSCULTACIÓN" desarrollado por IATASA en Mayo de 2017, se revisó "Plan de Cierre de Mina" (Minera Alumbrera, 2016). En el mismo se presentaban cálculos de estabilidad estática y dinámica del Dique de Colas para la cota de coronamiento de 2.347m y un talud aguas abajo de 1(v):1,75(h).

Sobre la base de los análisis de estabilidad de talud de la presa efectuados por IATASA, se realizaron las siguientes recomendaciones:

- Adoptar un talud aguas abajo de la presa de relaves de 1(v):2(h) (igual pendiente a la adoptada al inicio del proyecto de Minera Alumbrera), que podría lograrse compatibilizando la metodología constructiva a adoptar en

las futuras etapas hasta el cierre con la ejecución de la cobertura de protección para asegurar la estabilidad química.

- Se recomienda requerir durante la construcción, un relevamiento topográfico de toda la presa de relaves (planialtimetría y perfiles transversales cada 200m), especialmente del coronamiento, pendientes de los taludes hacia aguas abajo y pie de talud. Esto permitirá corregir, si fuese el caso, apartamientos de las líneas del proyecto. Finalmente, se considera que se deben presentar los planos correspondientes "conforme a obra".

9. ESTUDIO DE TENSIONES-DEFORMACIONES DEL DIQUE DE COLAS

En el Informe Final “ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA: AUSCULTACIÓN” desarrollado por IATASA en Mayo de 2017, se analizaron las mediciones de asentamientos y movimientos del Dique de Colas. Las mismas se realizan a través de lecturas topográficas de prismas instalados en el espaldón (caseta 3) mediante una estación robótica que cuenta con un sistema conformado por una estación total marca Leica Serie 1200. En la figura 9.1 se presenta un esquema de ubicación de los mismos.

En su momento, se enviaron comentarios a la DiPGAM acerca del actual sistema de medición, debido a que al procesar los datos disponibles de lecturas topográficas de la caseta 3, se observaron anomalías que requerían su interpretación o corrección. A Continuación se muestran ejemplos de las anomalías mencionadas:

- En algunos casos la cota inicial de los prismas topográficos descendía hasta el 4/7/2015, donde luego se presentaba un salto ascendente y continuaba su descenso hasta el 25/9/2015 (ver figura 9.2).
- En otros casos las mediciones mostraban que la cota inicial de los prismas ascendía hasta el 4/7/2015, donde luego también presentaba un salto, en este caso, descendente y continuaba su ascenso hasta el 25/9/2015 (ver figura 9.3).

Ante esta situación Minera Alumbrera respondió en la “Cédula de Notificación DiPGAM Nº 154/16”, cómo se corrigió la situación a partir de junio del 2016 observándose una lectura relativamente uniforme a partir de esa fecha. En las figuras 9.4 y 9.5 se muestran algunos de los gráficos presentados por Minera Alumbrera.

Actualmente se cuenta con lecturas de asentamiento en monolitos topográficos correspondiente al período desarrollado entre el 30/06/2016 y el 24/06/2017.

En relación con estos registros se nota que a partir del 07/09/2017 se vuelven a presentar las anomalías mencionadas en el Informe Final "ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA: AUSCULTACIÓN" desarrollado por IATASA en Mayo de 2017. En las figuras 9.6 y 9.7 se muestran ejemplo de las mismas.

De acuerdo con este análisis se recomienda a la DiPGAM solicitar a Minera Alumbrera lo siguiente:

- Aclarar la causa por la cual en algunos prismas topográficos, las cotas presentaban saltos de importancia, como los que surgen de las lecturas procesadas.
- Aclarar la causa por la cual en algunas mediciones de prismas se mostraban ascensos de las cotas, como los que surgen de las lecturas tomadas.
- Detallar la metodología utilizada en las mediciones, elaborar gráficos representando, en función del tiempo, las mediciones realizadas en los distintos prismas topográficos en el espaldón aguas abajo de la presa de relaves, con la interpretación de los resultados obtenidos, sus conclusiones y recomendaciones. Éstas, deberán incluir, en los casos que correspondan, las medidas que adoptarán para corregir las anomalías observadas.
- Dada la importancia para el control de la seguridad de la presa que tiene el sistema de medición de prismas topográficos ubicados sobre el talud aguas abajo de la presa se recomienda requerir su corrección a la brevedad.
- Se recomienda requerir la instalación de puntos fijos distribuidos a lo largo de todo el coronamiento y el talud aguas abajo de la presa.
- También requerir la colocación de dos acelerógrafos con sensores remotos uno en el pie de presa (apoyado en roca) y otro en el coronamiento de la presa (en la sección de mayor altura),
- Además se recomienda requerir que se establezcan los niveles de alertas correspondientes a todas las mediciones realizadas (caudales, piezómetros eléctricos, freatímetros, prismas topográficos, variables químicas, etc).

Por otro lado, cabe recordar que en informes anteriores, se recomendó requerir la implementación de un Sistema de Auscultación Automático (SADA), que integre todas las variables físicas y químicas, con acceso a un sitio Web para poder disponer de los datos medidos en línea desde la ciudad de Catamarca.

Este sistema permitirá evaluar el comportamiento de la presa y sus componentes, de manera tal que los mensajes de alarma y respuestas lleguen a la Inspección y/o Secretaría de Estado de Minería en tiempo real.

Teniendo en cuenta que se contempla continuar la explotación del yacimiento Bajo de la Alumbrera bajo la modalidad subterránea, extendiéndose así la vida útil del proyecto hasta el año 2029, es necesaria la implementación de este sistema durante la etapa operativa.

10. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DEL VERTEDERO.

En el punto 5**. Análisis en lo relativo a la sistematización de la cuenca hídrica asociada al sistema de deposición de las colas**, se efectuaron una serie de comentarios al documento ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO (Ref. No. SA201-00001/59-0100 Rev.0., Knight Piésold, Mayo 2018)". Los mismos deberán ser tenidos en cuenta en el diseño del vertedero.

Por otra parte, no se dispuso del Plan de Cierre a nivel de Ingeniería de Detalle, comprometido para Julio de 2018 en las respuestas a las cédulas de Notificación Nº 045/18 y 097/17.

11. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO (EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES), COMO POR EJEMPLO LAS DE ATENUACIÓN DE CRECIDAS, CANALES PERIMETRALES E INTERNOS DE LA SUPERFICIE FINAL DE LAS COLAS Y VERTEDERO DE EMERGENCIA, INCLUYENDO ADUCCIÓN, DISIPADOR Y CANAL EVACUADOR.

No se dispuso del Plan de Cierre a nivel de Ingeniería de Detalle, comprometido para Julio de 2018 en las respuestas a las cédulas de Notificación Nº 045/18 y 097/17.

Se recomienda que el mismo contenga, del proyecto de la Presa de Releves, memorias descriptivas, memorias de cálculo, planos, cómputos, precios unitarios, presupuesto, análisis de precios uitarios y especificaciones técnicas generales y particulares de cada ítem de las obras de cierre (Presa de Releves y sus subcomponentes). Los tiempos necesarios de Proyecto y su revisión, continuando

con el proceso de licitación, adjudicación y finalmente el de construcción y auditoría de las obras serán significativos, por lo que se recomienda que se compatibilicen estos tiempos con la fecha de cierre de mina y el plan de obra.

Dado que está en consideración la extensión del plazo de explotación en 10 años, se recomienda avanzar con el proyecto de la presa con cota de coronamiento 2352 m y, luego, con la construcción de la adecuación de la obra ejecutada, de manera de lograr alcanzar un coeficiente de seguridad al deslizamiento igual o superior a 1,5 (con el talud de aguas abajo 1V:2H). Teniendo en cuenta que, si bien se trata de una obra en construcción, dada la extensión del plazo considerada, se recomienda que se construya como una obra permanente.

Se recomienda verificar el resguardo que tendrá la presa, teniendo en cuenta la extensión del plazo que se considera, durante la explotación, cierre y postcierre de mina.

En relación con el vertedero, analizar el riesgo que significará la extensión del plazo de explotación sin la existencia del vertedero.

12. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CIERRE DEL DIQUE DE COLAS. REVISIÓN DE ANÁLISIS DE PRECIOS

12.1 Revisión de documentos anteriores

Se han revisado los siguientes documentos:

- Plan de Cierre de Mina Rev. 2 – Minera Alumbrera YMAD – UTE. Resolución SEM Nº 396/2016. Enero 2018.
- Respuesta Cédula de Notificación SEM 076/17: Apertura de Costos Plan de Cierre de Mina Bajo de La Alumbrera y el Durazno, Costos de revegetación por siembra de semillas para rehabilitación de coberturas de botaderos de estériles y Dique de Colas y Presupuesto de operación y mantenimiento retro-bombeo anual con valores tomados a 2017.

A partir de su análisis surgen los comentarios que se presentan a continuación:

1. No se indica la fecha en que se realizaron los análisis de precios, que varían mes a mes debido a la inflación y variaciones cambiarias.
2. El precio unitario debe formarse por el costo unitario multiplicado por un coeficiente que incluya los gastos generales de la empresa, el beneficio, los gastos de financiación, impuestos varios (al cheque, ingresos brutos,

etc.) y el IVA. No se indica que coeficiente ha sido utilizado y cómo está compuesto.

3. En el ítem “Sistema de Retrobombeo”, en la planilla de Apertura de Costos, figuran Precios Unitarios, mientras que en “Botaderos (MAA + Bajo del Durazno)” y “Dique de Colas” figuran Costos Unitarios. Aclarar a qué se debe esta diferencia.
4. No se indica si en el Costo Unitario $/Hs. de equipos se incluye la mano de obra. Aclarar.
5. En el documento “Costos de revegetación por siembra de semillas para rehabilitación de coberturas de botaderos de estériles y Dique de Colas”, de Julio 2017, en la pág. 3, figura para los botaderos y el dique un costo de $155.689, pero en la planilla de Apertura de Costos figuran valores distintos. Aclarar.
6. Los valores que figuran en la planilla de Flujo de Fondos ANEXO A – BLA, BOTADEROS, en el Plan de Cierre de Mina (2018), pág. 184, no coinciden con los valores que figuran en la planilla de Apertura de Costos – BOTADEROS. Verificar.
7. No se indica de donde se obtuvieron los valores que figuran en el Flujo de Fondos del Anexo A – BLA de Infraestructura, Estación de Bombeo, Puerto, Misceláneas Plan de Cierre, Monitoreo y Mantenimiento, etc.
8. En la Apertura de Costos, no se indica cómo se obtuvieron las cantidades.
9. En el “Presupuesto de operación y mantenimiento retro-bombeo anual con valores tomados a 2017”, no se indica la fecha en que se realizaron los análisis de precios (sólo el año) y no se aclara si son costos o precios. No figura en el Flujo de Fondos del Plan de Cierre.
10. No se indica claramente como se actualizarán los valores de los presupuestos a lo largo del tiempo (si será en forma semestral o anual) y cuál es la fórmula de actualización que se aplicará.
11. No se dispuso del Plan de Cierre a nivel de Ingeniería de Detalle, comprometido para Julio de 2018 en las respuestas a las cédulas de Notificación Nº 045/18 y 097/17. Reiteramos la necesidad de contar con el mismo. Se recomienda que el mismo contenga, del proyecto de la Presa de Releves, memorias descriptivas, memorias de cálculos, planos, cómputos, precios unitarios, presupuesto, análisis de precios unitarios y especificaciones técnicas generales y particulares de cada ítem de las obras de cierre (Presa de Relaves y sus subcomponentes).

12.2 Revisión del documento "Estimación de precios-Cierre de dique.xls"

12.2.1 Análisis generales

Consideraciones generales

El presente análisis de la estimación de precios disponible se limita a la documentación recibida dentro de la cual no se contó con una memoria descriptiva de las obras a realizar, definiendo explícitamente la alternativa y/o escenario seleccionado. Tampoco se contó con una memoria del análisis de precios unitarios recibido con los criterios adoptados para el mismo.

Se evalúa asumiendo algunas hipótesis y marcando recomendaciones respecto a la documentación a solicitar para una evaluación adecuada del monto a solicitar como garantía.

Para este monto se deberá adoptar un criterio respecto a considerar que la obra la realiza Minera La Alumbrera (por sí o contratándola) o en caso de incumplimiento el monto debe cubrir una posible contratación por parte de la provincia en cuyo caso debería considerarse la incidencia del IVA y considerar tarifas de alquiler para evaluar el costo de los equipos.

Se considera que tratándose de una garantía es importante en caso de incertidumbre optar por el mayor valor.

Una vez que se disponga la ingeniería definitiva de las obras de cierre de la mina, se deberá contar con los análisis de precio actualizados y controlar en los mismos los precios de materiales, mano de obra y equipos considerados

Memoria a solicitar

Se considera que la empresa debe presentar una memoria indicando los criterios utilizados para el cálculo de cada ítem, la fuente de los distintos costos considerados y el alcance de cada ítem en cuanto a las tareas incluidas en el mismo (ejemplo: el ítem 1.2.1.1 ¿incluye la excavación, carga del material, transporte, descarga y distribución en cuenco?).

Debe indicar la jornada laboral y días de trabajo considerados, de las planillas surge una jornada de 11 horas por día contemplada tanto en personal como en equipo, no aclara días laborables lo que impide evaluar adecuamente la incidencia de horas extras.

En la misma se debe incluir la justificación de los rendimientos adoptados en función del trabajo a realizar de acuerdo con el proyecto de obras. Se considera que debe incluirse un detalle de los ciclos considerados para cada equipo en cada ítem, distancias de transporte, tipo de equipo de transporte, de carga y de distribución y compactación, indicando sus capacidades.

Resulta necesario contar con una memoria descriptiva del proyecto para poder evaluar adecuadamente los equipos y rendimientos considerados en los análisis de precios y se requiere los cómputos de volúmenes y los planos de proyecto para poder verificar los mismos.

En la situación actual del país plantear el análisis de precios a enero de 2019 no es razonable.

Se debería incluir el análisis de gastos indirectos como obrador, movilización y desmovilización, construcción y mantenimiento de caminos necesarios para las obras a realizar.

Análisis hoja coeficiente resumen

En gasto financiero considera una tasa de 1,57% mensual (anual del 18,84%), en interés del valor de los equipos toma una tasa anual de 45%. Debería unificarse la tasa considerada.

En intereses equipos considera las horas del año en base a 22 horas por día, debería considerarse 24 horas.

El consumo específico de combustible es bajo, del análisis realizado, el consumo razonable está entre 0,18 y 0,21 litros por HP hora según los equipos que se consideren. Indica que considera 10 horas diarias de funcionamiento al calcular el consumo de combustible pero en realidad calcula con 11 horas.

El coeficiente resumen no considera el IVA. Se debe confirmar con la provincia este criterio de no contemplar el IVA. Internamente la empresa compensa IVA, pero si la garantía que pide la provincia contempla la eventualidad de poder contratar directamente los trabajos que la empresa incumpla puede ser un monto importante.

Hoja mano de obra

Se verificaron los valores básicos de convenio a enero 2019, pero es posible que dicho convenio sufra modificaciones.

Fondo de desempleo según la ley es del 12% el primer año y 8% a partir del segundo, el coeficiente considerado es del 19,95%, la empresa debería justificar la diferencia.

Se considera que deben explicar las consideraciones de costos por el emplazamiento de la obra:

- Valor de la hora a pagar (difícilmente se consiga personal que trabaje en la mina por el valor horario de UOCRA zona A) De alguna forma el desarraigo debe contemplarse en el valor horario.
- Jornada laboral y días de trabajo. Incidencia de horas extras, se considera una jornada laboral de 11 horas lo que incluye horas extras no contempladas en el análisis de costos, se estima una incidencia del 14 % de incremento por las horas extras. No se aclara días de trabajo por lo que se asume que se trabaja sólo en días hábiles,
- Régimen de francos y su consideración en el costo. Está contemplado como un porcentaje de días pagados sin trabajar.
- Consideraciones de cada rubro considerado.
- En particular desarraigo y viático como 10% del costo diario podría ser bajo. La empresa debería justificar este costo.

Hoja datos equipos

Aparentemente no se utiliza en los cálculos, ni se buscan datos para otras hojas.

Hoja precio equipos

Se utilizan costos relativamente antiguos (año 2014) y no se indica la fuente de obtención, aparecen actualizaciones por índices hasta agosto 2018 y se considera ese precio como enero 2019.

Considerando la fecha actual se debería partir de precios del corriente año. No se considera adecuado calcular los precios de equipos en base a valores del año 2012, actualizándolos por índices (algunos de los cuales han sido estimados).

Llama la atención el precio relativo elevado de los rodillos compactadores (14.590.000 y 12.674.000) frente a topadoras (8.053.000 y 5.336.000)

Hoja equipos.

Aplican los comentarios anteriores para equipos.

De las planillas de análisis de precios de ítem queda claro que el costo de equipo no considera el personal, éste se incluye en la cuadrilla armada para cada ítem.

Si bien esta hoja calcula valores horarios para los equipos en realidad sólo se utilizan potencia y costo del equipo en las planillas de ítem.

12.2.2 Análisis por ítem

Ítem 1.1.1.1 Colocación cobertura. Excavación en suelos

El rendimiento de 5.500 m^3 por día resulta alto en relación al equipo considerado. Se deberá considerar un rendimiento del orden del 50% o incrementar el equipo propuesto. Como equipo de carga disponen de una cargadora frontal y una retroexcavadora.

Comparando con el ítem 1.2.1.1 para movilizar 2800 m^3 por día se emplean 2 cargadoras frontales y 1,2 retroexcavadoras.

Se asume que el análisis contempla dos equipos de excavación transporte: uno excava con la topadora y carga con la cargadora y el otro excava y carga con la retroexcavadora. En esta hipótesis la cargadora tiene un ciclo de carga de 45 segundos y la retroexcavadora un ciclo de excavación-carga de 30 segundos; estos ciclos se consideran difíciles de alcanzar e imposible de mantenerlo durante 11 horas por día.

Al no existir información de la distancia de transporte no se puede evaluar si es correcta o no la cantidad de camiones considerados.

Ítem 1.2.1.1 Relleno cobertura del cuenco

Se debería considerar un laboratorista para control de densidades y verificación de las condiciones del suelo utilizado.

Ítem 2.1.1.1 Construcción de sistema de manejo de aguas - Excavación en suelo

El rendimiento considerado resulta alto teniendo presente que en el caso de canales hay excavación gruesa y fina (perfilado) que requiere mayores tiempos de retroexcavadoras.

Ítem 2.1.1.2 Construcción de sistema de manejo de aguas - Excavación en roca

No se indica de donde se obtiene el costo horario del equipo de perforación.

No incluye el costo del experto en voladuras.

Falta considerar el topógrafo y su ayudante.

Hay un error al considerar el costo de combustible y lubricantes (se tomó sólo el valor de lubricante), al corregirlo se incrementa el precio en 23%.

Ítem 2.2.1.1 Cobertura de Canales - Relleno material esteril de mina

El rendimiento es alto ya que el espesor del orden de 0,50 m tanto en el fondo como en los taludes de los canales complica la tarea. Debe considerarse que son áreas restringidas para maniobras de los equipos de transporte y distribución.

Adoptar para el canal un rendimiento mayor que para la cobertura del cuenco no es coherente.

Debe considerarse que el relleno de fondo debería hacerse en dos capas adecuadamente compactadas.

Respecto al relleno de los taludes de los canales es necesario contar con el procedimiento de ejecución, en particular la forma de compactar manual o mecánica debido a la dimensión, y el perfilado final.

Este análisis debe rehacerse discriminando fondo y talud.

Se podría considerar un rendimiento del 50% para el fondo de los canales y del 15% para los taludes.

Debe evaluarse si resulta necesario procesar el material como por ejemplo eliminar material de mayor tamaño.

Se debería considerar un laboratorista para control de densidades y verificación de las condiciones del suelo utilizado.

Ítem 2.2.1.2 Cobertura de Canales - Relleno con enrocado

Este análisis debe rehacerse ya que el rendimiento considerado es muy alto teniendo en cuenta la dificultad de distribuir y acomodar el enrocado. Son válidos los comentarios del ítem anterior respecto a las diferencias entre fondo y talud.

Considerar un rendimiento superior al del material esteril de mina no es coherente.

No se contempla la preparación del material que seguramente requerirá eliminar material fino y el excesivamente grande.

Se debería considerar un laboratorista para verificación de las condiciones del enrocado utilizado.

Ítem 2.3.1.1 Bermas de canales - Relleno de colas + Z9.

(En este análisis sólo se determina el valor del relave. Luego se suma el proporcional por el Z9 teniendo en cuenta el precio de ítem 2,2,1,2)

Este ítem sólo contempla la ejecución del núcleo del terraplén de los canales con material de relave tratándose el recubrimiento del mismo dentro de ítem 2.2.1.1 y 2.2.1.2.

Se considera que parte del trabajo está incluido en el ítem 2.1.1.1 ya que al excavar se aporta material para las bermas. Se considera por lo tanto alcanzable el rendimiento para completar la berma en lo referente al material de relave.

Se debería considerar un laboratorista para control de densidades y verificación de las condiciones del suelo utilizado.

Ítem 3.1.1.1 Vertedero de Emergencia - Excavación en suelo

El rendimiento considerado de 7500 m^3 por día con el equipo propuesta resulta imposible de alcanzar.

Se deberá justificar dicho rendimiento con la descripción de cómo trabajan los equipos propuesto y a donde se descarga el material producto de la excavación.

Ítem 3.1.1.2 Vertedero de Emergencia - Excavación en roca

No se indica de donde se obtiene el costo horario del equipo de perforación y el mismo difiere del considerado en el ítem 2.1.1.2.

No incluye el costo del experto en voladuras.

Falta considerar el topógrafo y su ayudante.

Ítem 3.2.1.1 Vertedero de Emergencia - Hormigón H10

Debe detallar materiales y planta de hormigón necesaria de montar en el lugar de la obra.

Los valores de materiales incluyendo equipos y demás llega a un valor de $1750 por m3 resulta bajo al compararlo con el precio del hormigón elaborado.

Debe plantear las fuentes de obtención de los materiales.

No se considera ni equipo ni cuadrilla para preparación de la fundación.

No se consideran costos de encofrado ni la cuadrilla correspondiente.

El rendimiento indicado es bajo para lograr completar los módulos en que deberá ejecutarse el vertedero en cada operación de hormigonado.

Falta considerar el topógrafo y su ayudante.

Ítem 3.2.1.2 Vertedero de Emergencia - Hormigón H30

Debe detallar materiales y planta de hormigón necesaria de montar en el lugar de la obra.

El precio del cemento difiere del ítem anterior.

Debe plantear las fuentes de obtención de los materiales.

No se consideran costos de encofrado ni la cuadrilla correspondiente.

No se considera la cuadrilla de armado.

Debe tenerse presente que se deberán elaborar en el orden de 1.500 m3 de hormigón para la obra.

El rendimiento indicado es bajo para lograr completar los módulos en que deberá ejecutarse el vertedero en cada operación de hormigonado.

Falta considerar el topógrafo y su ayudante.

Ítem 5.1.1 Pozos de monitoreo - Perforación y Tubería de PVC

Se indica perforación y voladura cuando sólo se hace perforación.

No se indica de donde se obtiene el costo horario del equipo de perforación y el mismo difiere del considerado en ítem 2.1.1.2 y 3.1.1.2.

No incluye la cuadrilla de montaje de caño de PVC y terminación de los pozos.

12.3 Relación de ítem con escenarios

Se considera que los análisis de precios presentados responden al escenario C recomendado por la consultora Knight Piésold.

En su informe no queda clara la cota de coronamiento de las bermas de los canales ni la protección de las mismas en su coronamiento y en el talud exterior de las bermas.

13. TAREAS EN LAS OFICINAS DE IATASA EN SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA

13.1 Jornadas Técnicas Introducción al Cierre de Minas (Abril 2018)

Las “Jornadas Técnicas Introducción al Cierre de Minas” fueron dictadas por la consultora CIRDI (Canadian Internacional Resources and Development Institute), para dar a conocer las generalidades de cierres de mina a nivel mundial (aspectos técnicos y compromiso de la comunidad), haciendo énfasis en la Estimación de Costos y Garantías Financieras, de manera que ayude a tener un panorama para poder llevar a cabo el Cierre de Mina de Minera Alumbrera (MAA). El mismo fue realizado entre los días 9 al 13 de Abril, de 8 a 16 hs en el salón del Hotel Casino.

Participaron funcionarios de la Secretaría de Minería de la Nación a cargo de Carolina del Valle, quién es la encargada de la Dirección Nacional de Medio Ambiente y Comunidades, el Secretario de Minería de la provincia de Catamarca, Rodolfo Micone, la Subsecretaria de Minería Inés Ulla, la Coordinadora del cuerpo Interdisciplinario de Cierres de Mina Florencia Cambeses, asesoría legal de la SEM, funcionarios y personal técnico de la Dirección de Minería.

El Instituto Canadiense Internacional de Recursos y Desarrollo (CIRDI) trató el siguiente programa:

Lunes

- Presentaciones grupales
- Compromiso de la comunidad y las partes interesadas en el Cierre de la Mina.
- Roles del gobierno, la industria y las comunidades, ruptura y discusión.
- Prácticas líderes en el compromiso social para el cierre y la discusión del cierre.

Miércoles

- Resumen de Cálculo de Costo de Cierre de Mina y Resumen de Aseguramiento Financiero.
- Estudio de caso.
- Ejercicio de cálculo de costos de Cierre de Minas.
- Garantía financiera.

Jueves

- Requisitos clave de garantías financieras - ruptura y discusión.

- Garantía financiera -Temas técnicos especiales.
- Conclusión, discusión y próximos pasos.

Viernes

- Buenas prácticas en el Cierre de Minas.
- Aspectos técnicos del Cierre de la Mina.
- Compromiso de la comunidad y las partes interesadas en el Cierre de la Mina.
- Desarrollo de una Política Nacional de Cierre de Minas en Argentina.
- Política de Cierre de Mina en Catamarca y Revisión del Plan de Cierre de Alumbrera.

En esta jornada de capacitación, se habló principalmente sobre los grupos de interés (gobierno/comunidad/industria), niveles de participación, los roles que deben cumplir cada uno de ellos y además la evaluación del impacto social. Los objetivos o principios universales de Cierre de Mina son:

- Estabilidad física
- Estabilidad química
- Usos productivos futuros de la tierra

Se trató de manera general y práctica la Estimación de Costos y Garantías Financieras.

En Estimación de Costos se realizó un análisis de quién está implicado, cuándo importa, porque y cómo hacerlo; los elementos claves de estimación de costos, sus aplicaciones, metodología básica para estimación de cierre, componentes generales de los costos de cierre (directos e indirectos), tipos de estimación de costos (estimación de base y estimación rango) y herramientas de estimación de costos (RECLAIM). Para finalizar se realizó un ejercicio práctico.

En Garantías Financieras se realizó un análisis de quién está implicado, cuándo importa, porque y cómo hacerlo, garantía financiera a lo largo del ciclo de la mina, requerimiento mínimo para la provisión de garantías, tipos de garantías y estudios de caso.

En cuanto a los Aspectos Técnicos sobre Cierre de Mina, se vieron diferentes casos de remediación para los distintos elementos de una mina.

Es necesario contemplar el análisis de estudios de línea de base para el EIA (Estudio de Impacto Ambiental) y el Cierre de Mina.

En la confección de un Plan de Cierre de una Mina se pasa de un enfoque conceptual a detallado a medida que avanza la explotación (debería estar listo de 2 a 5 años antes del cierre). En el caso de MAA, continúa con un plan de cierre conceptual.

13.2 Visita a Mina (Abril 2018)

Se realizó una visita a Minera Bajo de la Alumbrera (ver Anexo 3), del 23 al 25 de abril del 2018, en la que participaron integrantes de IATASA y de la DiPGAM, quien puso a disposición vehículos de la repartición para la movilización. El viaje se inició el día lunes 23 a las 9:00hs y se arribó al lugar de destino a las 14:30hs.

Una vez en Mina, se desarrolló la correspondiente inducción a los visitantes y luego se continuó con una reunión donde participaron el Superintendente de Minera Alumbrera Gabriel López Vásquez, que está a cargo del área de Medio Ambiente, y personal de operación y programación de tareas. Durante la reunión se realizaron consultas en relación a la operación del dique de colas (disposición de freatímetros), coberturas de Dique de Colas, botaderos y conclusiones finales respecto al método de revegetación de los mismos al cierre de la mina.

Finalizada la reunión, se realizó una visita al Dique de Colas, para observar la disposición de los freatímetros instalados (E0-PC1-01, E3-PC1-01, A3-PC1-01 y GTS-1-17). Durante el recorrido se tomó conocimiento de que la profundidad alcanzada en el freatímetro ubicado aguas abajo del Dique de Colas (E0-PC1-01) es de aproximadamente de 20m y que los freatímetros situados aguas arriba (E3-PC1-01, A3-PC1-01 y GTS-1-17), por complicaciones constructivas, alcanzaron profundidades de aproximadamente 60m. Todavía no se encuentran en funcionamiento.

Luego, el recorrido continuó en dirección sur para observar los pozos de retro-bombeo que se encuentran inmediatamente aguas abajo del Dique de Colas y el estado actual de su talud, los vertederos de aforo del agua captada por los drenes de muro y fundación y la DCP. En relación al talud del Dique de Colas, se visualizaron los deslizamientos superficiales detectados en visitas anteriores.

Con respecto a los vertederos de aforo de las aguas de drenaje del dren de muro y del dren de fundación se puede destacar que el agua era clara y no se identificó arrastre de sólidos. Esto indicaría un buen funcionamiento de los drenes.

En la Figura 13.1 se pueden visualizar los sectores visitados el 23 de abril.

El martes 25 de abril por la mañana se visitó el Open Pit de Bajo el Durazno, que actualmente se encuentra en producción, y sus Botaderos denominados Fase 1, 2 y 3. En el botadero Fase 1 se observó una cobertura de material aluvional y epidota-

clorita y, se nos comunicó que su talud posee un espesor de cobertura mayor a 9m, previstos a colocar en los botaderos Fase 2 y 3, dado que no se disponían de los modelos actualizados. El recorrido continuó en el Botadero Fase 3, que es el que se encuentra menos rehabilitado, y por último el Botadero Fase 2, que está casi en su totalidad rehabilitado con un espesor mínimo de cobertura en su talud de 9m.

A las 11:00 hs se inició la visita a los portales alrededor del pit de Bajo de la Alumbrera, desde donde el ingeniero a cargo de la obra subterránea de Minera Alumbrera explicó el nuevo sistema de explotación que se podría implementar. Luego, se continuó la recorrida en el mirador del Open Pit de Bajo de la Alumbrera, para visualizar el deslizamiento que produjo el cese de las operaciones. También se observó una pequeña laguna producto del ascenso del nivel freático, dado que actualmente no se encuentra en funcionamiento el sistema de bombeo.

Por la tarde la visita fue realizada en la quebrada que desemboca al mineraloducto, lugar en donde está definido disponer la obra del vertedero principal. Aguas abajo del dique de cola, se reconocieron los pozos de retro-bombeo como de monitoreo tanto subterráneo como superficial para evaluar la pluma mineralizada de influencia.

Se identificaron los pozos que están influenciados por la pluma de agua de procesos, luego aquellos que se encuentran en la zona de mezcla y por último el pozo donde no hay influencia (aguas naturales). Además, se reconocieron pozos de monitoreo de aguas termales y afloramientos de aguas termales.

Finalmente se acudió al botadero puente donde se disponían de celdas de prueba con semillas y plantines.

En la Figura 13.2 se pueden observar los sectores visitados el martes 24 de abril.

El miércoles 25 de Abril por la mañana se visitaron los termistores 4 y 6 ubicados en los botaderos Sam inferior y Sam superior respectivamente. Estos permiten medir la temperatura en el interior del botadero y de esta forma evaluar una posible oxidación de los mismos.

En la Figura 13.3 se visualiza los sectores visitados el miércoles 25 de Abril.

13.3 Jornadas Difusión de la Ingeniería 2018 (Junio 2018)

Los ingenieros Eduardo Capdevila y Ricardo Barletta y el doctor Armando Massabie, del Departamento de Geología y Geotecnia disertaron junto a integrantes de la Secretaría de Estado de Minería de Catamarca sobre el tema "Cierre de Minas"

en el marco de las Jornadas de Difusión de la Ingeniería 2018, organizadas por el Centro de Ingenieros de Catamarca.

Durante la disertación se explicaron los alcances de los contratos:

- "CONSULTORÍA TÉCNICA INGENIERÍA DE OBRAS MINERA DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA" – 2014.
- "ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA – AUSCULTACIÓN DE PRESA" – 2016-2017.
- "ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA – ESTABILIDAD QUÍMICA" – 2016-2017.
- ESTABILIDAD QUÍMICA Y FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA" - 2018

En el Anexo 4 se encuentra la presentación que se realizó para las Jornadas de Difusión de la Ingeniería 2018.

Los profesionales mencionados, también participaron en reuniones con autoridades de la DiPGAM, sobre este tema y sobre diversos aspectos del contrato en desarrollo.

13.4 Visita a Mina (Julio 2018)

Durante los días 11, 12 y 13 de Julio se realizó una visita a MAA junto con personal del área de cierre de minas de la DiPGAM.

El objetivo de la visita fue realizar un reconocimiento del área de mina y alrededores prestando especial atención al estado actual de:

- Sistema de retrobombeo y monitoreo de la pluma de agua de procesos del dique de colas.

- Aspecto y dimensión del dique de colas en la actualidad, revisión de pozos de monitoreo aledaños y freatímetros.

- Prueba de coberturas y revegetación en botadores y dique de colas.

- Avance de la excavación de las vías de acceso a mina subterránea en el bajo de la Alumbrera.

- *Open Pit* de Bajo de la Alumbrera y Bajo El Durazno.

- Pozos de bombeo en campo del arenal.

Actualmente, la mina se encuentra en un proceso de reducción de personal coincidente con el cese de actividades de explotación prevista hacia fin de julio, principio de agosto. Debido a la cercanía de la fecha de finalización de las labores extractivas, la actividad en la mina es muy baja, lo cual también impacta en una disminución del mineral tratado y consumo de agua.

La puesta en marcha de la explotación subterránea se estima que será en Enero de 2020 con un sistema de carga y transporte en interior mina automatizado mediante el uso de rodados sobre rieles. Esto indica que el ciclo minero productivo estará inactivo por aproximadamente 1 año y medio.

Cabe destacar la gran cantidad de material particulado en suspensión que por momentos afecta de forma significativa la calidad del aire. Este rasgo fue observado particularmente en el dique de colas, *Open Pit* de Bajo el Durazno y en el acopio de material de mena.

Se visitaron gran parte de los pozos de monitoreo y retrobombeo afectados por el agua de proceso y mezcla. Los caudales de bombeo varían según el pozo, pero a modo general los puntos ubicados cercanos al espaldón del dique presentan los mayores caudales de aproximadamente 30 a 60 l/s mientras que los pozos más alejados agua abajo (zona de mezcla) poseen valores de caudales instantáneos cercanos a 2 l/s. Esta diferencia de caudal bombeado busca evitar un avance de la pluma aguas abajo por diferencia de potencial.

En las Figuras 13.4 y 13.5 se observan los pozos de monitoreo, retrobombeo y puntos de muestreo superficial visitados.

A partir de lo dialogado con personal del área de medio ambiente de MAA, el caudal diario bombeado por todos los pozos del sistema de retrobombeo es cercano a los 440 l/s, y si se adicionan los caudales de T6, DCP y los drenes del espaldón del dique, la cifra aumenta a 700 l/s.

En el campo del arenal, se relevaron los 9 pozos de bombeo con los que cuenta la mina. En ellos el nivel freático se ubica aproximadamente entre 80 y 90 metros de la superficie. Los caudales de bombeo instantáneos registrados varían desde 450 a 1 m3/h, estando algunos de ellos actualmente sin actividad. Además, se visitaron pozos de monitoreo y la estación de bombeo Booster 1.

En el Anexo 5 se incluyen fotografías de la visita.

13.5 Presentación de tareas de explotación subterráneas (Minera Alumbrera, Julio 2018)

El día 6 de Julio Minera Alumbrera presentó el método de explotación subterránea que será llevado a cabo en los próximos años, incluyendo tareas de ventilación, manejo del agua, etc., y el informe de Impacto Ambiental realizado. Las exposiciones estuvieron a cargo de Daniel Moreno (Minera Alumbrera) y Baumgartner (EyC Asociados, ver Figuras 13.6 y 13.7).

Se describieron los siguientes aspectos:

- Obras tempranas realizadas (instalación de oficinas y servicios, preparación del talud con limpieza de paredes, instalación de mallas, inyección de hormigón, entre otras actividades, para la posterior ejecución de túneles, etc.)
- Transporte del material triturado mediante el sistema de “Rail-veyor”.
- Fortificación de los túneles (y descripción del método de avance del túnel).
- Sistema de desagüe.
- Sistema de ventilación.
- Descripción general del informe de Impacto Ambiental, realizado a partir de los lineamientos definidos en la Ley 24.585 - Anexo III: "Informe de Impacto Ambiental para la Etapa de Explotación" (impactos ambientales y sociales, plan de medidas de mitigación de impactos ambientales, plan de monitoreo, etc.)

13.6 Campaña de muestreo de aguas subterráneas y superficiales (Agosto 2018)

Durante la tercera semana del mes de agosto tuvo lugar el desarrollo del muestreo trimestral ambiental de aguas que realiza la DiPGAM en conjunto con MAA en puntos superficiales, pozos de monitoreo y pozos de retrobombeo. Además, dicho muestreo coincidió con la toma de muestras bianual realizada por la empresa Aquaconsult encargada de elaborar los estudios isotópicos.

La campaña tuvo una duración de 6 días. Los sitios propuestos en el plan de muestreo observados durante la estadía del personal de IATASA incluyeron:

-Open Pit de BLA y BED: En BLA no se pudo acceder a la laguna en el fondo del pit y la muestra fue obtenida por bombeo. En BED se muestreo directamente la laguna.

-Dique de colas: TLW.

-Puntos superficiales aguas abajo del dique de colas: DCP2, T6 (afectadas por agua de proceso), SP6 (vertiente de arroyo tributario a la quebrada Vis-Vis dentro de

la concesión de la mina), Los Baños (vertiente de agua termal), DS1, DS5, DS6, DS7, DS7E y DS8 (puntos sobre el río Vis-Vis), DS4 y QLB (ríos tributarios del río Vis-Vis).

-Pozos de monitoreo: MW15, MW7, MW8, MW35, MW36, MW36B, MW30, MW21, MW18, MW17, HON1 (pozos no afectados por la pluma de proceso), MW19, MW25, MW26 (al oeste de la pluma de agua de proceso), MW28, MW27, MW32, MW33, MW40 (pozos afectados por agua de proceso)

-Pozos de retrobombeo: PB23 (no afectado por agua de proceso), PB28, PB33, PB36, PB38, PB16 (afectados por agua de proceso).

También se quisieron tomar muestras de los pozos MW38 (Quebrada Buenaventura) y el pozo de emergencia EW1 ubicado anexo al puesto de control Vis-Vis, pero el primero contaba con barro a los 30 metros de profundidad y el segundo no tenía suficiente agua, imposibilitando en ambos casos la toma de muestras.

Además de estos sitios mencionados, existen otros puntos de muestreo que fueron relevados posteriormente a la permanencia de IATASA en el lugar, entre ellos uno de los sitios incluidos en el plan es el pozo/curso superficial de la quebrada de Atajo.

La campaña de muestreo se desarrolló con total normalidad y buenas condiciones climáticas que garantizaron la circulación y acceso a los sitios de interés.

Los muestreos realizados, tanto de la DiPGAM como de MAA, se realizaron siguiendo perfectamente el protocolo establecido siendo riguroso en cuanto a la prolijidad del manejo del material y para evitar contaminación entre las muestras. Los equipos fueron calibrados a diario y los valores obtenidos de DiPGAM fueron contrastados continuamente con los obtenidos por MAA de forma de garantizar el correcto funcionamiento de los mismos y hacer una recalibración en caso de ser necesario.

En campo se tomaron datos de temperatura del aire y del agua, nivel piezométrico, caudal, pH, conductividad, oxígeno disuelto, potencial óxido-reducción y alcalinidad. Además, se tomaron muestras para análisis fisicoquímicos y mayoritarios, muestras para elementos traza tanto para análisis disuelto (previo filtrado) y totales. Todas fueron correctamente acidificadas con ácido nítrico y posteriormente conservadas a temperatura adecuada.

El trabajo en conjunto entre MAA y DiPGAM y la constante comparación de valores *in situ* entre las partes junto con el seguimiento adecuado de los protocolos para la toma de muestras y calibración de equipos, permiten garantizar resultados fiables y de calidad.

Fue acertada la inclusión de los puntos de monitoreo de la vertiente los baños, el pozo MW38 y el pozo/agua superficial de la Quebrada de Atajo. Son puntos estratégicos que permiten una mejor caracterización de aguas que aportan al curso Vis-Vis.

Sin embargo, durante la presencia de IATASA, no se tomó el punto de quebrada Atajo relegado para el último día de la campaña por cuestiones logísticas. Con respecto al MW38 y el intento fallido de obtención de muestra debido a las condiciones del pozo, se reitera la necesidad de poner en correcto funcionamiento ese punto de monitoreo ya que es el único que garantiza caracterizar las condiciones fisicoquímicas del agua de la Quebrada de Buenaventura que aporta sus aguas a la Quebrada del río Vis-Vis.

MAA plantea que los pozos de monitoreo MW8 y MW35 son representantes del agua de la Quebrada de Buenaventura, debido a que registran temperaturas cercanas a los 50° C diferenciándose así del agua subterránea circulante por la Quebrada Vis-Vis. Si bien no es posible negar dicha afirmación, el hecho que los pozos MW8 y MW35 se encuentren ubicados en la confluencia del curso efímero de la Quebrada de Buenaventura con el curso principal de la Quebrada de Vís-Vís y que la toma de muestra se realiza aproximadamente a 15 metros de profundidad, no permite discriminar la posible interacción de aguas y en caso de aumento de los parámetros estudiados, no se podría diferenciar con un alto grado de seguridad si la anomalía es resultado de la modificación de la calidad de agua del afluente o del agua subterránea que circula por la Quebrada Vís-Vís. Es por esto que se reitera la sugerencia de poner en correcto funcionamiento el pozo de monitoreo MW38 (Figura 13.8).

También se reitera la posibilidad de incluir al punto DS6-O en el muestreo o en caso de no observarse agua superficial realizar un pozo de monitoreo. Dicho punto estaría ubicado en la quebrada que vincula al cauce del río Vís-Vís con zonas mineralizadas y alteración hidrotermal como Bajo Las Juntas y Bajo San Lucas (Figura 13.9).

En el Anexo 6 se incluyen fotografías de la campaña.

13.7 Visitas a la mina (Agosto 2018).

Durante la tercera semana de Agosto se participó en la Campaña de muestreo de aguas subterráneas y superficiales, descripta en el punto 13.6.

También, se realizó una visita al sitio de la Mina Bajo de la Alumbrera, del 28 al 30 de Agosto del 2018, con la participación de integrantes de IATASA y de la

DiPGAM, quien puso a disposición vehículos de la repartición para la movilización (ver Figuras 13.10 y 13.11).

El viaje inicio el día Martes 29 a las 9:30 hs y se arribó al lugar de destino a las 15:30 hs. Una vez en Mina se realizó una reunión donde participaron el Superintendente de Medio Ambiente de Minera Alumbrera Gabriel López Vázquez junto a su personal, donde el Ingeniero Sánchez (encargado del Dique de colas) dio inicio a la presentación con “La Etapa de Cuidado y Mantenimiento”, luego se habló sobre las operaciones de Underground y finalizando, el Ingeniero Nicanor Elizondo expuso sobre El Sistema de Retrobombeo. En el momento se realizaron las consultas correspondientes.

Finalizada la reunión, se realizó una visita al Dique de Colas, para observar la disposición de los 7 freatímetros instalados y las profundidades alcanzadas por cada uno de ellos, estos freatimetros se encuentran ubicados tanto sobre las colas como aguas abajo del dique de colas.

Los freatimetros instalados sobre las colas son los siguientes: E3-PC1-01 (65 m), A3-PC1-01 (84 m), A2-PC1-05A (72 m; 56º15`27”), GTS-1-17 (78,5 m).

Los freatimetros instalados aguas abajo del dique de colas son los siguientes: E0-PC1-01(20 m), A0-PC1-01 (23 m) Y Z0-PC1-01 (23 m).

En dirección sur se observaron los pozos de retro-bombeo aguas abajo del espaldón del dique, los vertederos de aforo del agua captada por los drenes de muro y fundación y la DCP. Por último se visitó la zona en donde se encuentra tanto la torre de bombeo como la laguna sobrenadante.

El miércoles por la mañana Gabriel López Vázquez realizó la presentación del Modelo de Flujo y transporte de agua subterránea Vis Vis, luego Nicanor hablo sobre la Recuperación del material aluvial Tampa Tampa. Después se realizó el recorrido por el rio Vis Vis, para observar la disposición de cuatro nuevos pozos (retro excavados), durante este recorrido también se pudo observar la ubicación de algunos pozos, tanto de retrobombeo como de monitoreo y puntos de muestreo superficiales como por ejemplo vertiente los baños. El recorrido por el rio vis vis llego hasta el tramo comprendido entre las estaciones de monitoreo DS4 y DS5. A la vuelta se recorrió el sector de Tampa Tampa, se visualizaron las pruebas pilotos de siembra directa y la zona de posible extracción de material de Tampa Tampa para cobertura de Dique de Colas.

A la tarde se realizó un recorrido por las instalaciones de la planta de tratamiento de mineral. Luego en las oficinas de Medio Ambiente, se presentó el sistema de revegetación disertada por Lic. Edgar Alderete. Posteriormente a la reunión se acudió al botadero Puente donde se pudo observar la disposición de celdas de prueba con semillas y plantines.

Se finalizó la visita a Minera Alumbrera ese mismo día 19:00 hs, donde se emprendió el regreso a la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca.

En el Anexo 7 se incluyen fotografías de la visita.

En el Anexo 8 se incluyen resúmenes de las presentaciones dadas por Minera Alumbrera.

13.8 Expo Productiva 2018 (Septiembre 2018)

Se expusieron los trabajos realizados en el presente contrato en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018, realizada entre los días 13 y 16 de septiembre del corriente año, en San Fernando del Valle de Catamarca . IATASA recibió una invitación de la Secretaria de Mineria para participar de la Expo Productiva 2018 de la Provincia de Catamarca. En función de dicha invitación se aceptó participar de dicho evento con el compromiso de montar un stand exponiendo las diferentes actividades que desarrolla en diferentes campos de la Ingeniería.

Para esa tarea se dispuso de un espacio en el Sector denominado Espacio Minero donde se exhibieron afiches (Figuras 13.12 a 13.14) sobre las tareas realizadas referidas al estudio de la ESTABILIDAD QUIMICA Y ESTABILIDAD FISICA DE LA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO BAJO LA ALUMBRERA para la DiPGAM.

Por otra parte, se repartieron folletos mostrando la trayectoria de IATASA. Por parte de IATASA participaron el Lic. en Geología Rubén Cuesta, el Ing. Agr. Ricardo Palotta, la Geol. Yamila Salim y el estudiante avanzado en Ing. en Minas Nestor Cativa (Figuras 13.15 a 13.18).

Además, se participó del Acto Inaugural y del Acto de Inauguración del Espacio Minero.

13.9 Capacitaciones (Septiembre 2018)

En el Anexo 9 se incuyen las presentaciones expuestas en las capacitaciones en Septiembre 2018.

14. PRESENCIA DE IATASA EN LAS OFICINAS DE SEM-DIPGAM EN SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA

- 15 y 16 de Febrero de 2018: Eduardo Capdevila, Armando Massabie y Juan Manuel García.
- 19 de Febrero al 23 de Febrero de 2018: Juan Manuel García
- 26 de Febrero al 2 de Marzo de 2018: Juan Manuel García
- 5 de Marzo al 9 de Marzo de 2018: Ezequiel Martinez
- 12 de Marzo al 16 de Marzo de 2018: Juan Manuel García
- 19 de Marzo al 23 de Marzo de 2018: Pascual Chuchuy
- 26 de Marzo al 28 de Marzo de 2018: Rubén Cuesta
- 3 de Abril a 6 de Abril de 2018: Juan Manuel García.
- 9 de Abril a 13 de Abril de 2018: Rubén Cuesta.
- 16 de Abril a 20 de Abril de 2018: Juan Manuel García.
- 23 de Abril a 27 de Abril de 2018: Pascual Chuchuy
- 2 de Mayo a 4 de Mayo de 2018: Juan Manuel García.
- 7 de Mayo a 11 de Mayo de 2018: Pascual Chuchuy.
- 15 de Mayo a 18 de Mayo de 2018: Juan Manuel García.
- 21 de Mayo a 24 de Mayo de 2018: Ezequiel Martinez.
- 28 de Mayo a 1 de Junio de 2018: Juan Manuel García.
- 4 de Junio a 8 de Junio de 2018: Pascual Chuchuy.
- 11 de Junio a 15 de Junio de 2018: Juan Manuel García.
- 18 de Junio a 22 de Junio de 2018: Rubén Cuesta.
- 25 de Junio a 29 de Junio de 2018: Juan Manuel García.
- 2 de Julio a 6 de Julio de 2018: Ezequiel Martinez.
- 10 de Julio a 13 de Julio de 2018: Juan Manuel García.
- 16 de Julio a 20 de Julio de 2018: Pascual Chuchuy.
- 23 de Julio a 27 de Julio de 2018: Juan Manuel García.
- 28 de Julio a 3 de Agosto de 2018: Rubén Cuesta.
- 6 de Agosto a 10 de Agosto de 2018: Juan Manuel García.
- 13 de Agosto a 17 de Agosto de 2018: Ezequiel Martinez.

- 20 de Agosto a 24 de Agosto de 2018: Juan Manuel García.
- 27 de Agosto a 30 de Agosto de 2018: Armando Massabie.
- 3 de Septiembre al 7 de Septiembre de 2018: Juan Manuel García.
- 10 de Septiembre al 14 de Septiembre de 2018: Rubén Cuesta.
- 17 de Septiembre a 21 de Septiembre de 2018: Juan Manuel García.
- 24 de Septiembre a 28 de Septiembre de 2018: Pascual Chuchuy.

Figuras

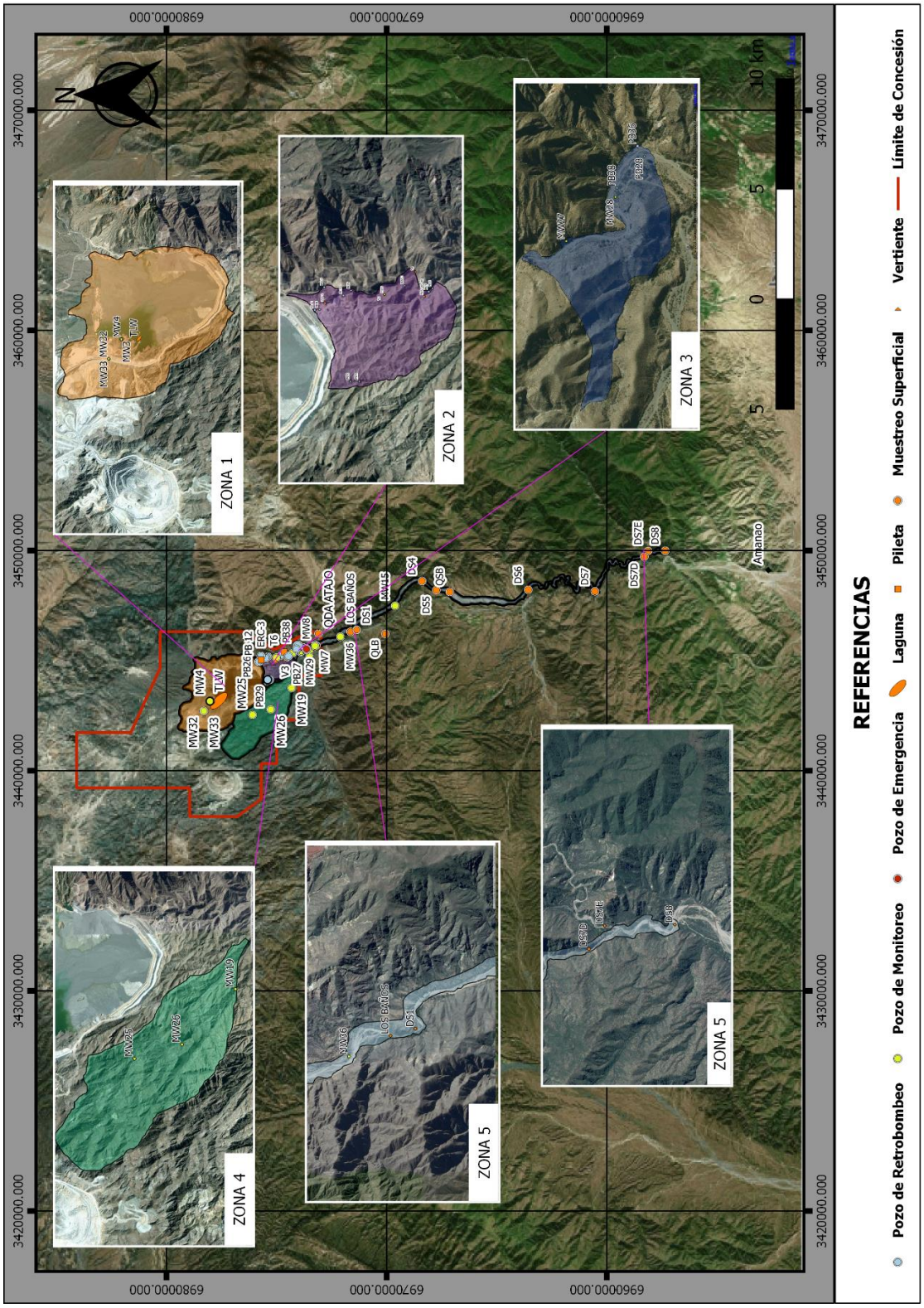


Figura 2.1. Mapa de ubicación de las zonas establecidas para el análisis de valores fisicoquímicos del agua tomados en pozos de monitoreo, retrobombeo y puntos superficiales. (Fuente: elaborado por IATASA).

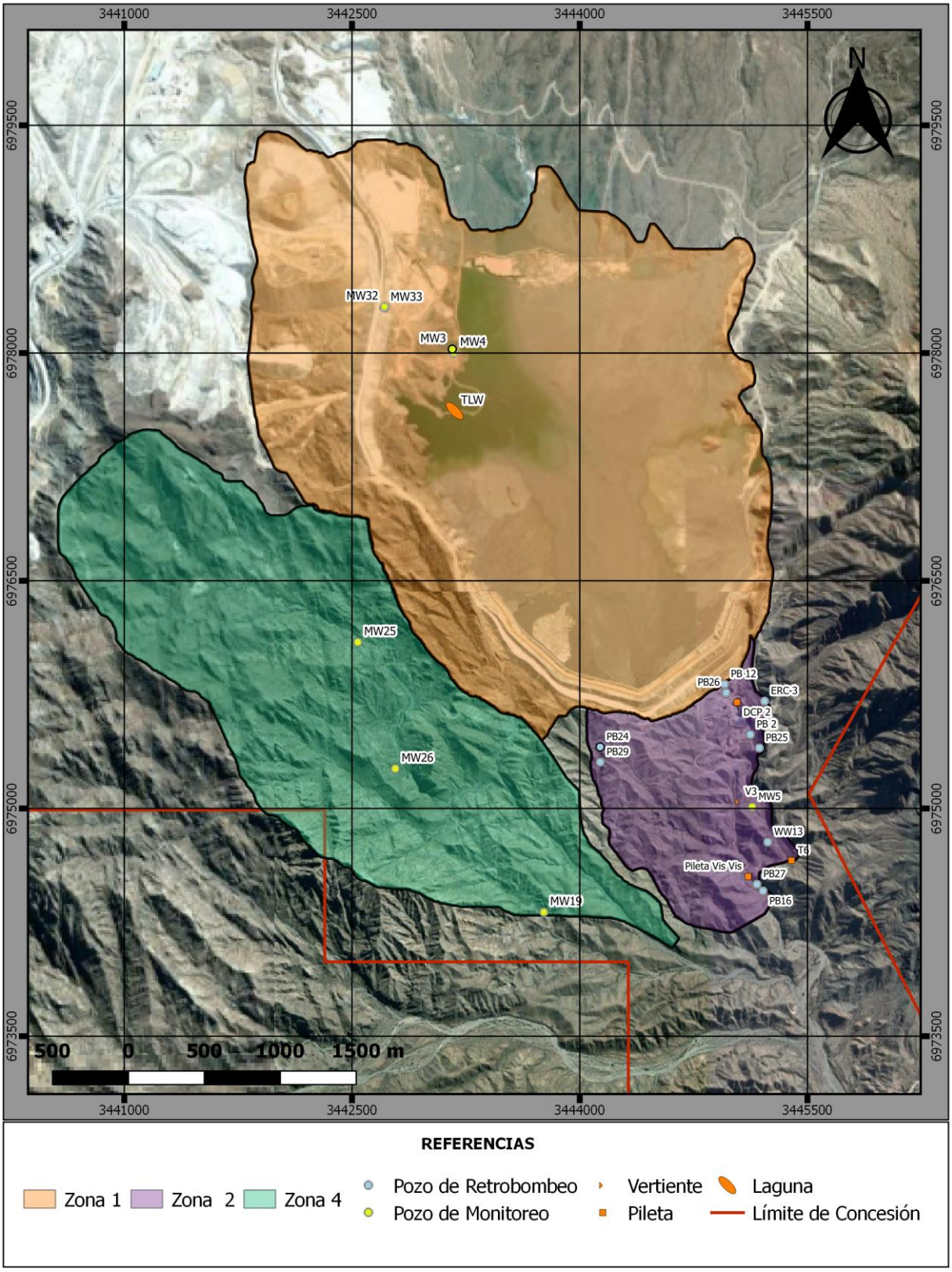


Figura 2.2. Mapa de detalle de la Figura 2.1 sobre zonas 1, 2 y 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

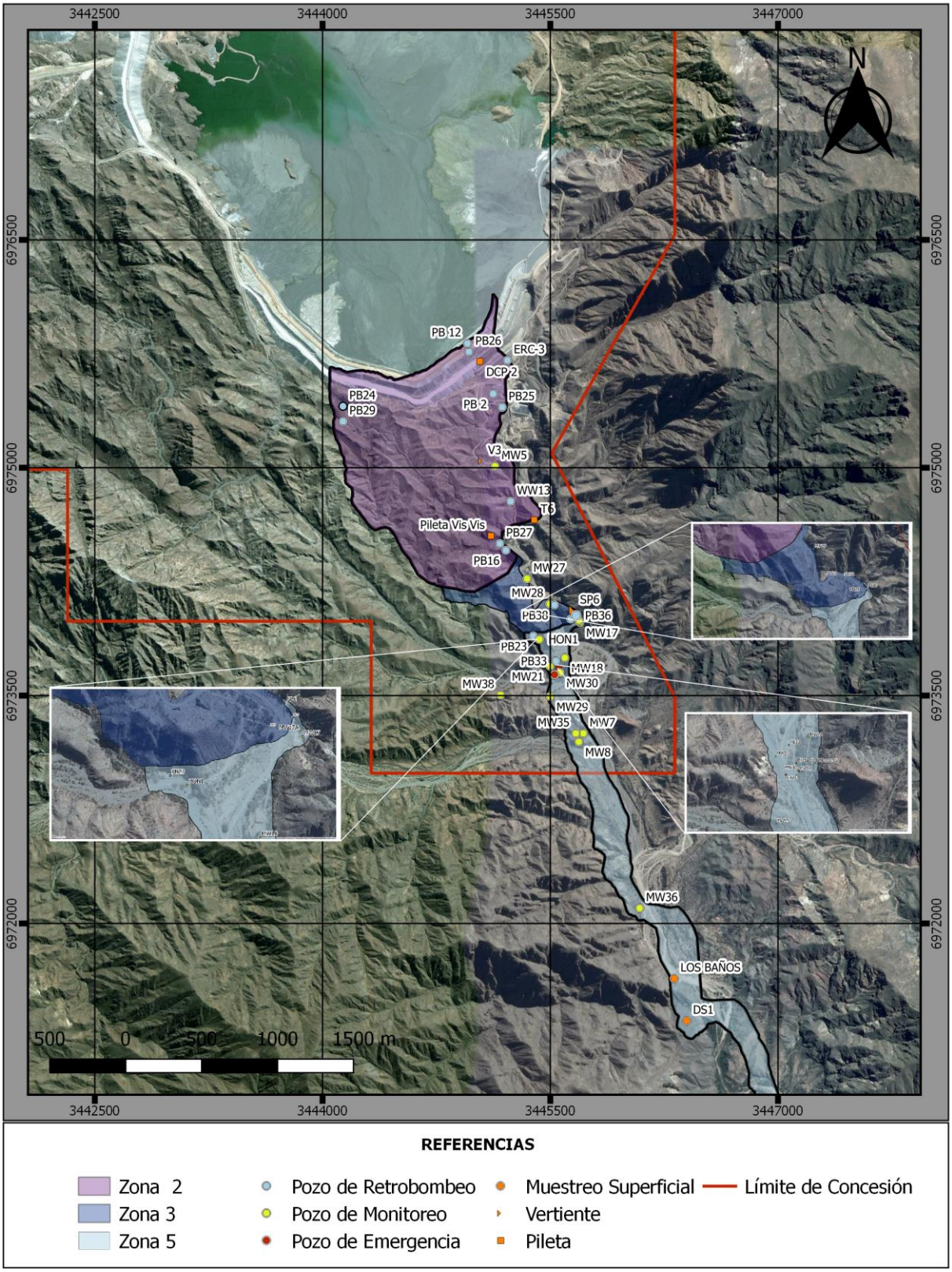


Figura 2.3. Mapa de detalle de la Figura 2.1 sobre zonas 2, 3 y 5. (Fuente: elaborado por IATASA).

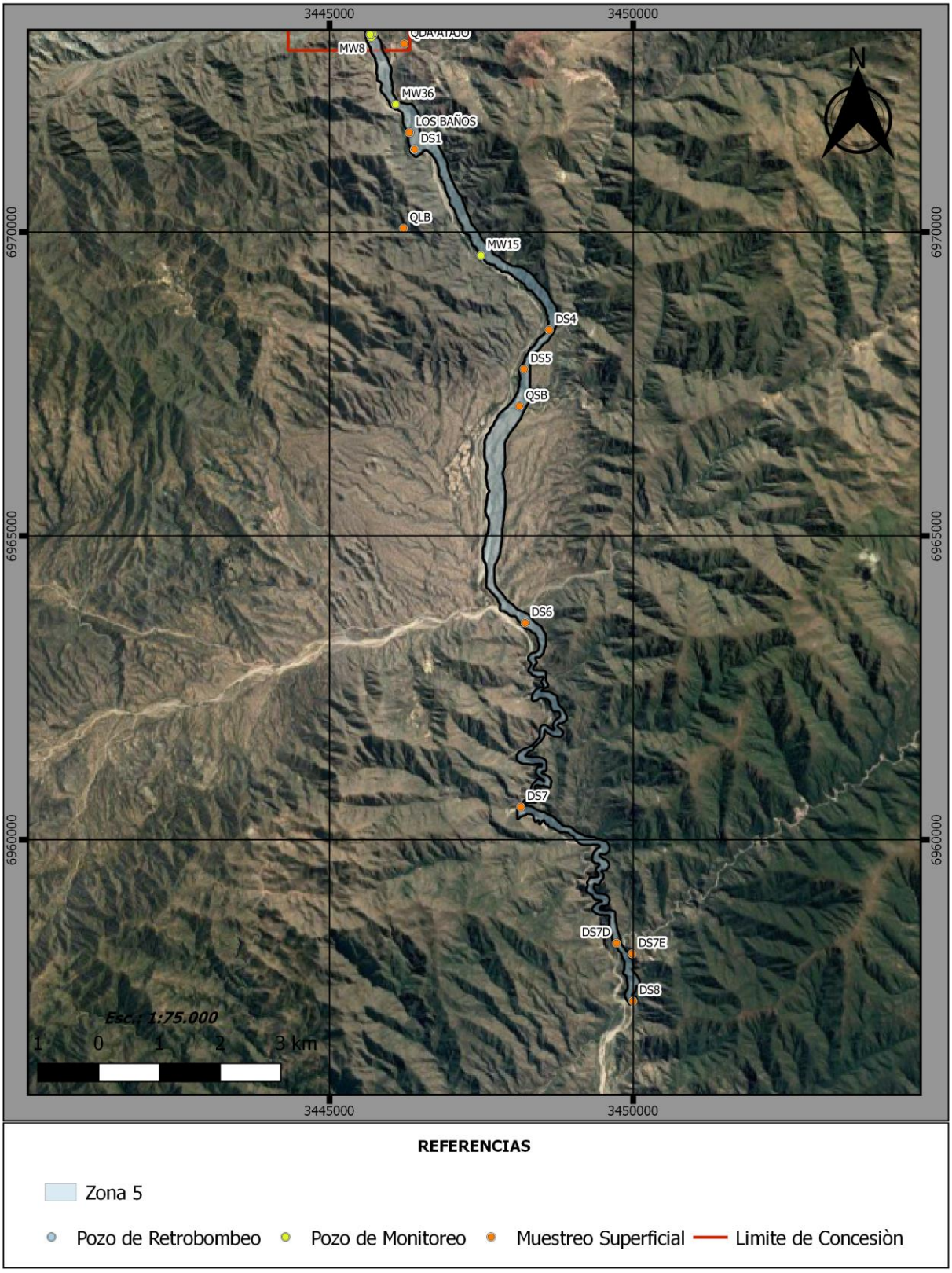


Figura 2.4. Mapa de detalle de la Figura 2.1 sobre zona 5, tramo desde MW36 hasta DS8 Amanao. (Fuente: elaborado por IATASA).

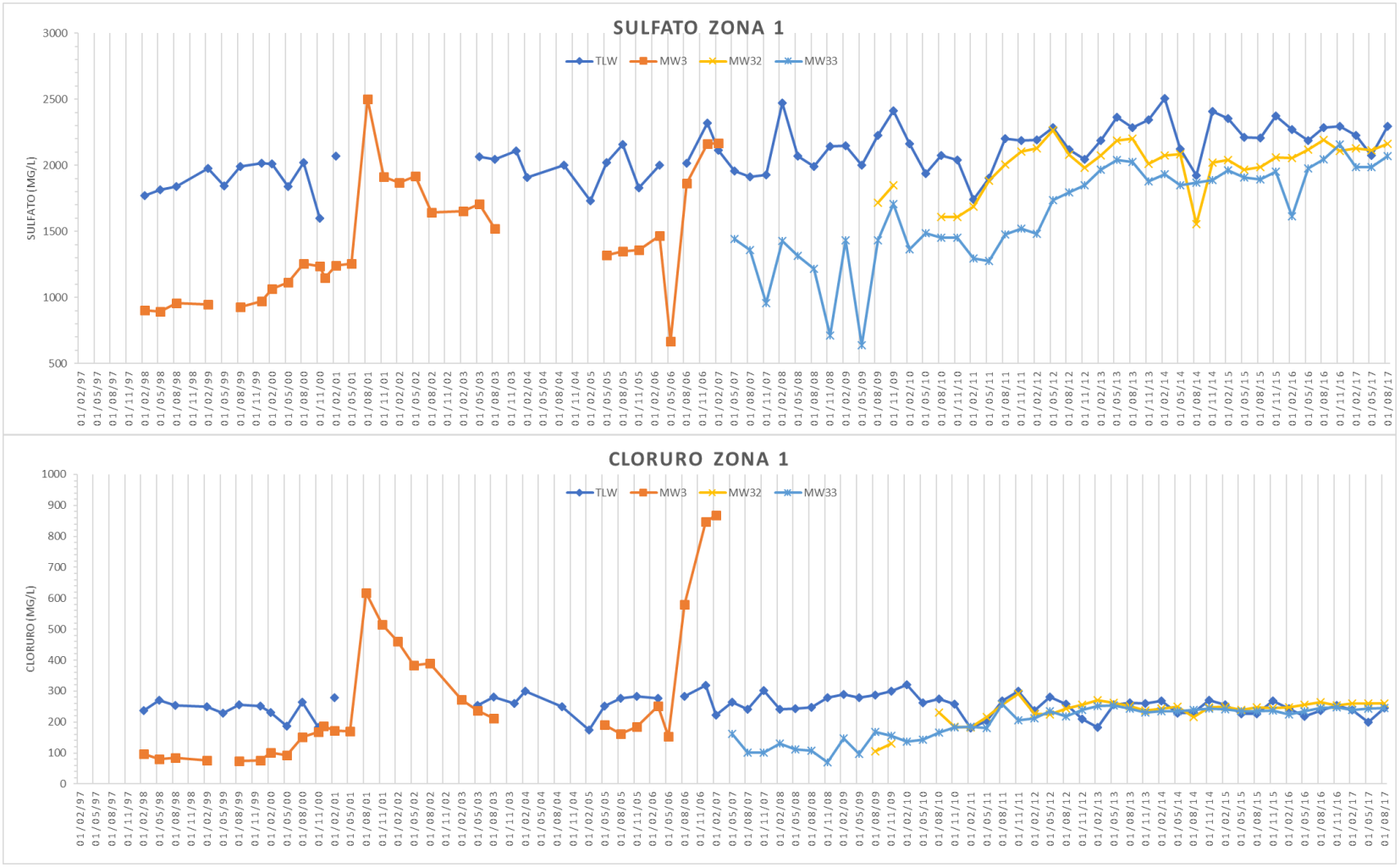


Figura 2.5. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

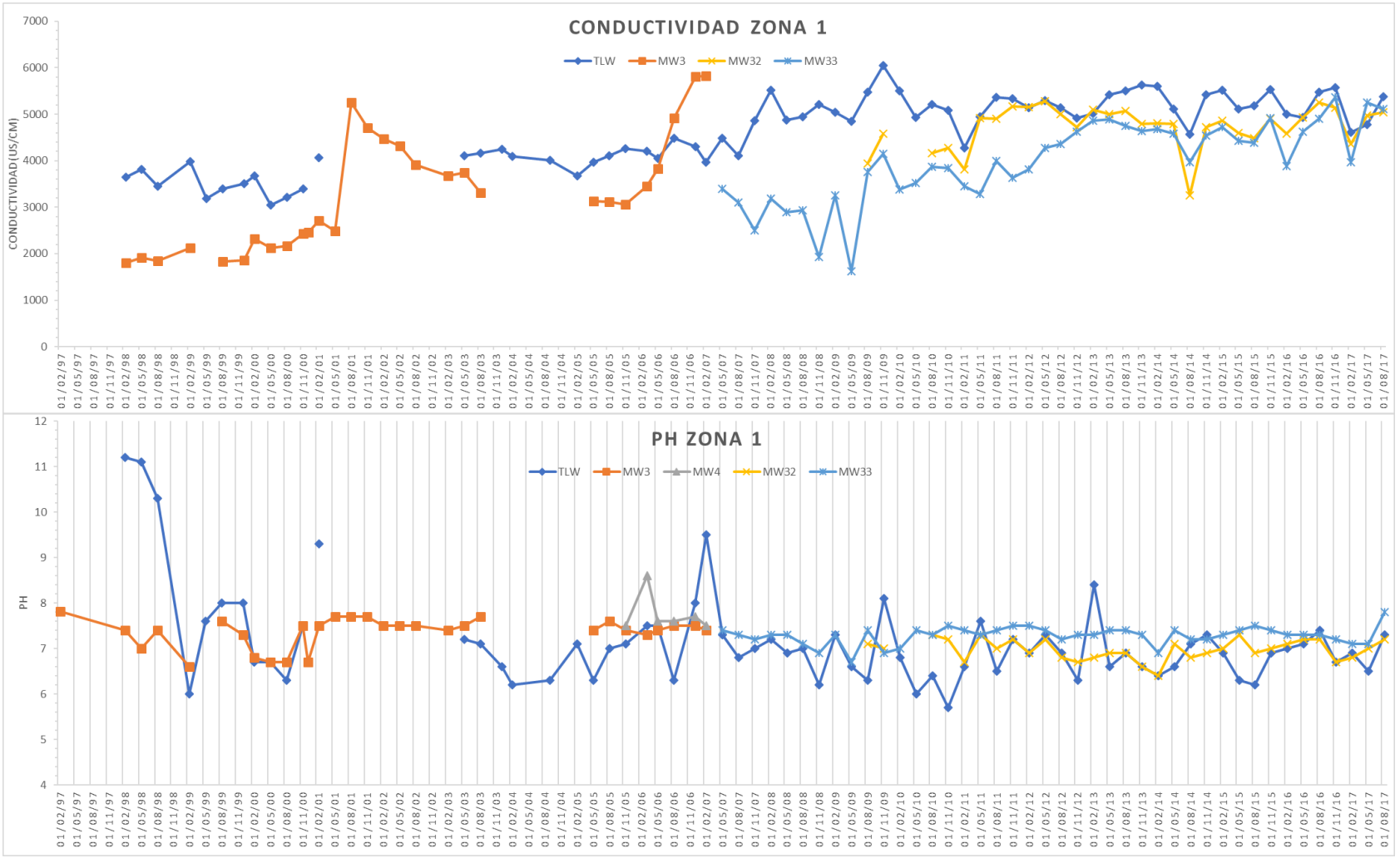


Figura 2.6. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

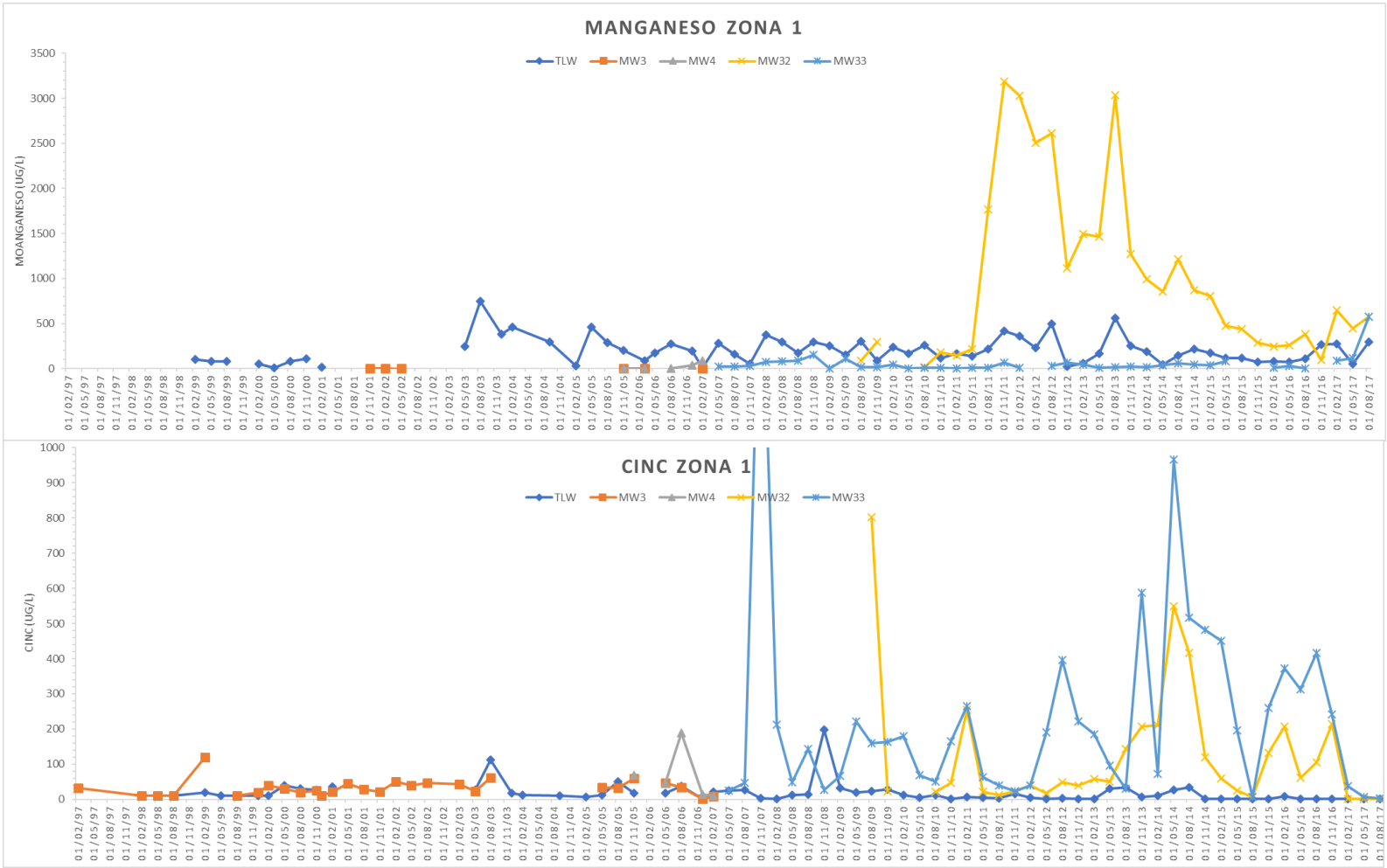


Figura 2.7. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

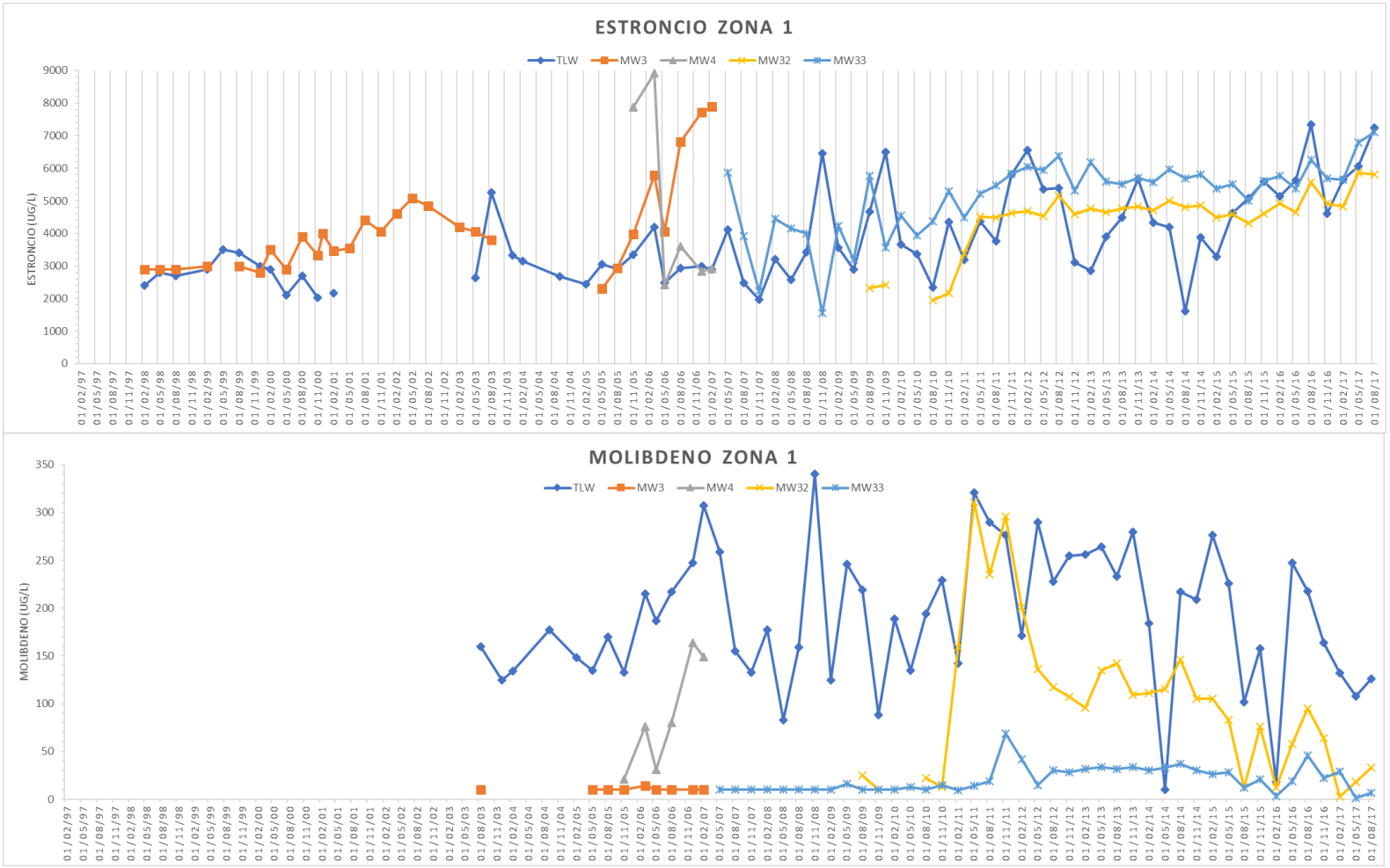


Figura 2.8. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 1. (Fuente: elaborado por IATASA).

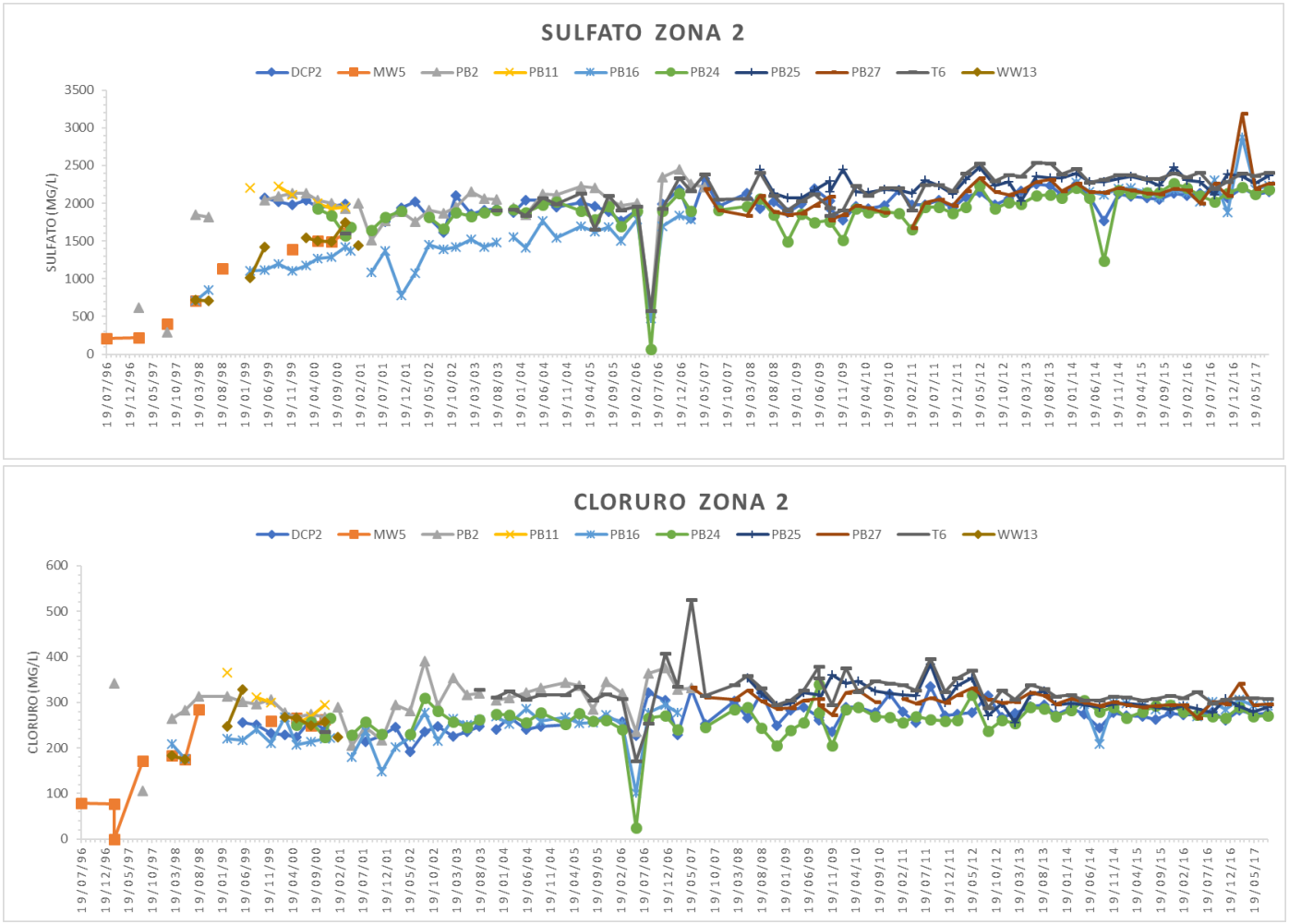


Figura 2.9. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

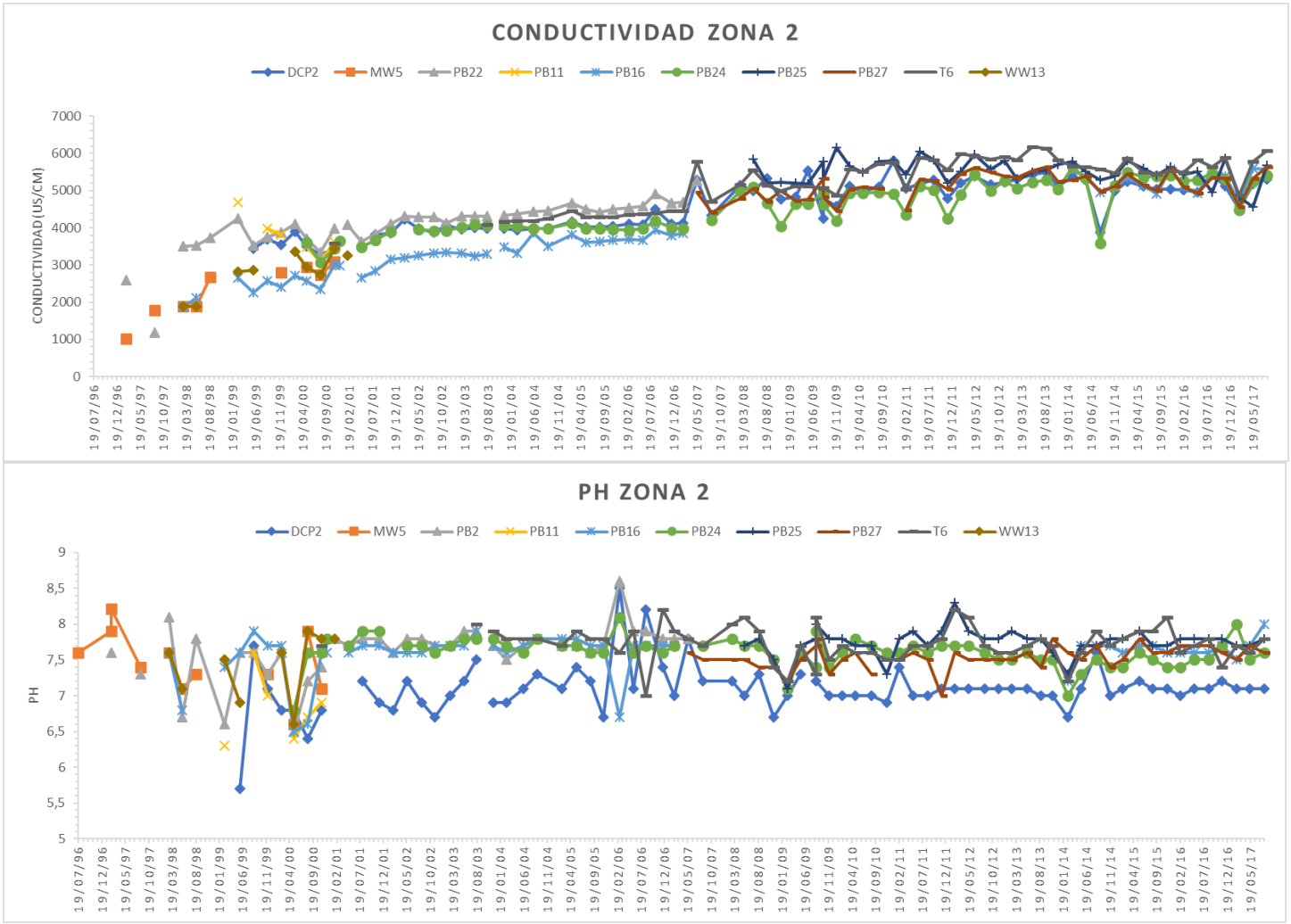


Figura 2.10. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

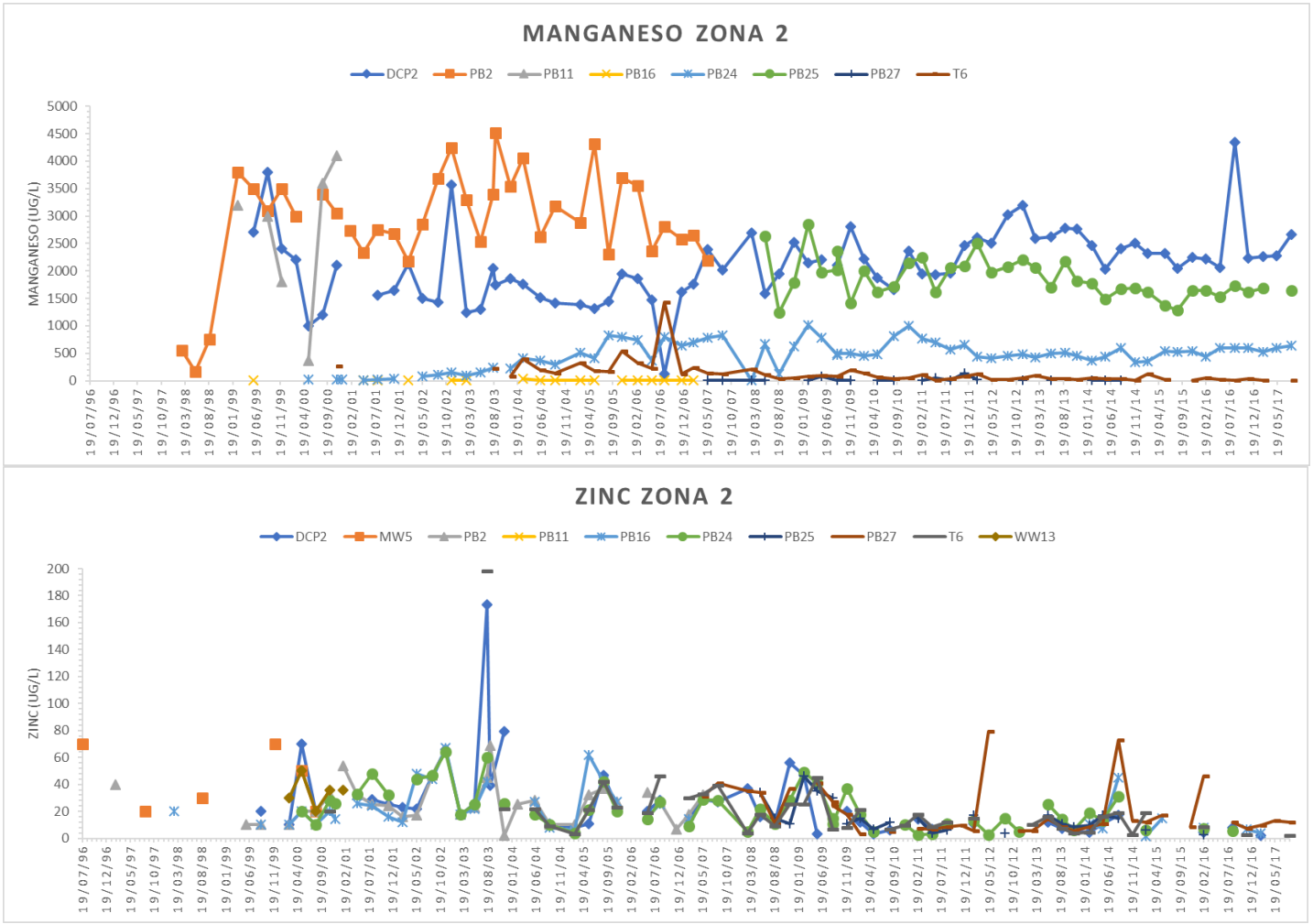


Figura 2.11. Tendencias evolutivas de manganeso y zinc en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

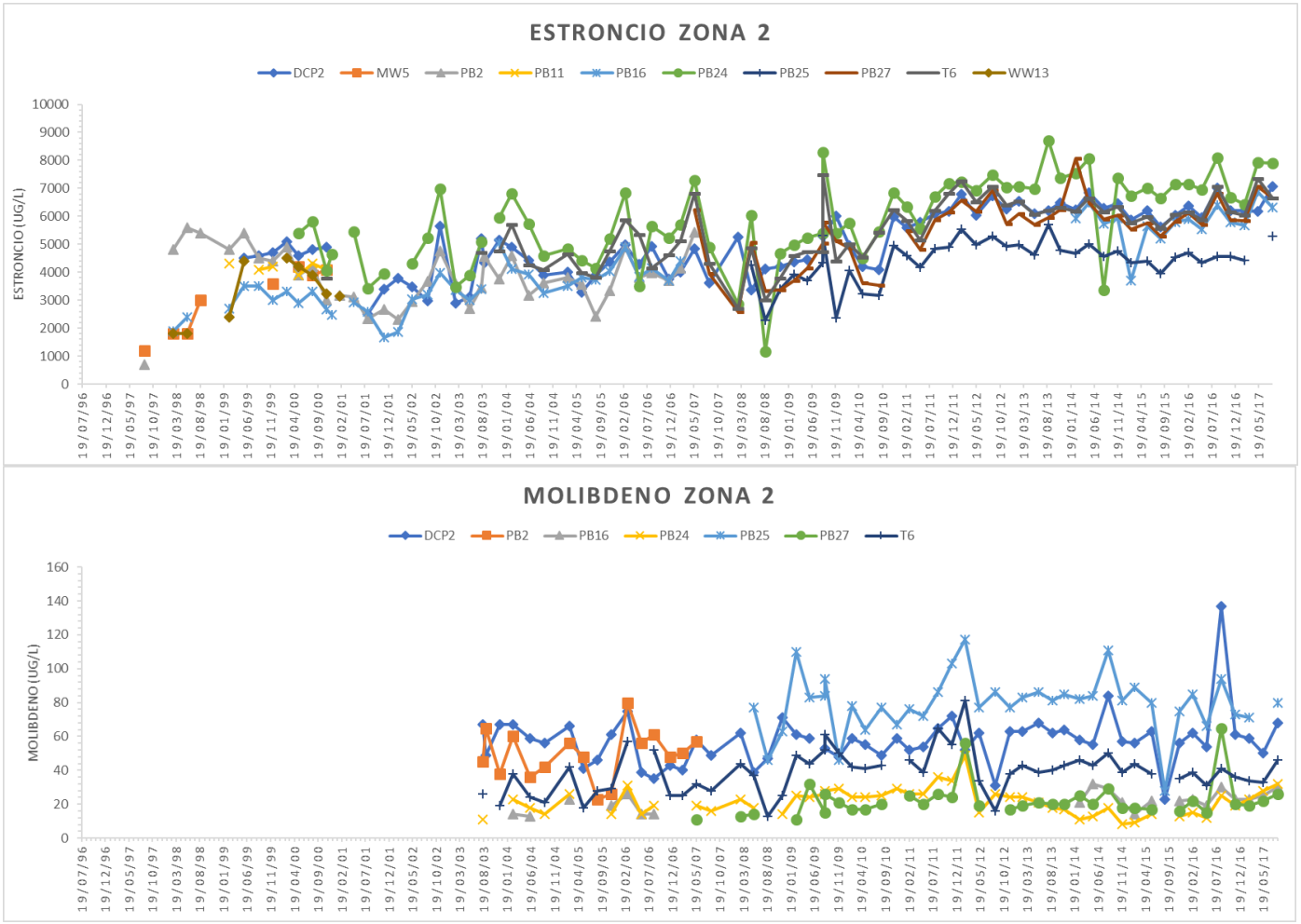


Figura 2.12. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 2. (Fuente: elaborado por IATASA).

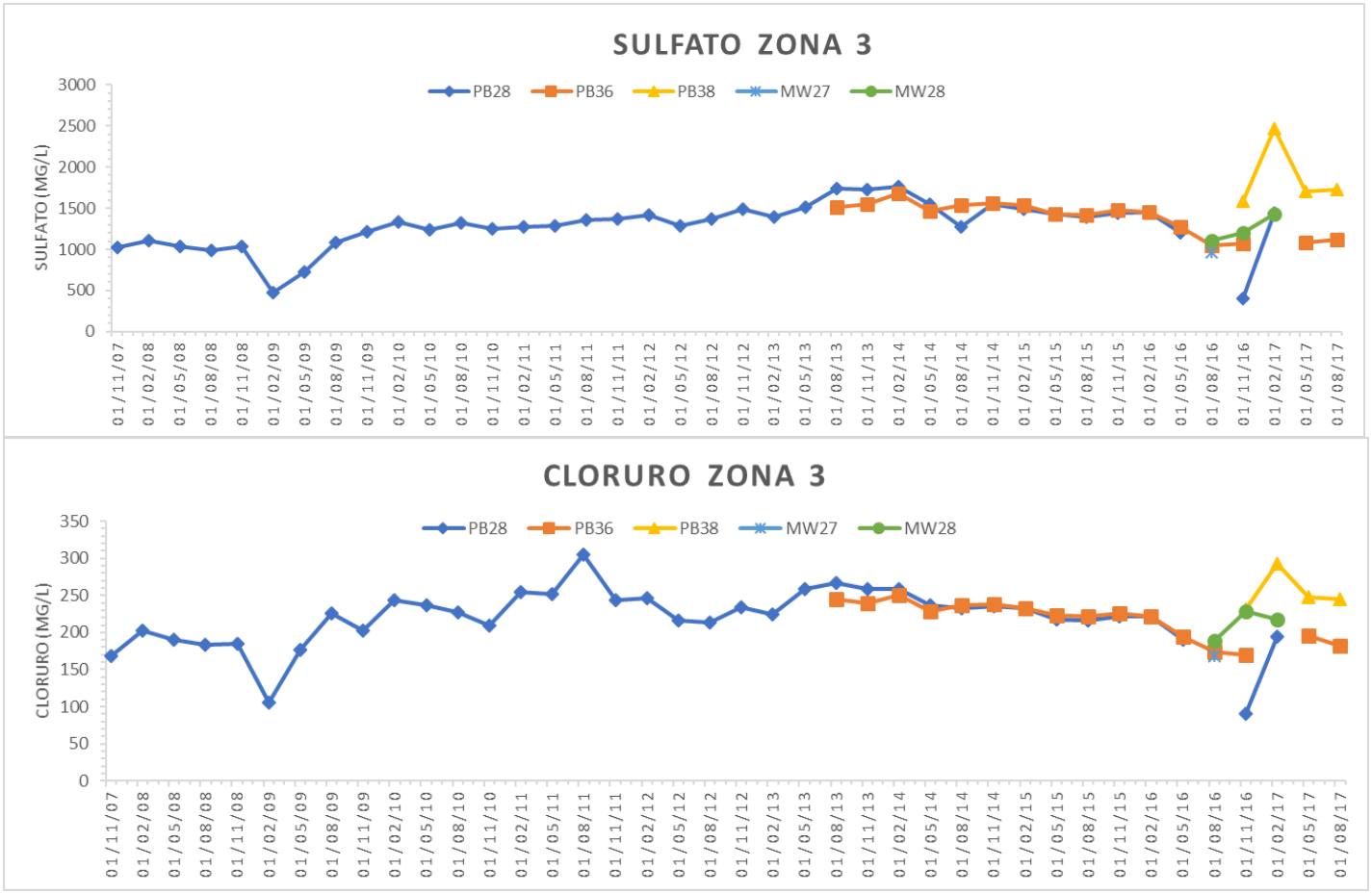


Figura 2.13. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

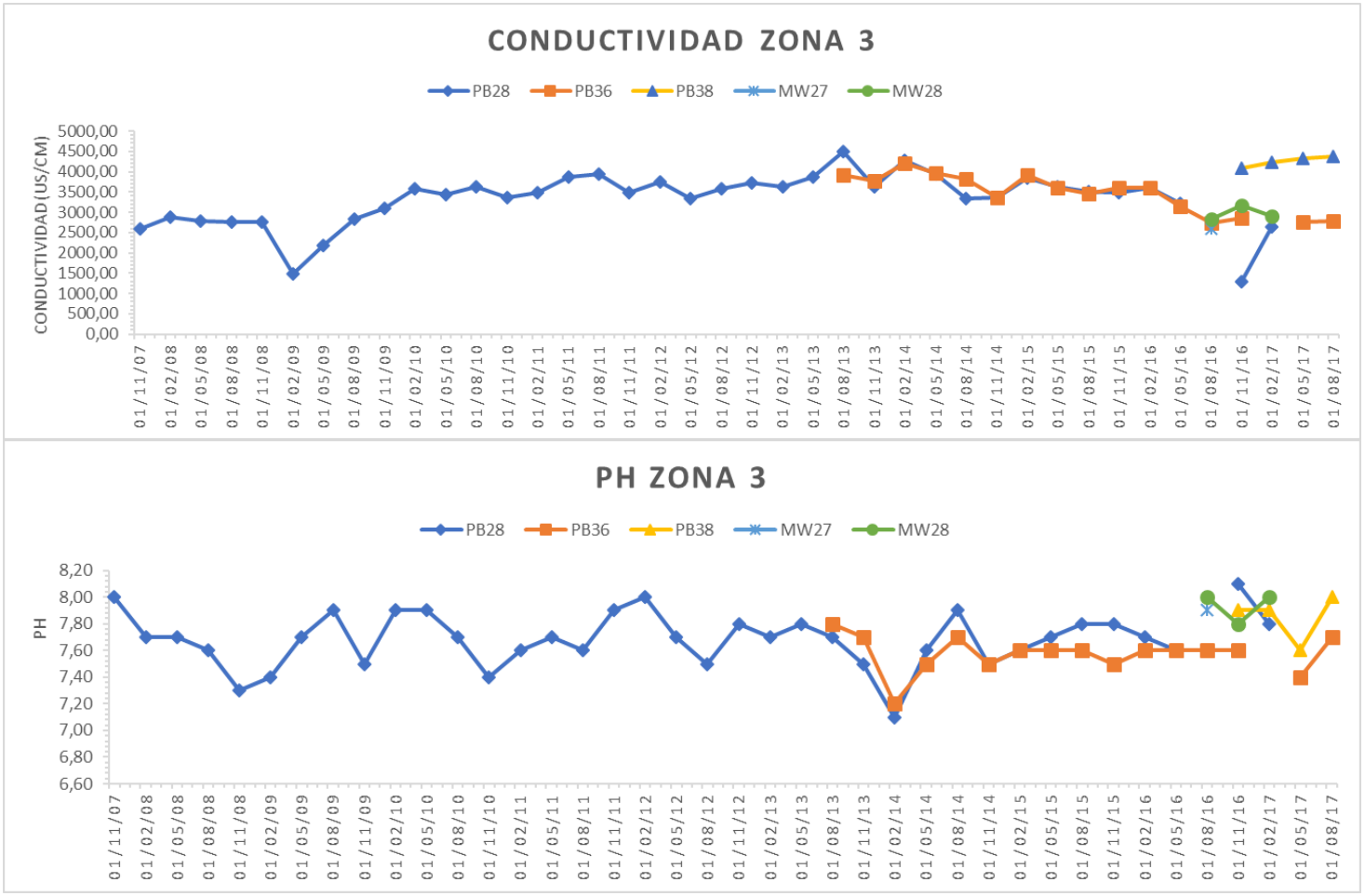


Figura 2.14. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

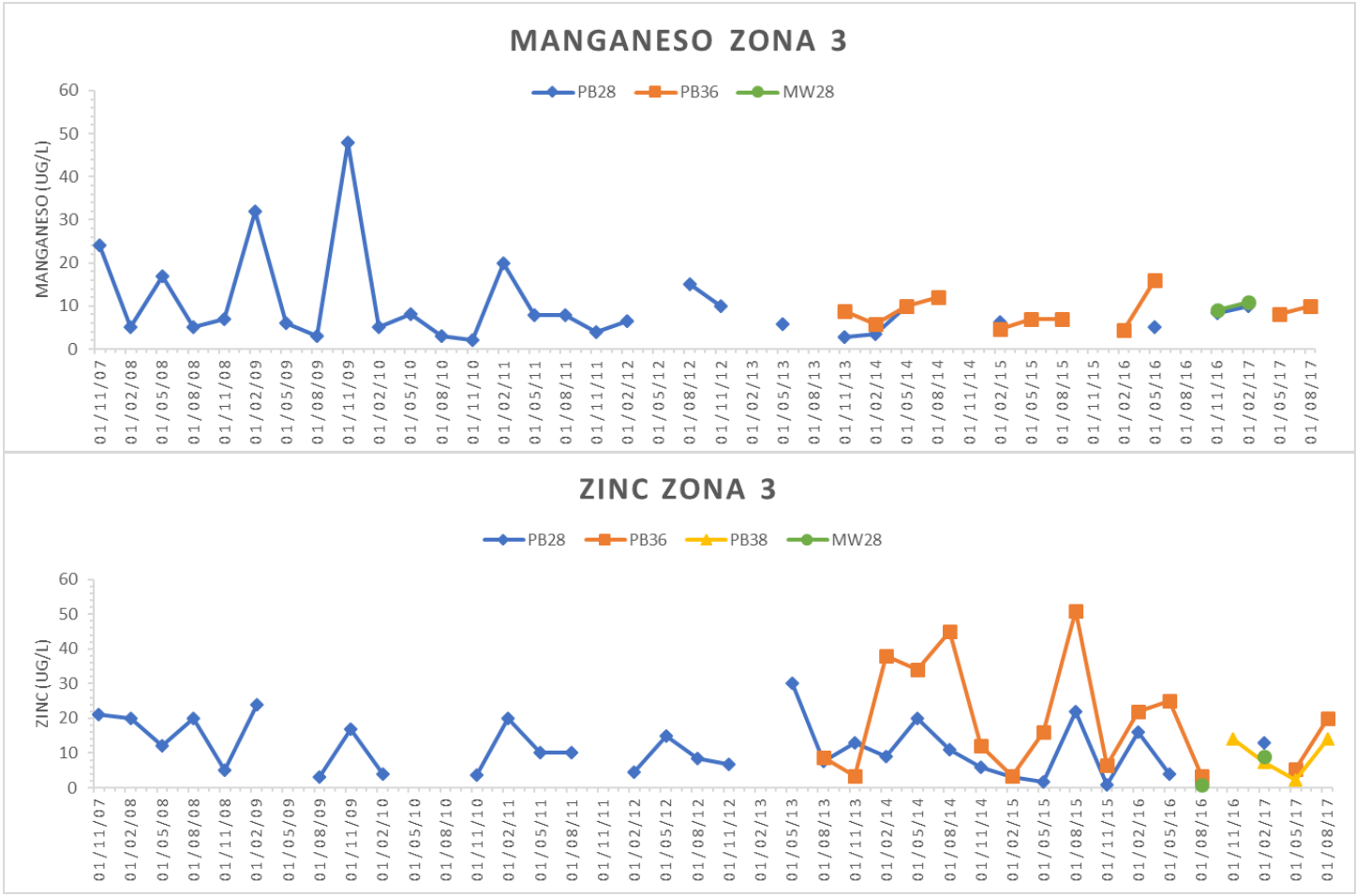


Figura 2.15. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

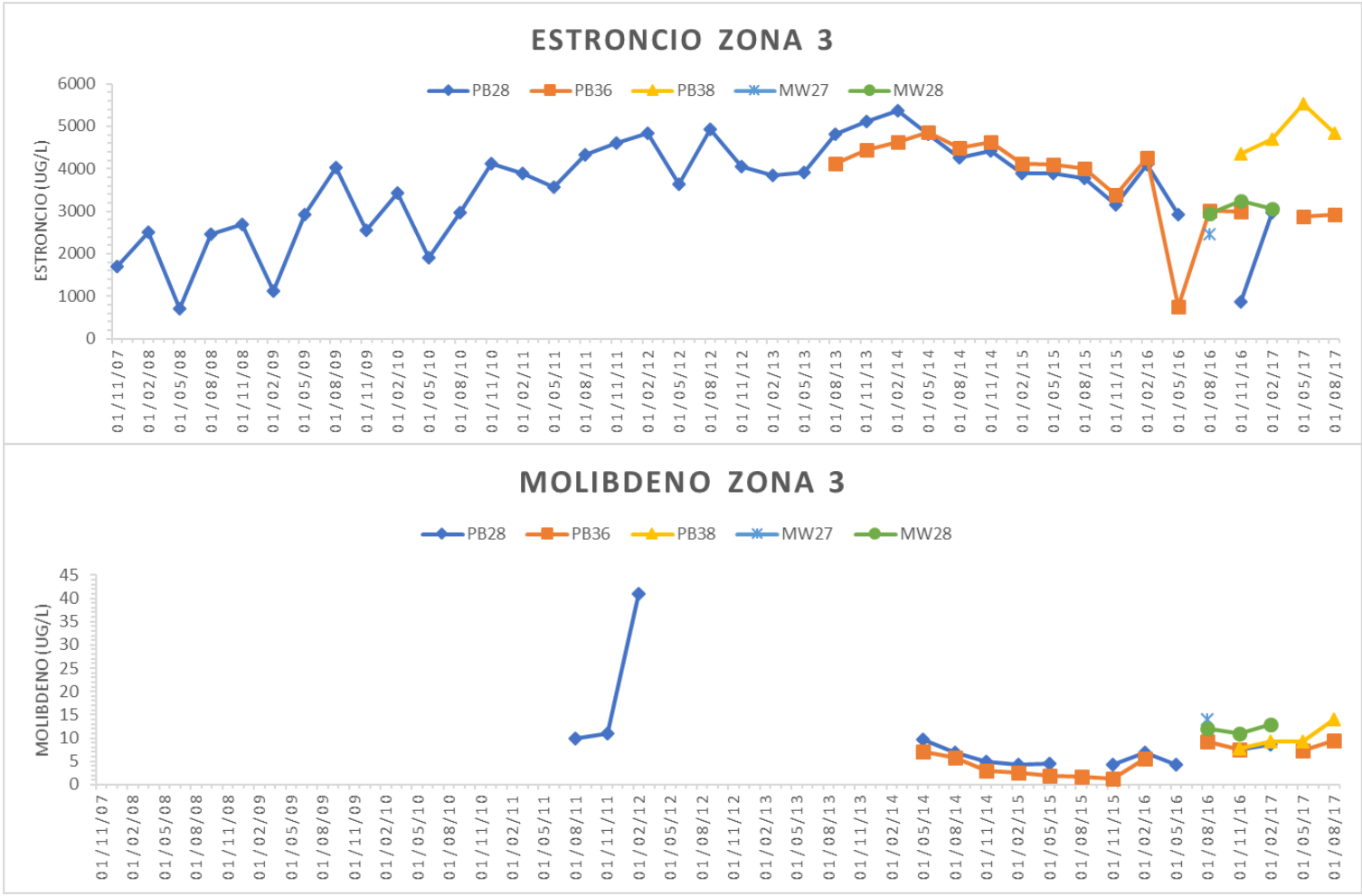


Figura 2.16. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 3. (Fuente: elaborado por IATASA).

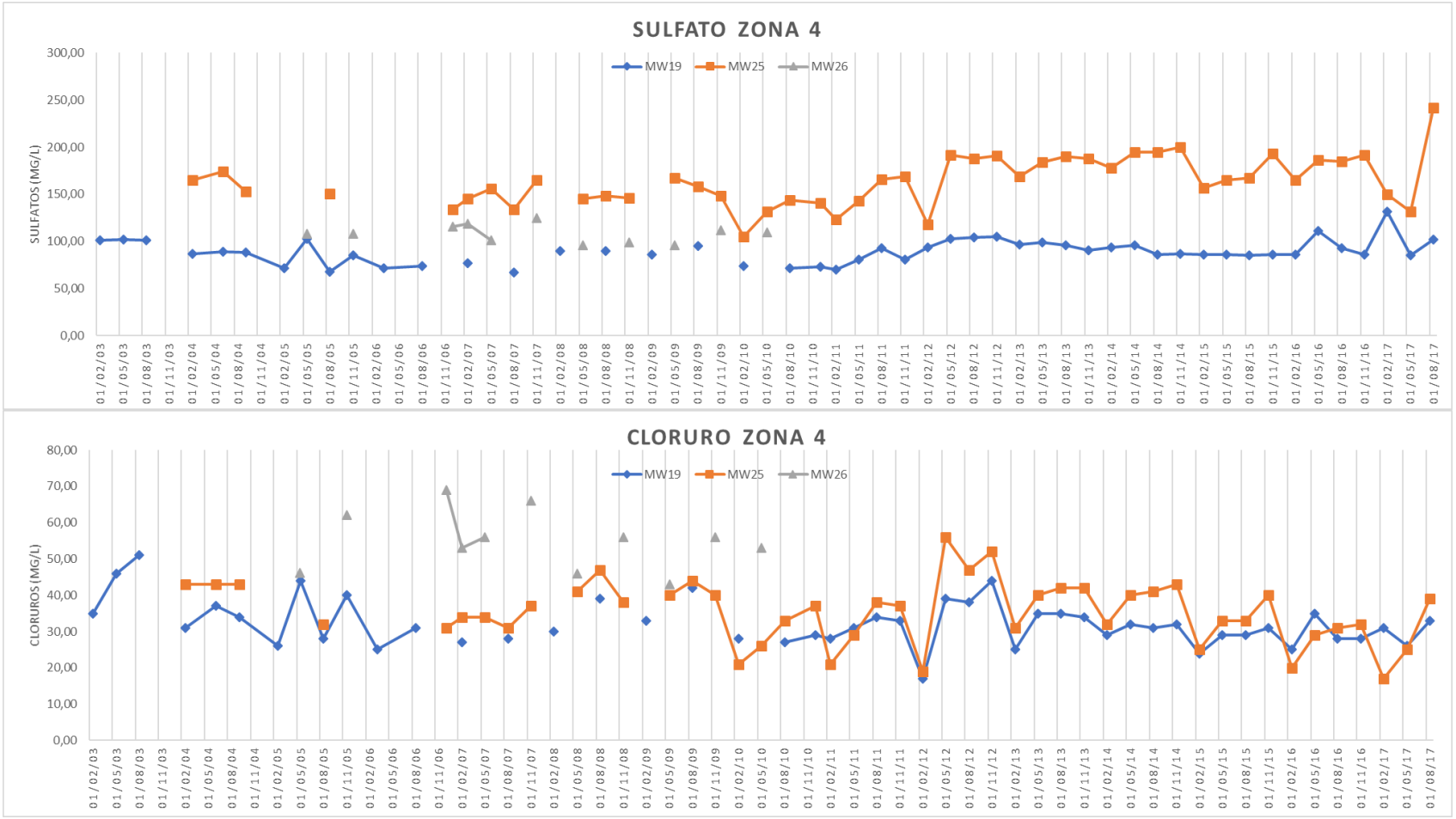


Figura 2.17. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

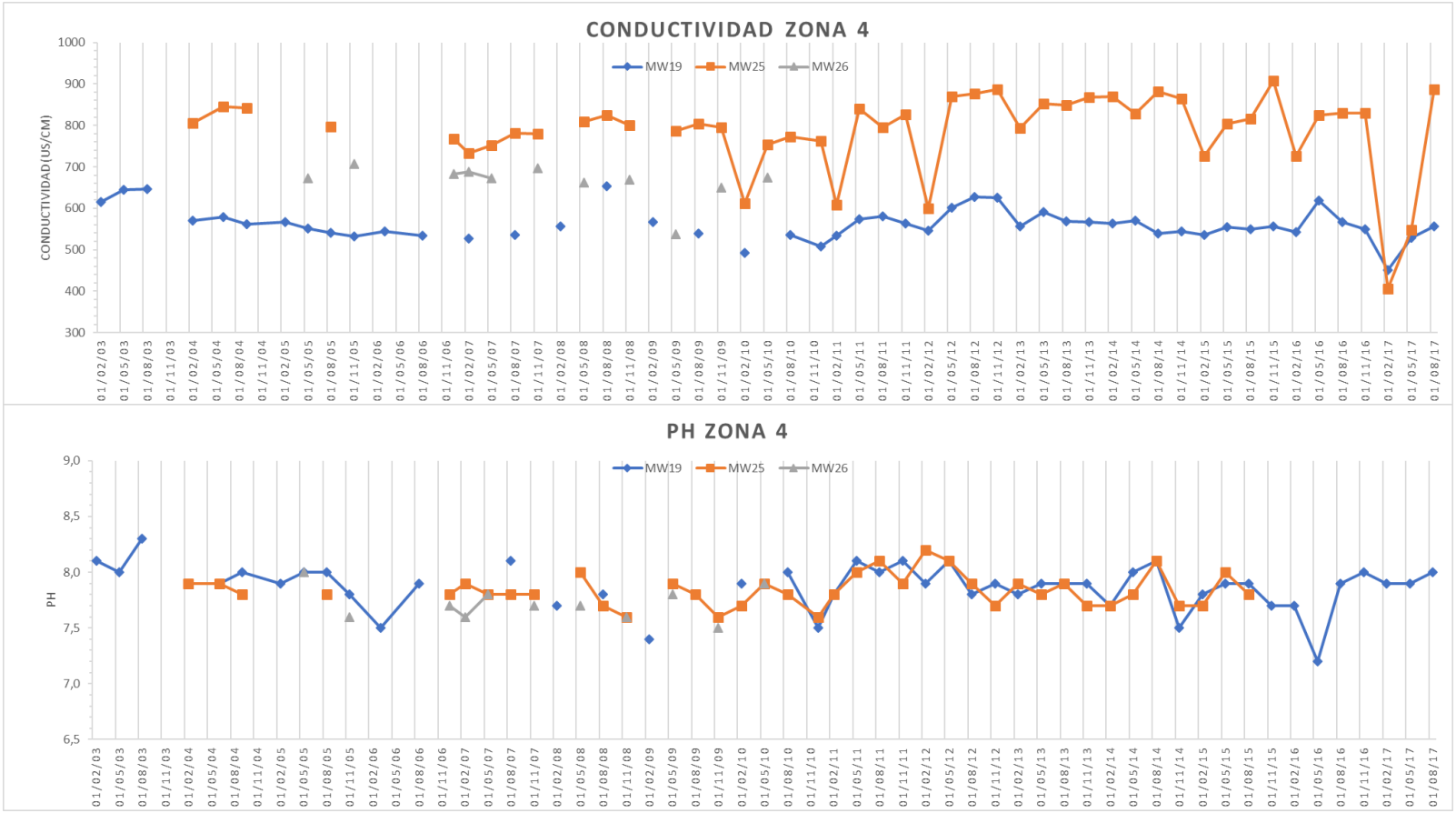


Figura 2.18. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

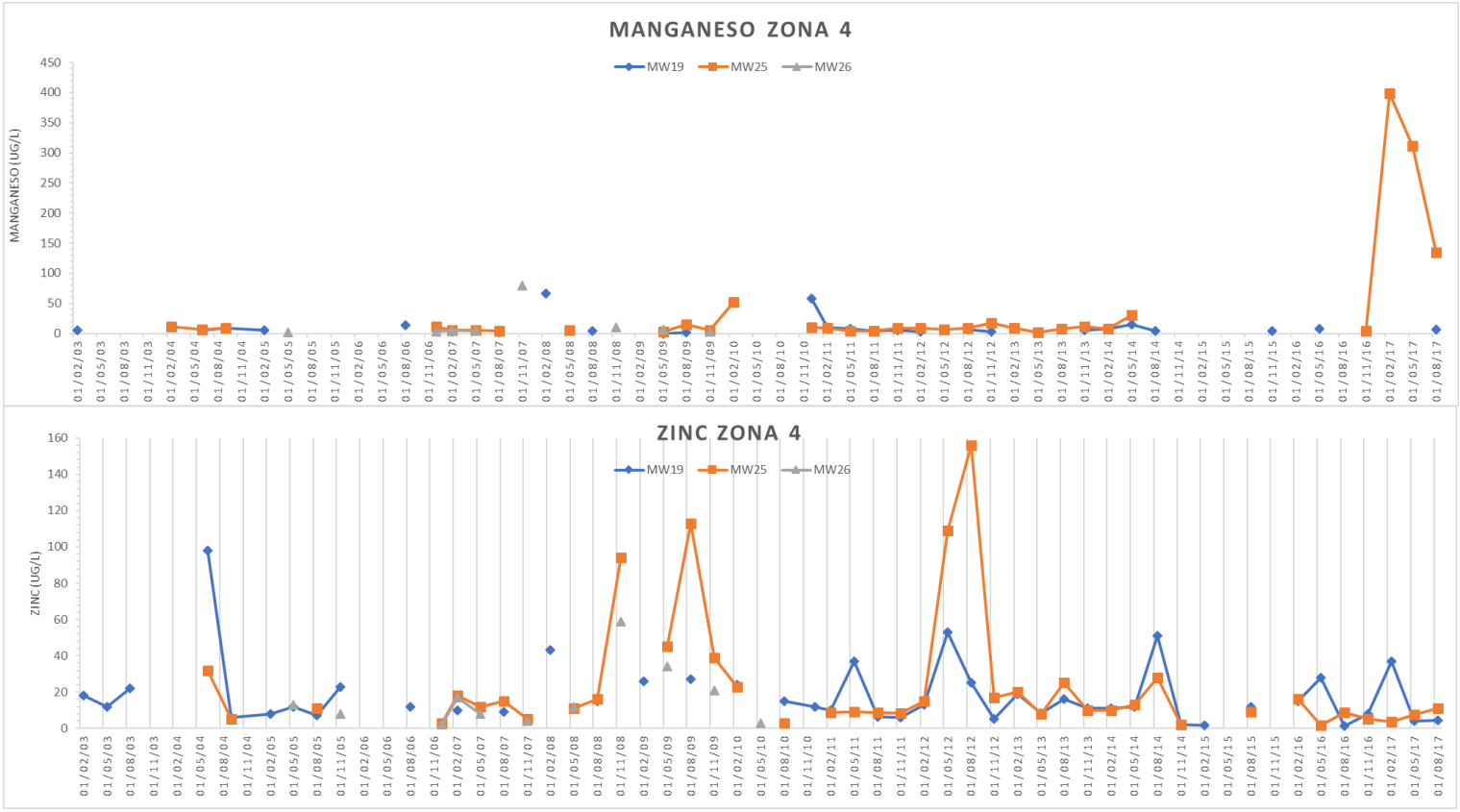


Figura 2.19. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

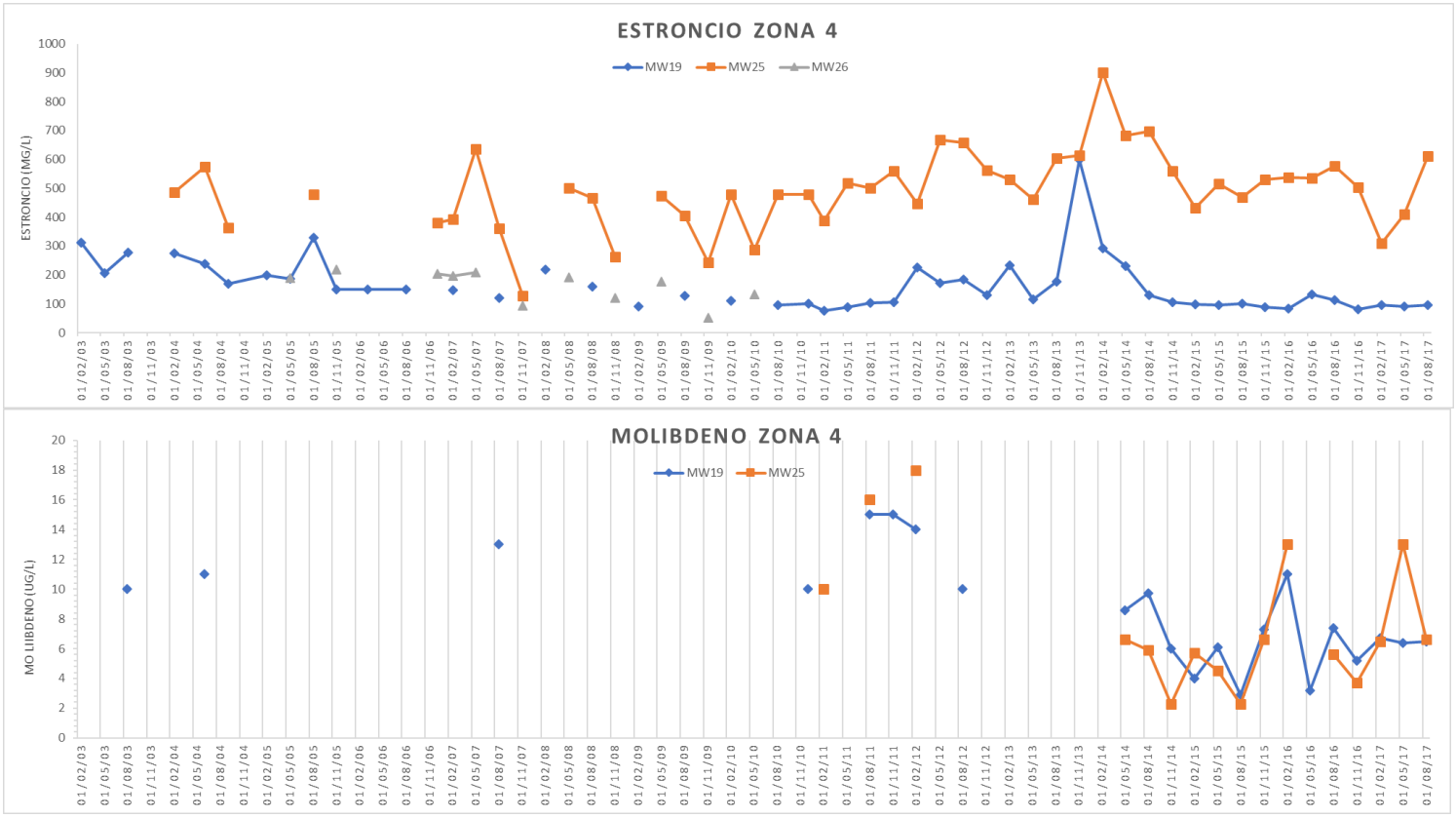


Figura 2.20. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 4. (Fuente: elaborado por IATASA).

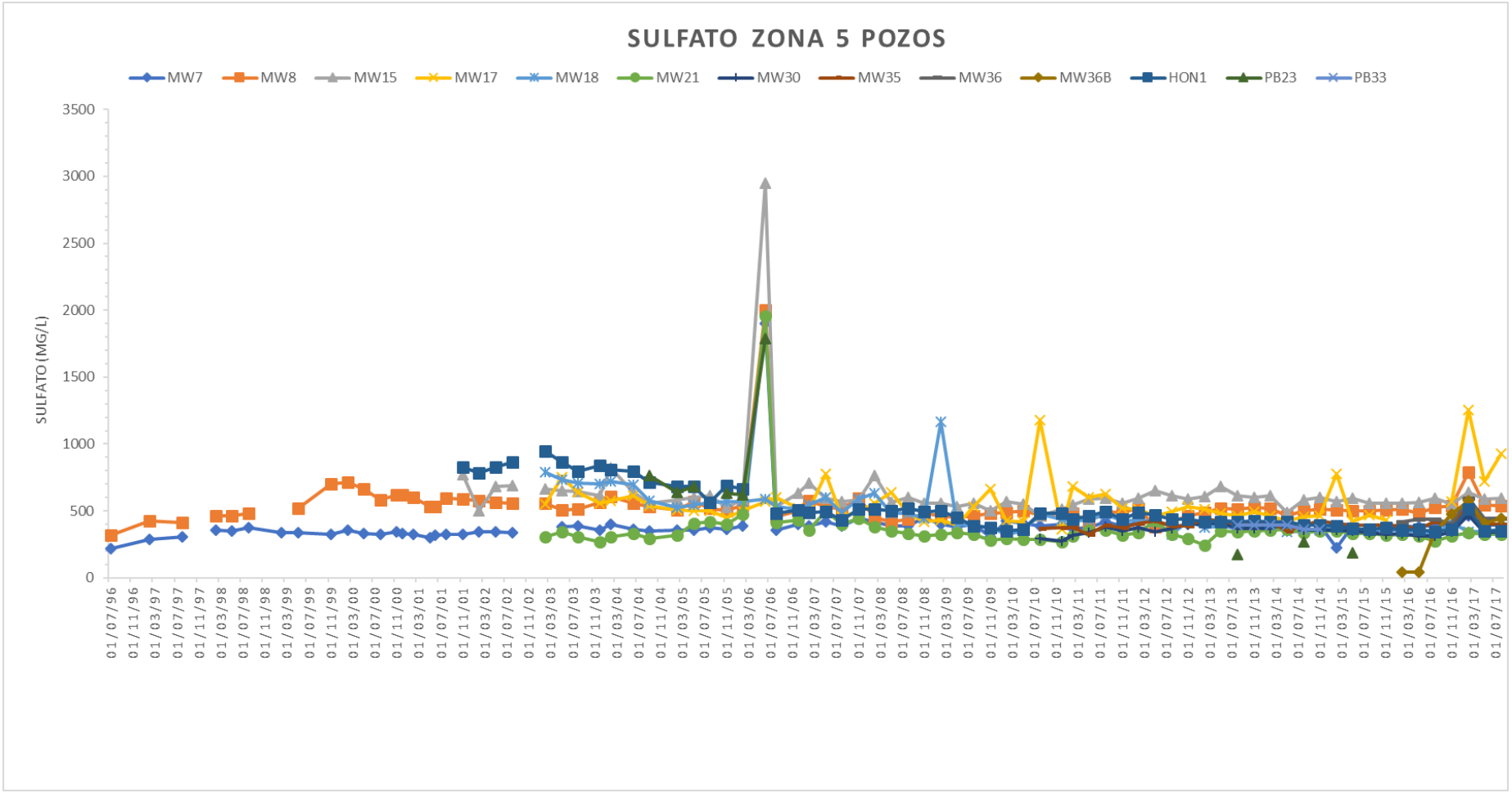


Figura 2.21. Tendencia evolutiva de sulfatos en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

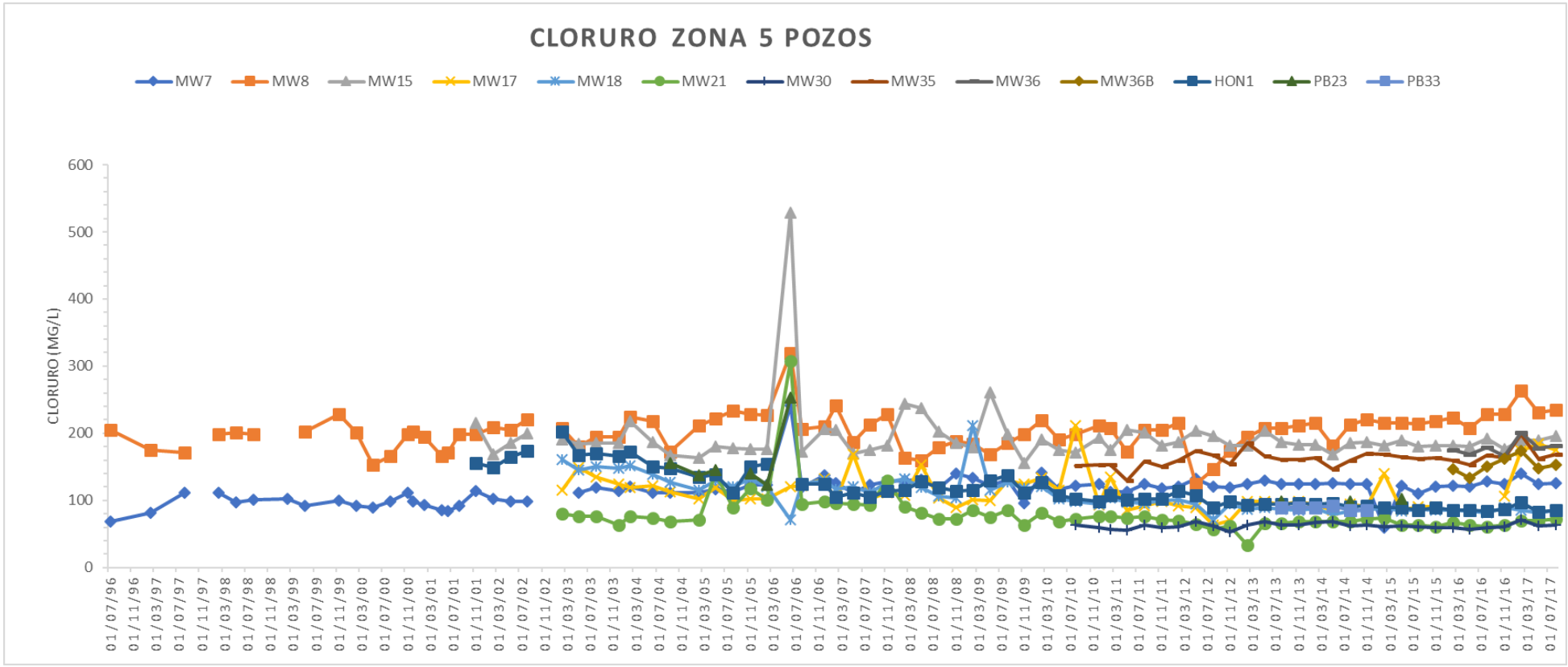


Figura 2.22. Tendencia evolutiva de cloruros en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

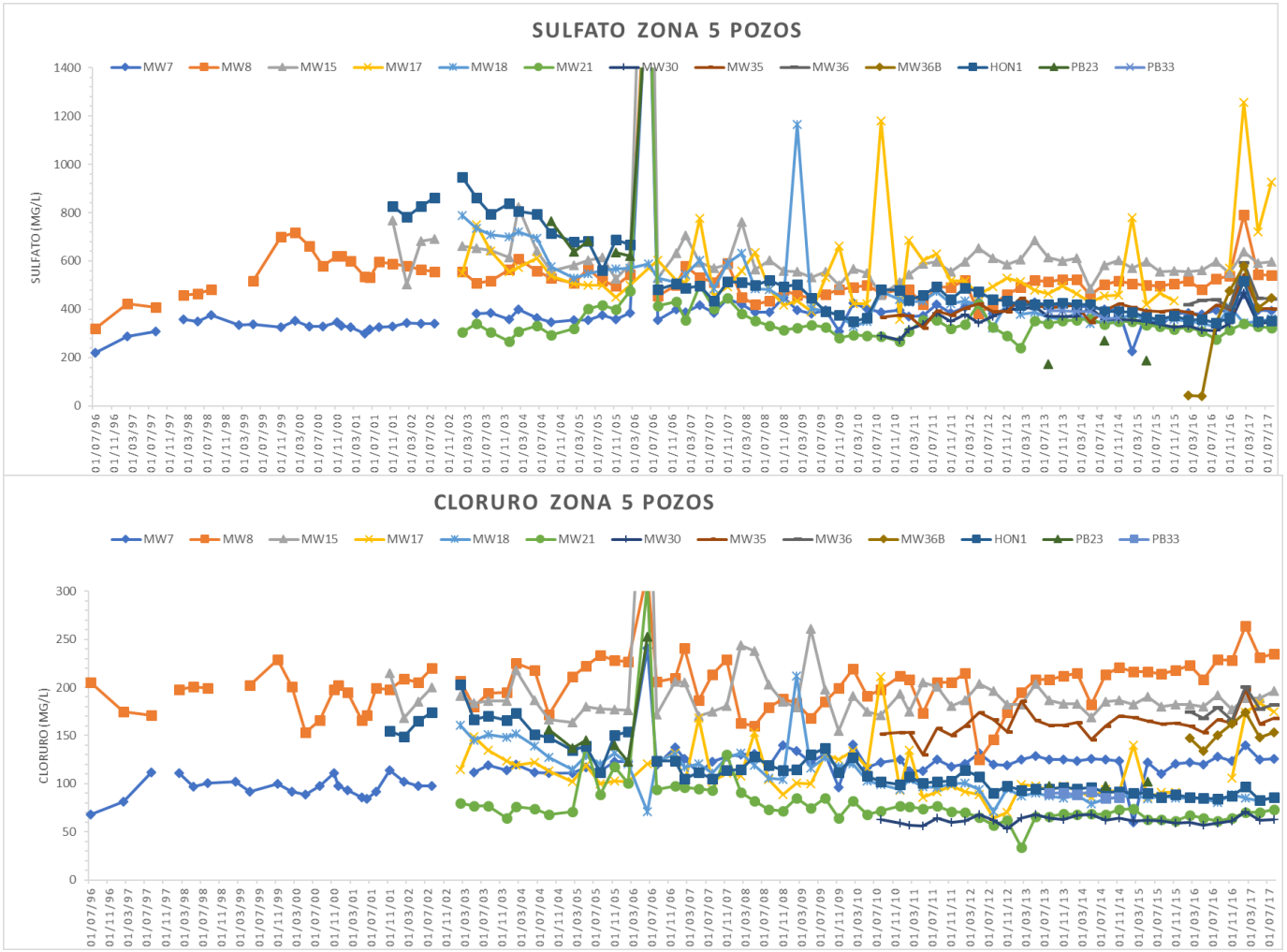


Figura 2.23. Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

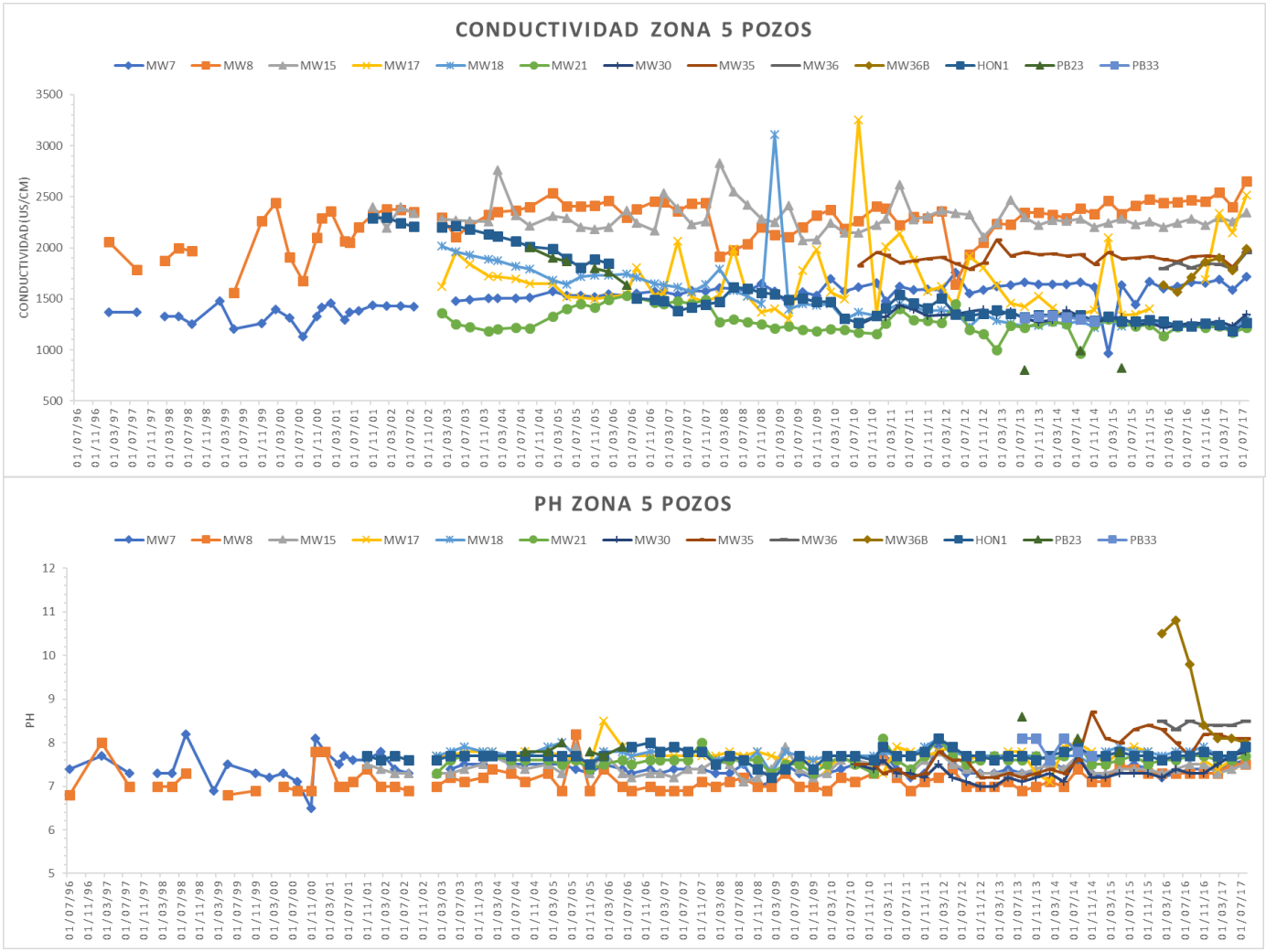


Figura 2.24. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

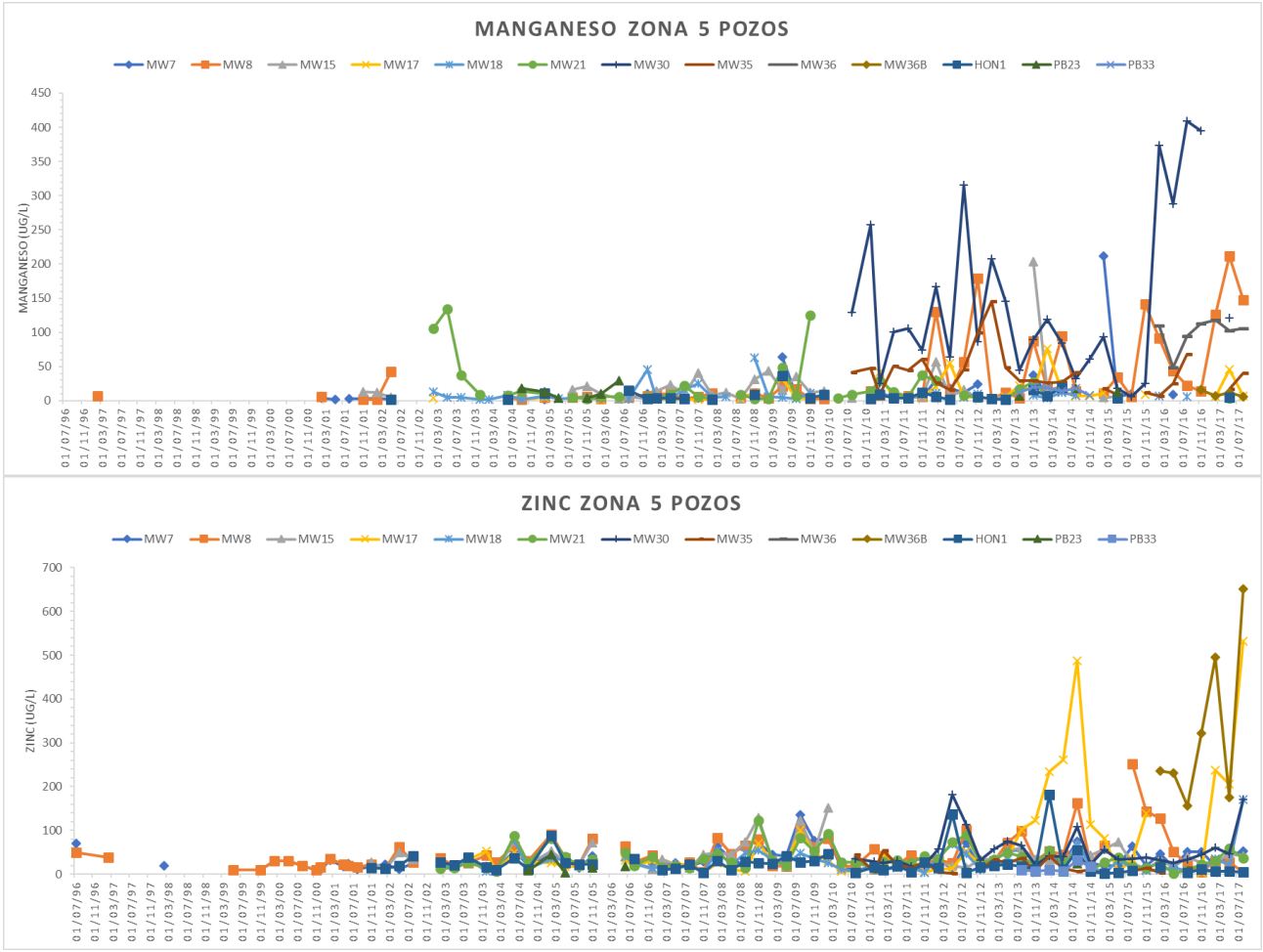


Figura 2.25. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

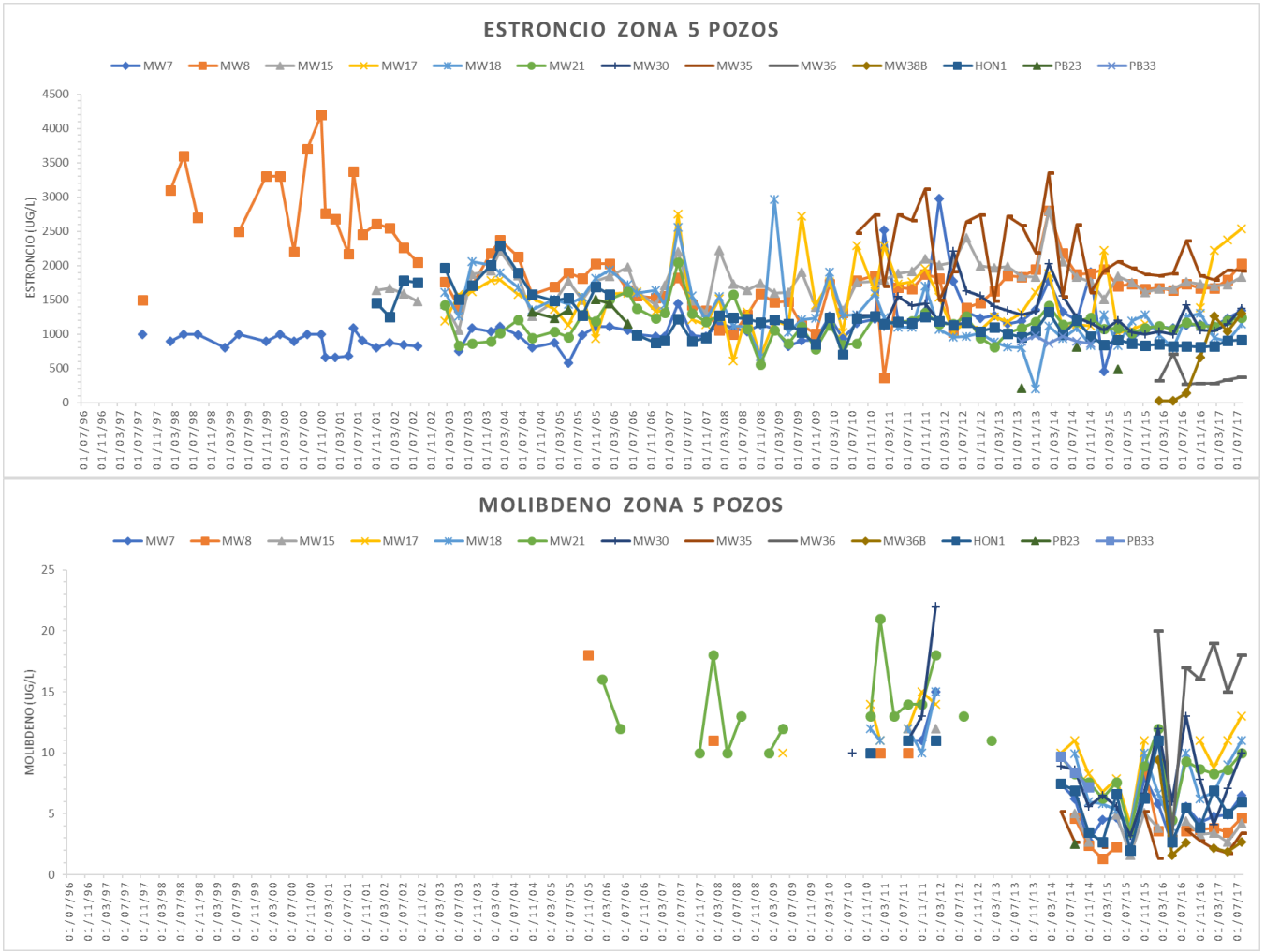


Figura 2.26. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 5 - Pozos. (Fuente: elaborado por IATASA).

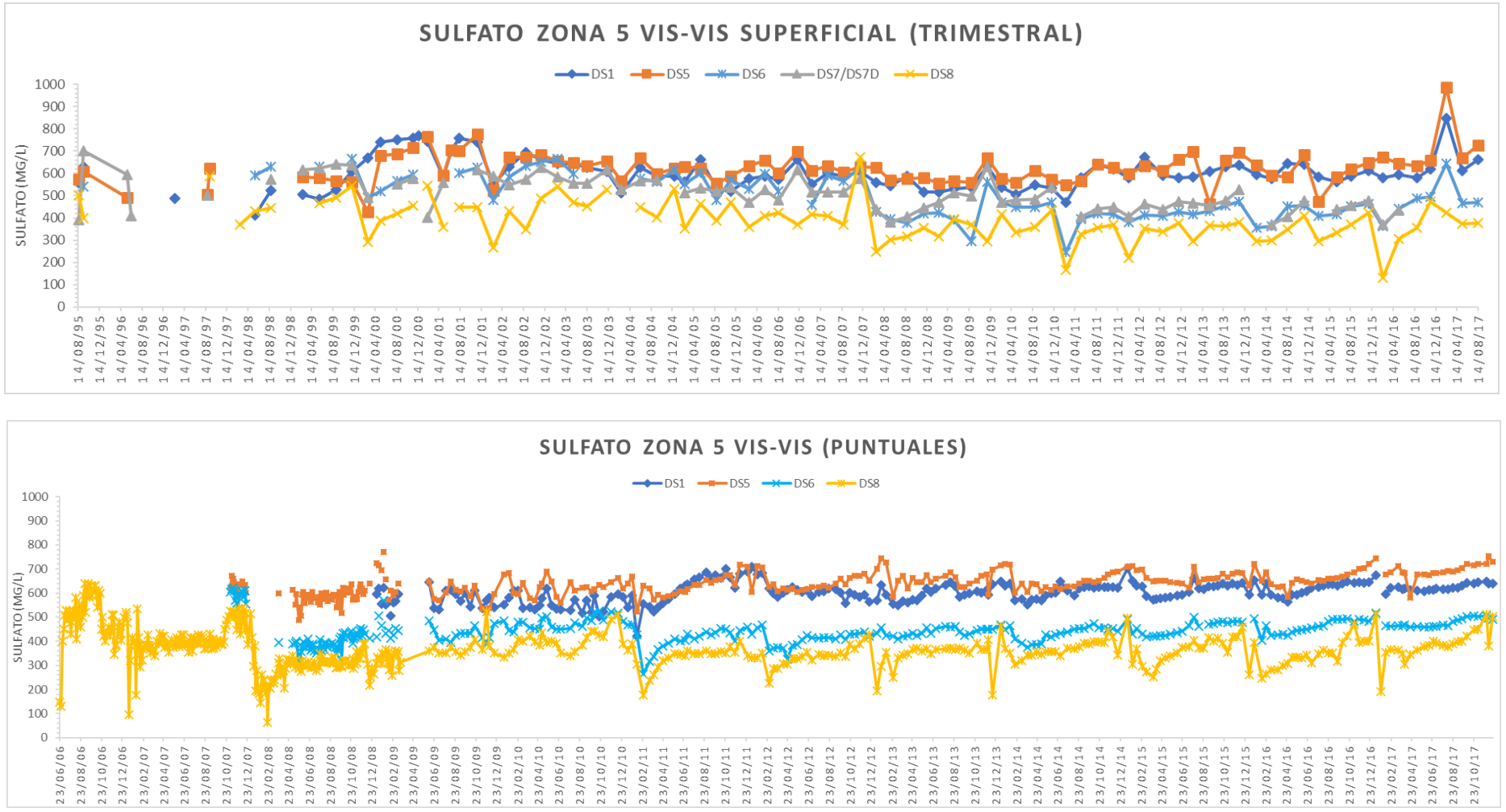


Figura 2.27. Tendencia evolutiva de sulfatos en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

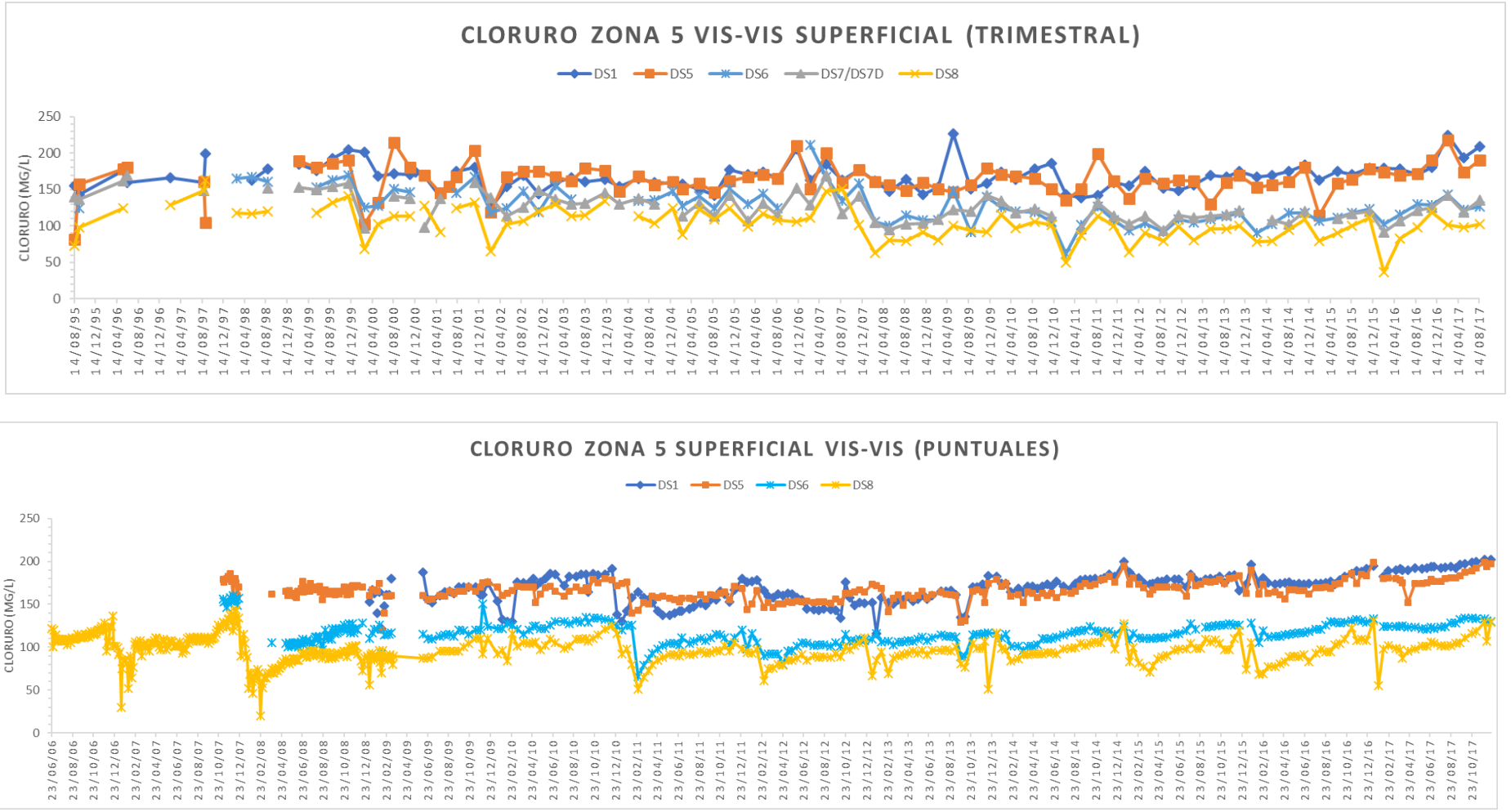


Figura 2.28. Tendencia evolutiva de cloruros en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

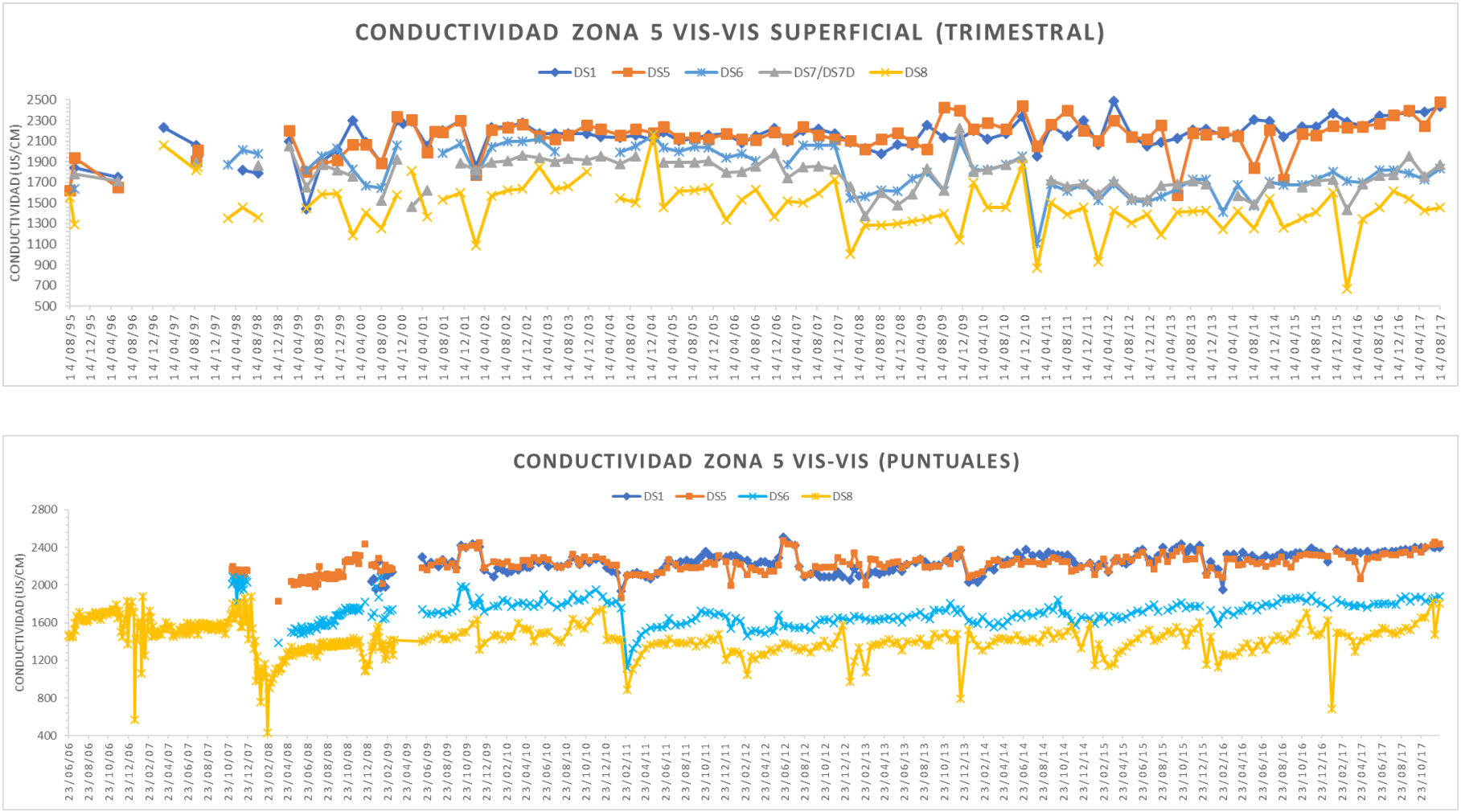


Figura 2.29. Tendencia evolutiva de conductividad en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

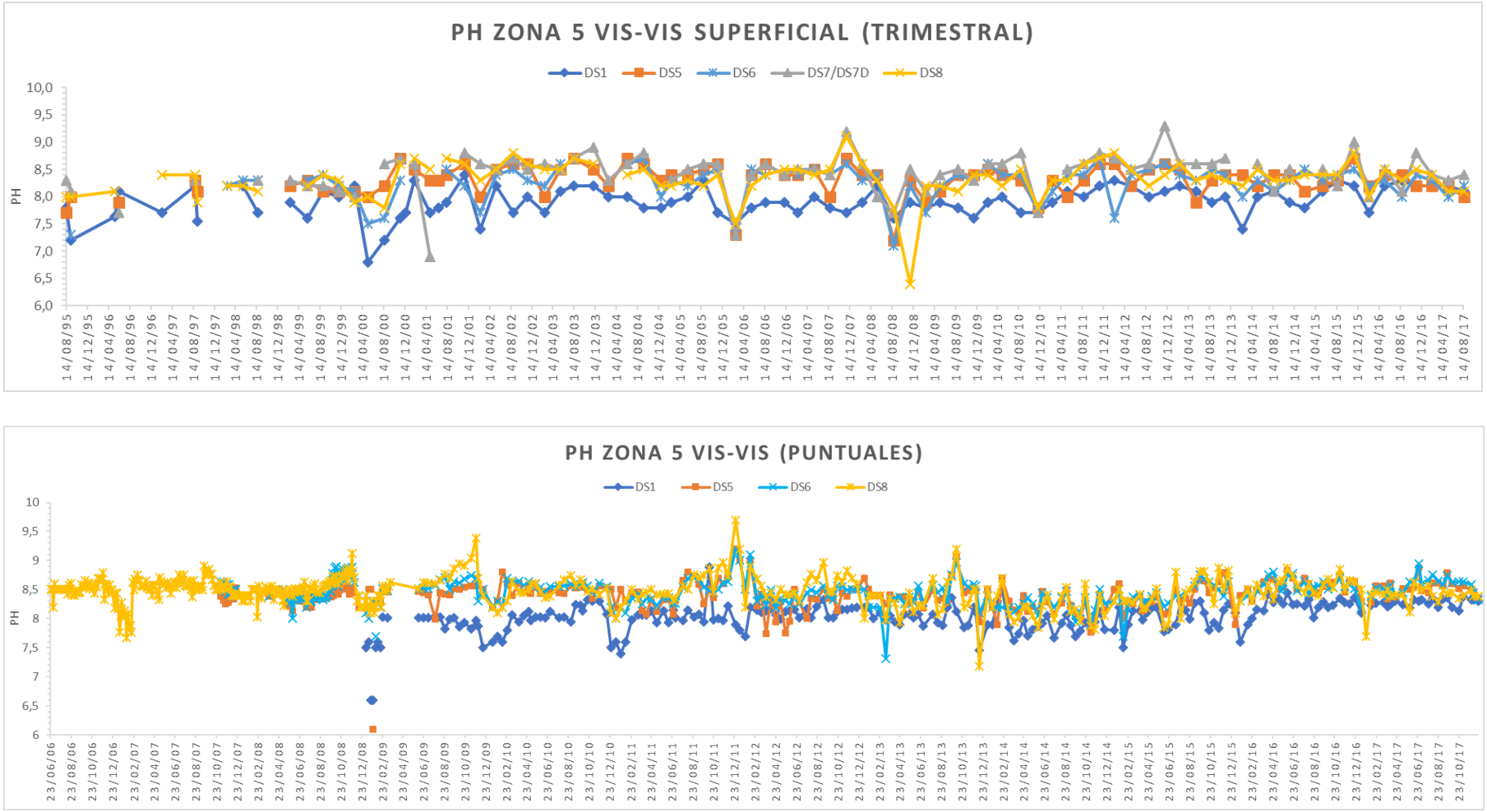


Figura 2.30. Tendencia evolutiva de pH en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

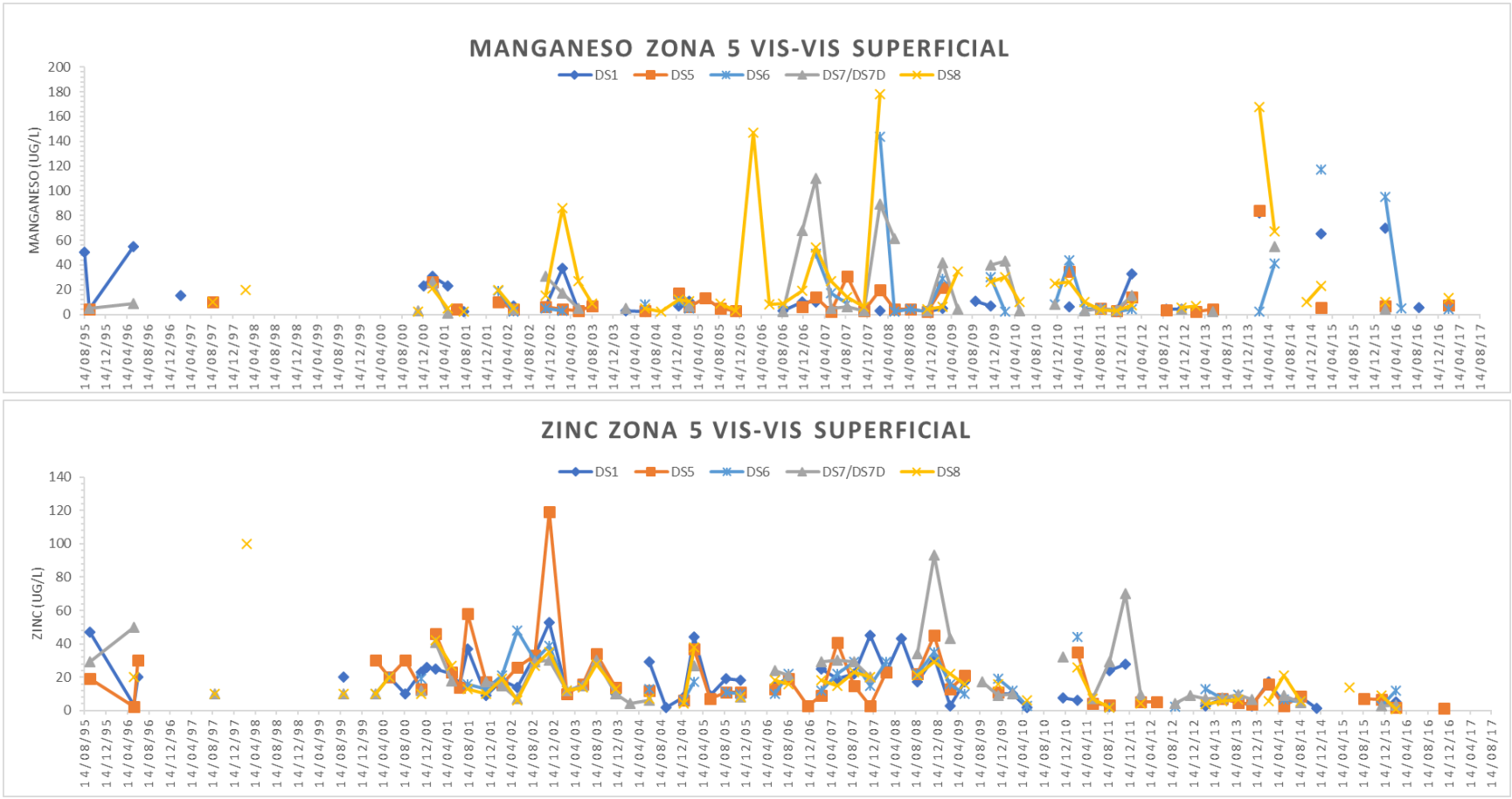


Figura 2.31. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

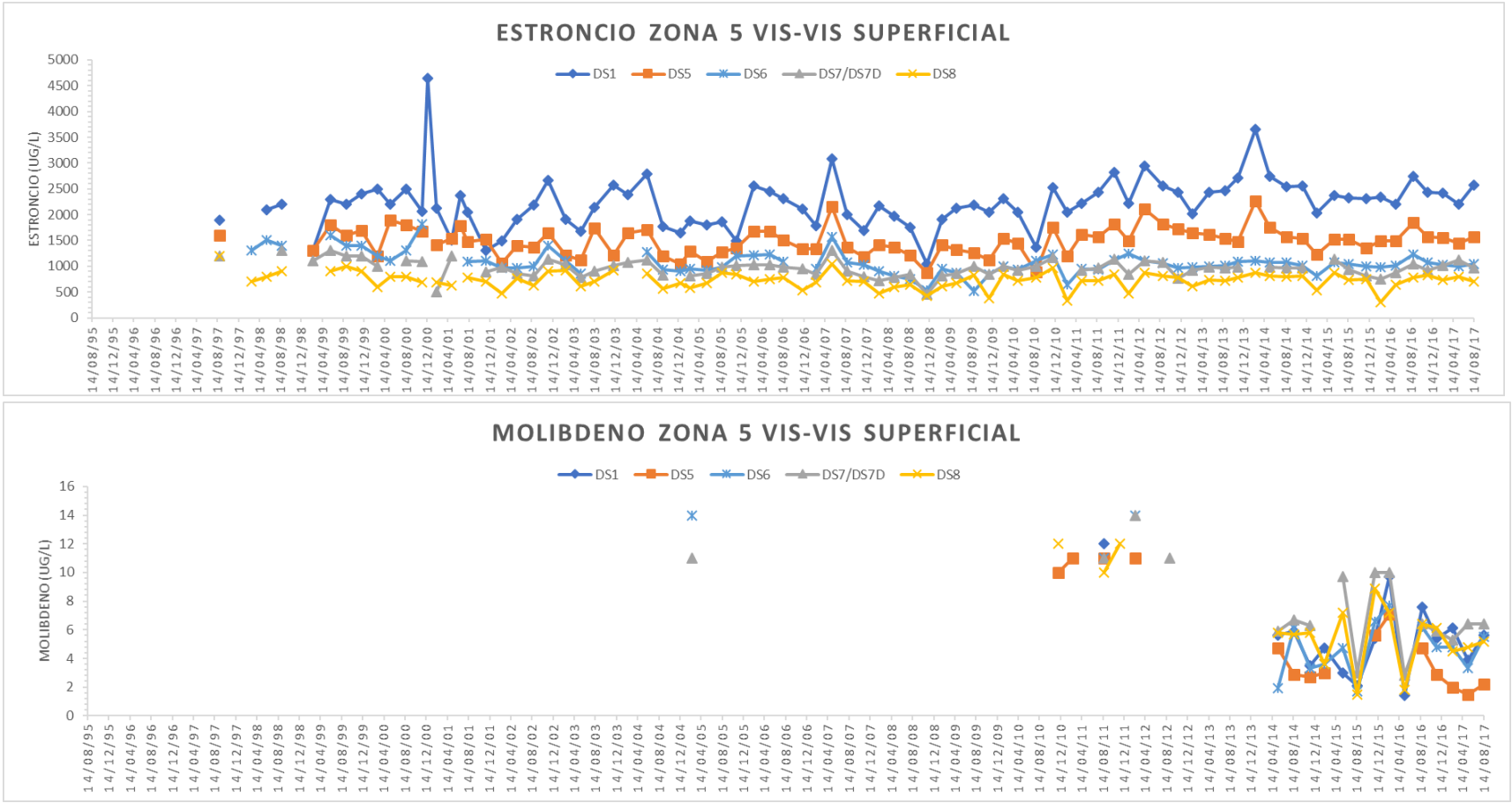


Figura 2.32. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 5 – Vis Vis Superficial. (Fuente: elaborado por IATASA).

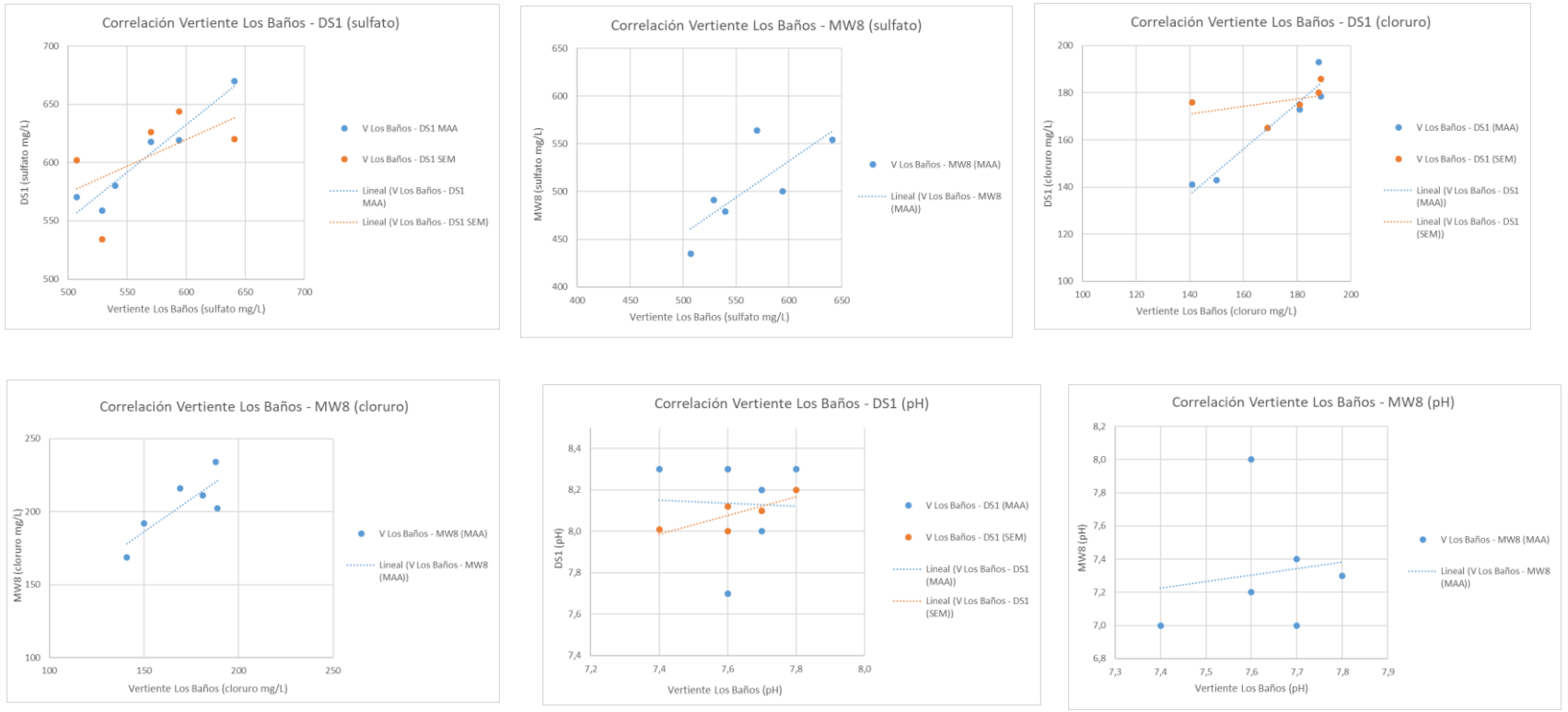


Figura 2.33. Gráficos de correlación. (Fuente: elaborado por IATASA).

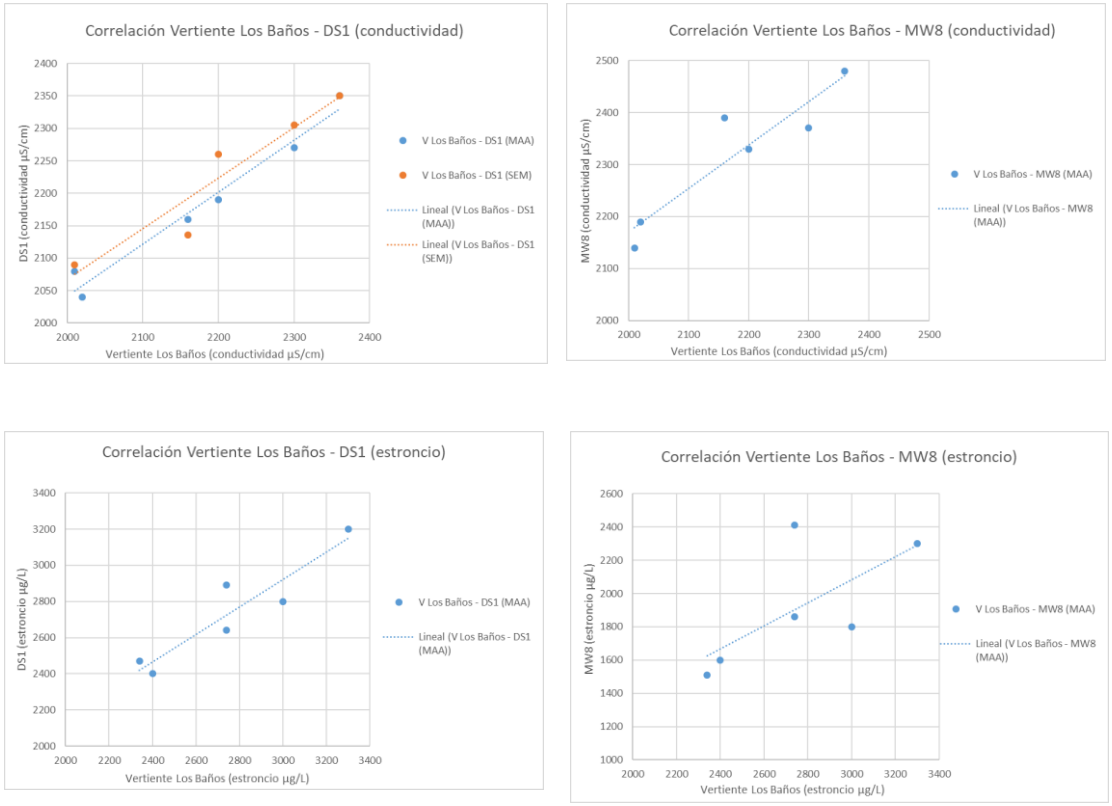


Figura 2.34. Gráficos de correlación (continua de la Figura 2.33). (Fuente: elaborado por IATASA).

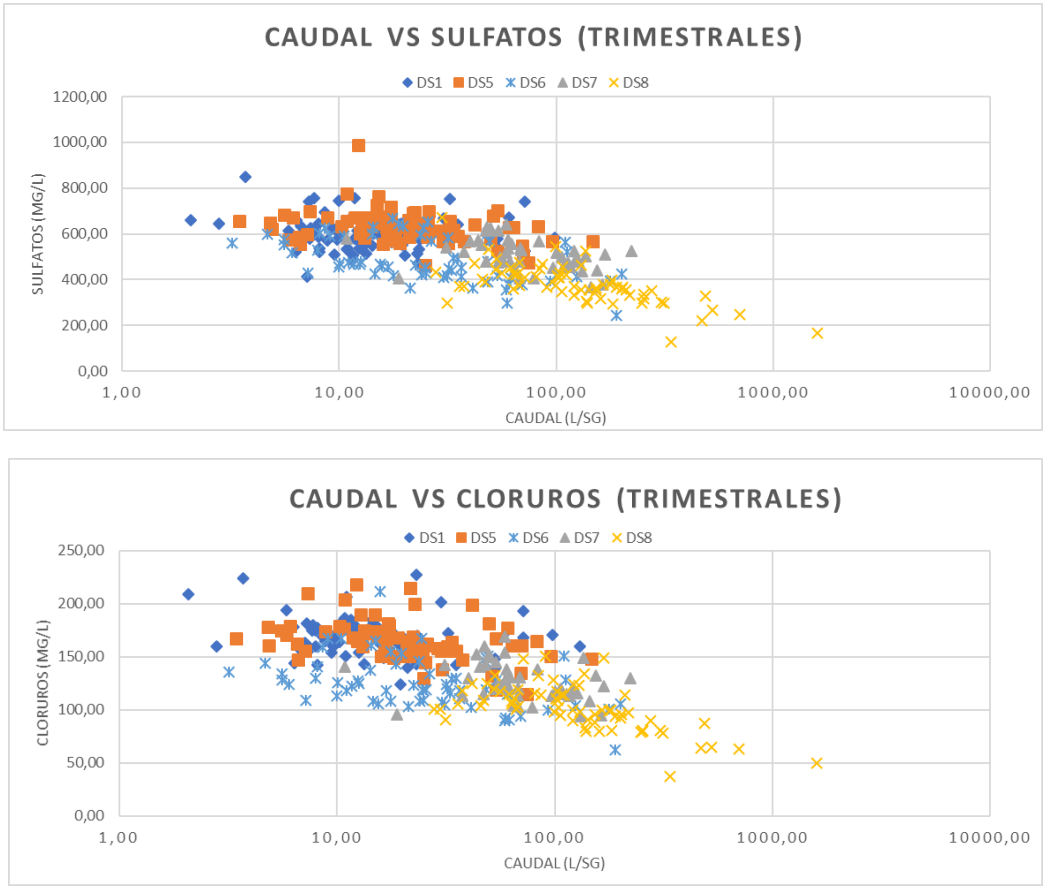


Figura 2.35. Gráficos que muestra la relación existente entre variaciones de caudal con respecto al incremento o decrecimiento de las concentraciones en sulfatos y cloruros. (Fuente: elaborado por IATASA).

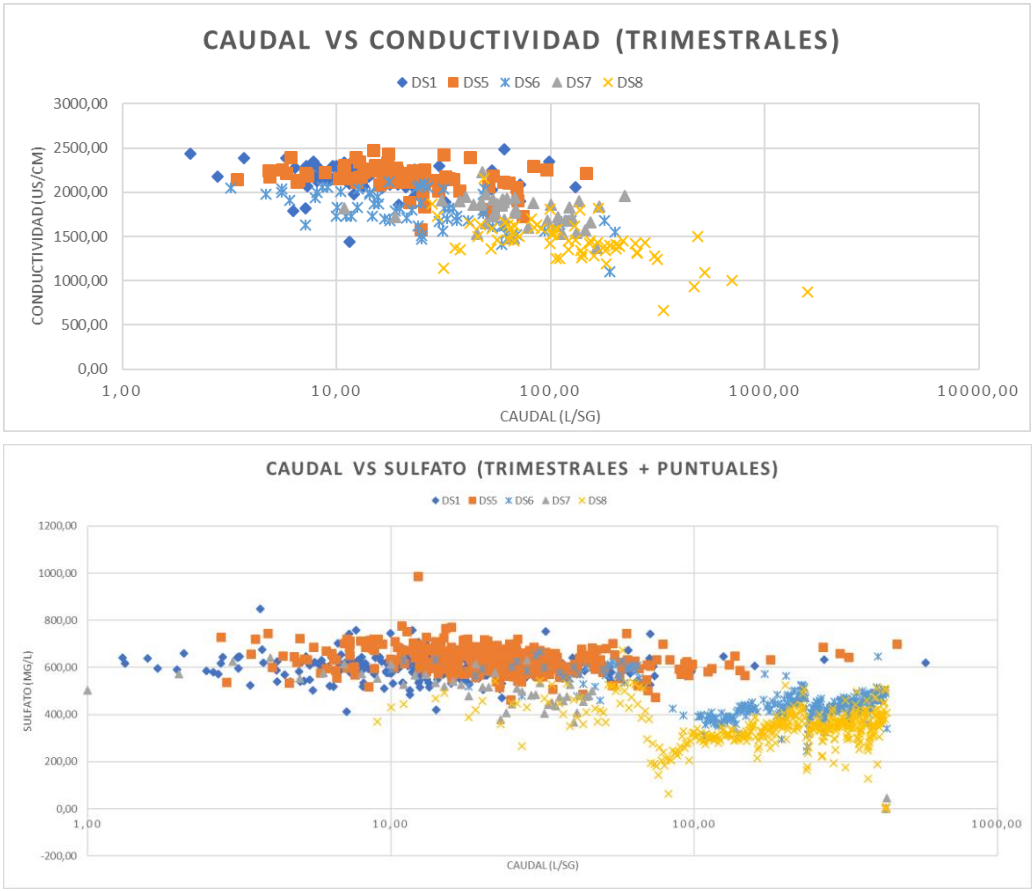


Figura 2.36. Gráficos que muestra la relación existente entre variaciones de caudal con respecto al incremento o decrecimiento de las concentraciones en sulfatos y conductividad. (Fuente: elaborado por IATASA).

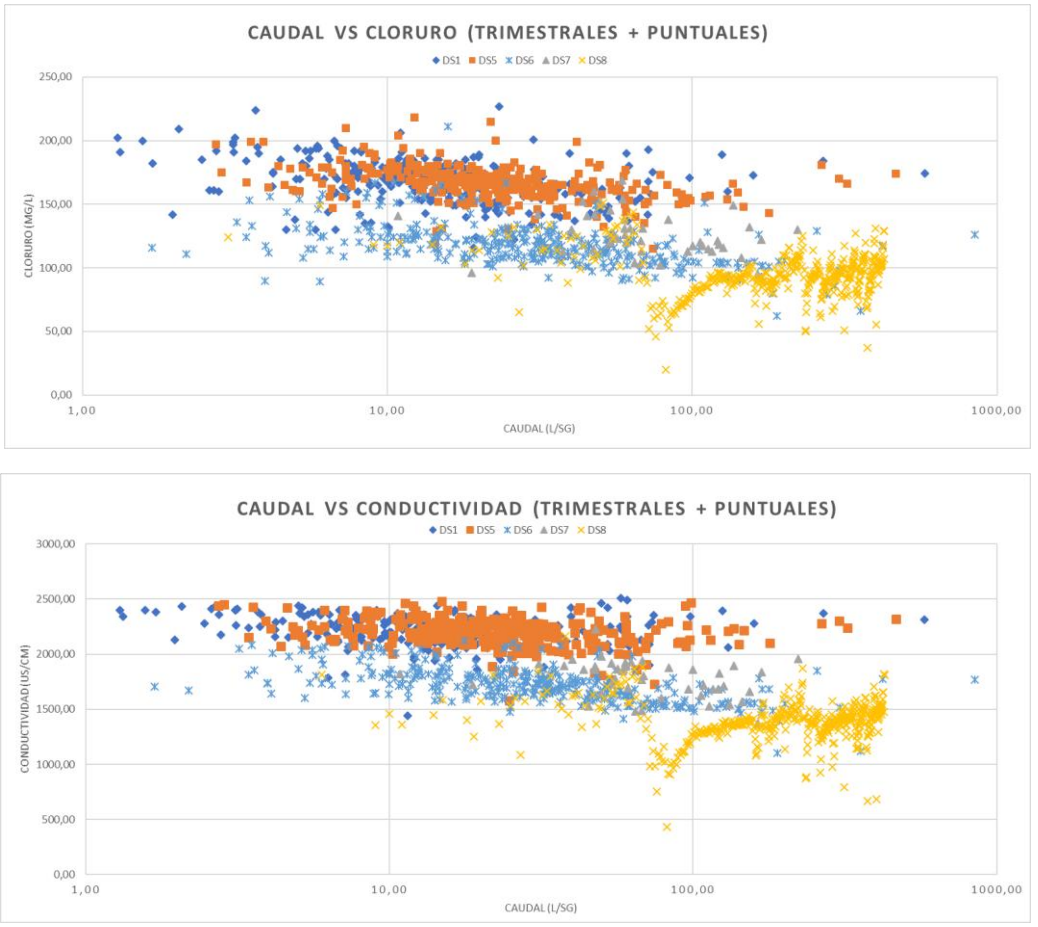


Figura 2.37. Gráficos que muestra la relación existente entre variaciones de caudal con respecto al incremento o decrecimiento de las concentraciones en cloruros y conductividad. (Fuente: elaborado por IATASA).

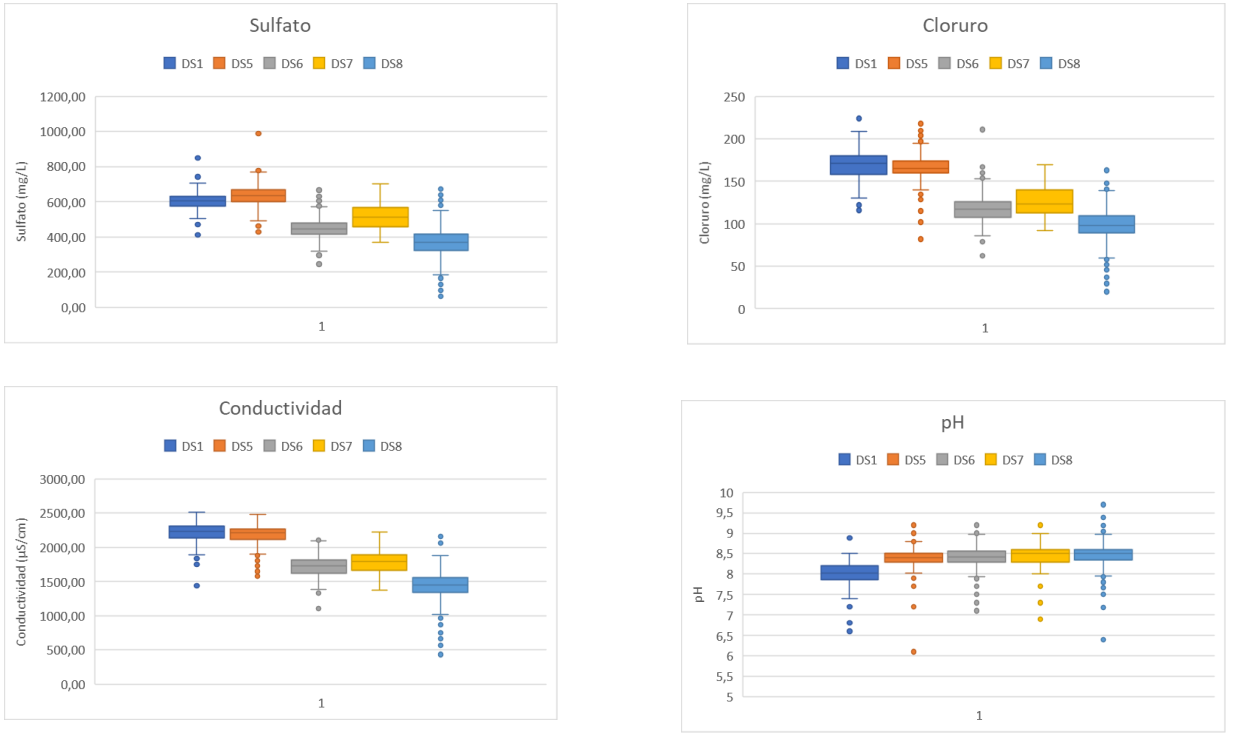
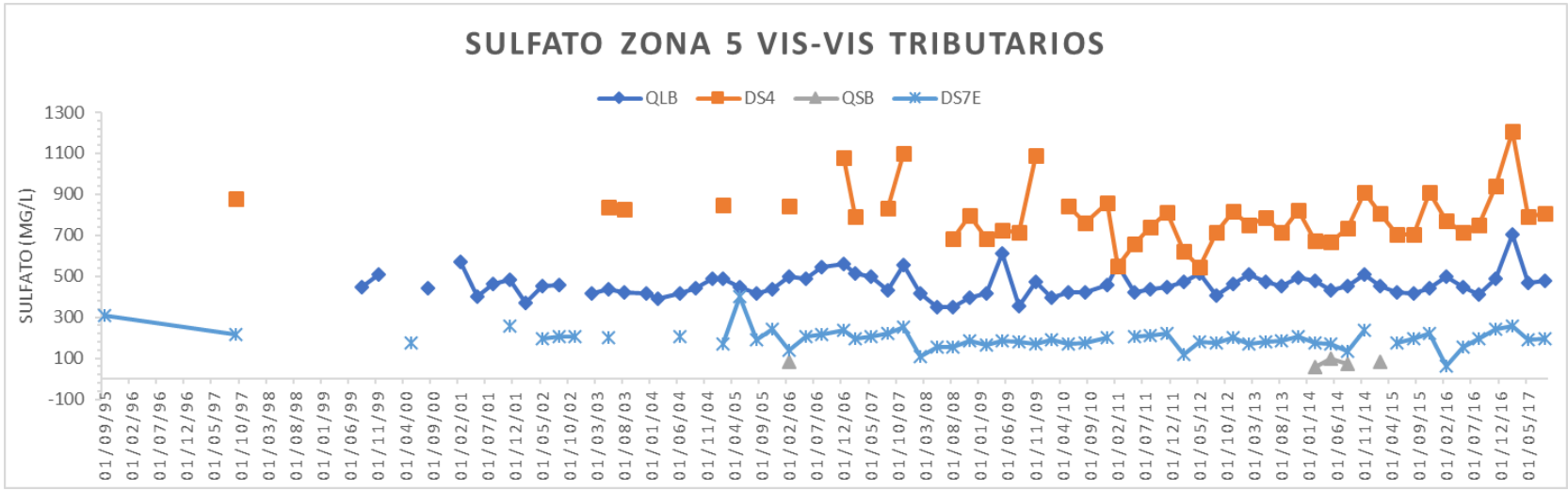


Figura 2.38. Diagramas de caja y bigotes. (Fuente: elaborado por IATASA).


SULFATO ZONA 5 VIS-VIS TRIBUTARIOS
QLB
DS4
QSB
DS7E
SULFATO (MG/L)
1300
1100
900
700
500
300
100
-100
01/09/95
01/02/96
01/07/96
01/12/96
01/05/97
01/10/97
01/03/98
01/08/98
01/01/99
01/06/99
01/11/99
01/04/00
01/09/00
01/02/01
01/07/01
01/12/01
01/05/02
01/10/02
01/03/03
01/08/03
01/01/04
01/06/04
01/11/04
01/04/05
01/09/05
01/02/06
01/07/06
01/12/06
01/05/07
01/10/07
01/03/08
01/08/08
01/01/09
01/06/09
01/11/09
01/04/10
01/09/10
01/02/11
01/07/11
01/12/11
01/05/12
01/10/12
01/03/13
01/08/13
01/01/14
01/06/14
01/11/14
01/04/15
01/09/15
01/02/16
01/07/16
01/12/16
01/05/17

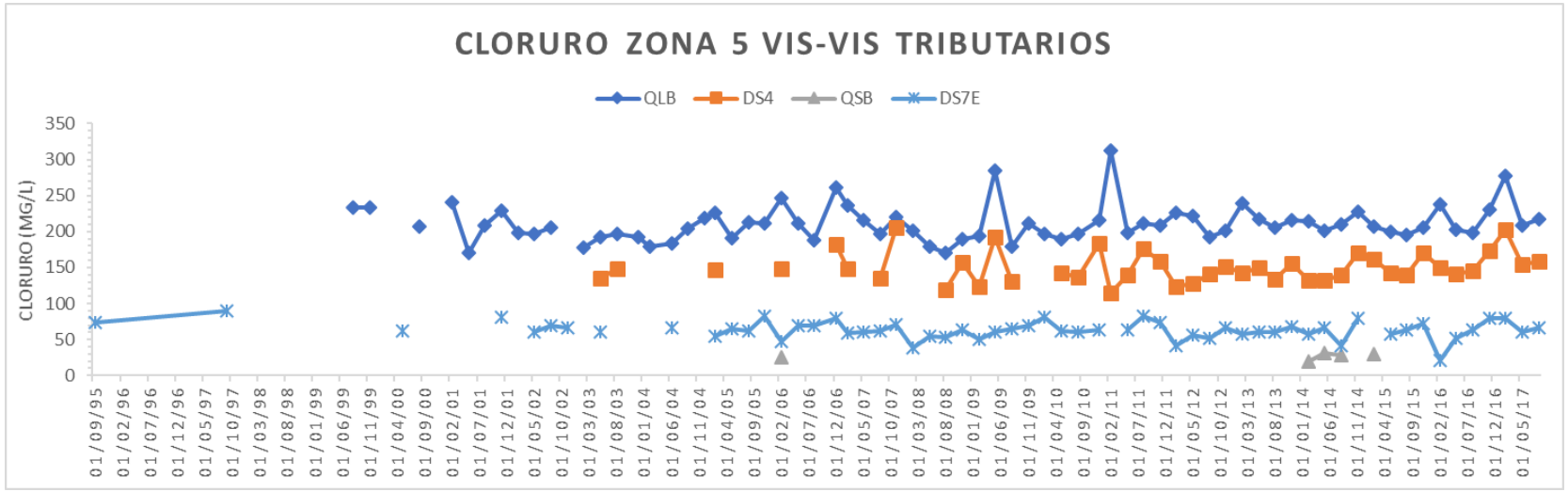
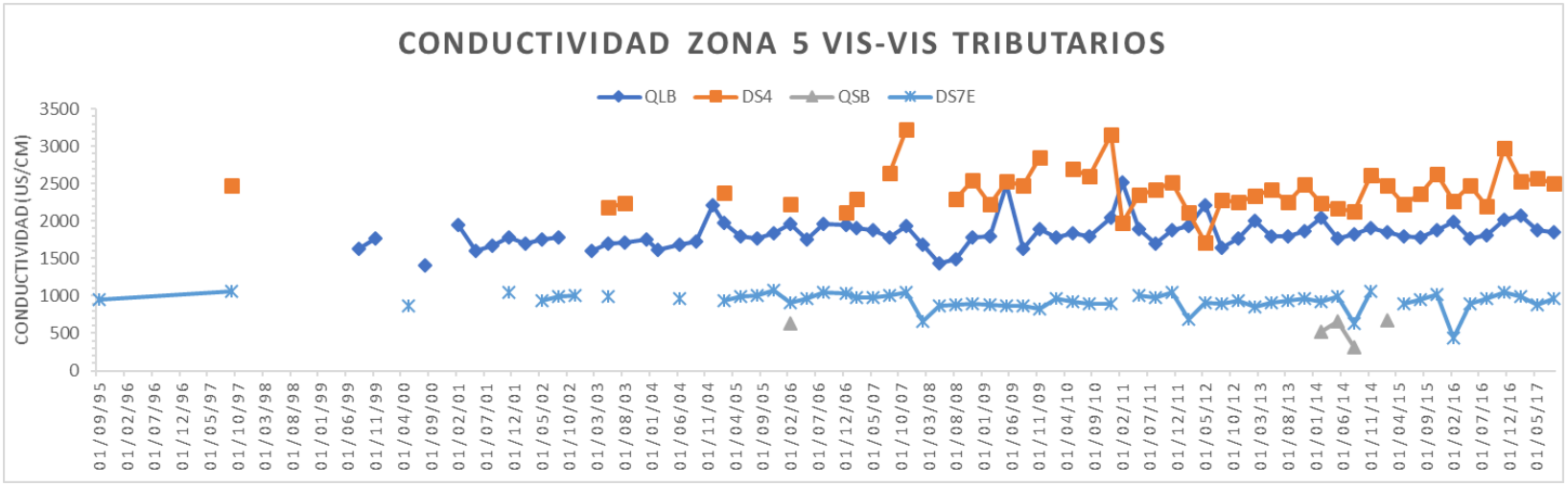

CLORURO ZONA 5 VIS-VIS TRIBUTARIOS
QLB
DS4
QSB
DS7E
CLORURO (MG/L)
350
300
250
200
150
100
50
0
01/09/95
01/02/96
01/07/96
01/12/96
01/05/97
01/10/97
01/03/98
01/08/98
01/01/99
01/06/99
01/11/99
01/04/00
01/09/00
01/02/01
01/07/01
01/12/01
01/05/02
01/10/02
01/03/03
01/08/03
01/01/04
01/06/04
01/11/04
01/04/05
01/09/05
01/02/06
01/07/06
01/12/06
01/05/07
01/10/07
01/03/08
01/08/08
01/01/09
01/06/09
01/11/09
01/04/10
01/09/10
01/02/11
01/07/11
01/12/11
01/05/12
01/10/12
01/03/13
01/08/13
01/01/14
01/06/14
01/11/14
01/04/15
01/09/15
01/02/16
01/07/16
01/12/16
01/05/17

Figura 2.39.



Tendencias evolutivas de sulfatos y cloruros en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

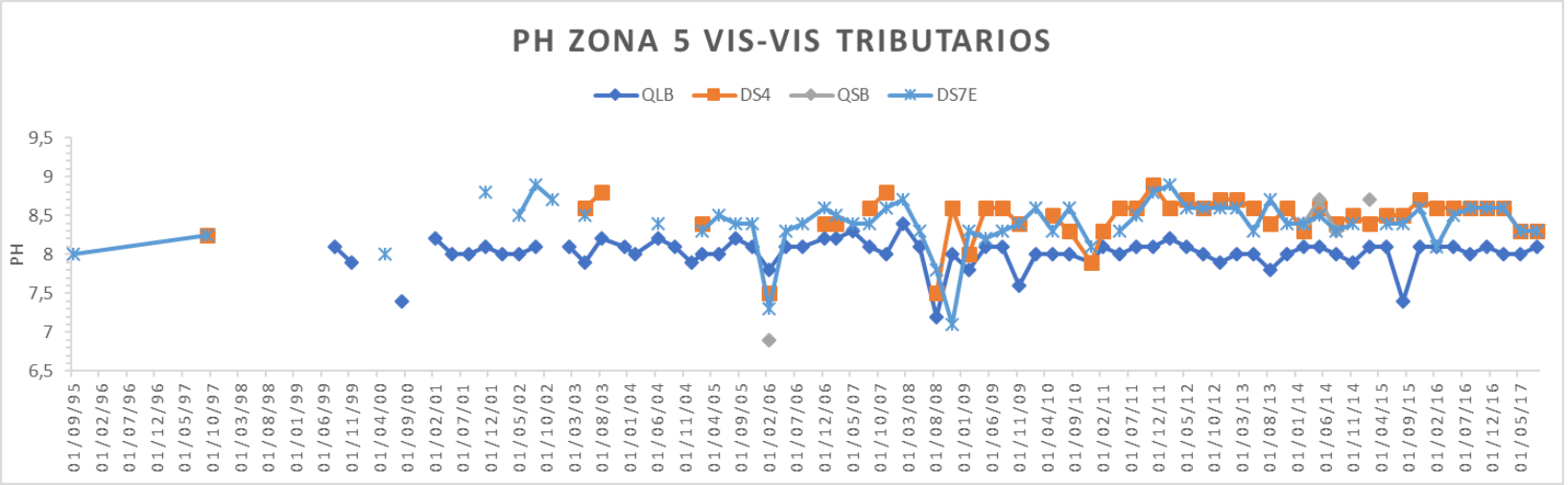


Figura 2.40. Tendencias evolutivas de conductividad y pH en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

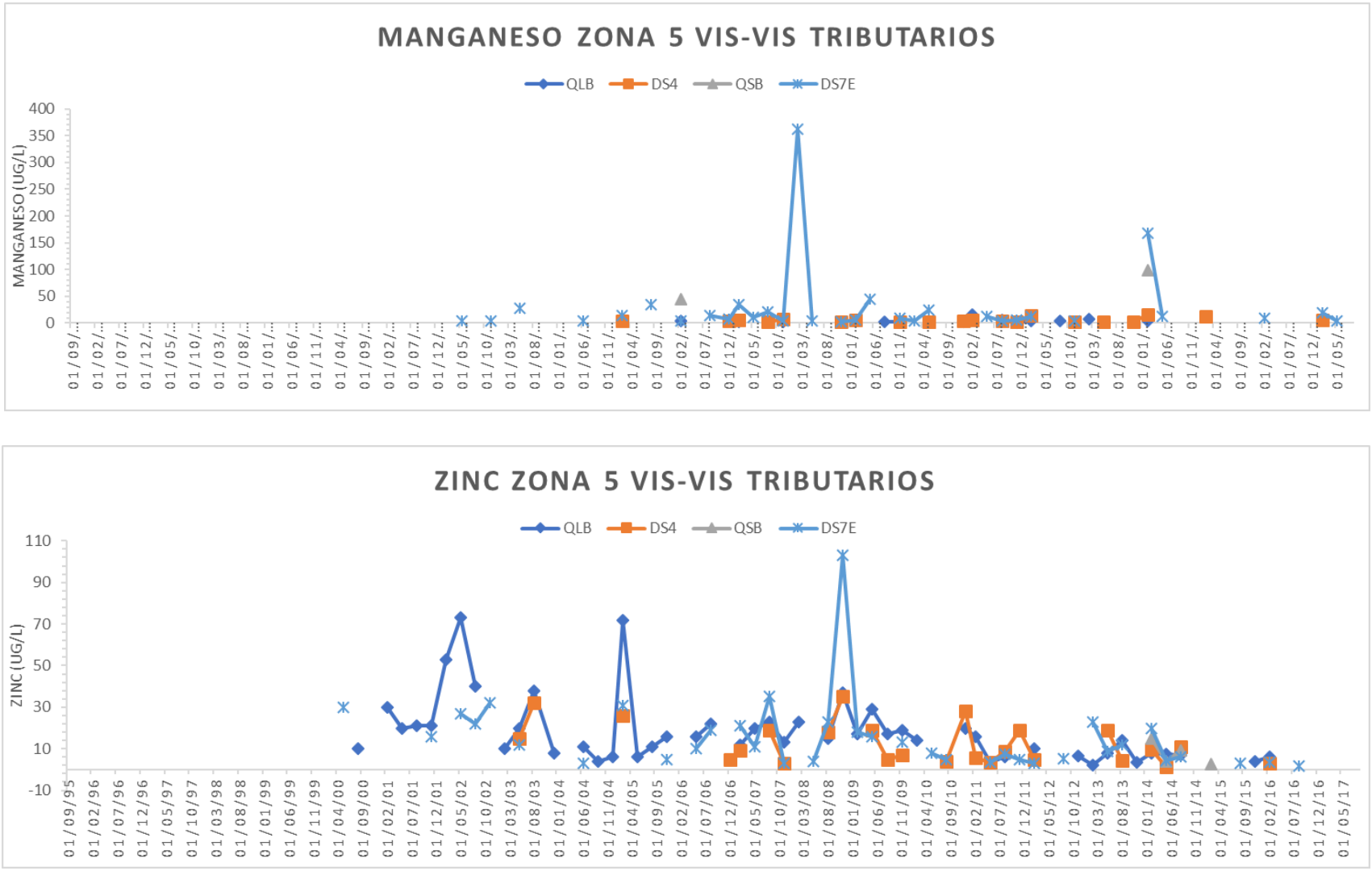


Figura 2.41. Tendencias evolutivas de manganeso y cinc en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

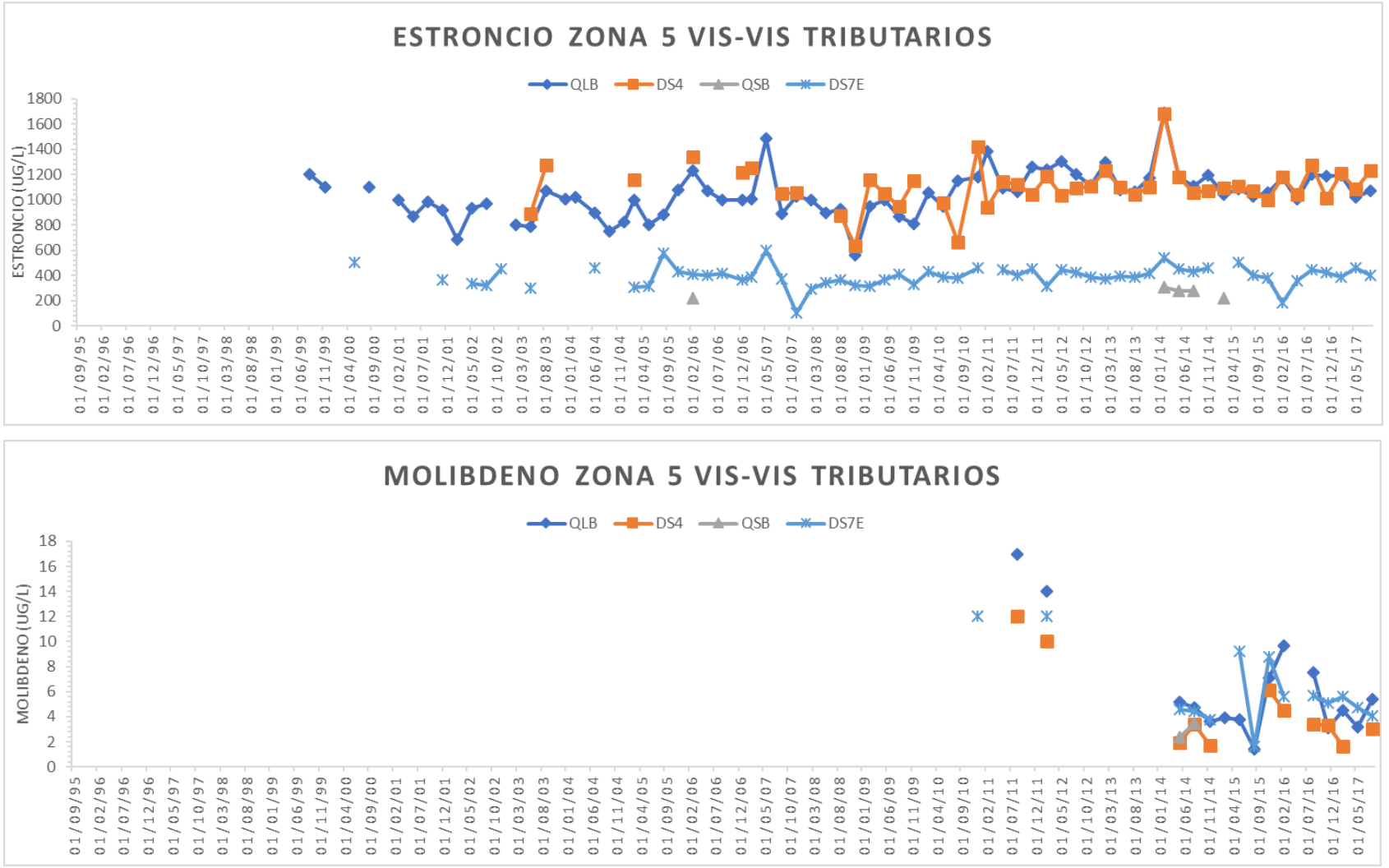


Figura 2.42. Tendencias evolutivas de estroncio y molibdeno en Zona 5 – Vis Vis Tributarios. (Fuente: elaborado por IATASA).

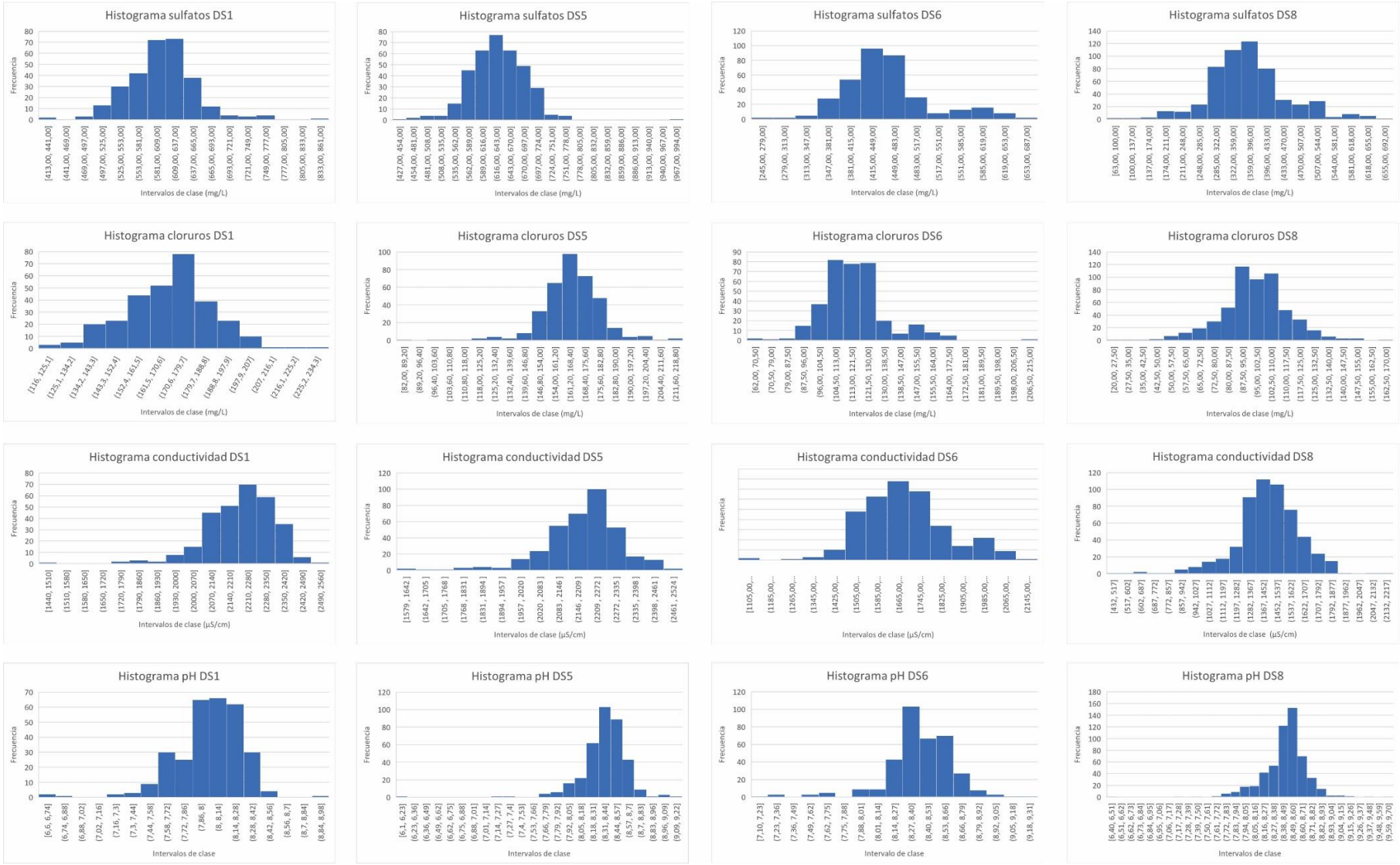


Figura 2.43. Histogramas de sulfatos, cloruros, conductividad y pH (DS1, DS5, DS6 y DS8; Fuente: elaborado por IATASA).

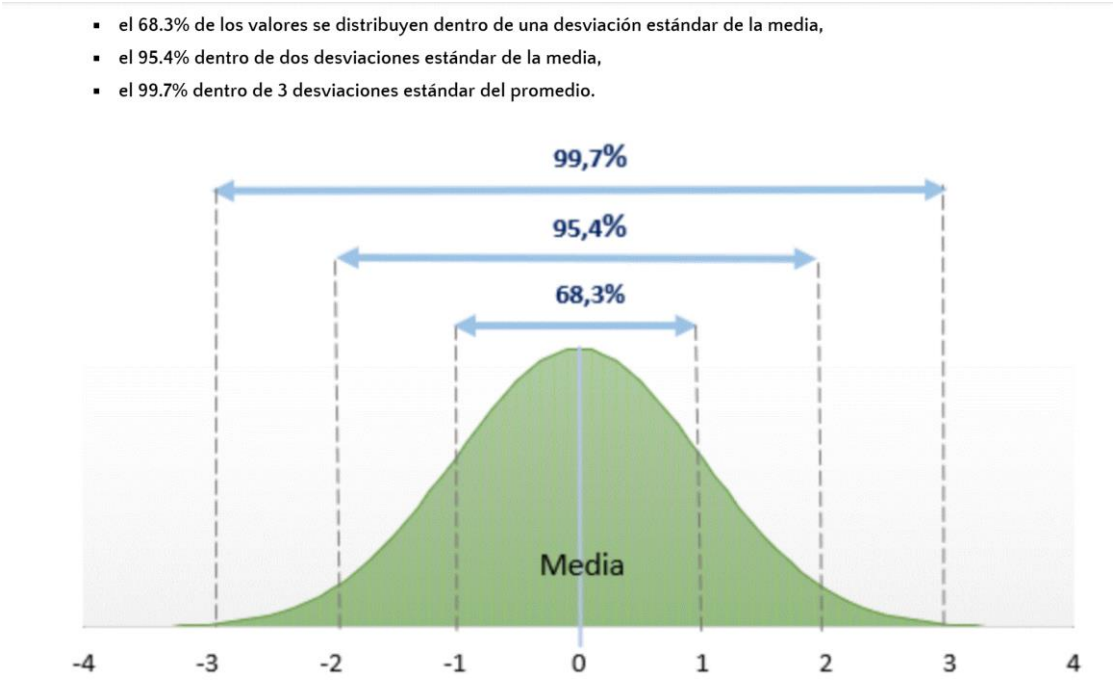


Figura 2.44. Distribución de valores (Fuente: elaborado por IATASA).

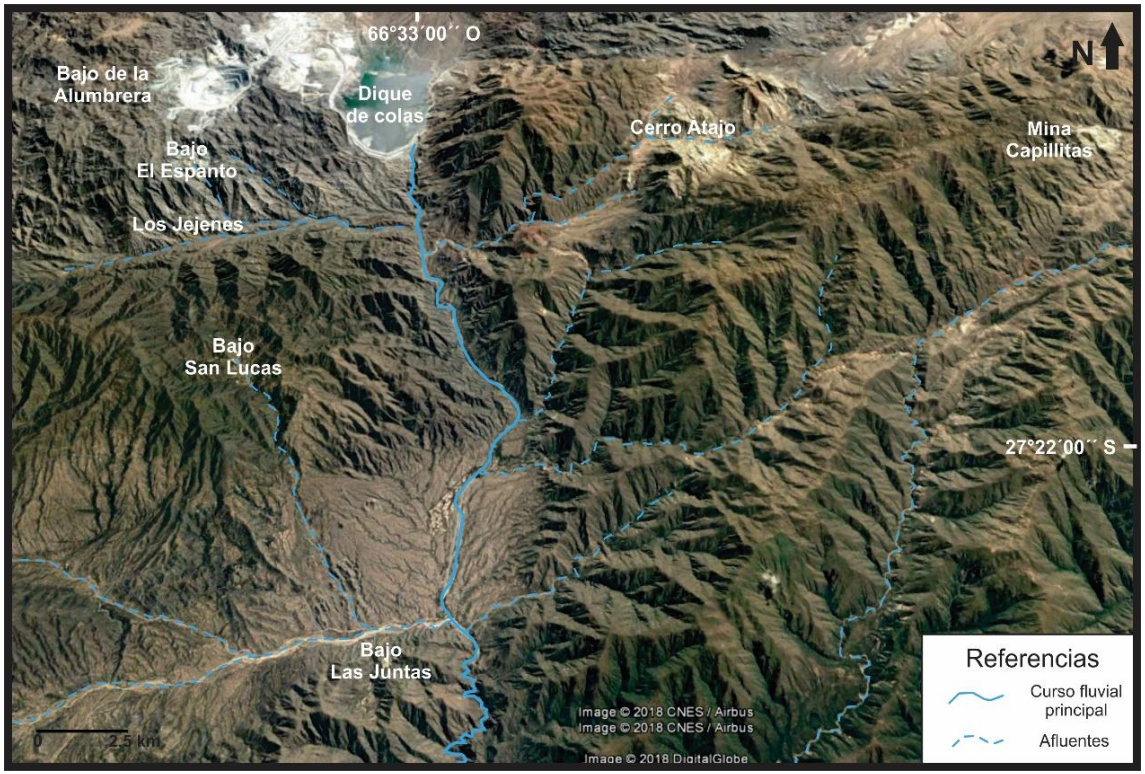


Figura 2.45. Imagen satelital en la que se observa al curso fluvial principal del río Vis-Vis – Amanao y sus afluentes principales. Se destacan las zonas de depósitos minerales con alteración hidrotermal que tienen conexión directa con la cuenca del río (Mina Capillitas queda por fuera de la cuenca pero muy próxima a su límite). (Fuente: elaborado por IATASA).

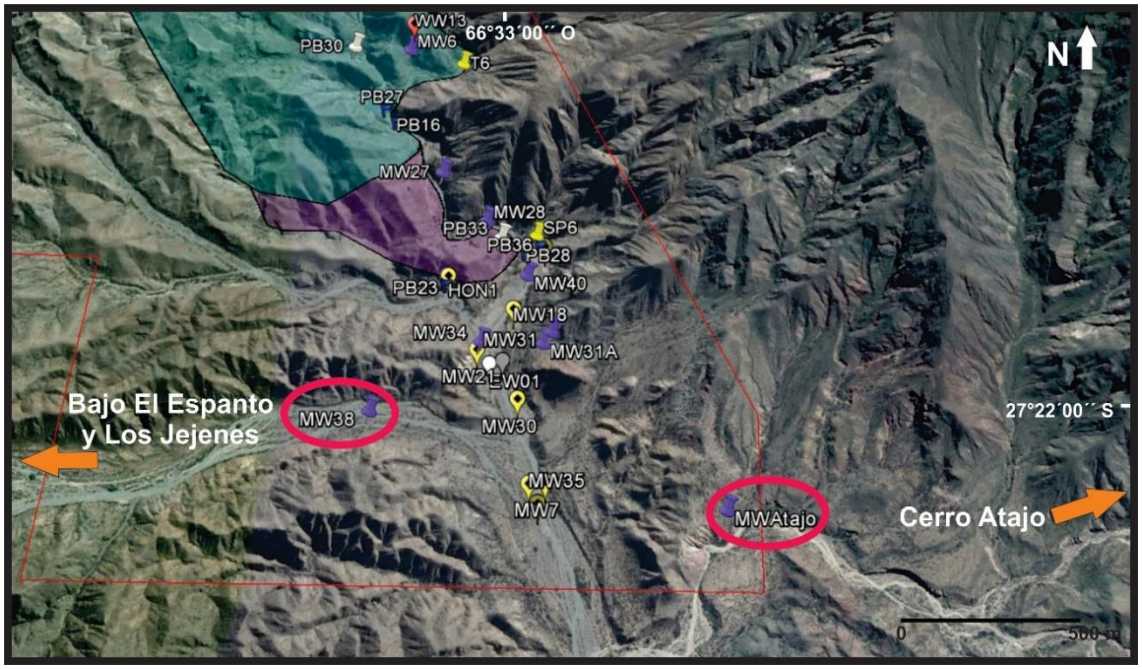


Figura 2.46. Detalle del sector superior del río Vis-Vis en donde se marcan con círculos rojos los pozos MW38 y MW Atajo que se recomiendan sean puestos en funcionamiento para monitorear aguas de afluentes vinculados al Bajo El Espanto y Los Jejenes hacia el oeste y a Cerro Atajo hacia el este. Las áreas en color verde y violeta corresponden al agua de proceso y la zona de mezcla respectivamente de la pluma del dique de colas. Las líneas rojas representan el límite de la concesión minera. (Fuente: elaborado por IATASA).

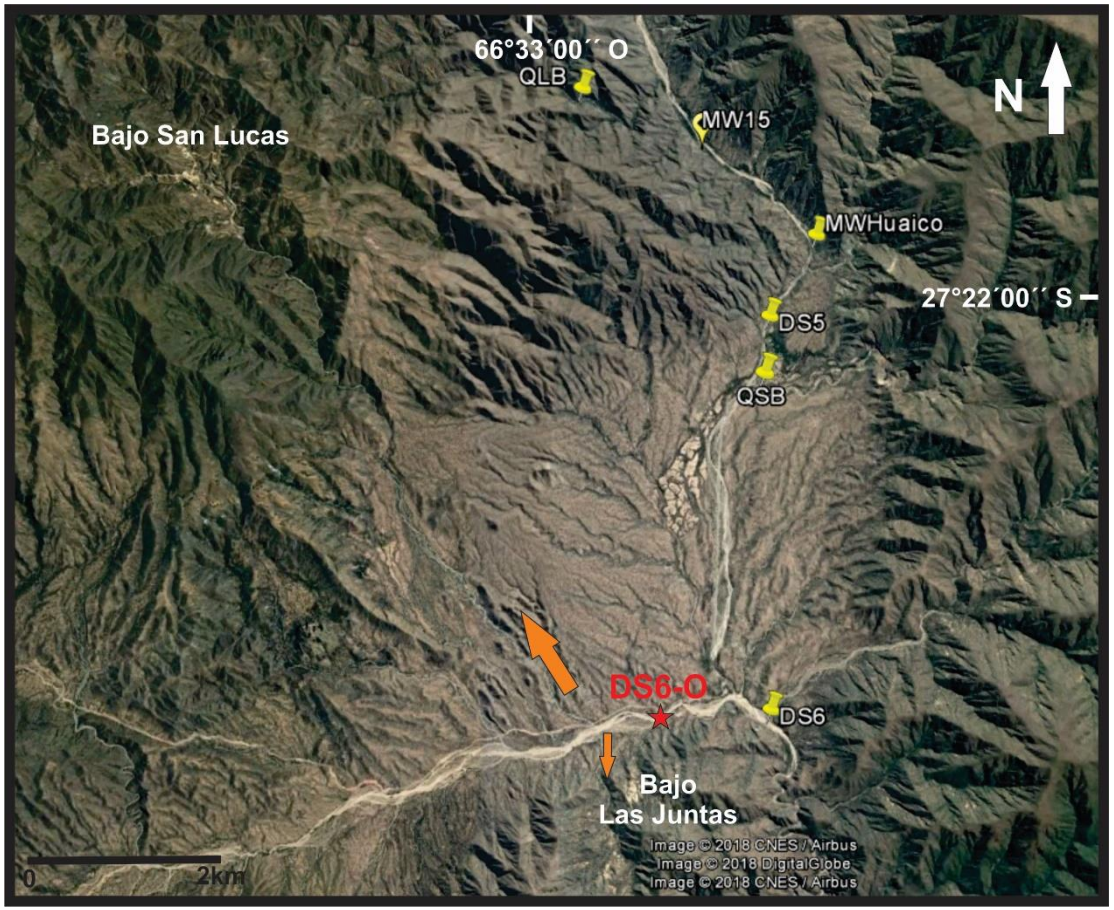


Figura 2.47. Detalle del sector inferior del río Vis-Vis en donde se destacan en rojo la ubicación del pozo/punto superficial DS6-O o MW6-O propuesto para que controle la calidad de aguas de los afluentes vinculados a Bajo Las Juntas al O y Bajo San Lucas al NO. (Fuente: elaborado por IATASA).

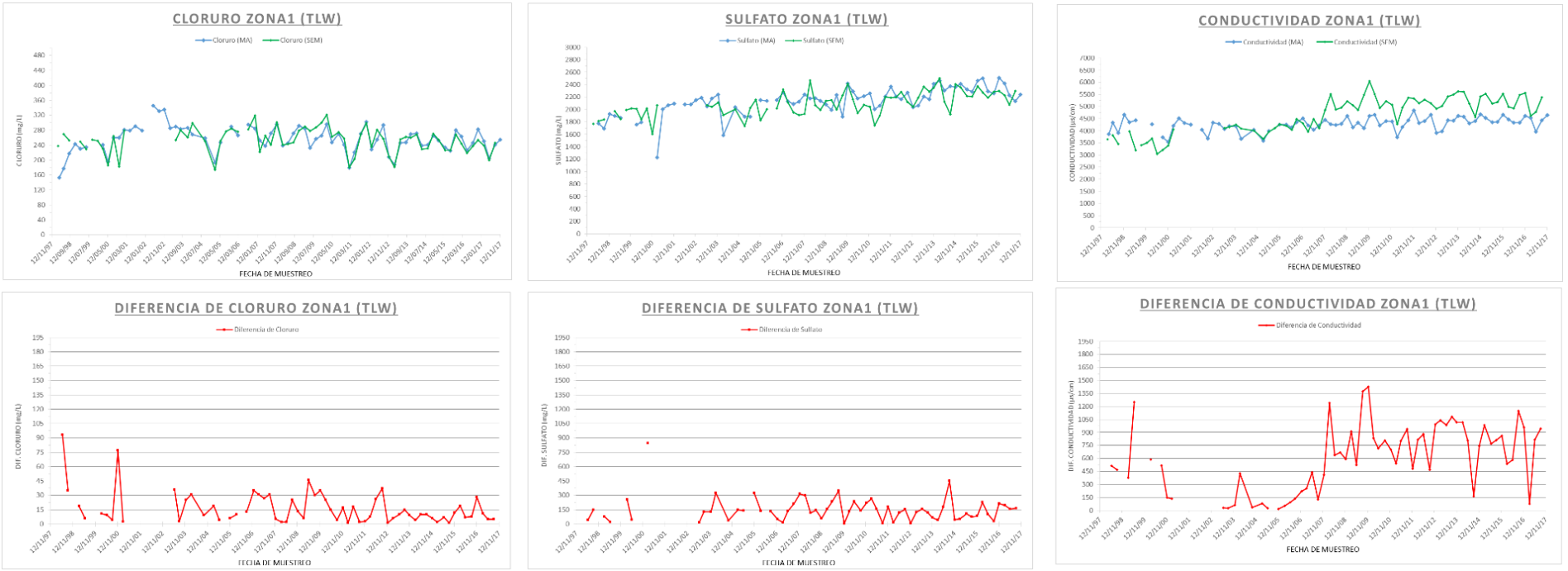


Figura 2.48. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA - TLW. (Fuente: elaborado por IATASA).

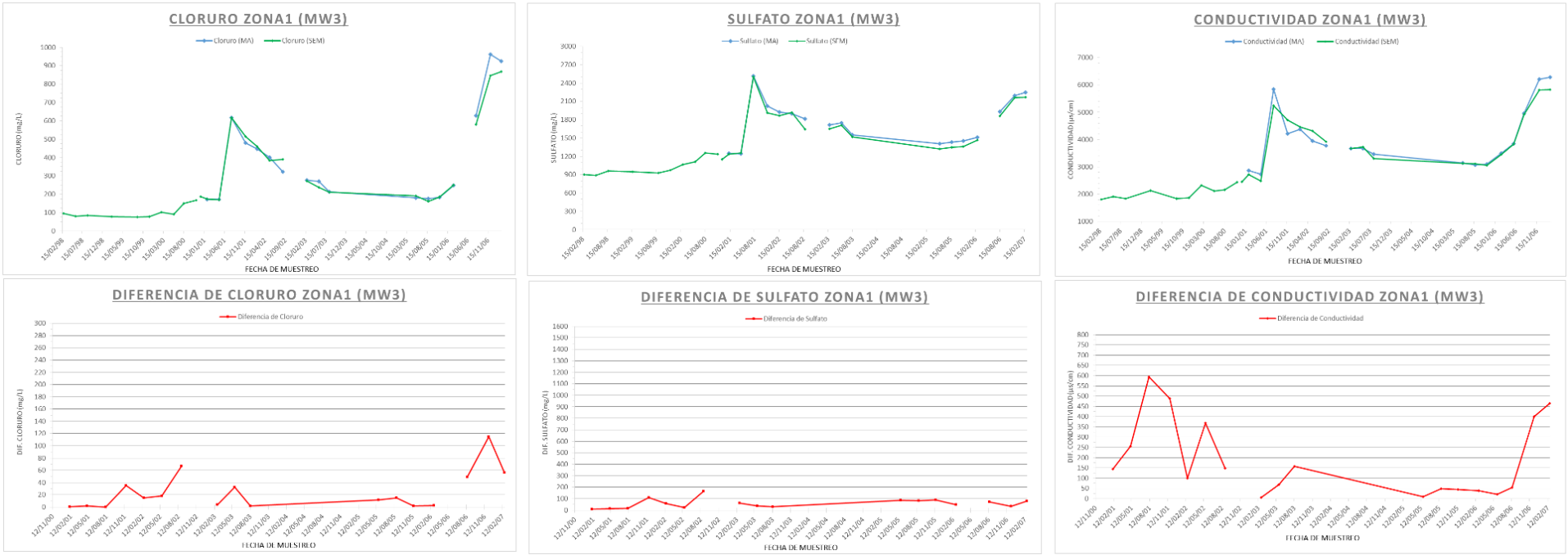


Figura 2.49. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW3. (Fuente: elaborado por IATASA).

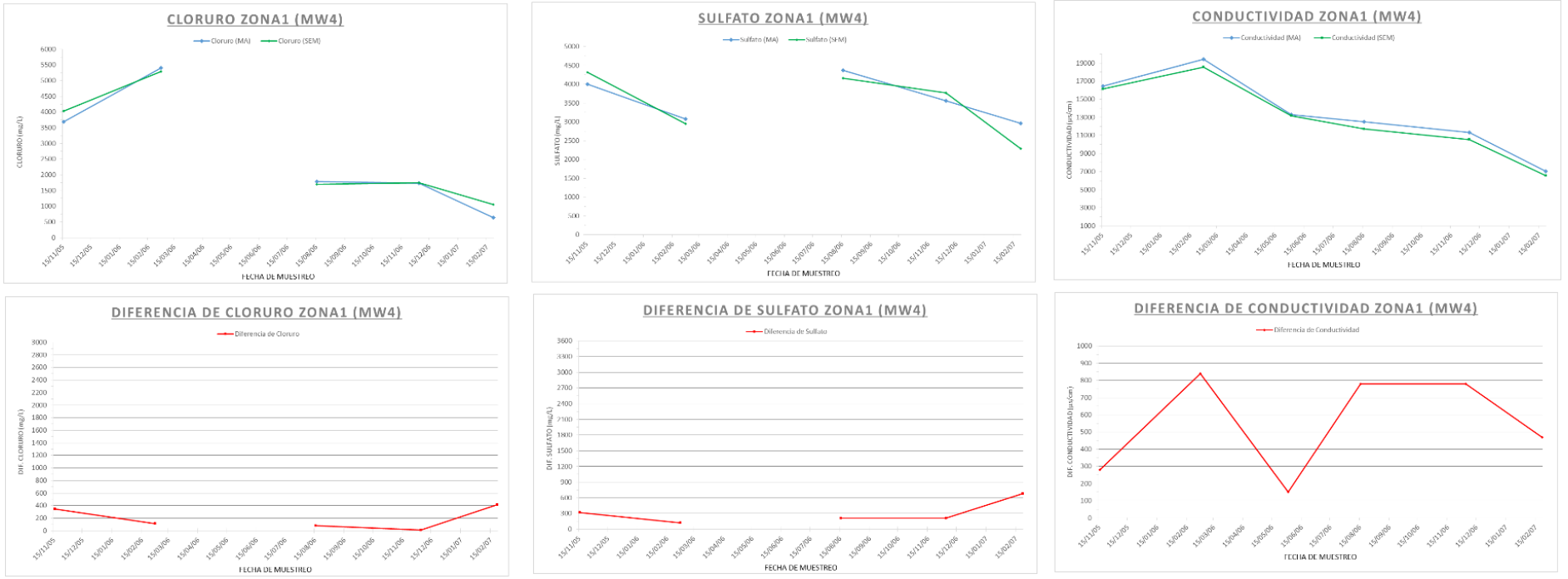


Figura 2.50. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW4. (Fuente: elaborado por IATASA).

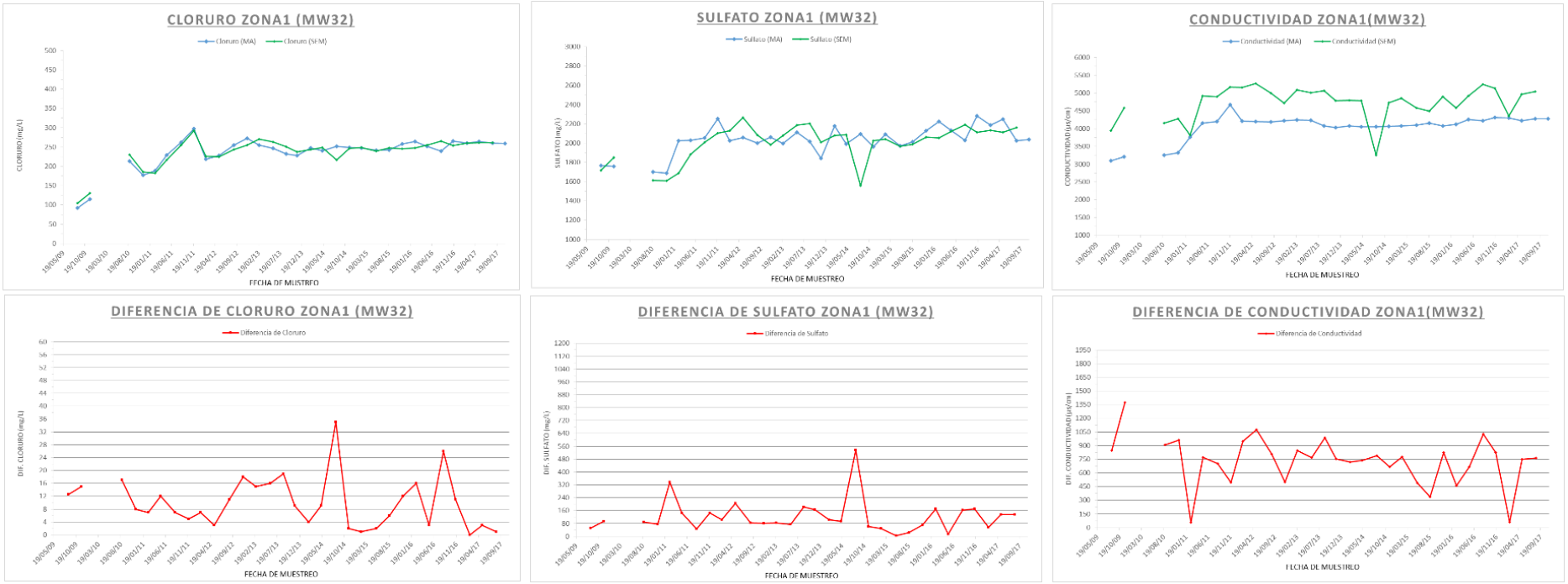


Figura 2.51. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW32. (Fuente: elaborado por IATASA).

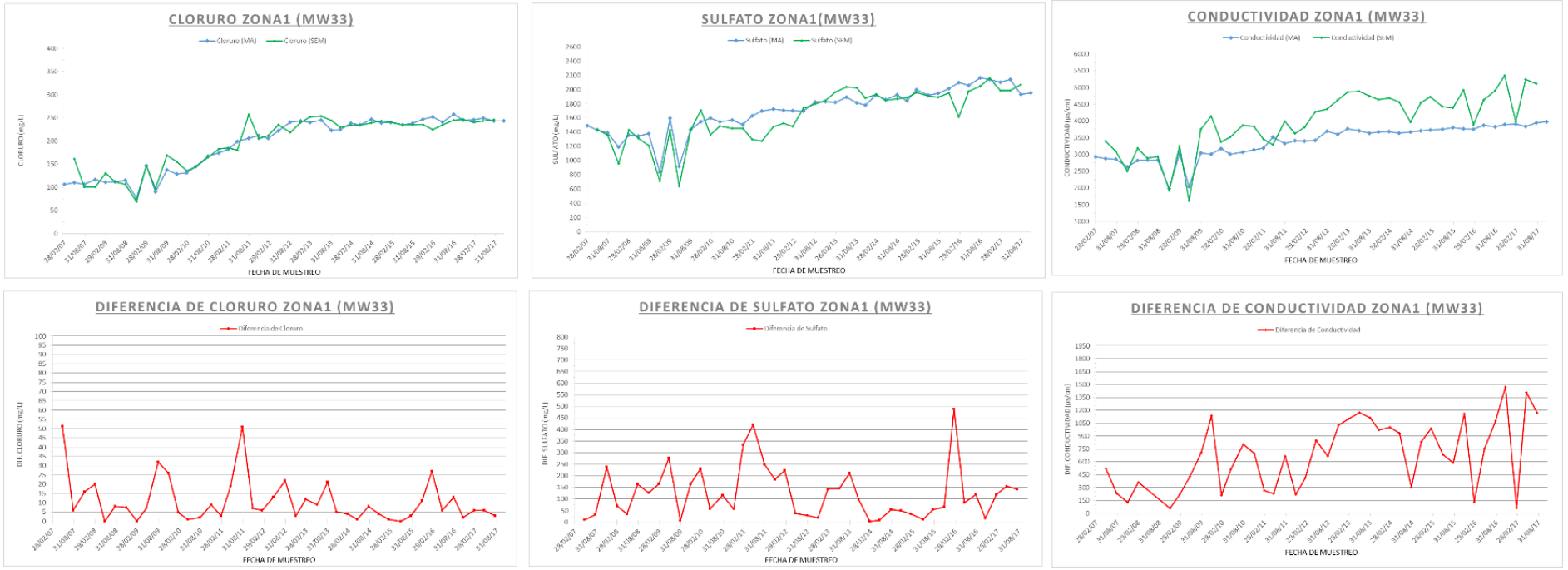


Figura 2.52. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW33. (Fuente: elaborado por IATASA).

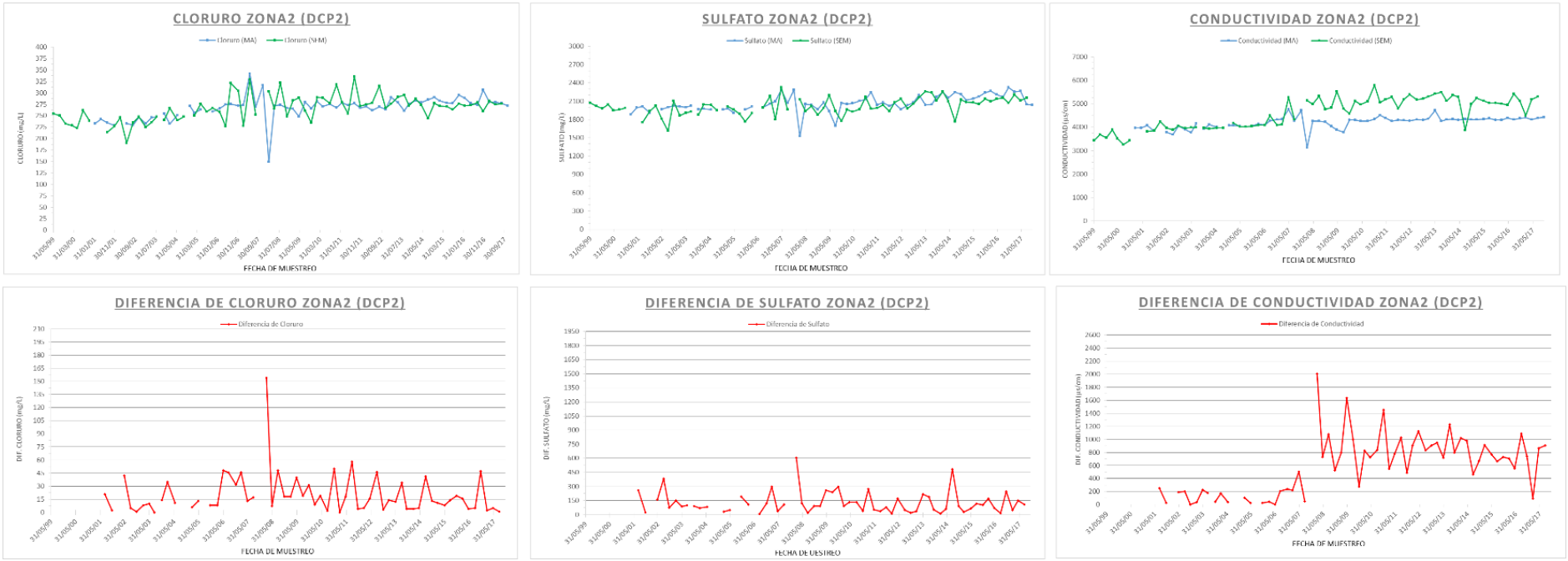


Figura 2.53. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DCP2. (Fuente: elaborado por IATASA).

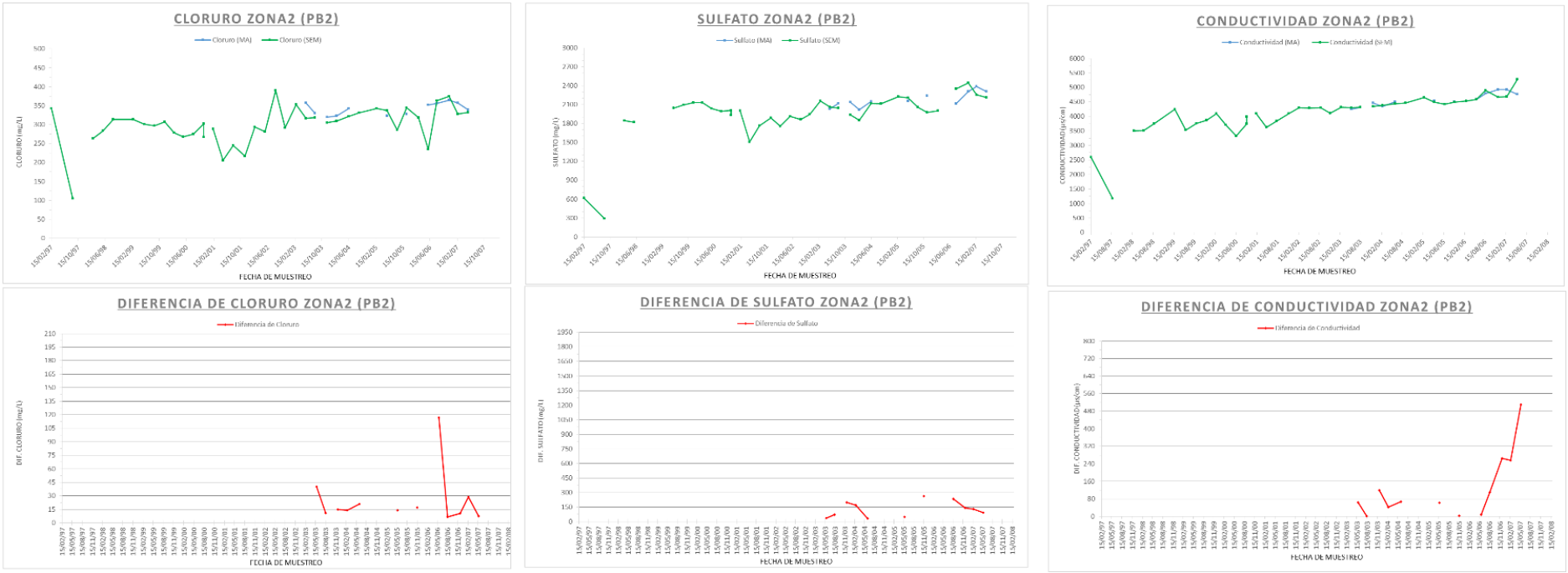


Figura 2.54. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB2. (Fuente: elaborado por IATASA).

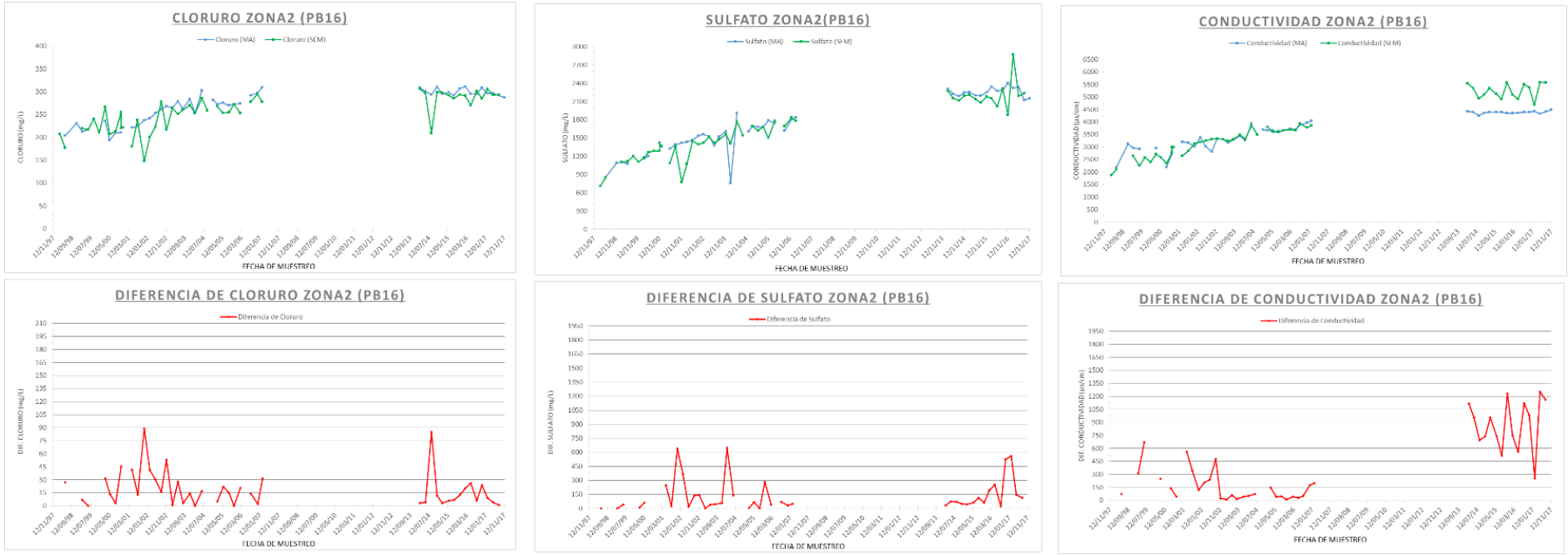


Figura 2.55. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB16. (Fuente: elaborado por IATASA).

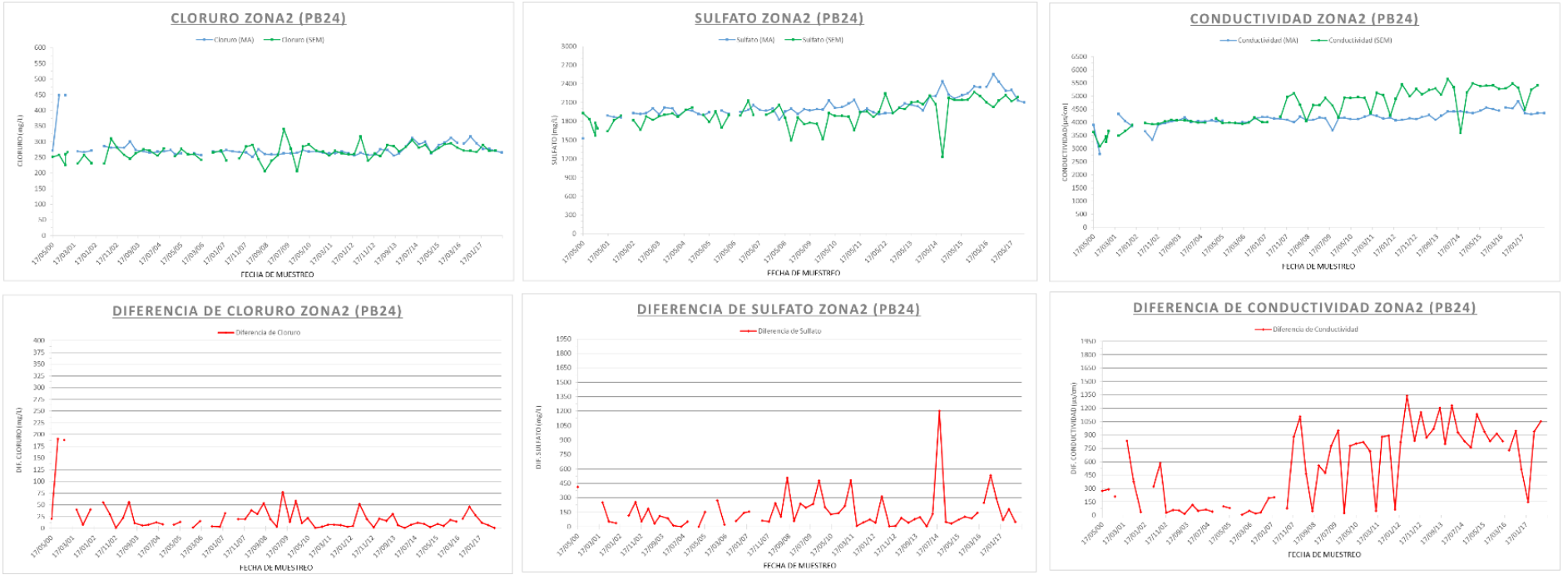


Figura 2.56. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB24. (Fuente: elaborado por IATASA).

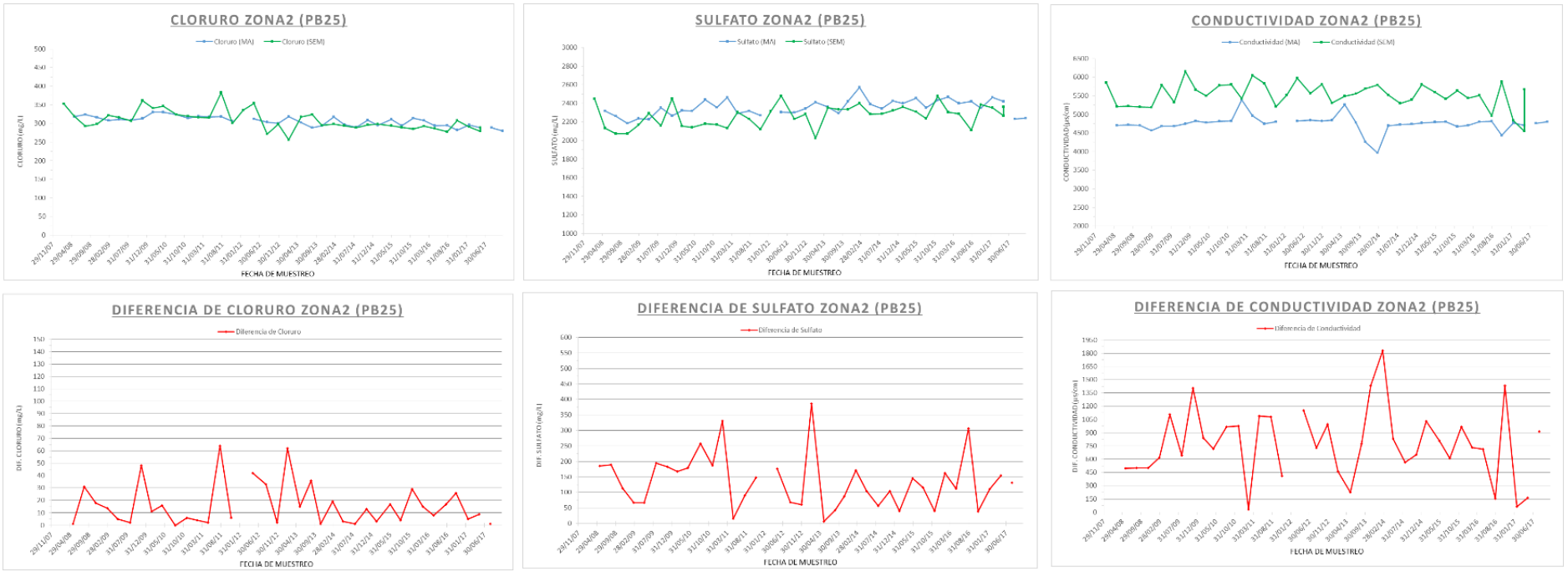


Figura 2.57. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB25. (Fuente: elaborado por IATASA).

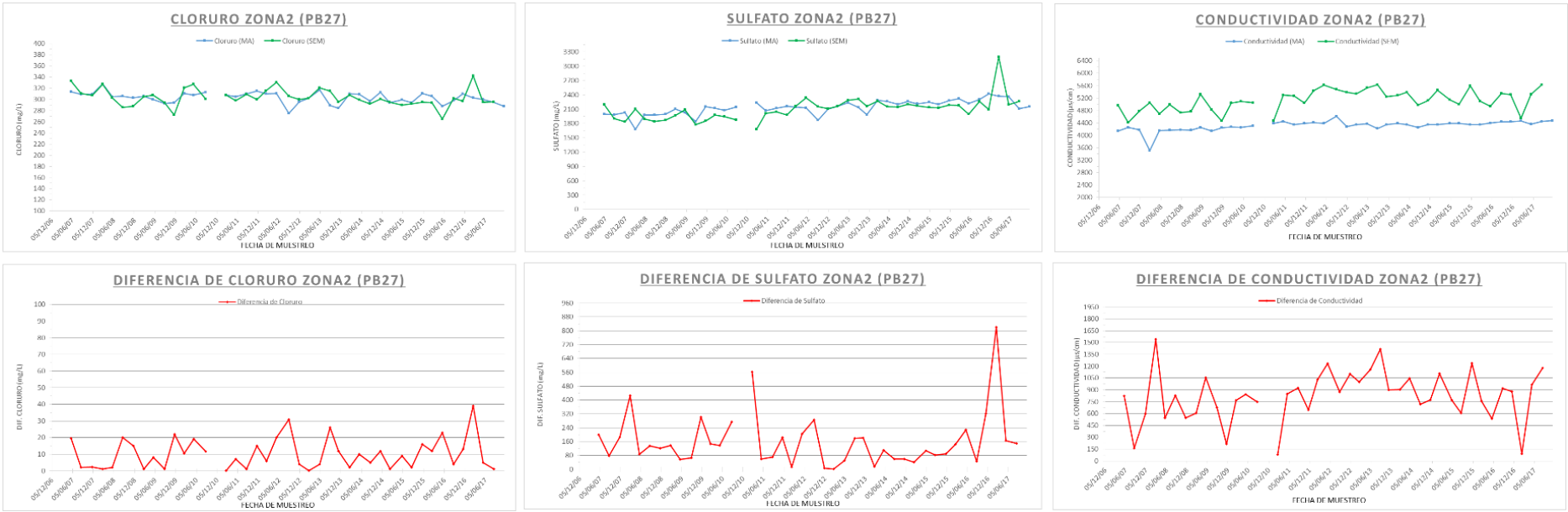


Figura 2.58. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB27. (Fuente: elaborado por IATASA).

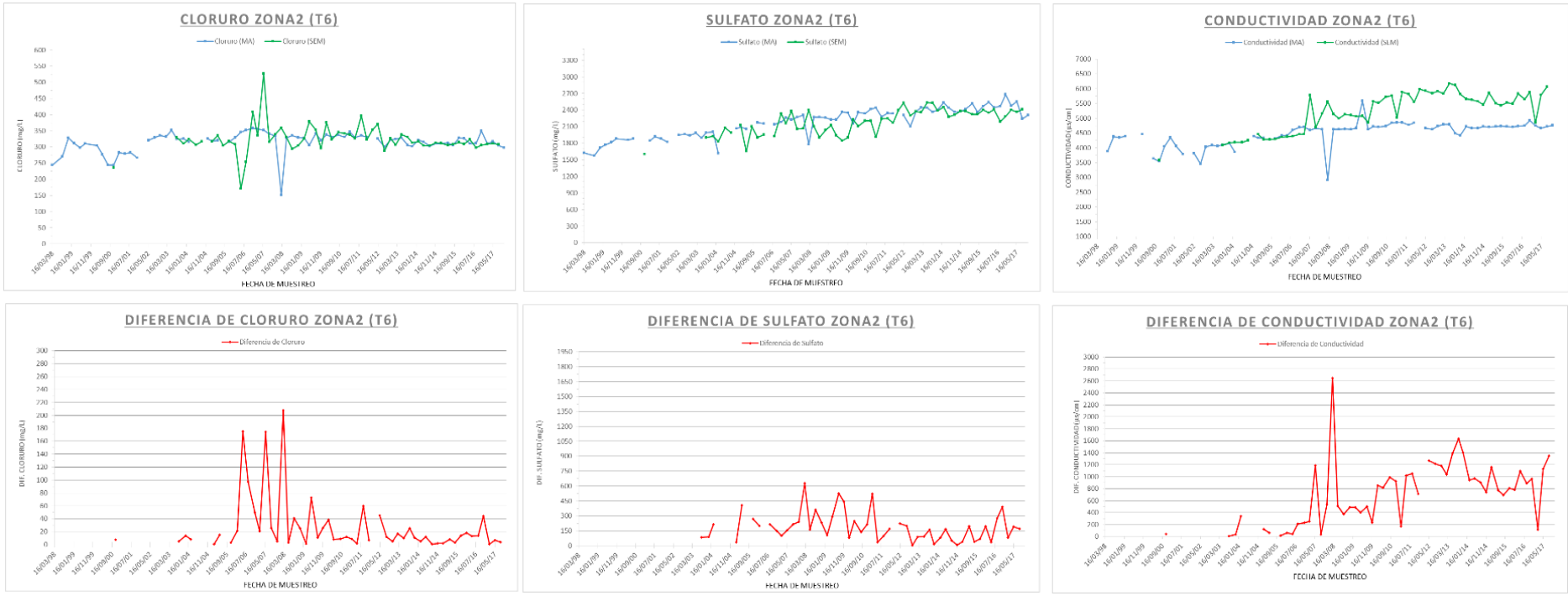


Figura 2.59. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – T6. (Fuente: elaborado por IATASA).

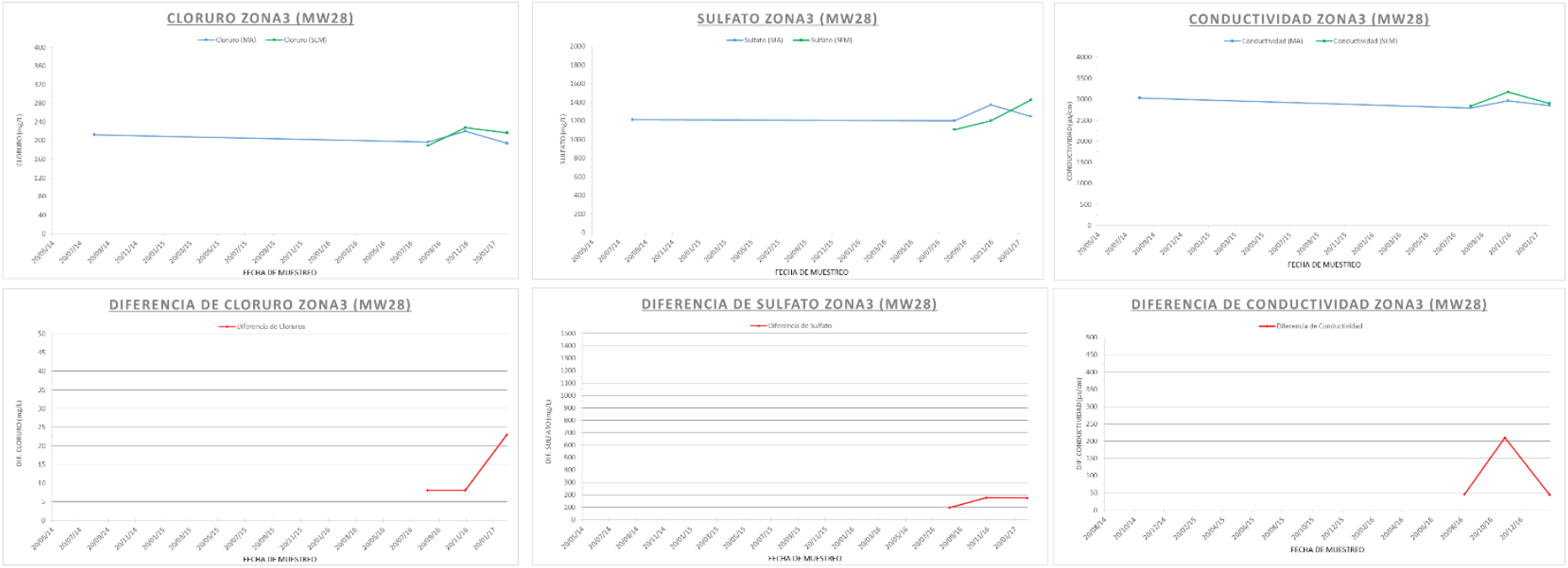


Figura 2.60. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW28. (Fuente: elaborado por IATASA).

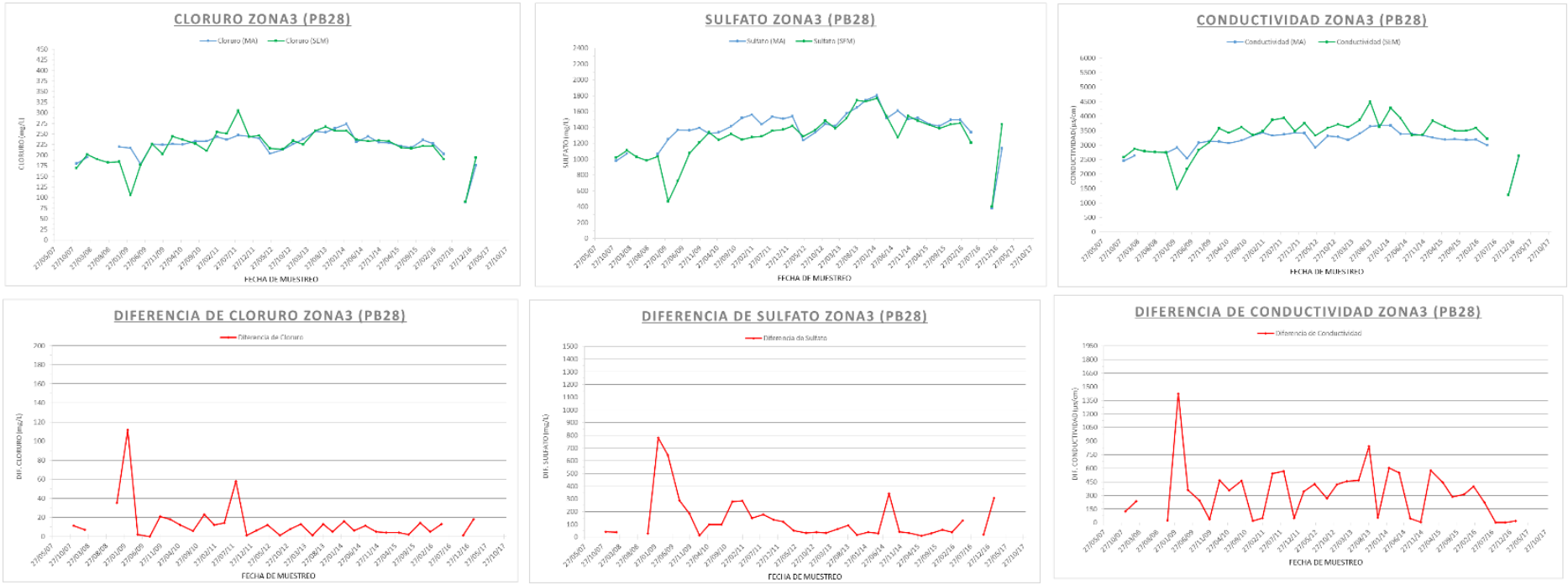


Figura 2.61. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB28. (Fuente: elaborado por IATASA).

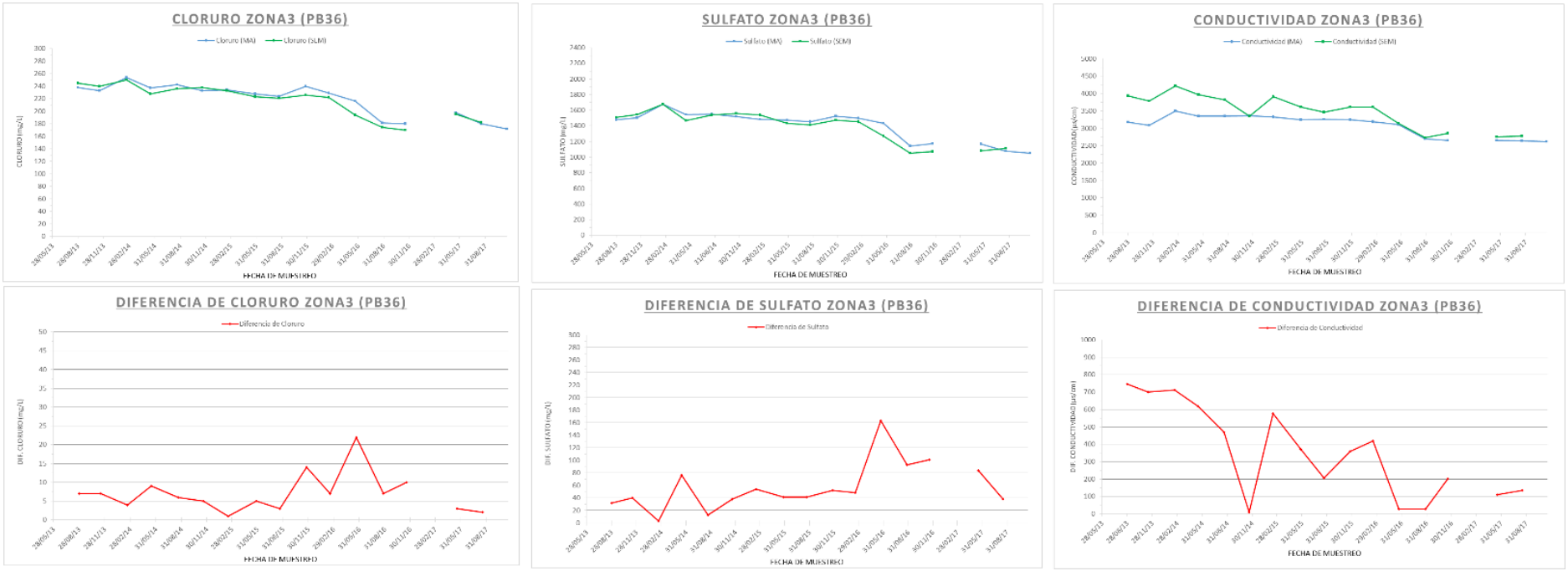


Figura 2.62. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB36. (Fuente: elaborado por IATASA).

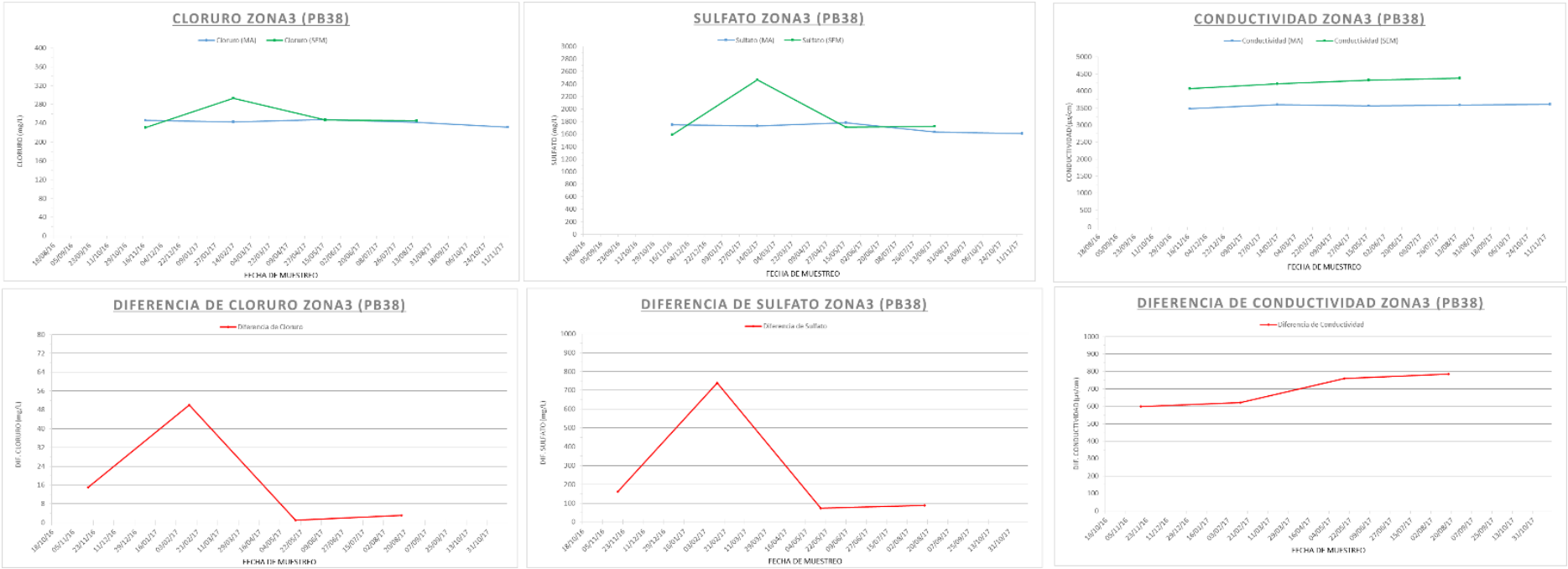


Figura 2.63. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB38. (Fuente: elaborado por IATASA).

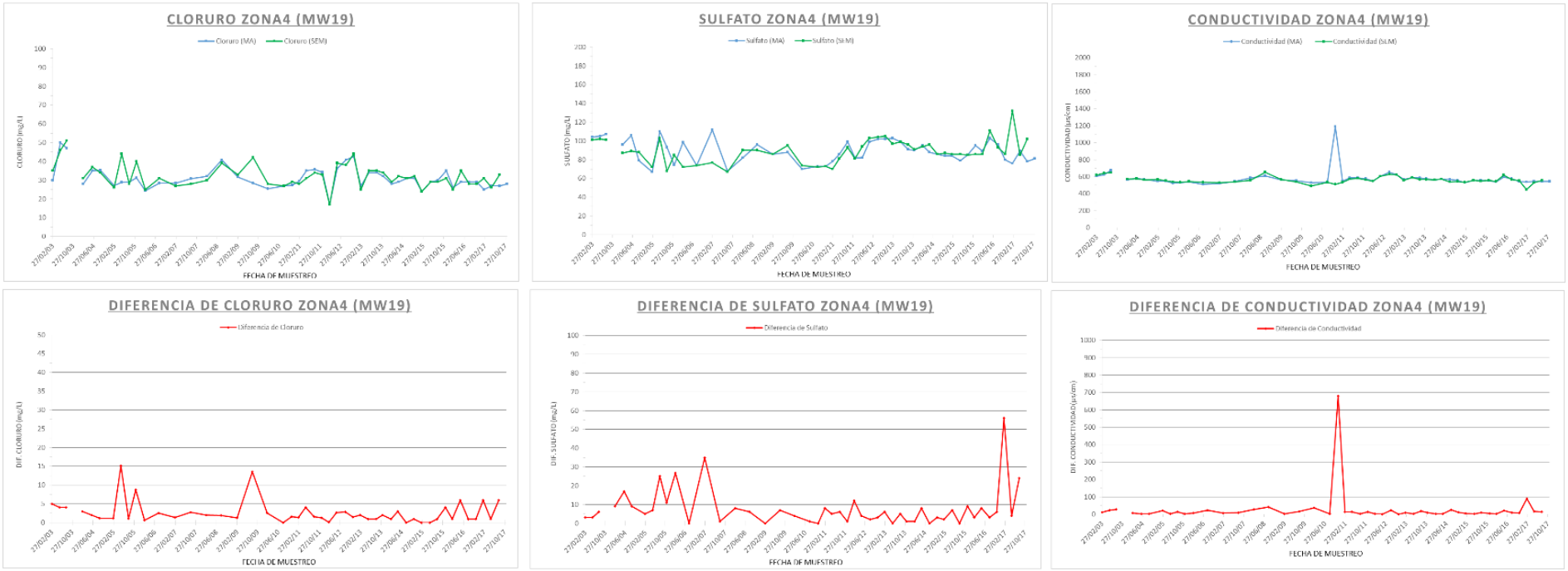


Figura 2.64. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW19. (Fuente: elaborado por IATASA).

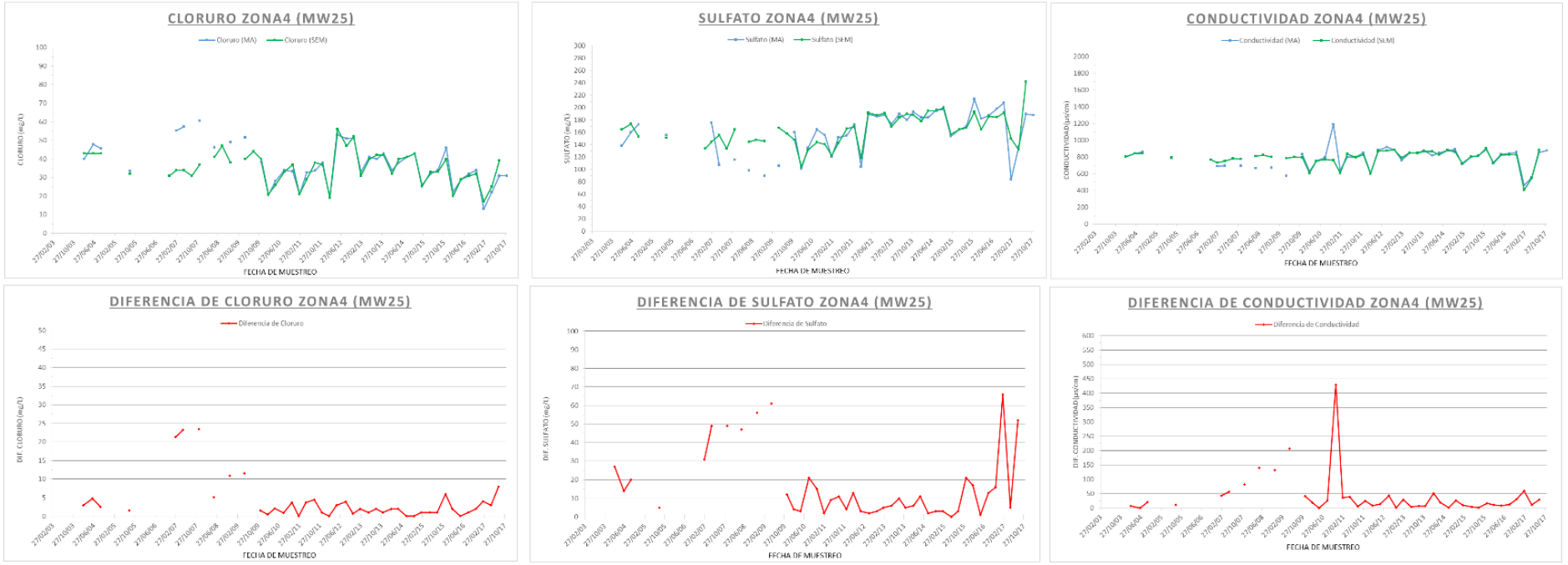


Figura 2.65. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW25. (Fuente: elaborado por IATASA).

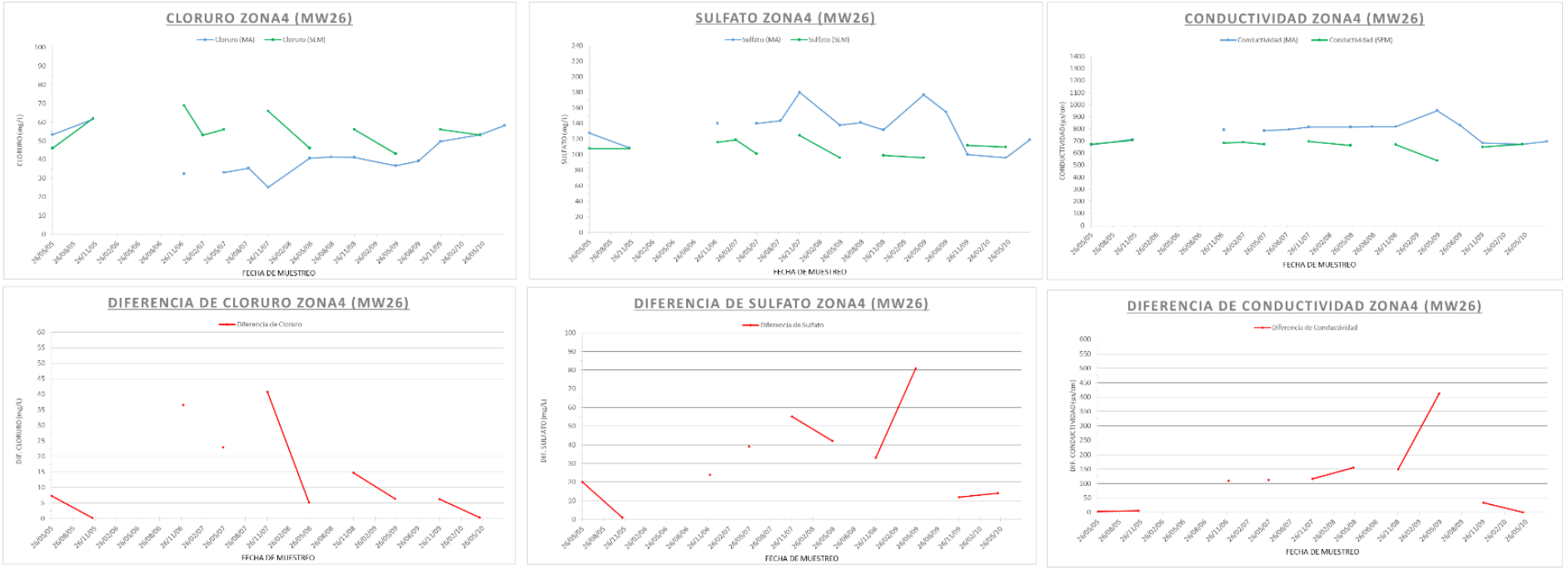


Figura 2.66. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW26. (Fuente: elaborado por IATASA).

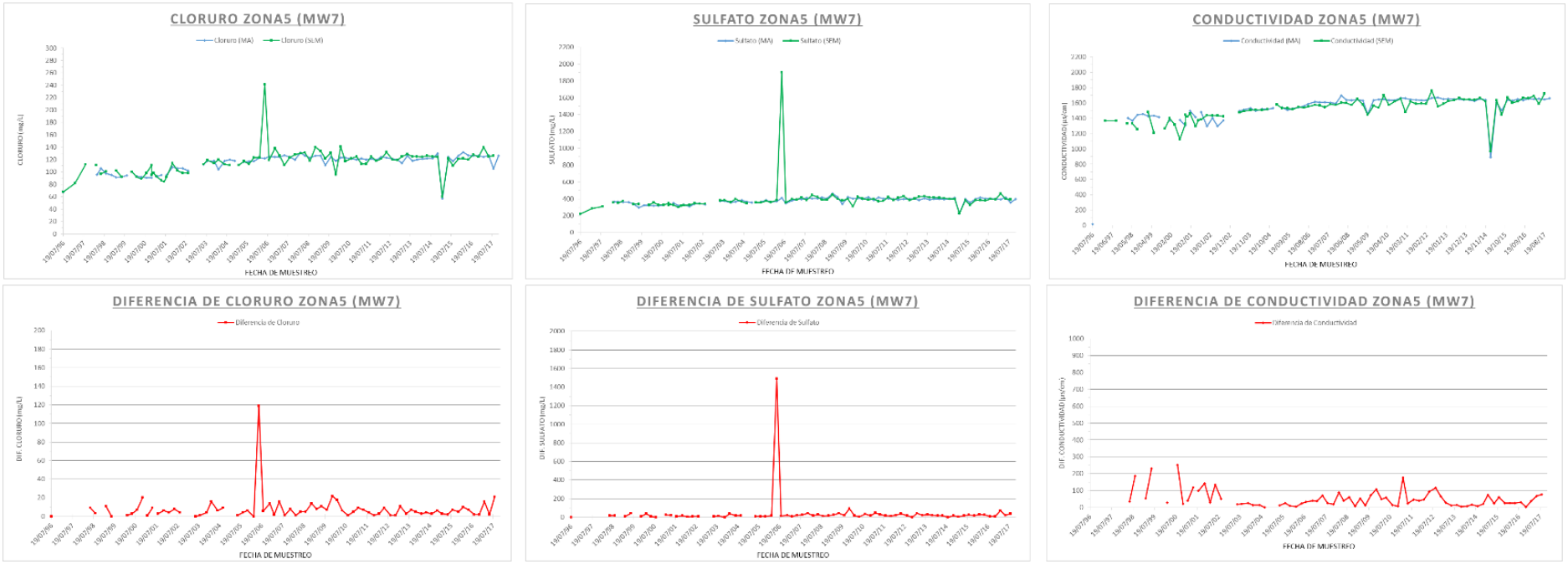


Figura 2.67. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW7. (Fuente: elaborado por IATASA).

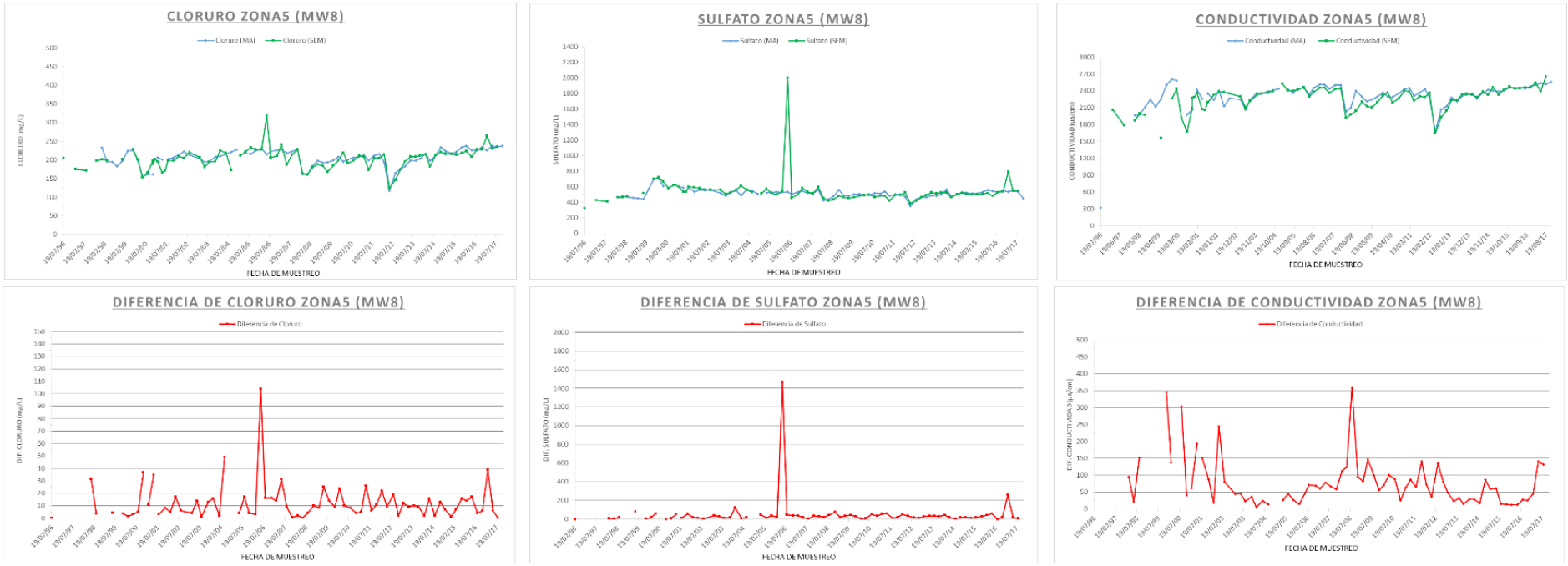


Figura 2.68. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW8. (Fuente: elaborado por IATASA).

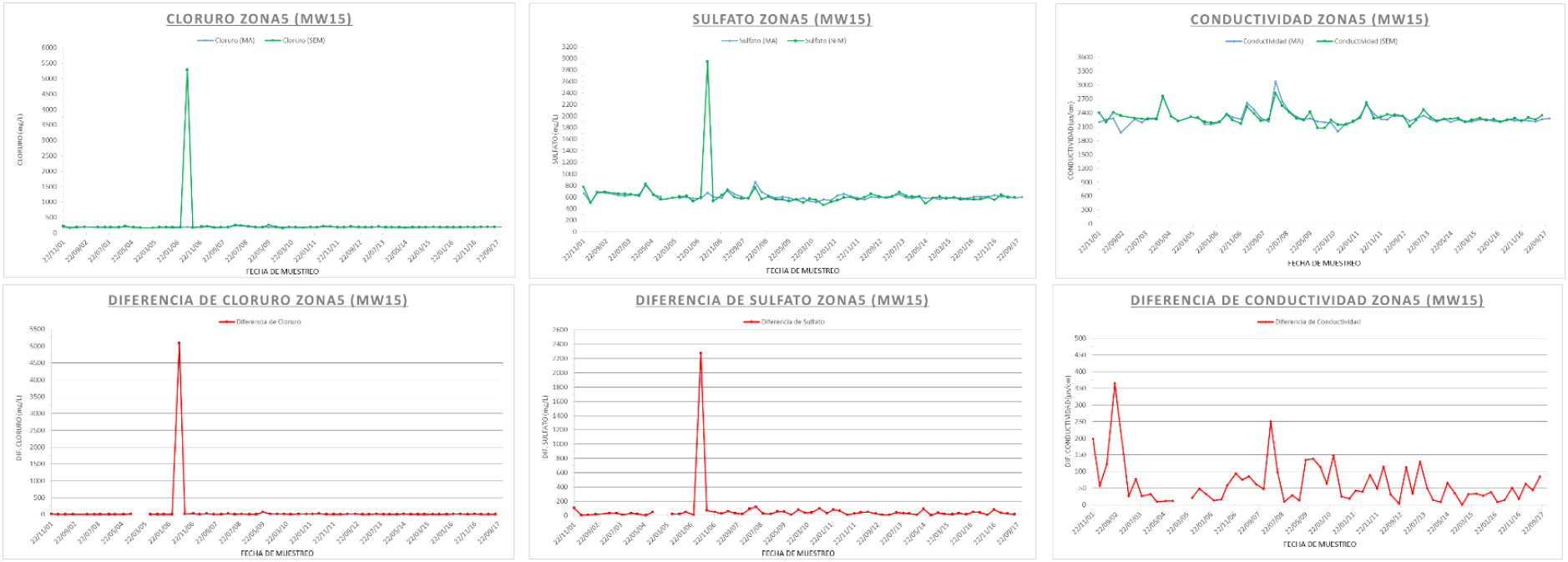


Figura 2.69. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW15. (Fuente: elaborado por IATASA).

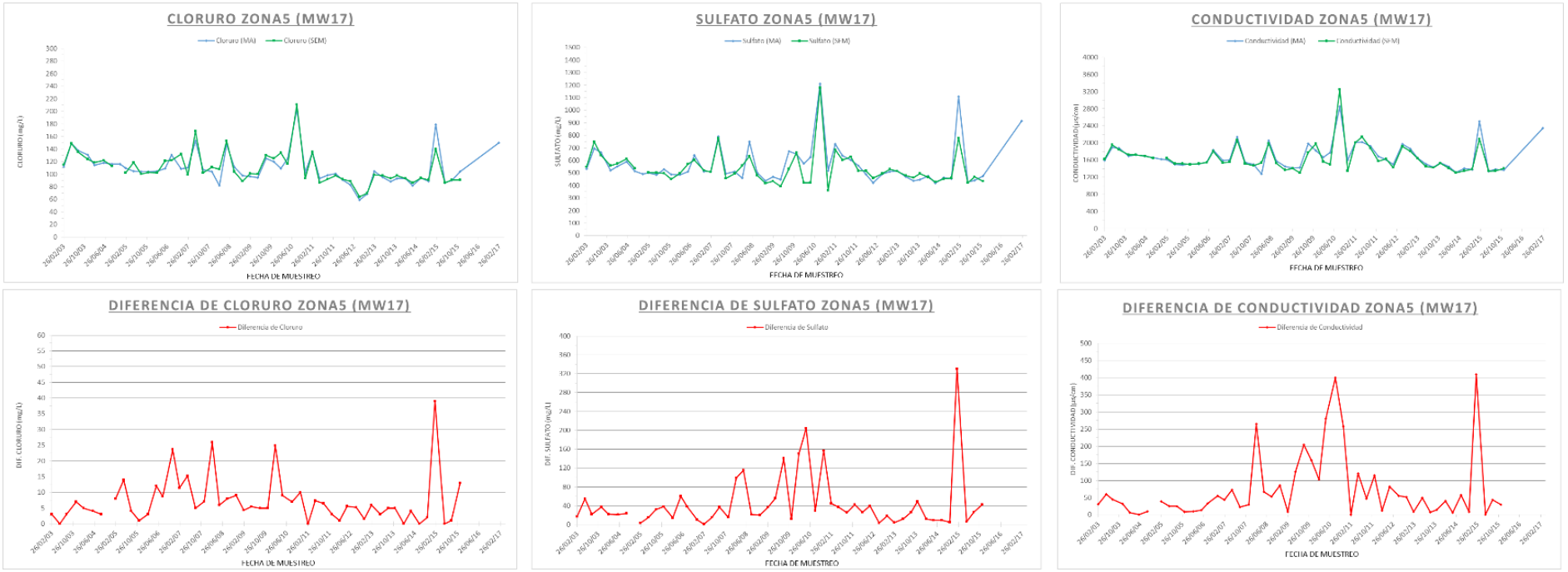


Figura 2.70. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW17. (Fuente: elaborado por IATASA).

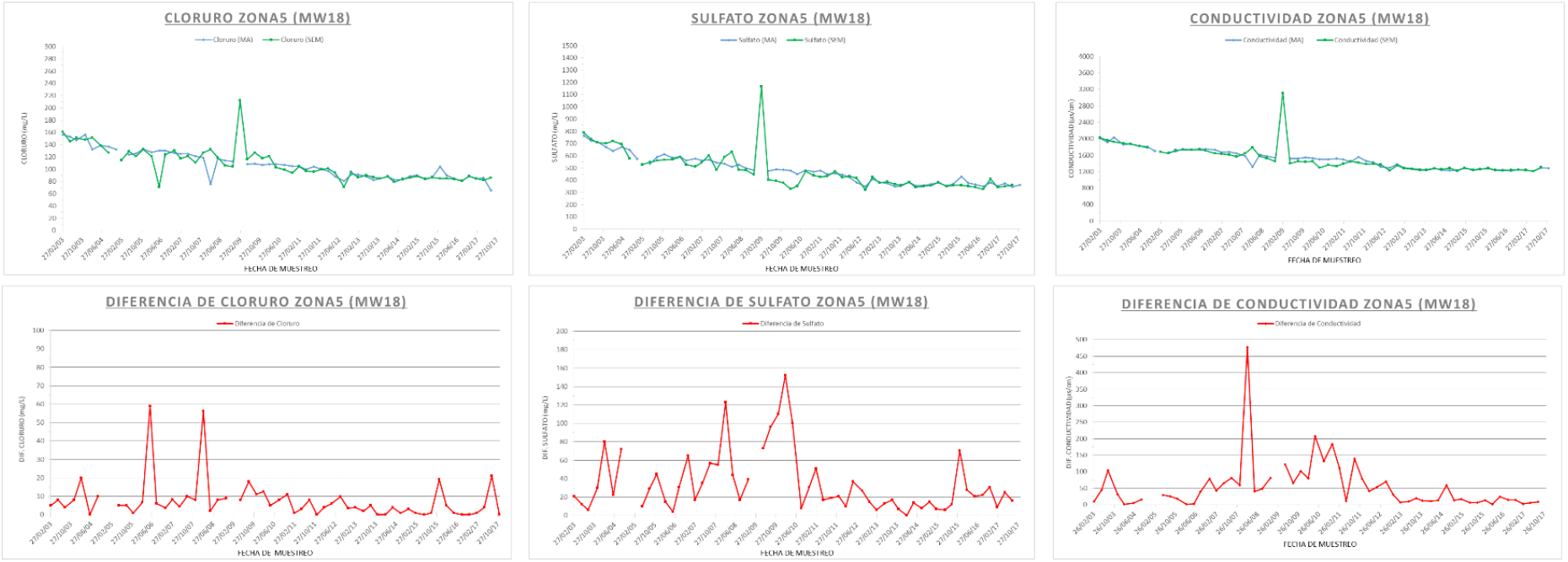


Figura 2.71. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW18. (Fuente: elaborado por IATASA).

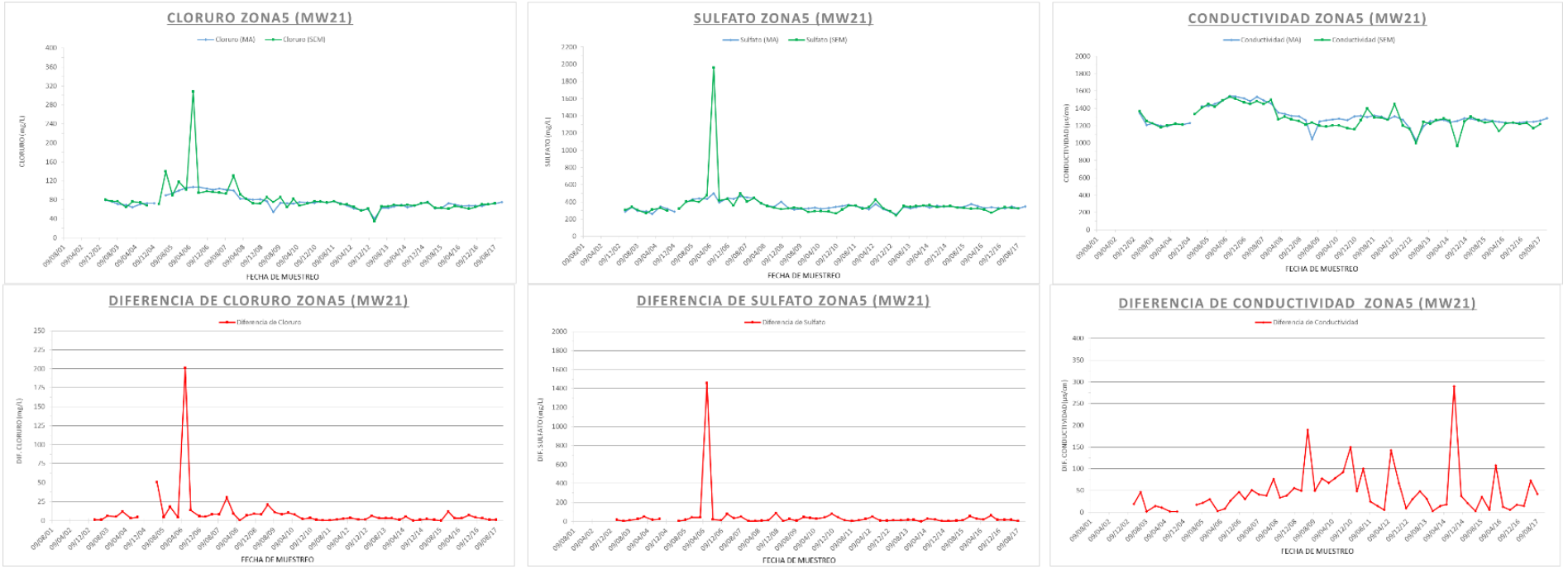


Figura 2.72. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW21. (Fuente: elaborado por IATASA).

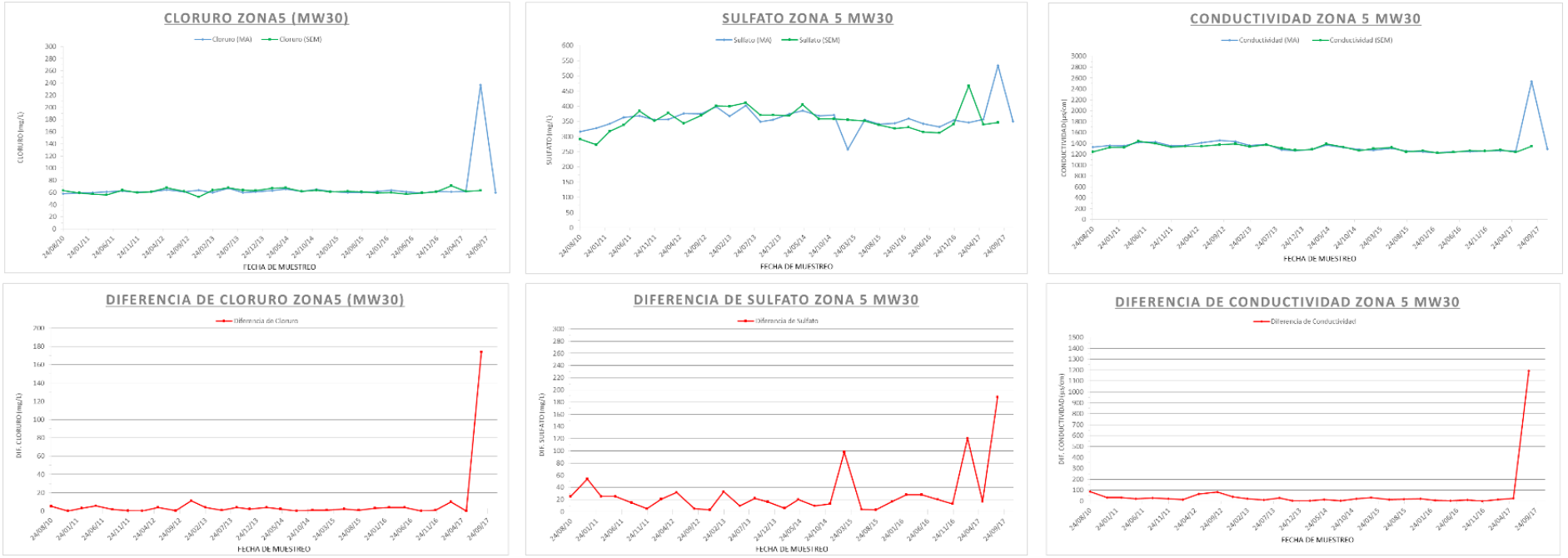


Figura 2.73. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW30. (Fuente: elaborado por IATASA).

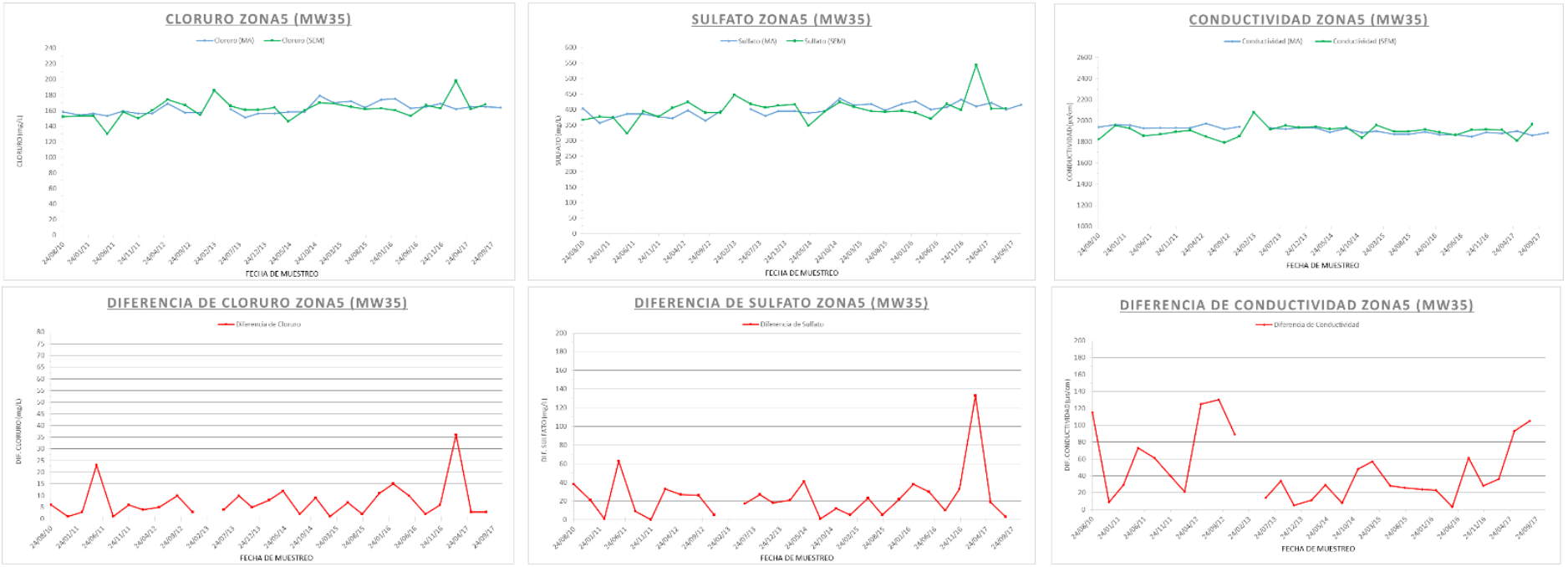


Figura 2.74. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW35. (Fuente: elaborado por IATASA).

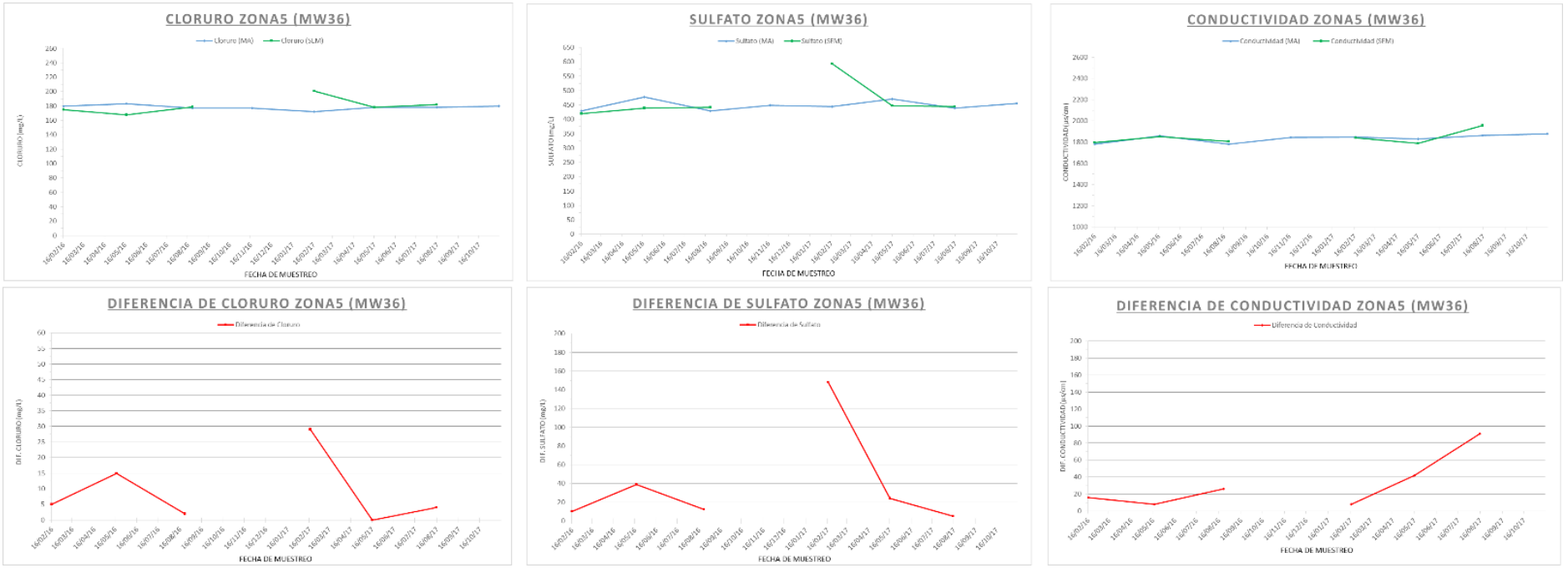


Figura 2.75. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW36. (Fuente: elaborado por IATASA).

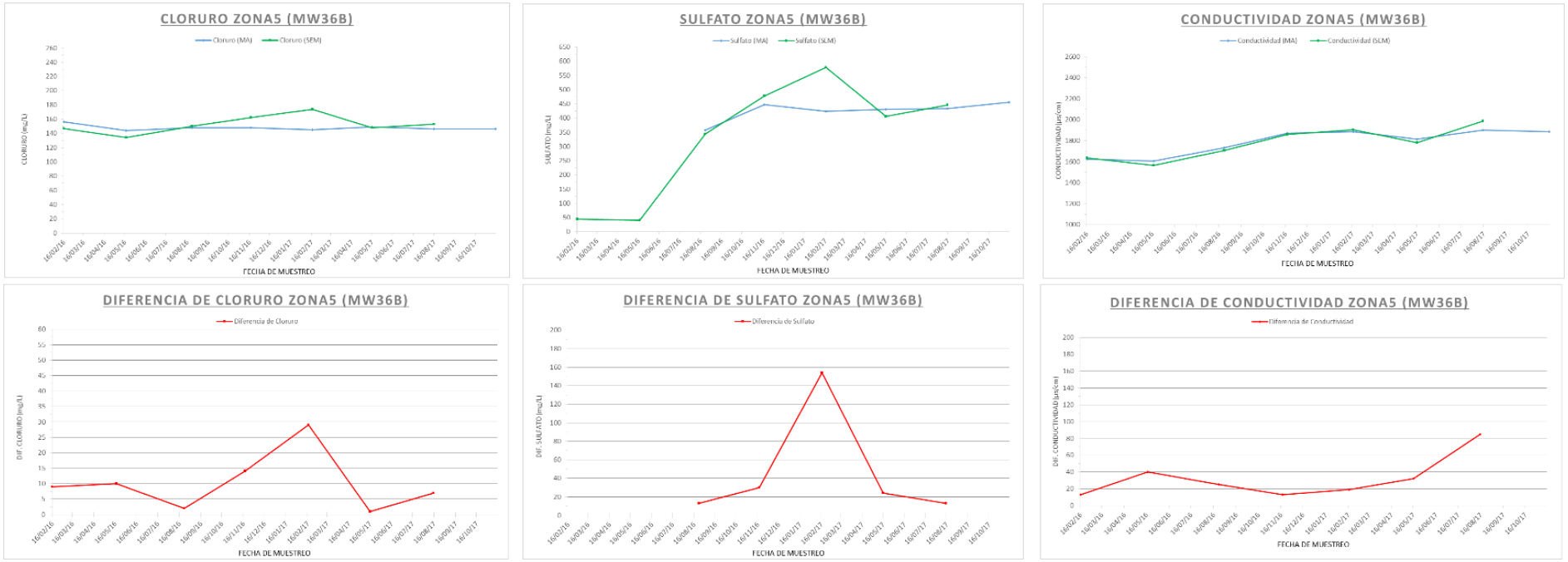


Figura 2.76. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – MW36B. (Fuente: elaborado por IATASA).

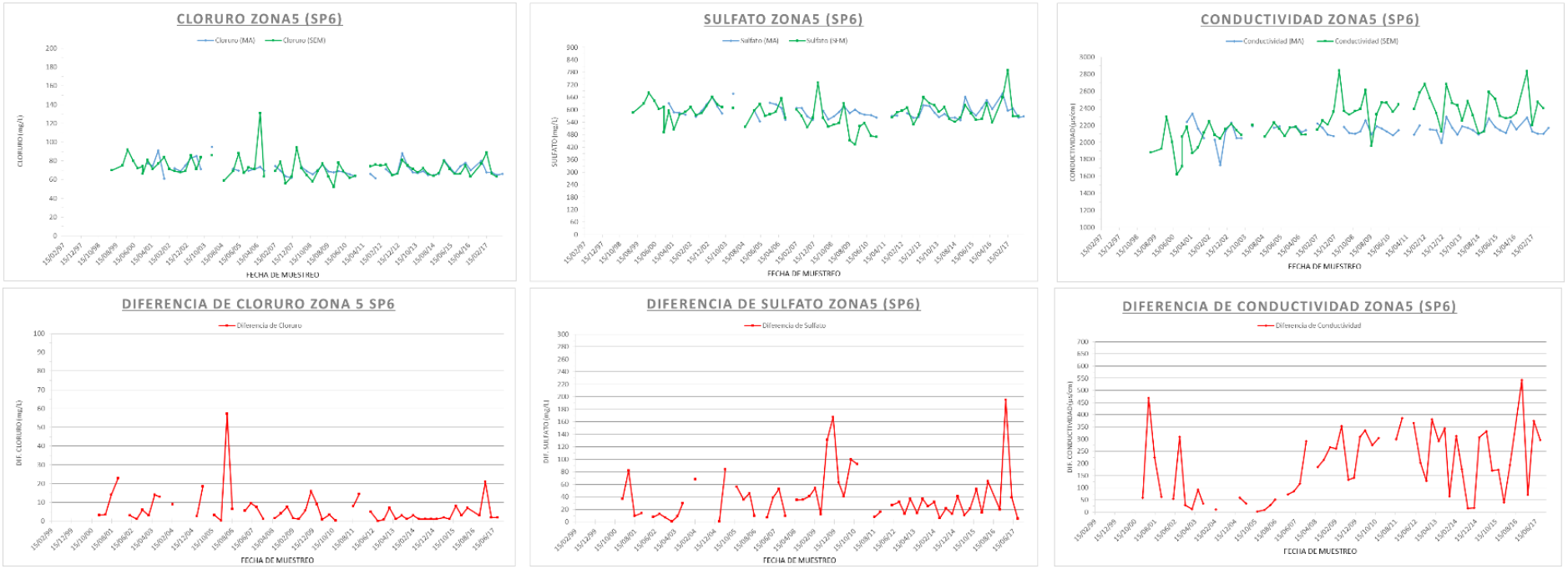


Figura 2.77. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – SP6. (Fuente: elaborado por IATASA).

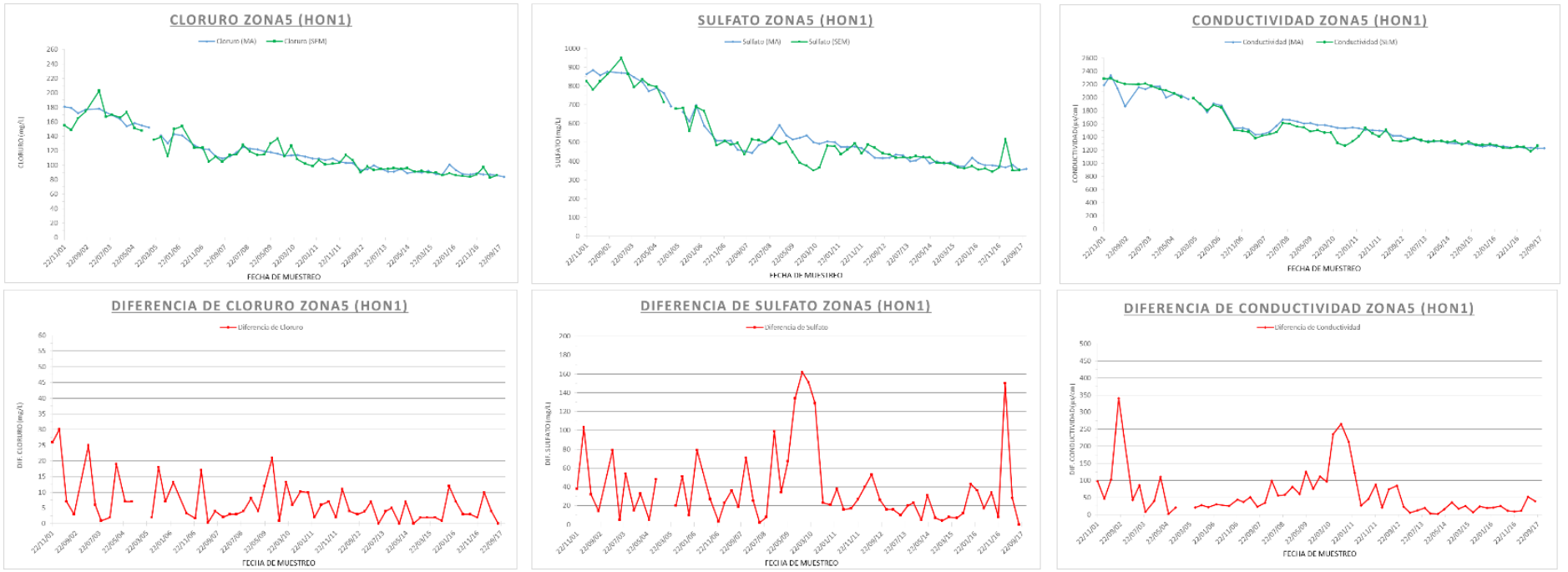


Figura 2.78. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – HON1. (Fuente: elaborado por IATASA).

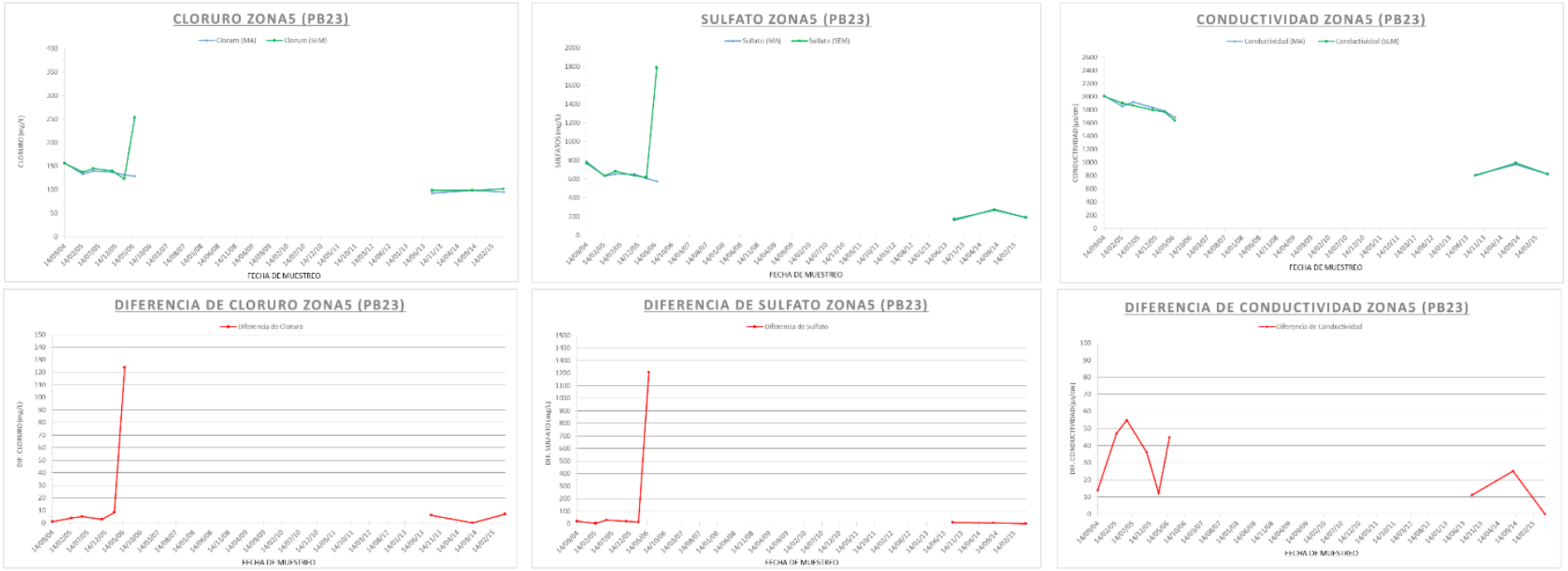


Figura 2.79. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB23. (Fuente: elaborado por IATASA).

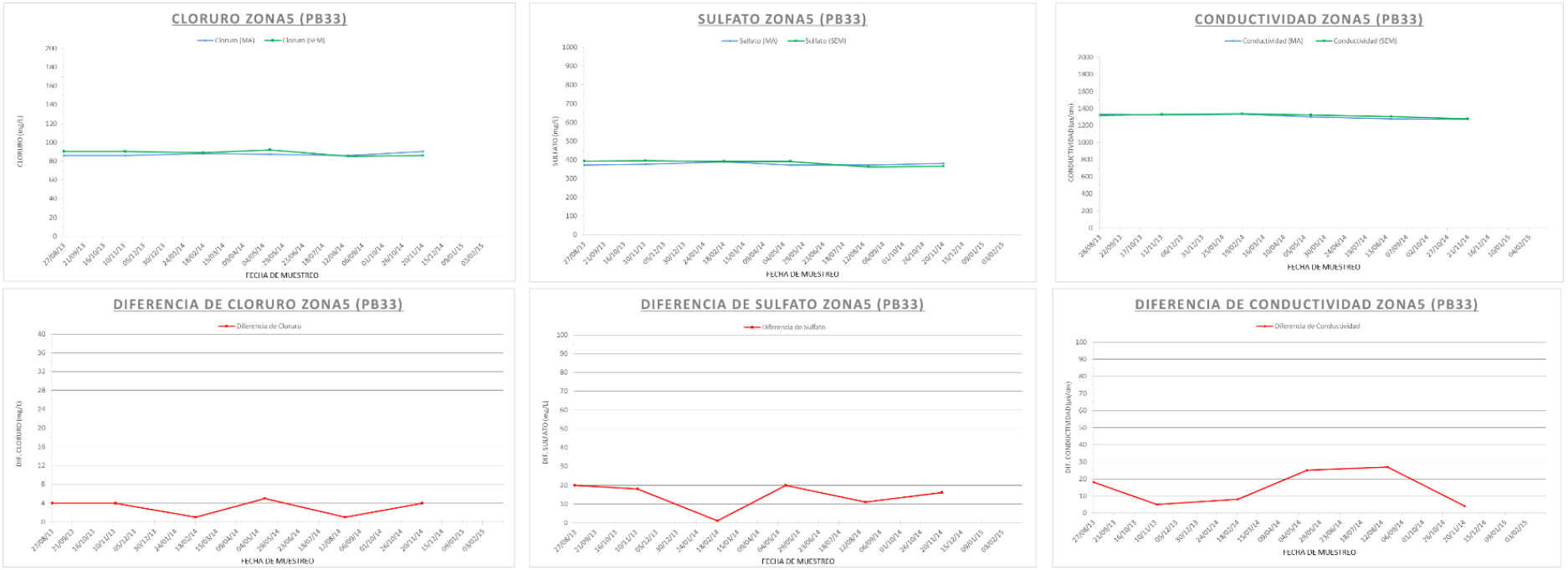


Figura 2.80. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – PB33. (Fuente: elaborado por IATASA).

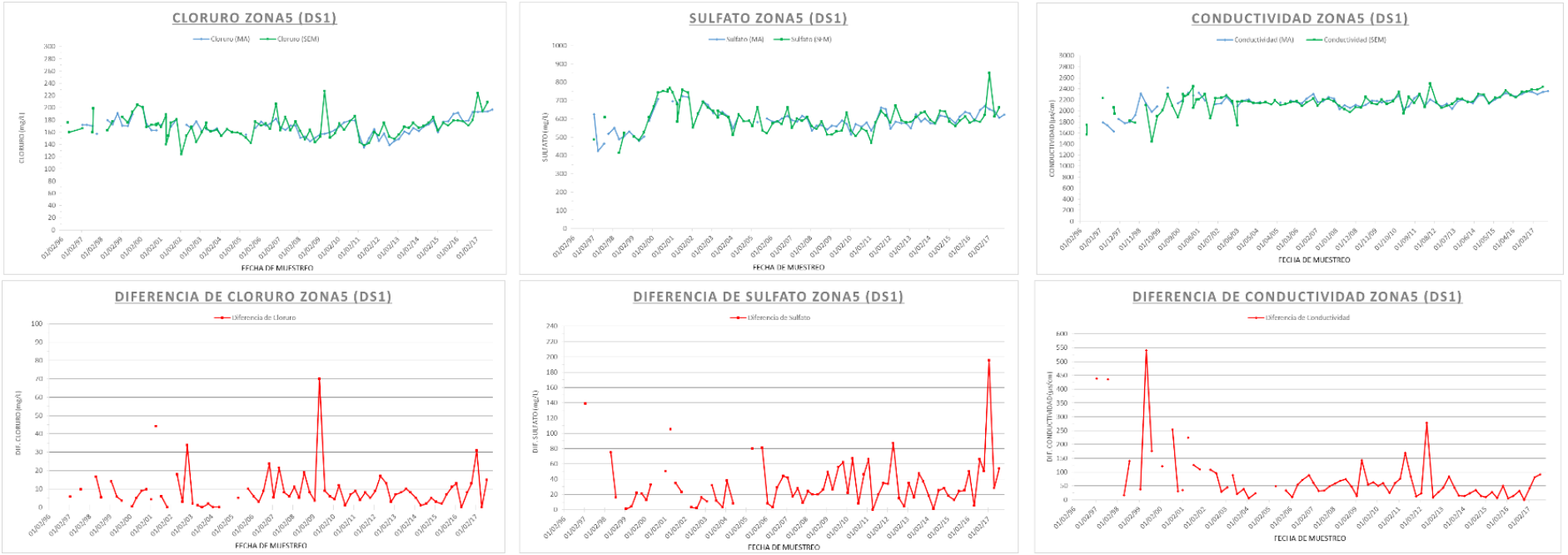


Figura 2.81. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS1. (Fuente: elaborado por IATASA).

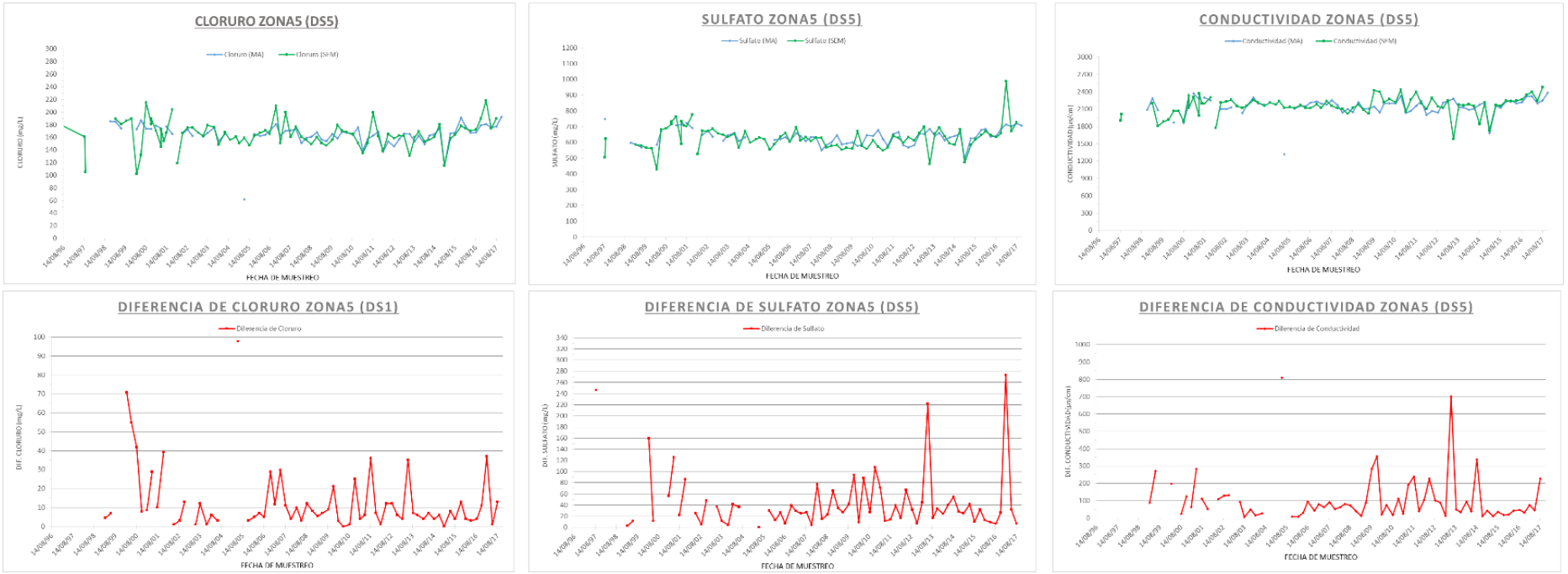


Figura 2.82. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS5. (Fuente: elaborado por IATASA).

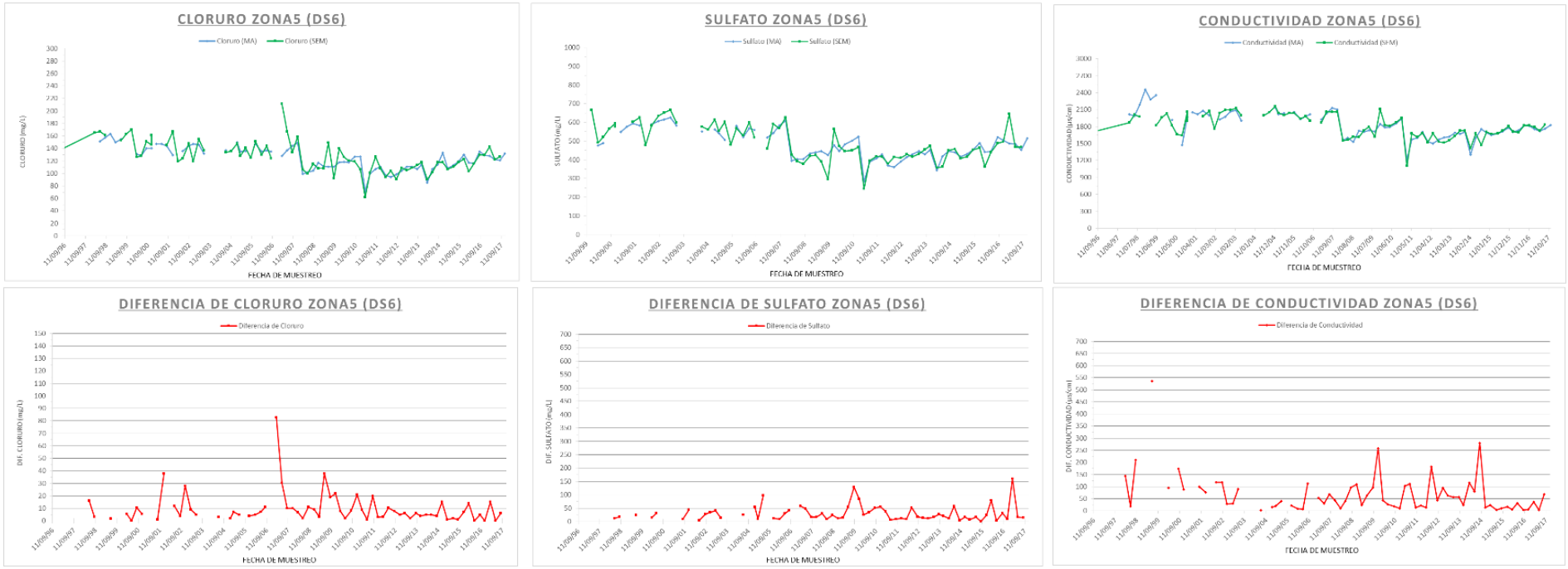


Figura 2.83. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS6. (Fuente: elaborado por IATASA).

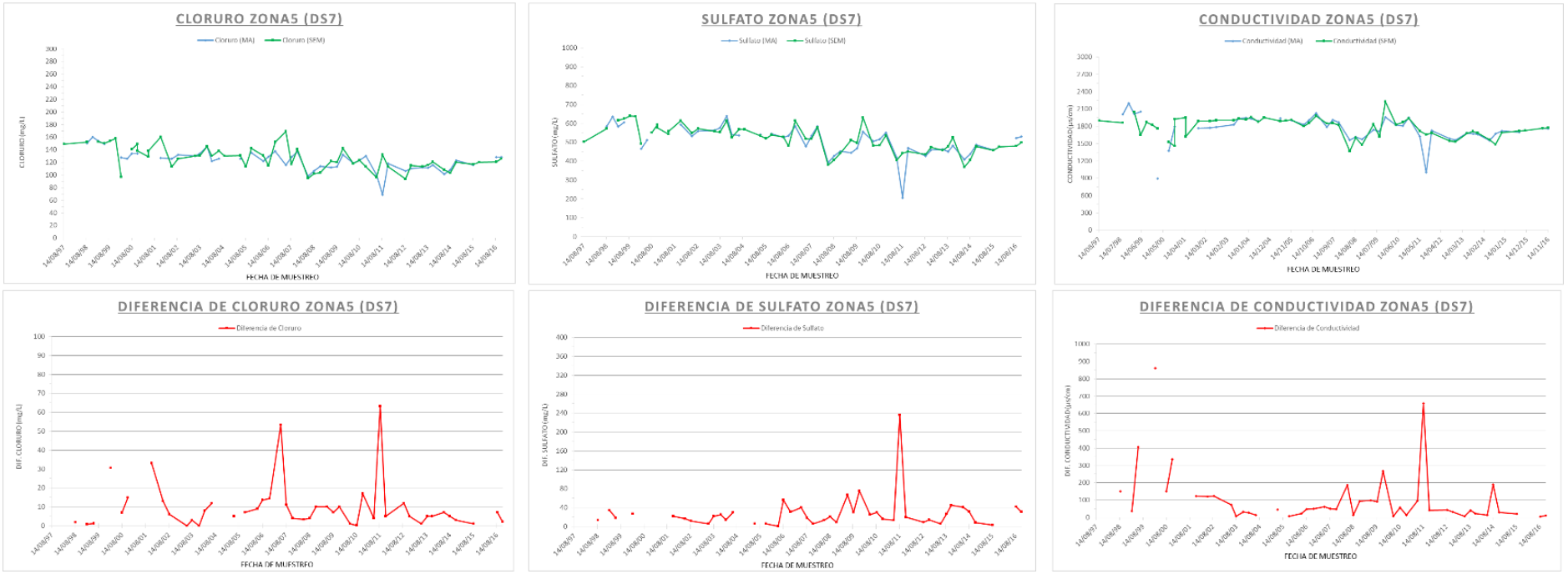


Figura 2.84. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS7. (Fuente: elaborado por IATASA).

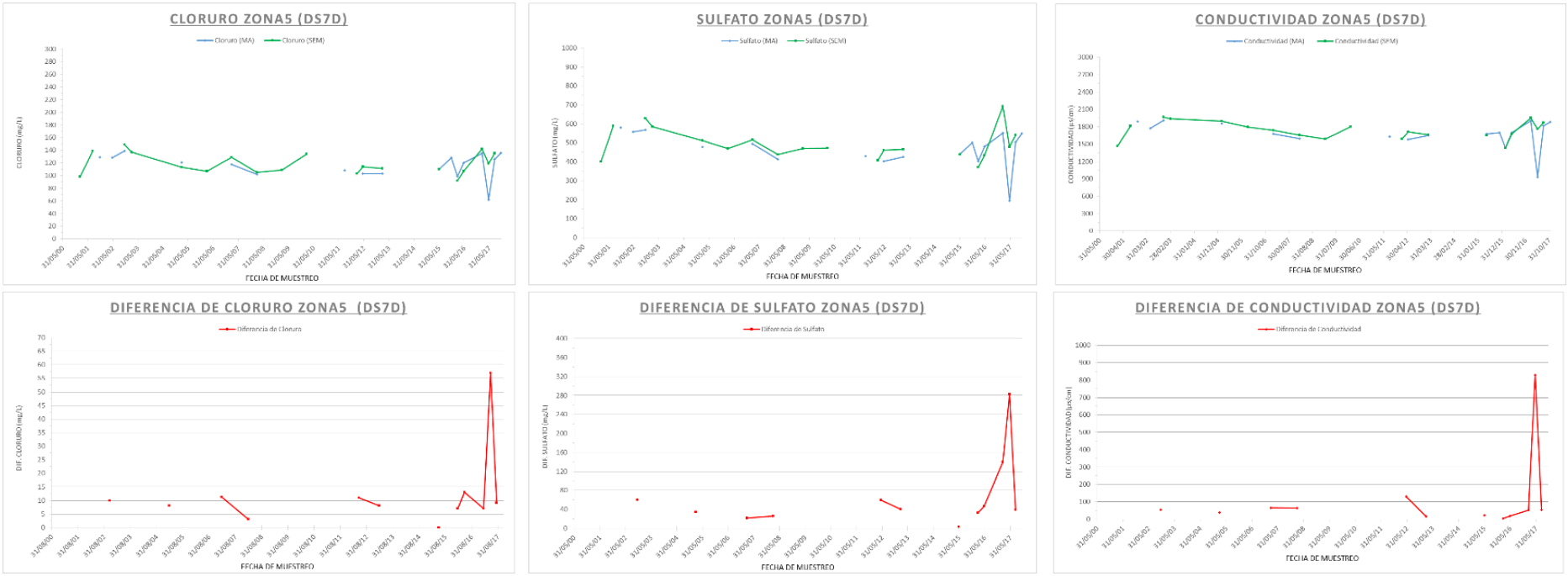


Figura 2.85. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS7D. (Fuente: elaborado por IATASA).

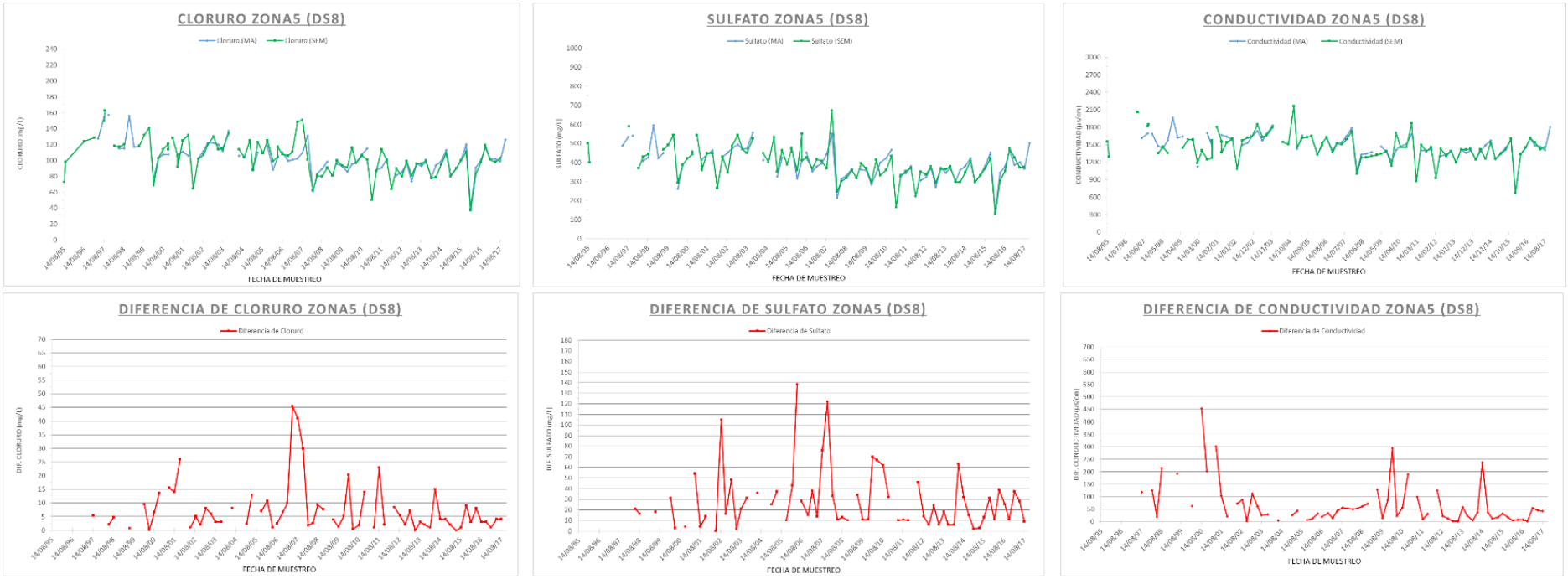


Figura 2.86. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS8. (Fuente: elaborado por IATASA).

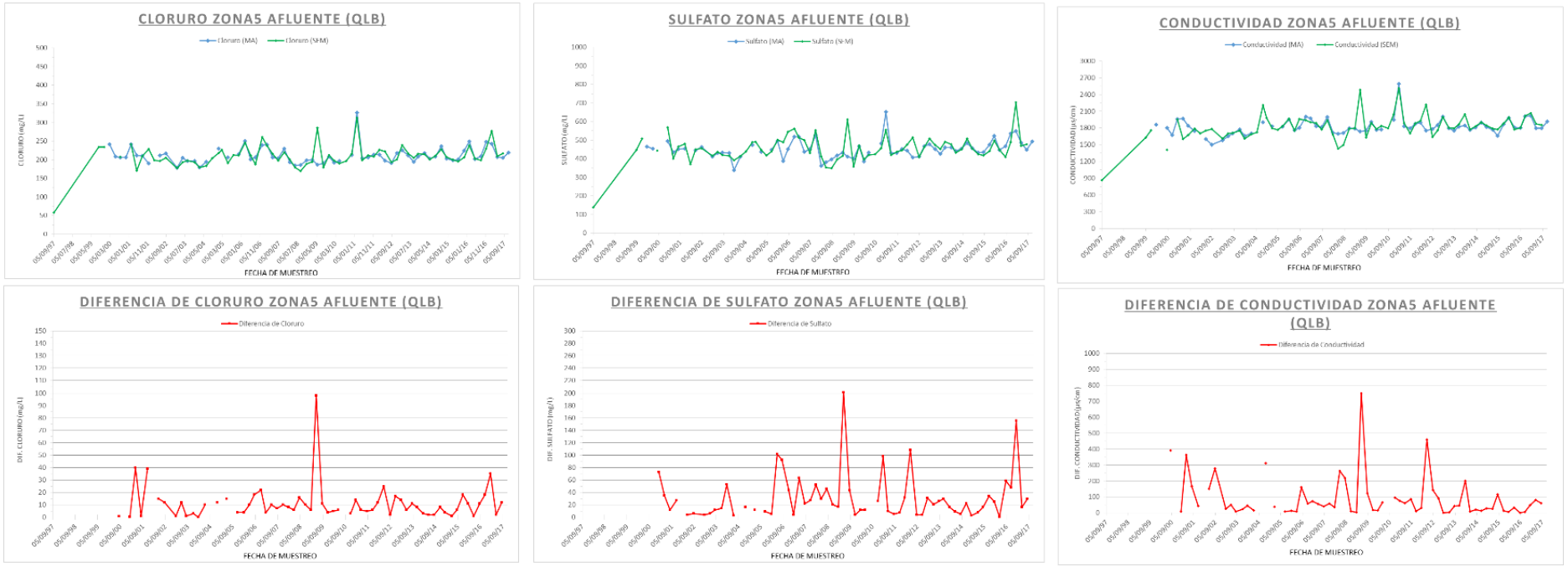


Figura 2.87. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – QLB. (Fuente: elaborado por IATASA).

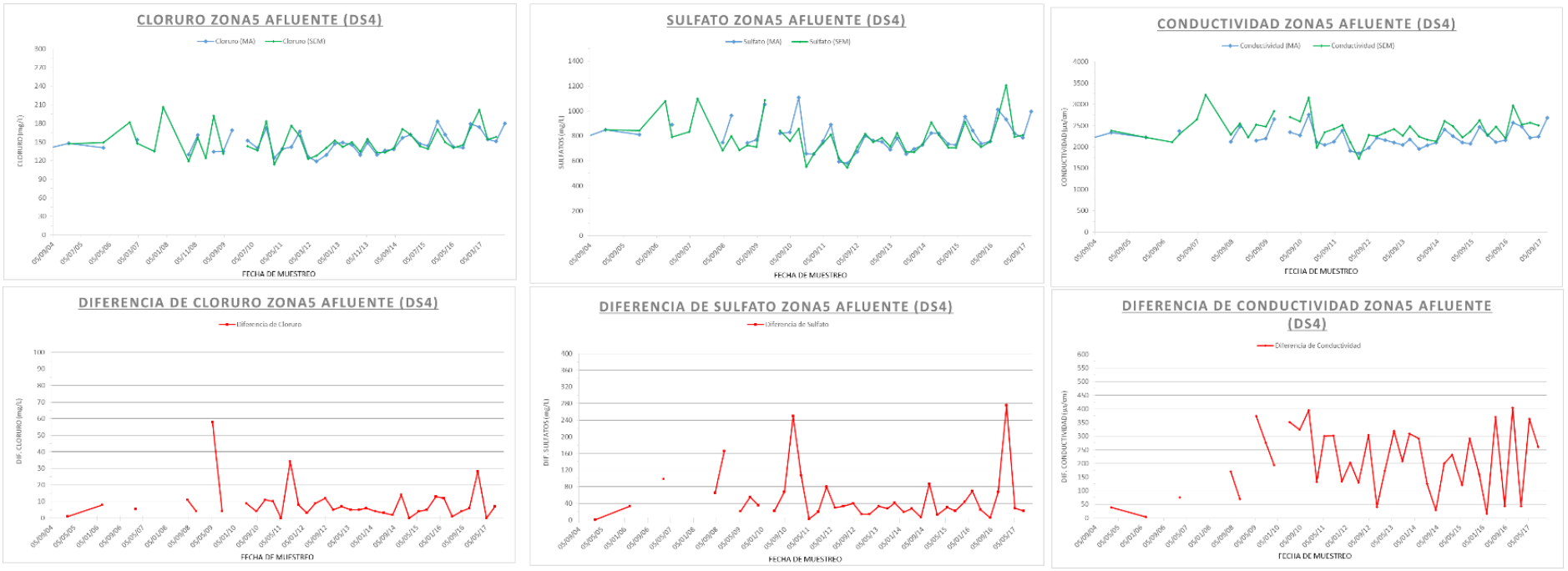


Figura 2.88. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS4. (Fuente: elaborado por IATASA).

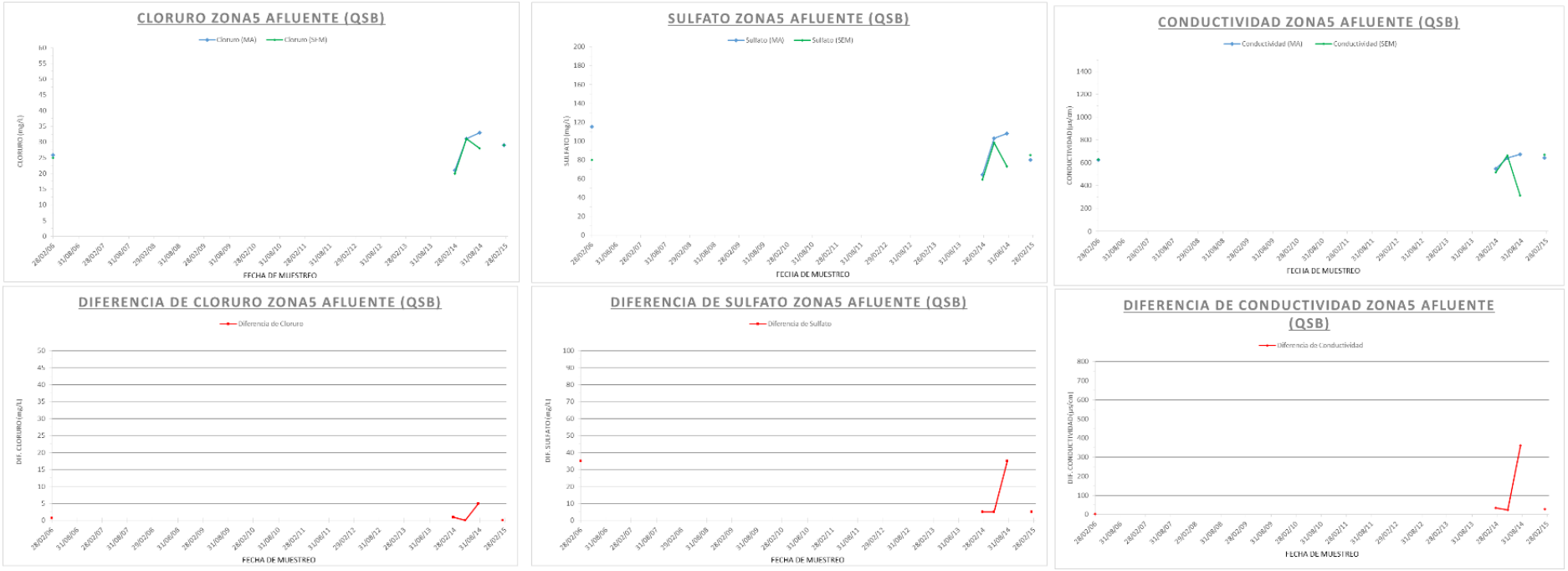


Figura 2.89. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – QSB. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 2.90. Comparación de valores de cloruros, sulfatos y conductividad medidos por la SEM y MAA – DS7E. (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 3.1. Plantación en curvas de nivel en área en recuperación: cuando se tienen pendientes superiores al 20 % se recomienda plantar siguiendo las curvas de nivel, estableciendo las distancias entre planta en función de las condiciones del suelo y los objetivos de la plantación. (Fuente: CONAFOR – México 2010 – 2011 en Magda Vanegas LOPEZ).

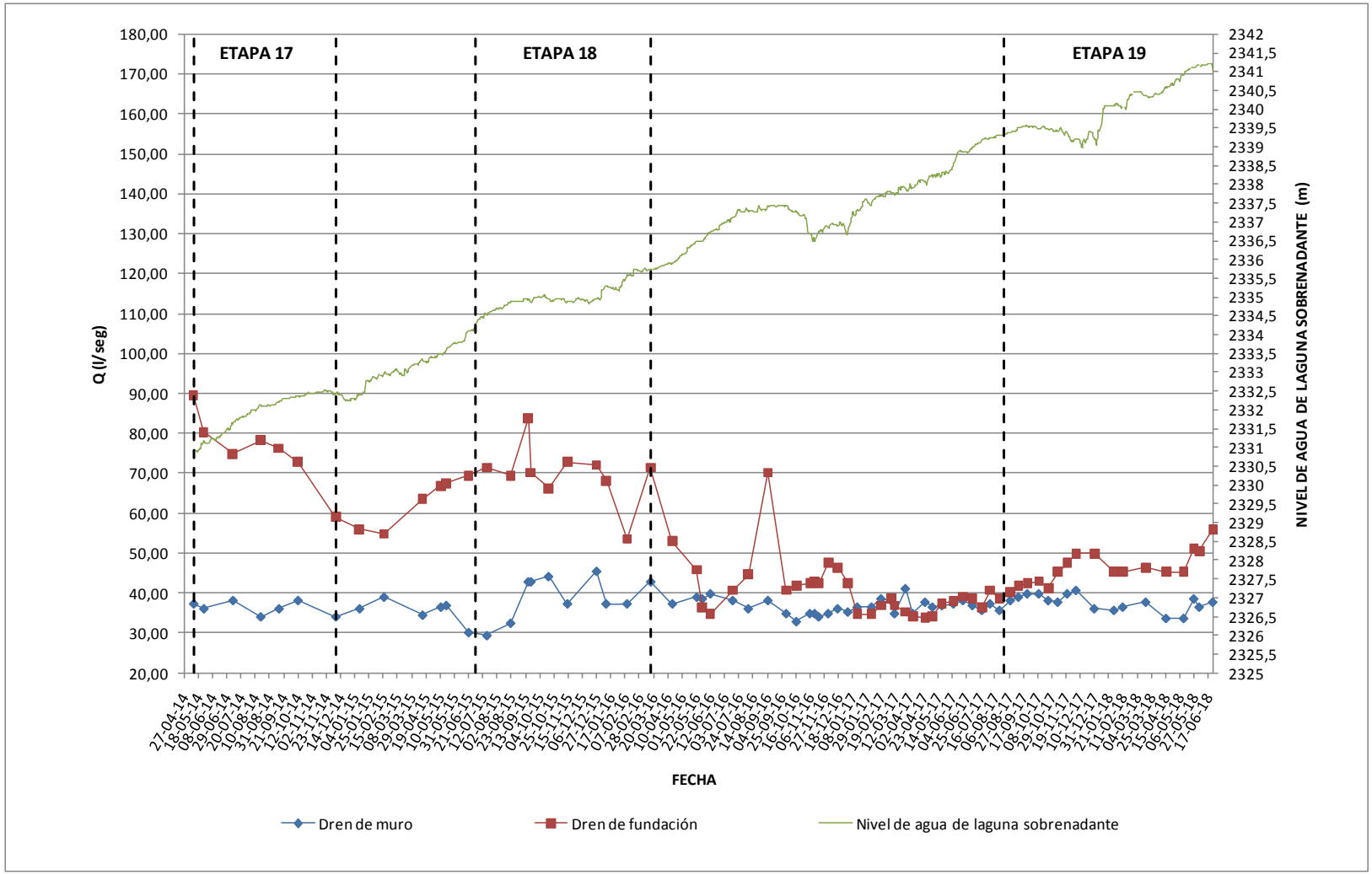


Figura 4.1. Caudales de los vertederos del dren de muro y dren de fundación y cota de pelo de agua libre de la laguna sobrenadante. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

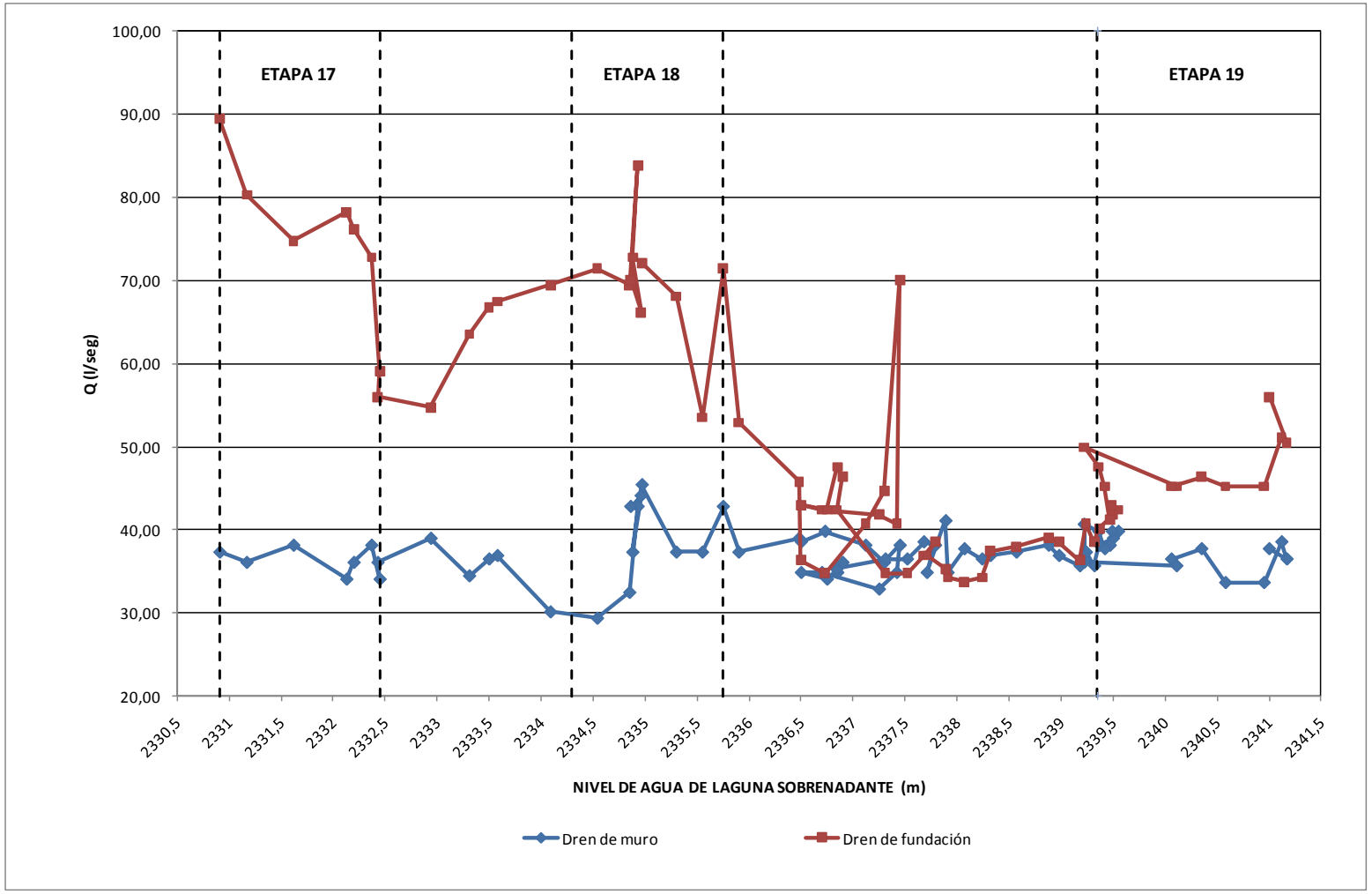


Figura 4.2. Caudales de los vertederos del dren de muro y dren de fundación en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

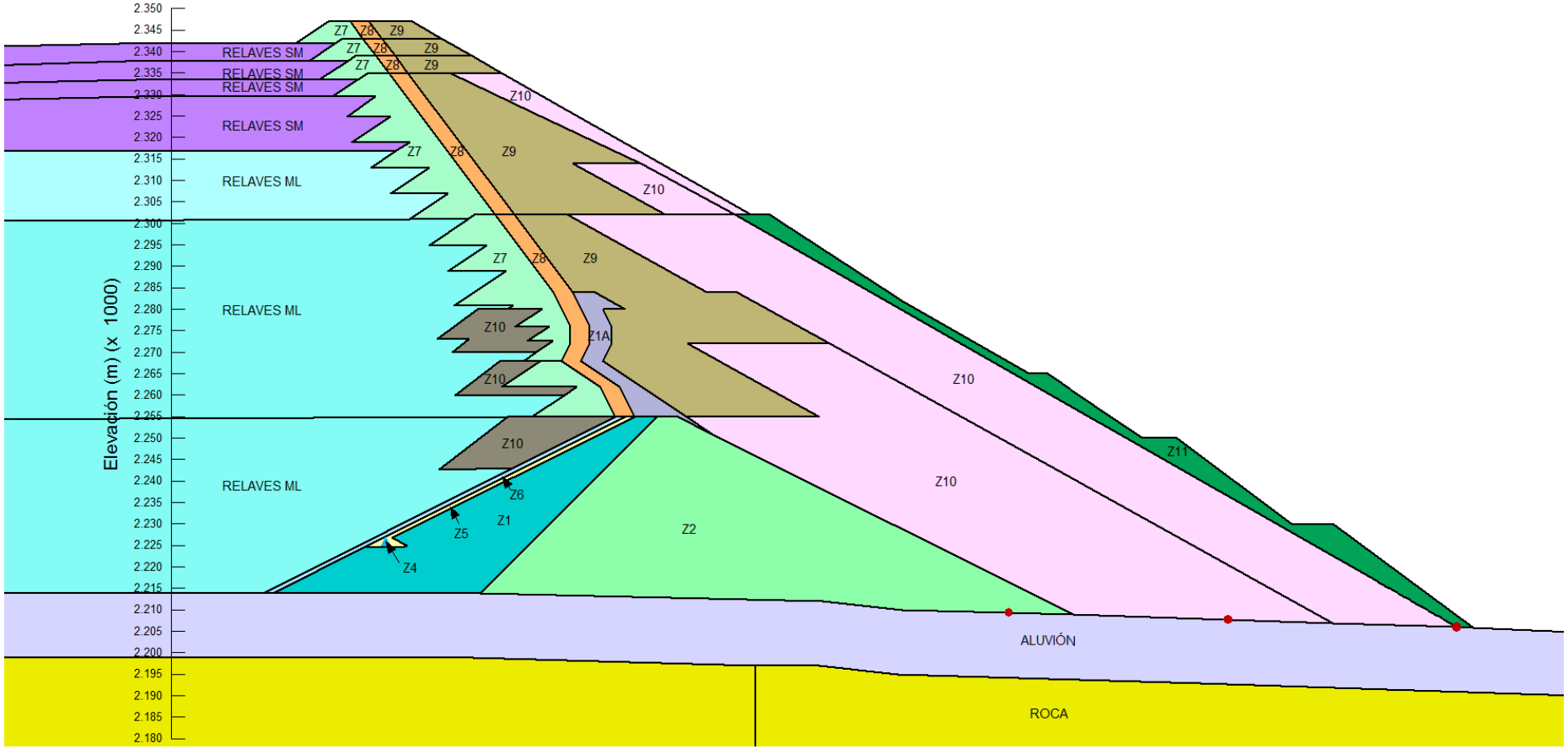


Figura 4.3. Sección transversal etapa 19. Cota de coronamiento 2347m (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM en 2018).

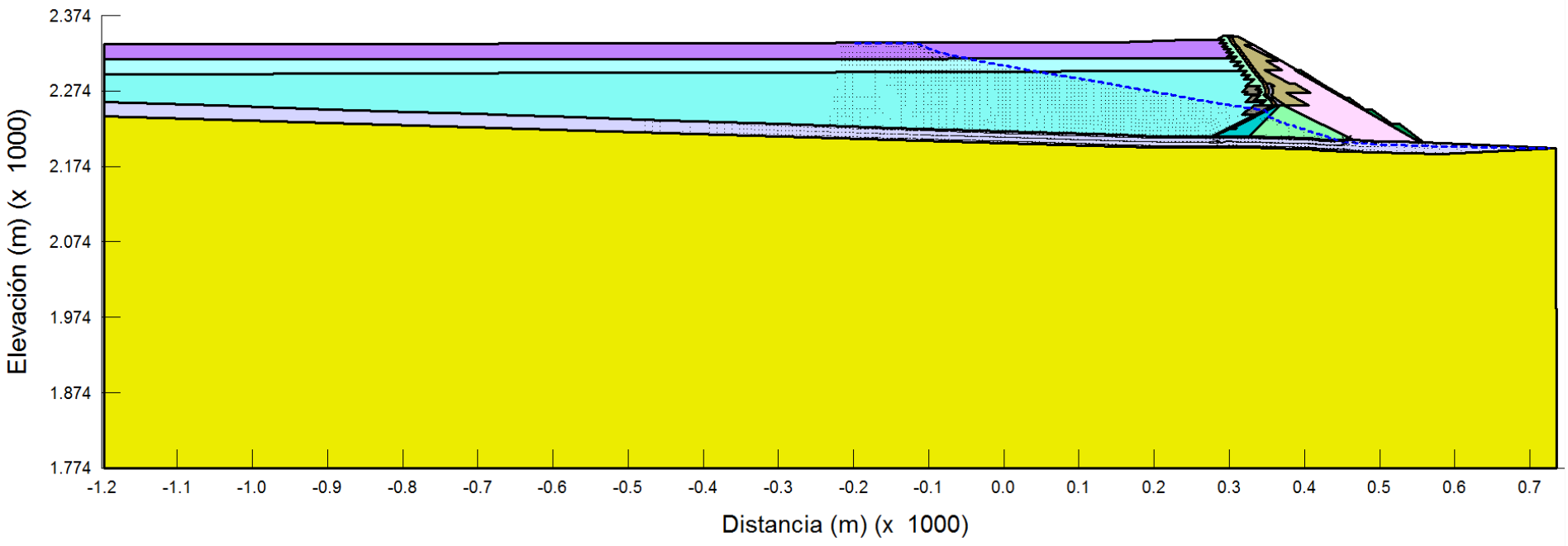


Figura 4.4. Red de escurrimiento en todo su desarrollo durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

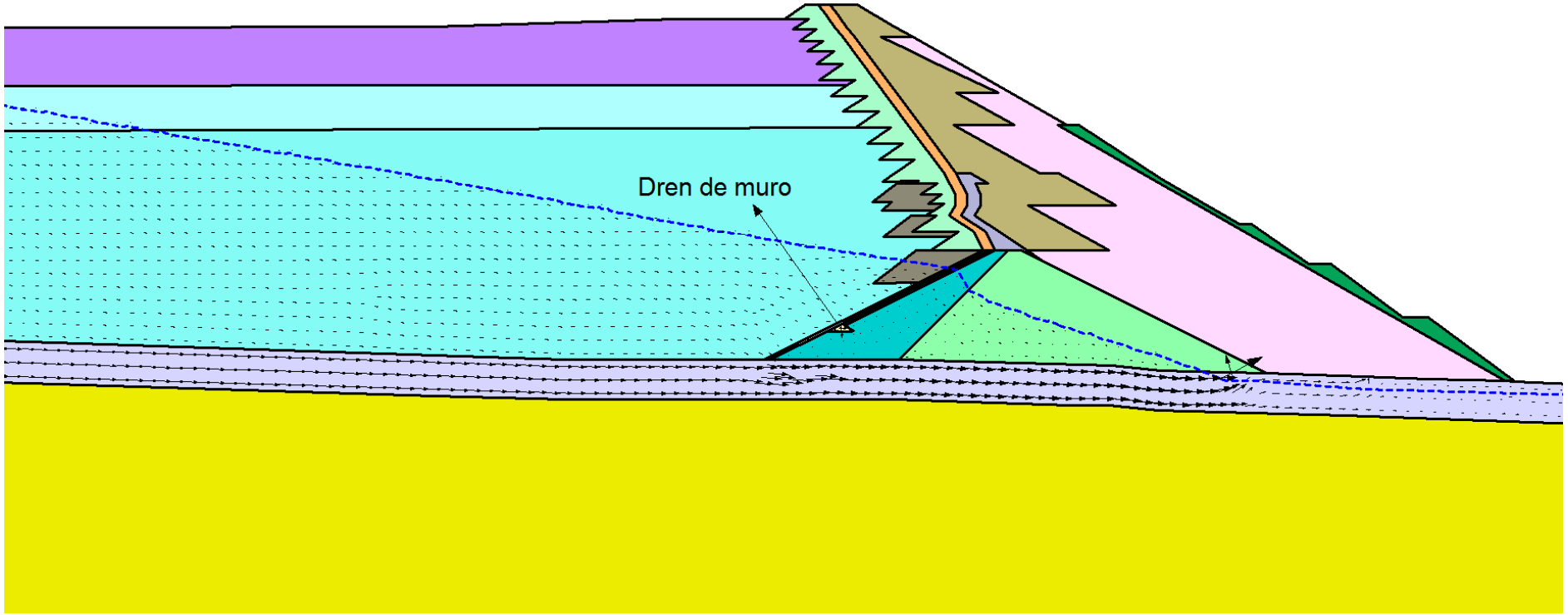


Figura 4.5. Red de escurrimiento en detalle de la zona de la presa durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

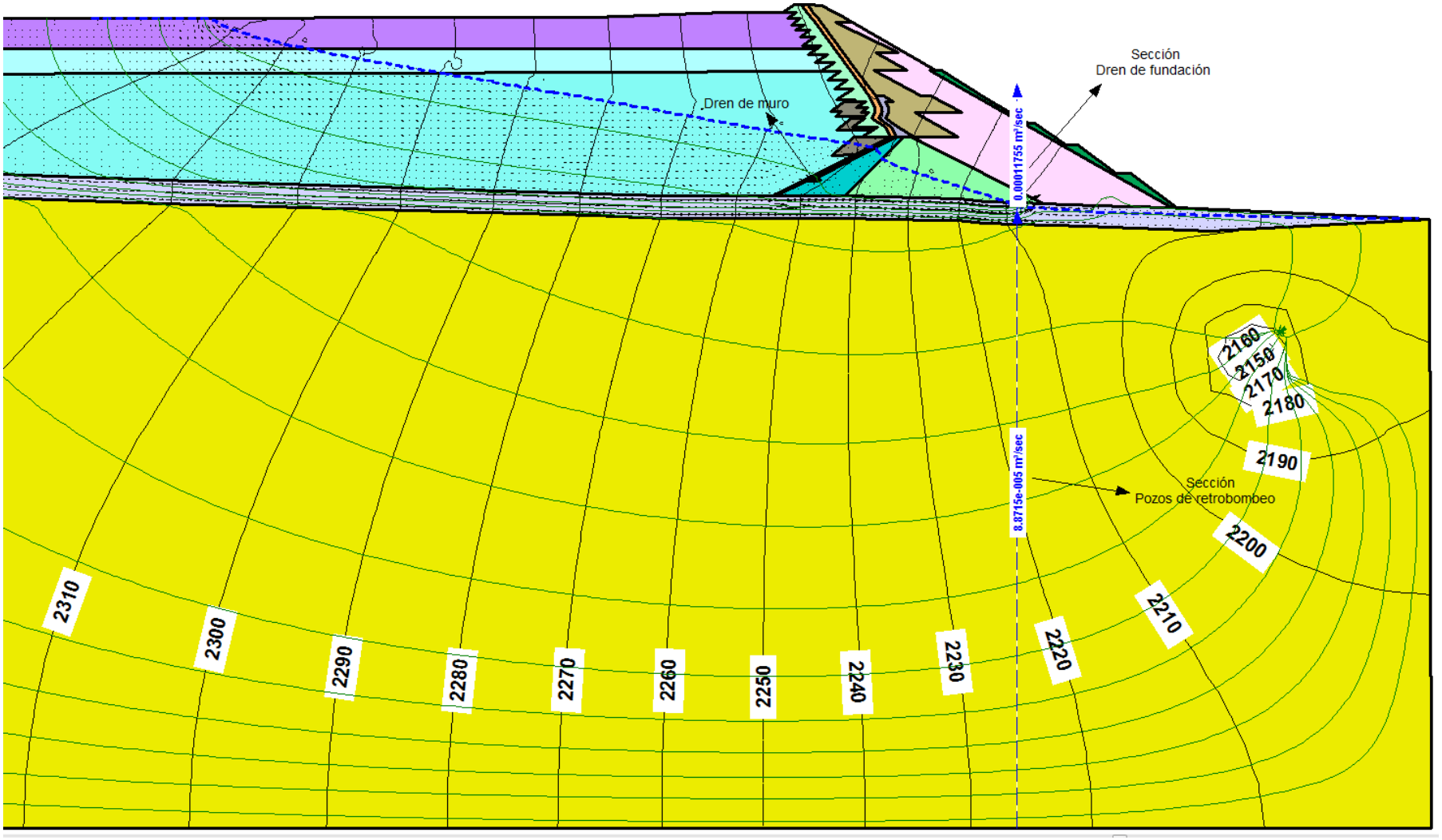


Figura 4.6. Líneas de corrientes y equipotenciales, secciones y caudales específicos del dren de fundación y los pozos de retrobombeo durante la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

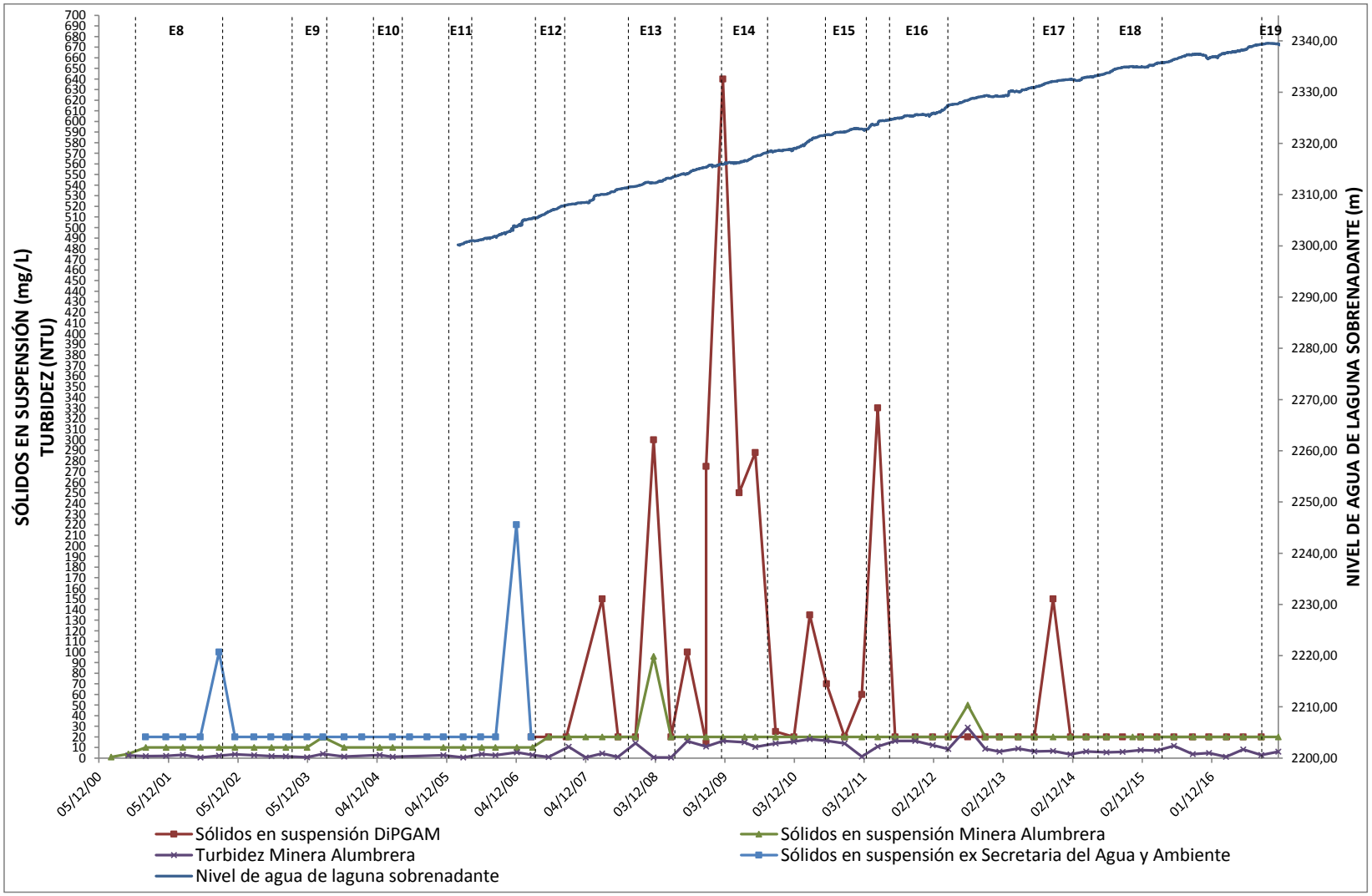


Figura 4.7. Sólidos en suspensión y turbidez de la Pileta Colectora de Drenaje DCP/DCP-2 y cota de pelo de agua libre de la laguna sobrenadante (Fuente: elaborado por IATASA con información provista por la DiPGAM).

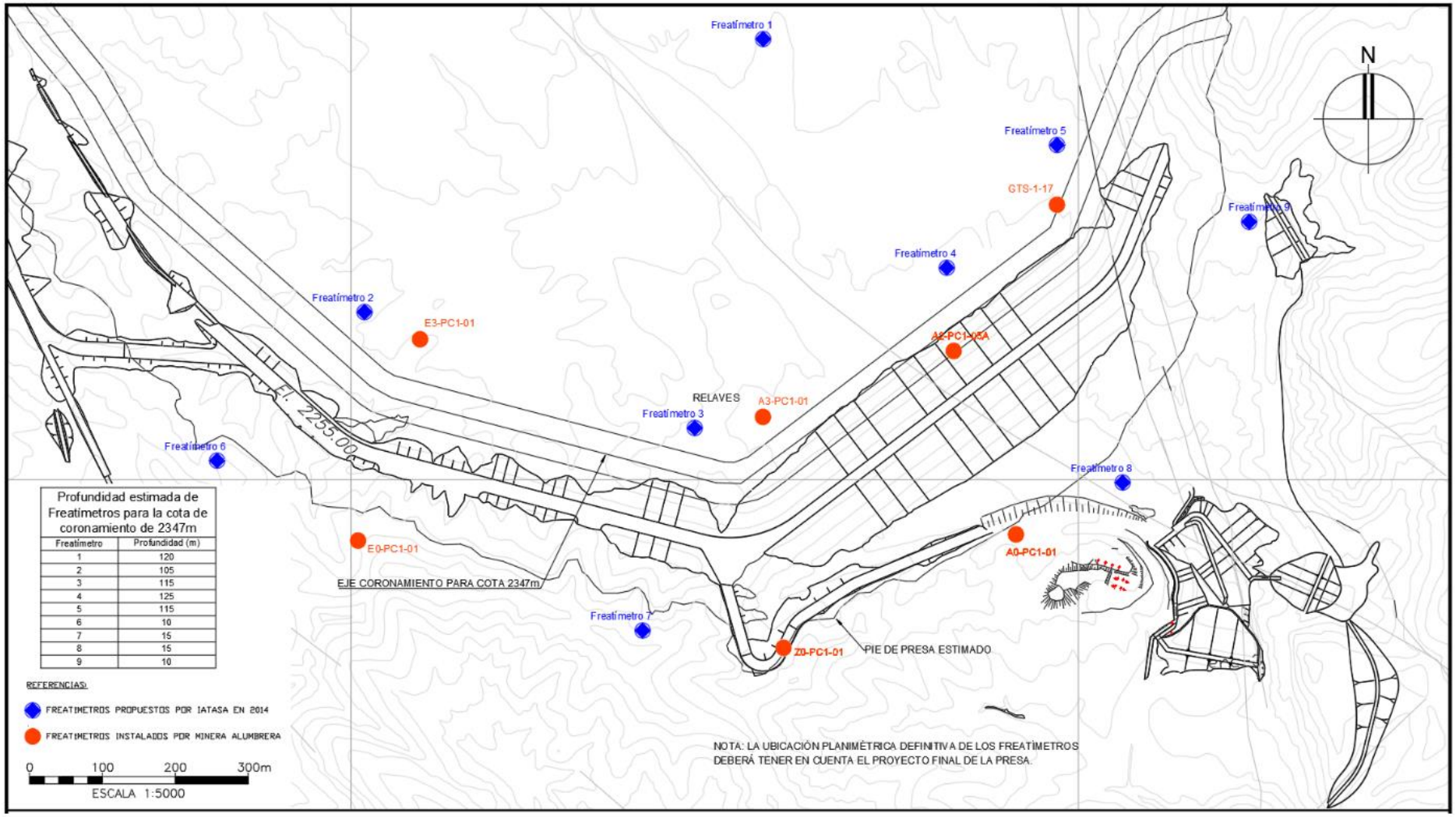


Figura 7.1. Ubicaciones de freatímetros propuestos por IATASA en 2014 y de los freatímetros instalados por Minera Alumbrera (Fuente: elaborado por IATASA).

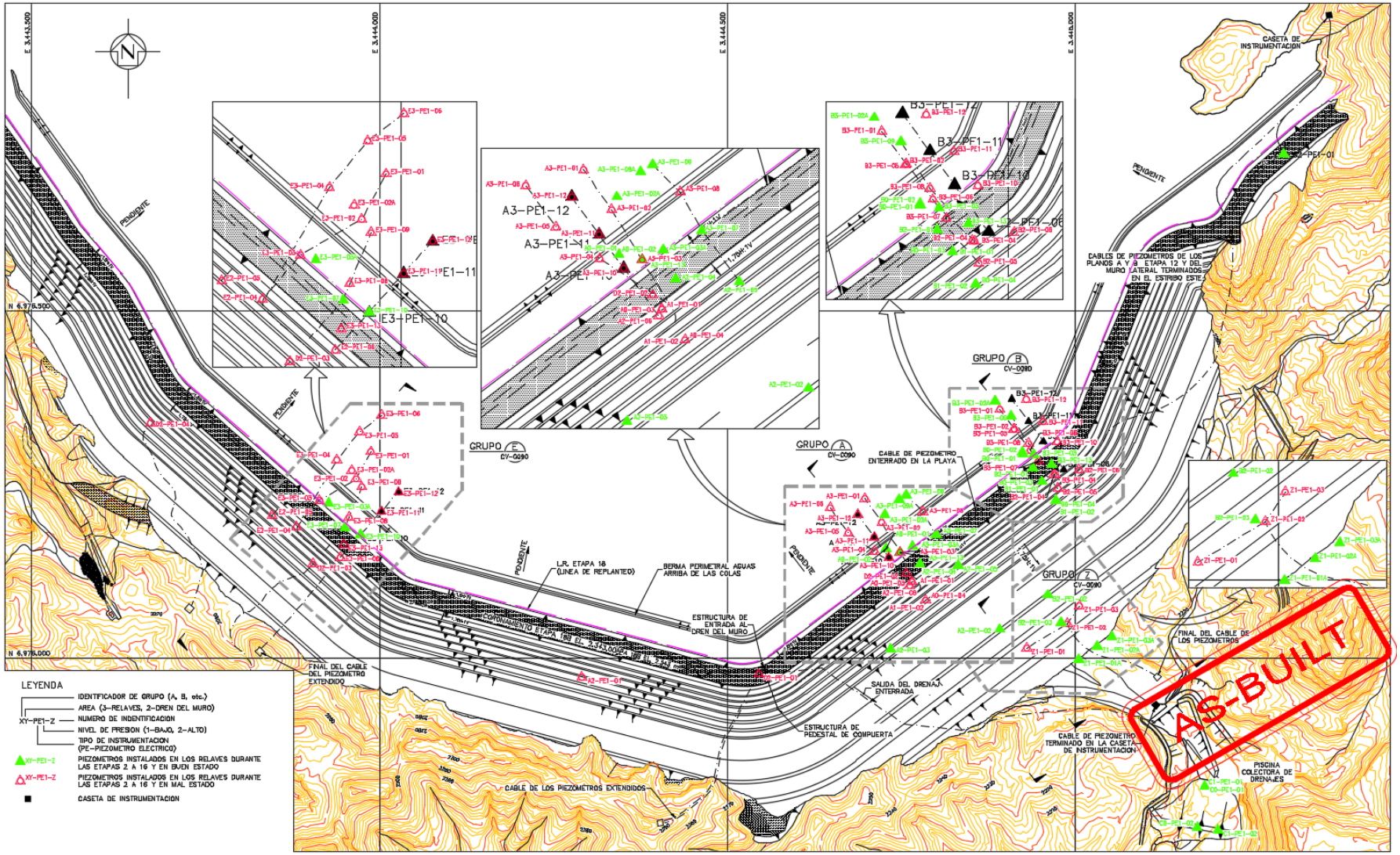


Figura 7.2. Ubicación de piezómetros eléctricos en planta (Fuente: Plano SA201.00001.48-ID-PLN-CV-0085. PLAN DE INSTRUMENTACIÓN – PLANTA ETAPA 18. Knight Piésold)

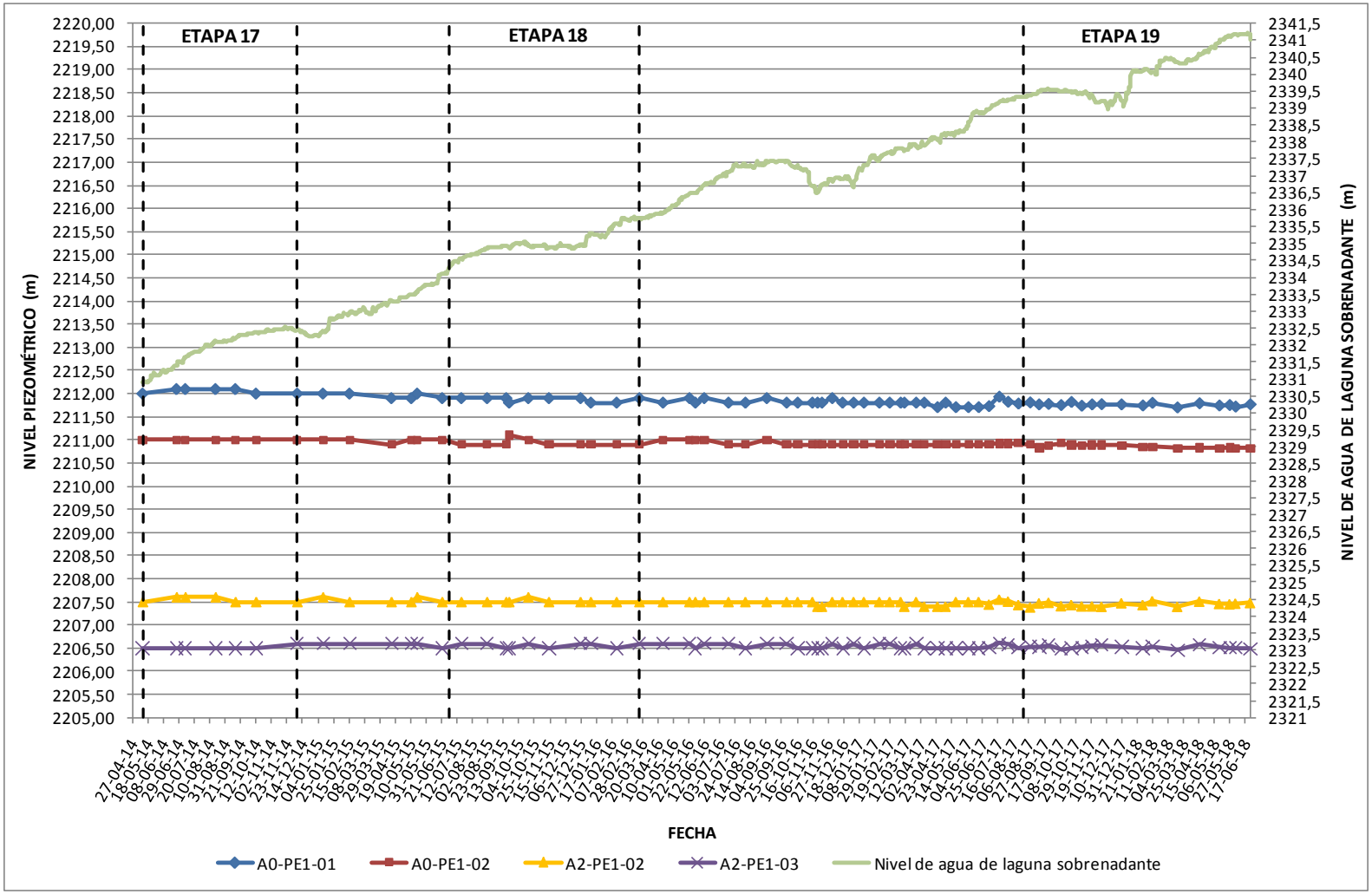


Figura 7.3. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

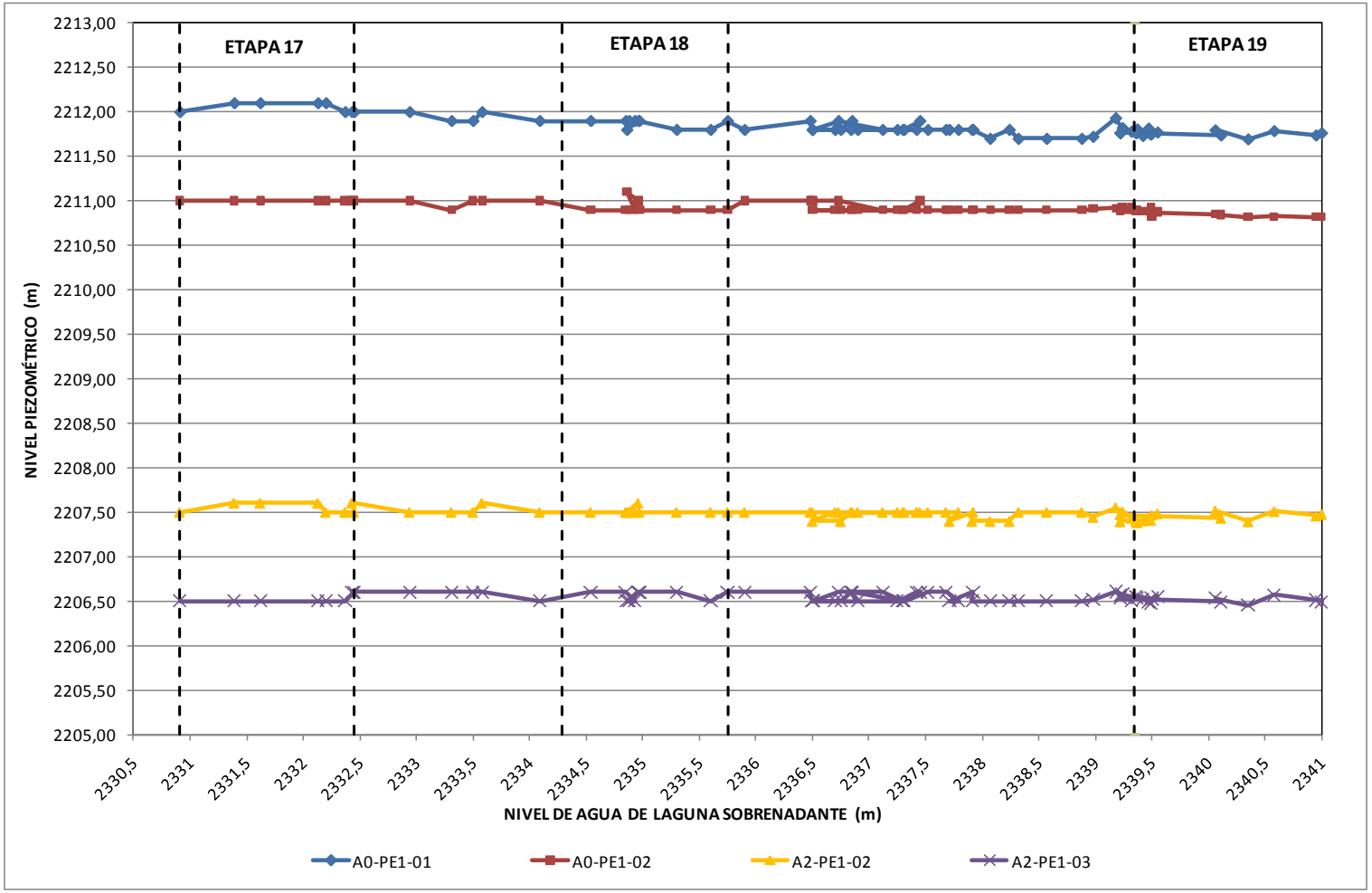


Figura 7.4. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

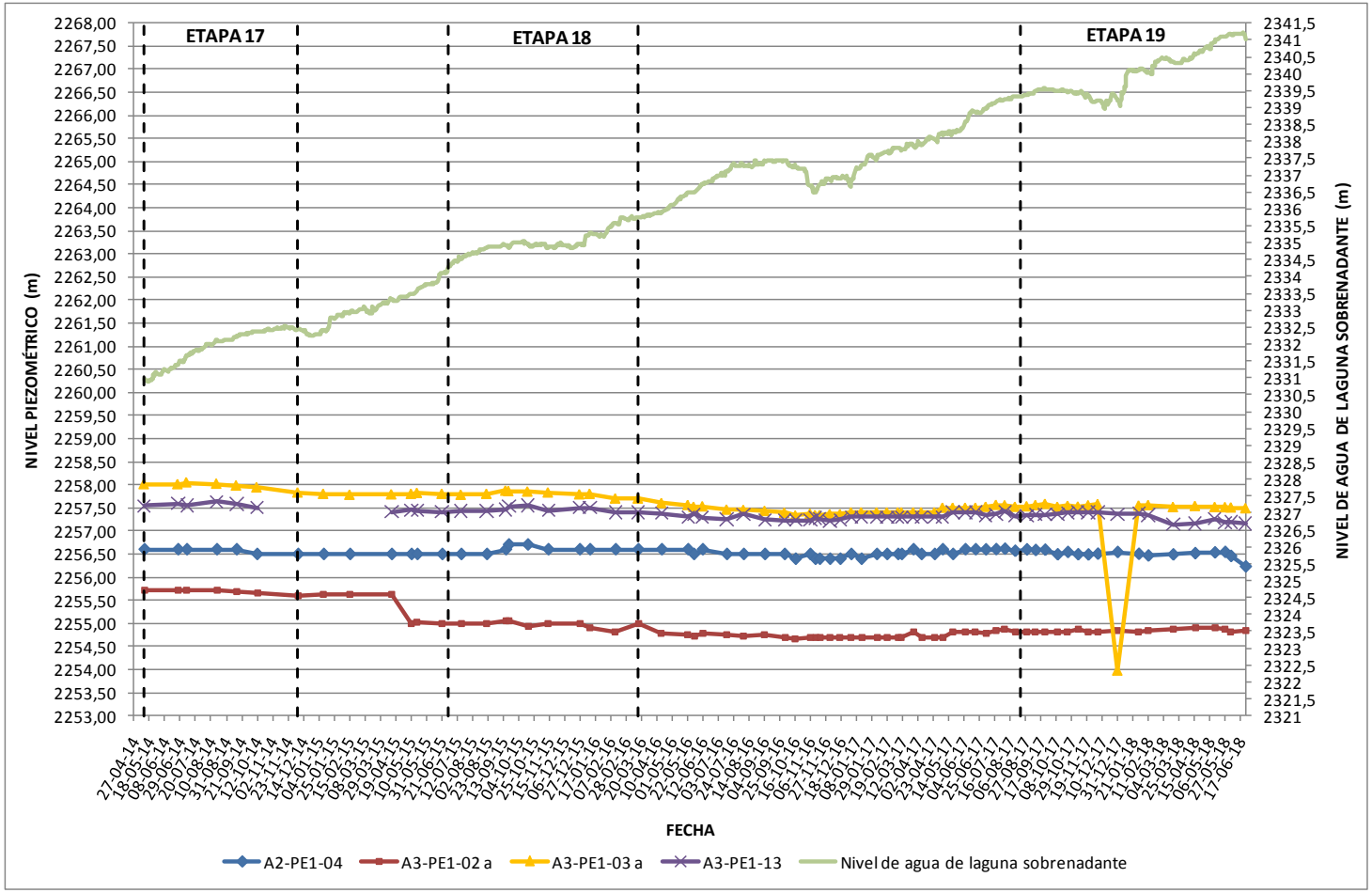


Figura 7.5. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

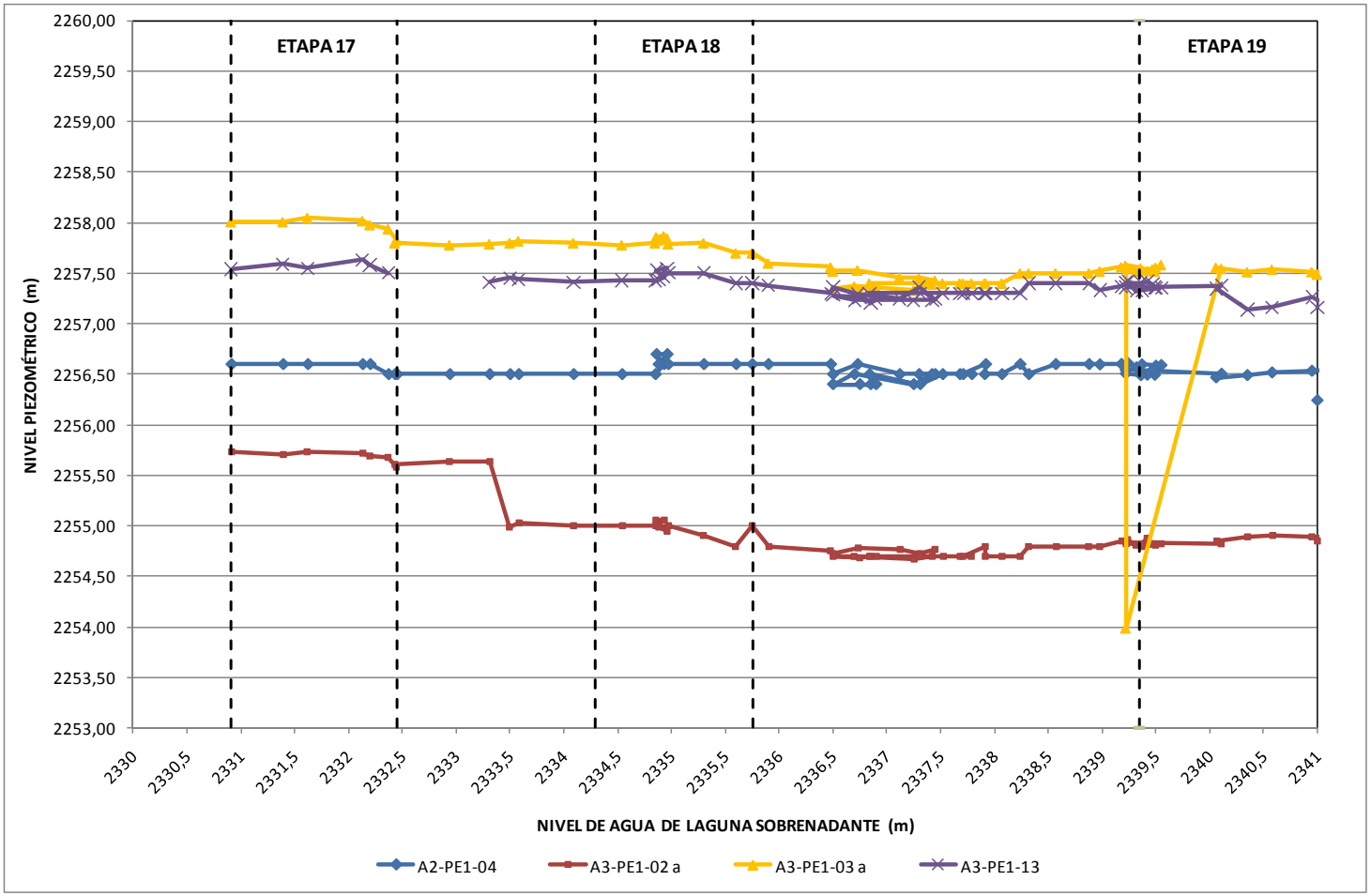


Figura 7.6. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

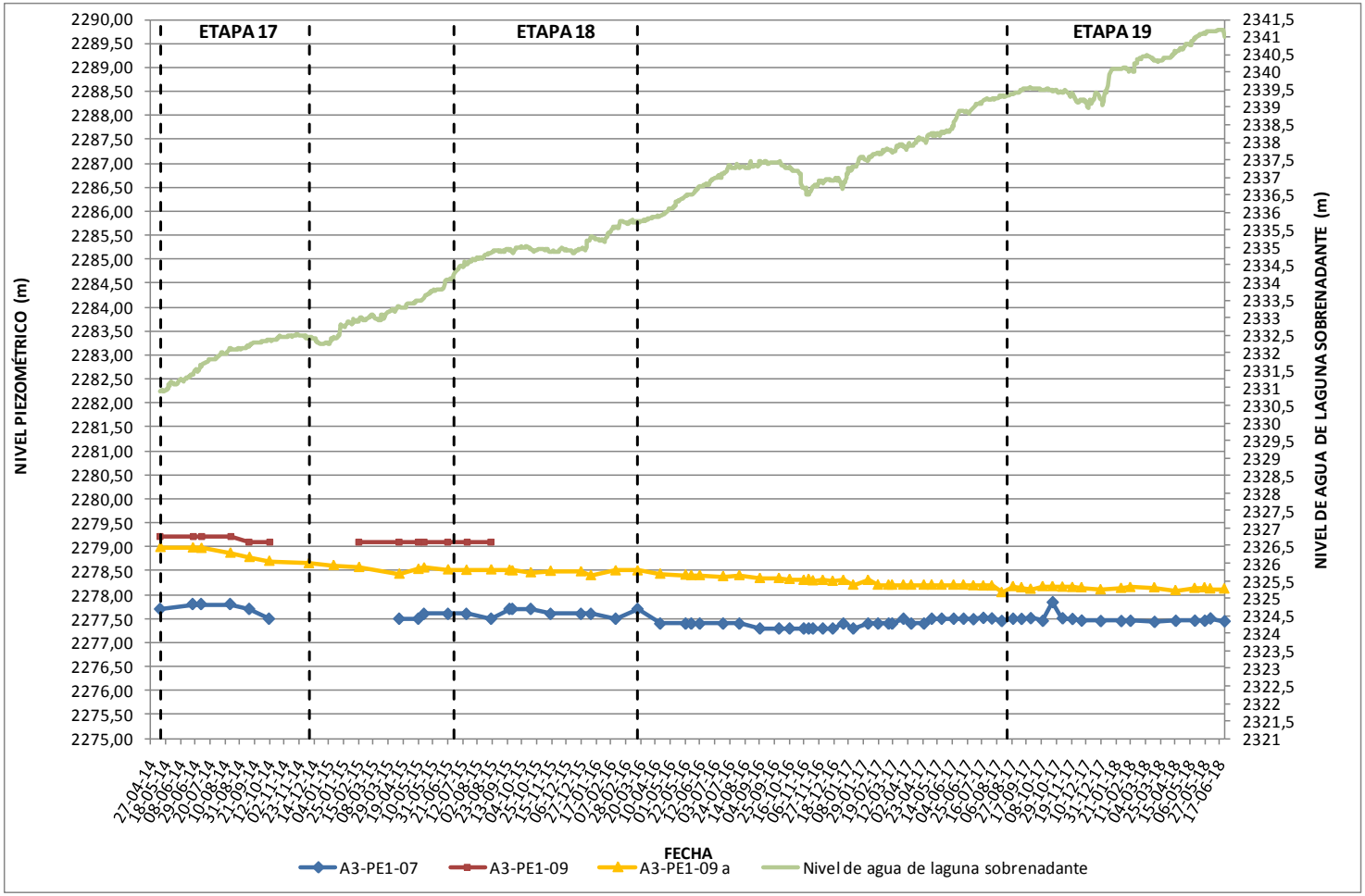


Figura 7.7. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

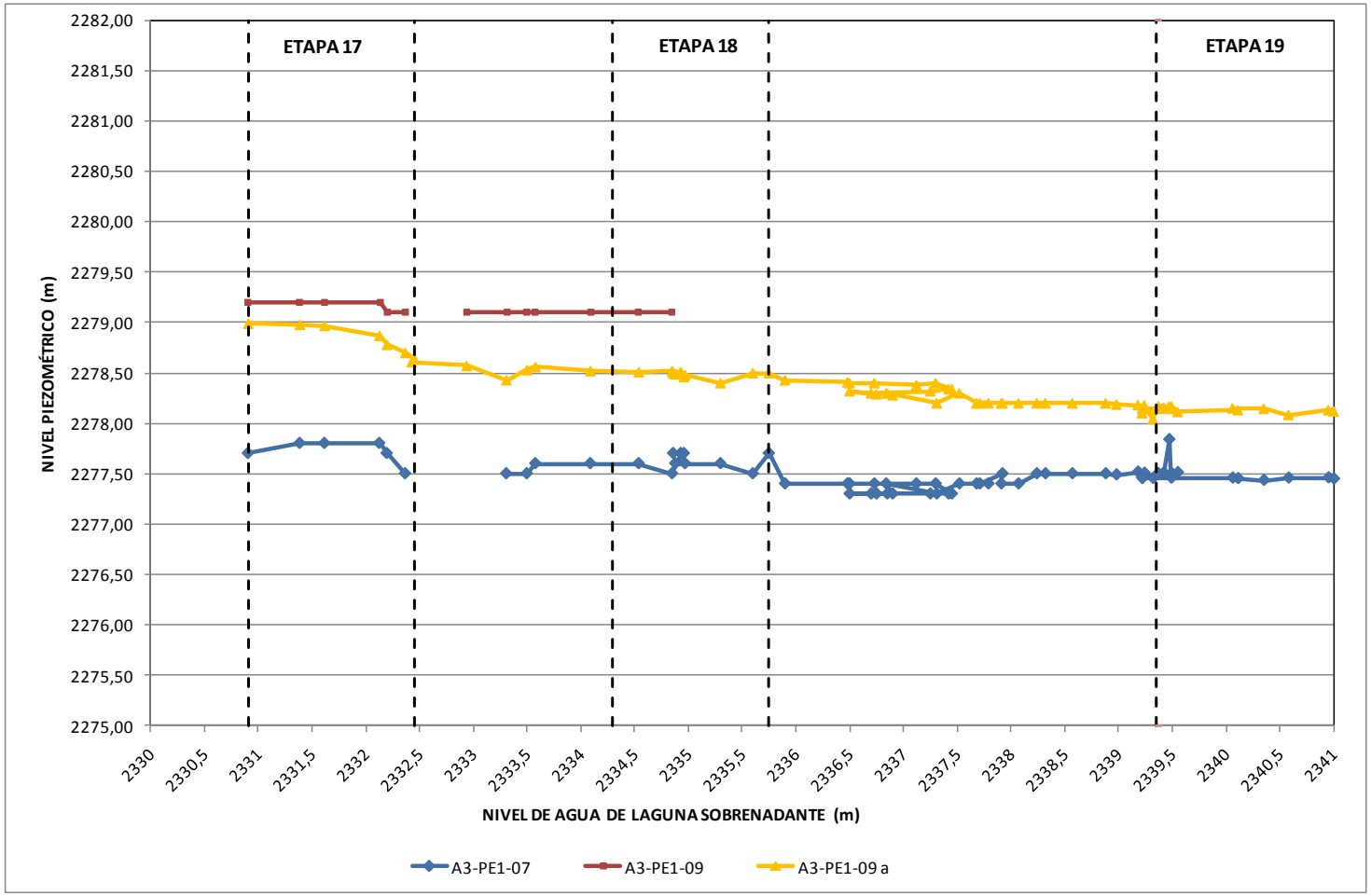


Figura 7.8. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

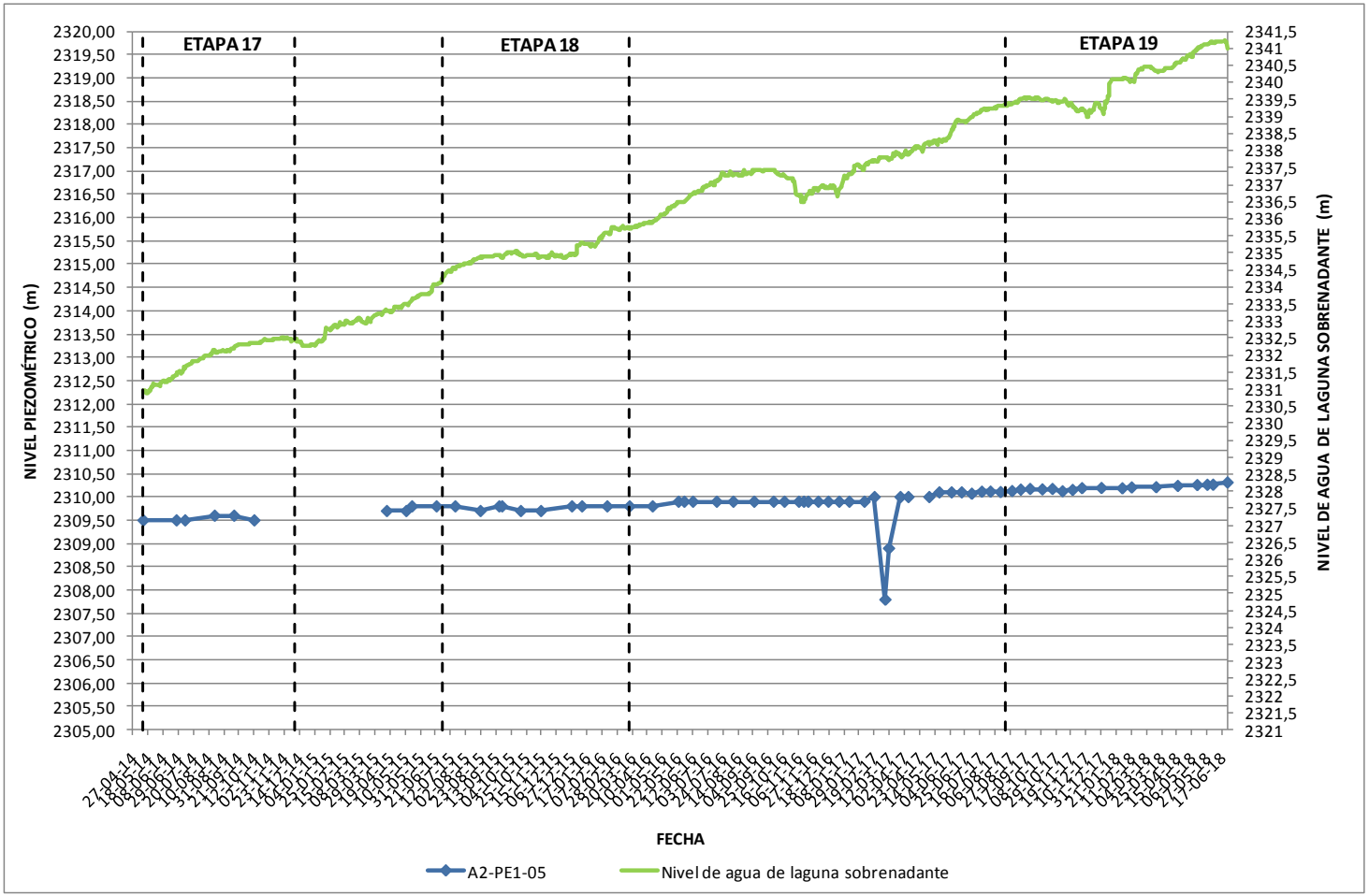


Figura 7.9. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A – Elevación 2305m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

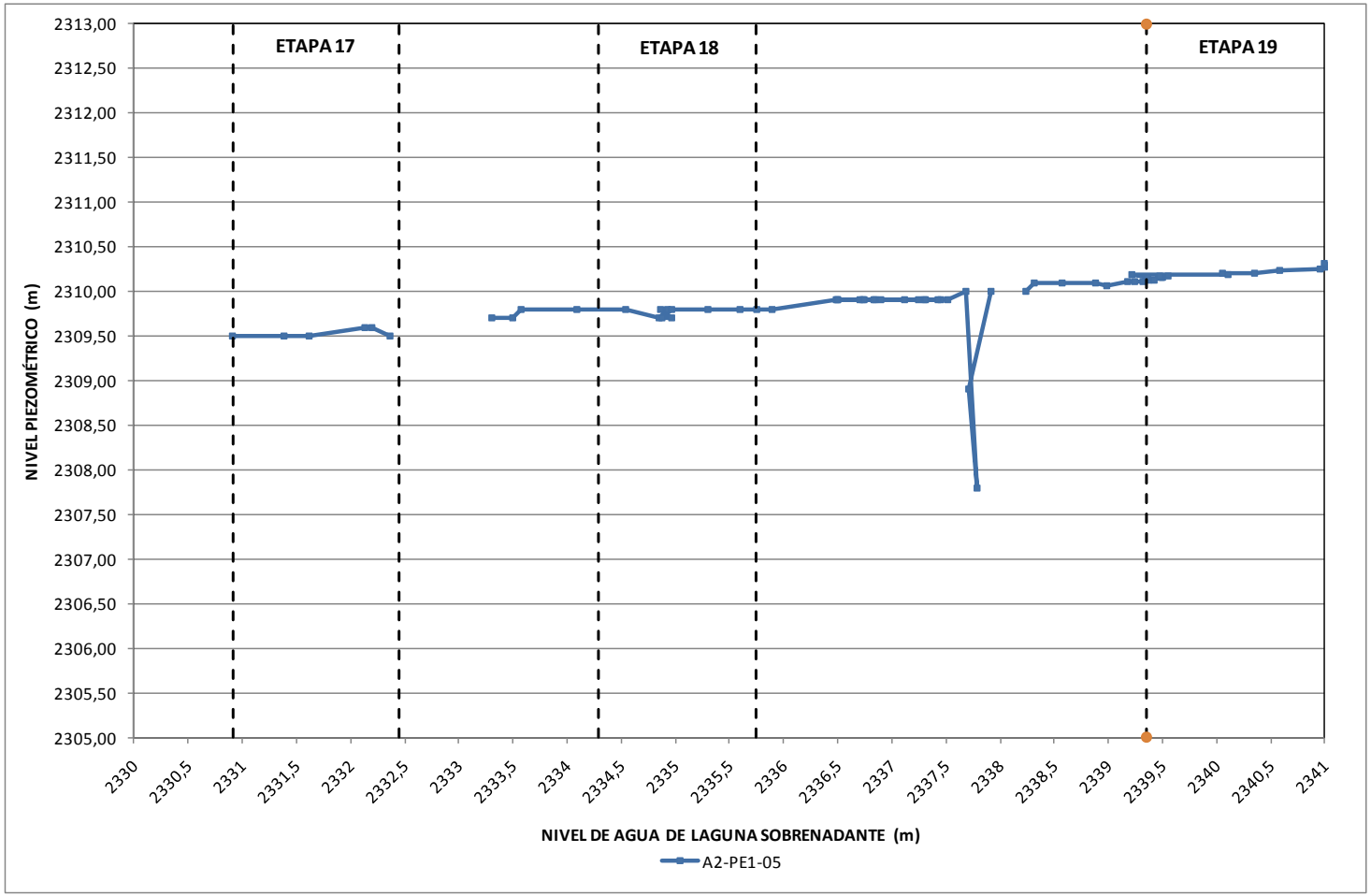


Figura 7.10. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación A en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2305m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

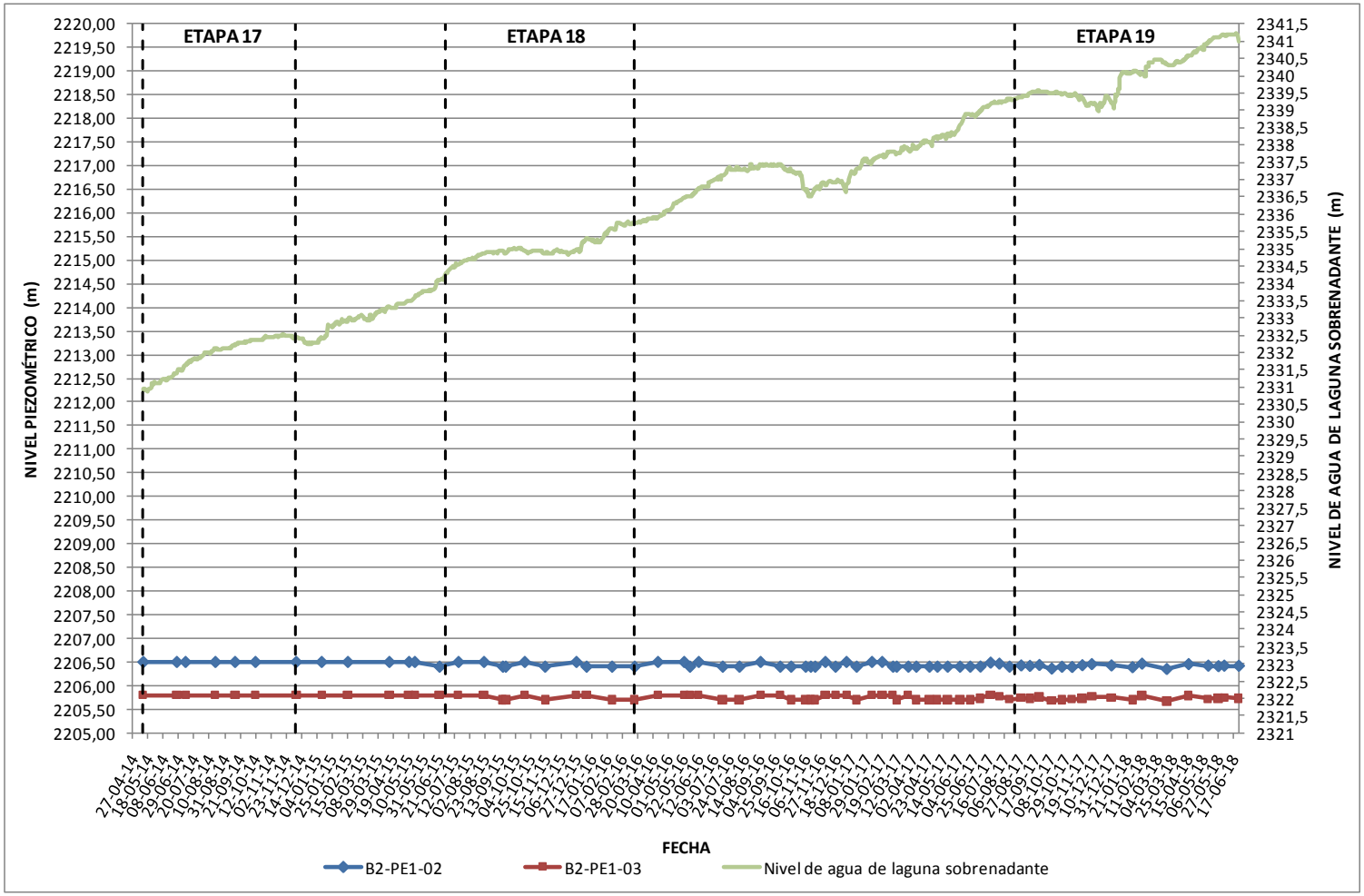


Figura 7.11 Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

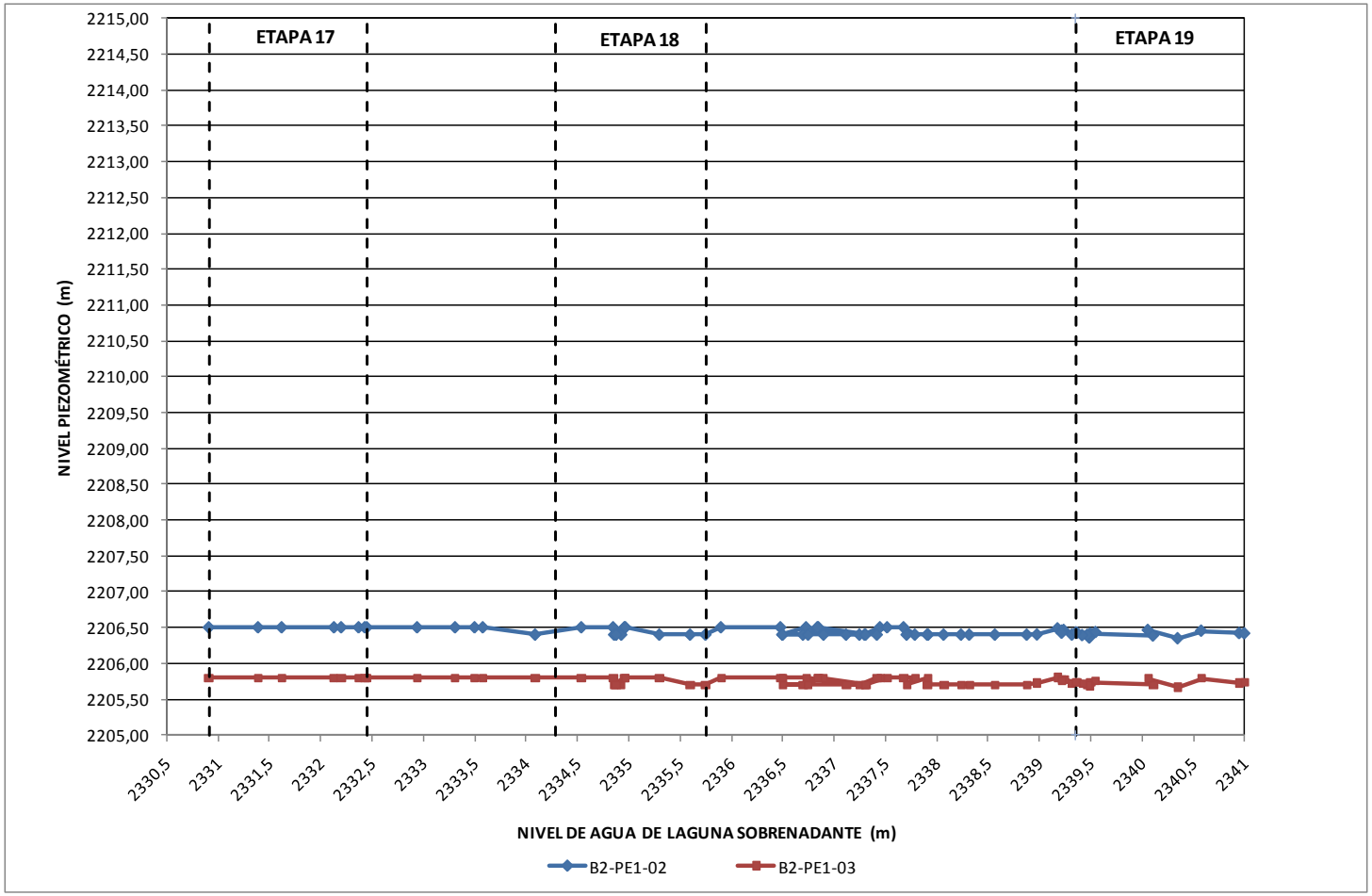


Figura 7.12. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

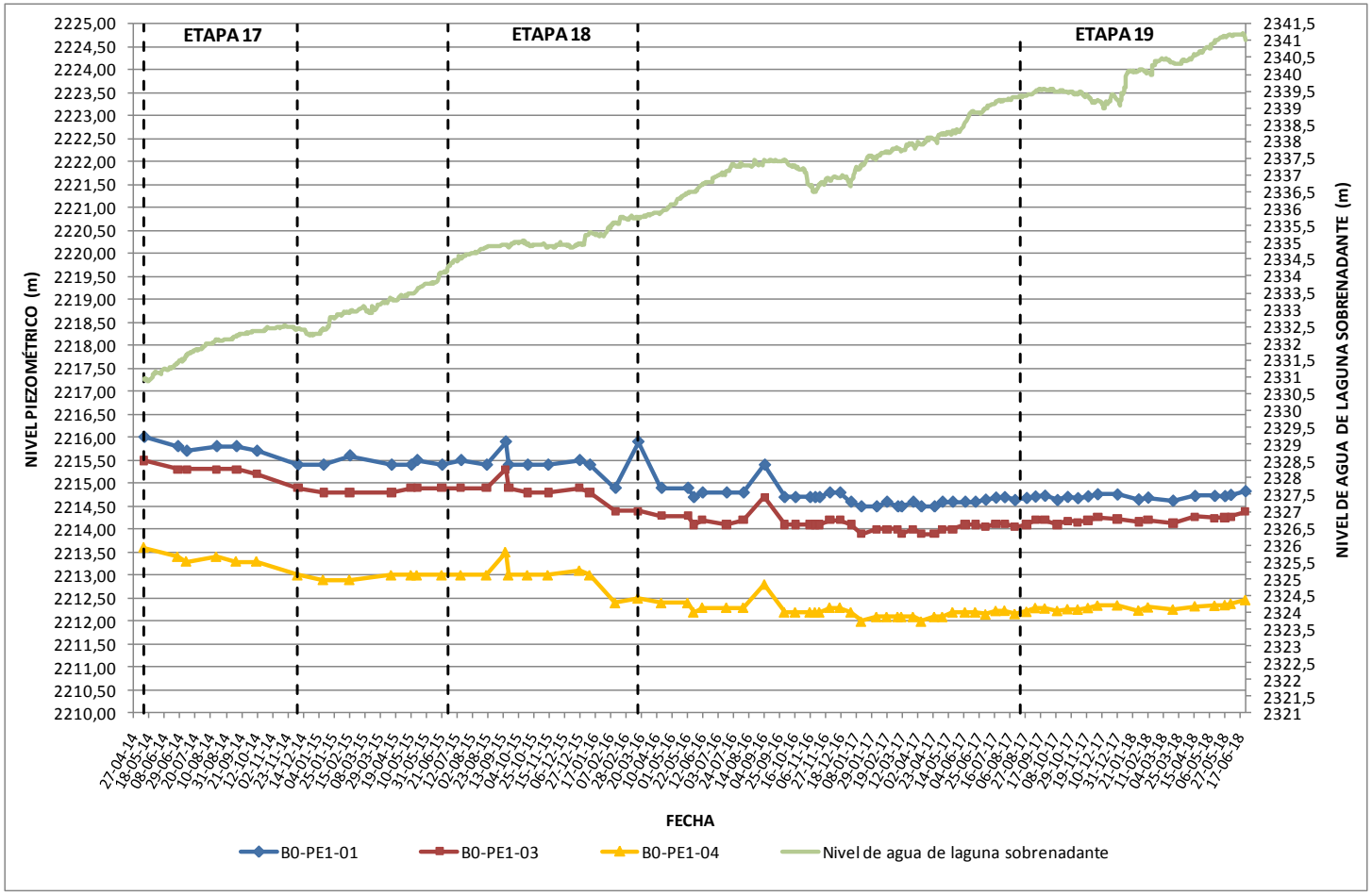


Figura 7.13. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2205m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

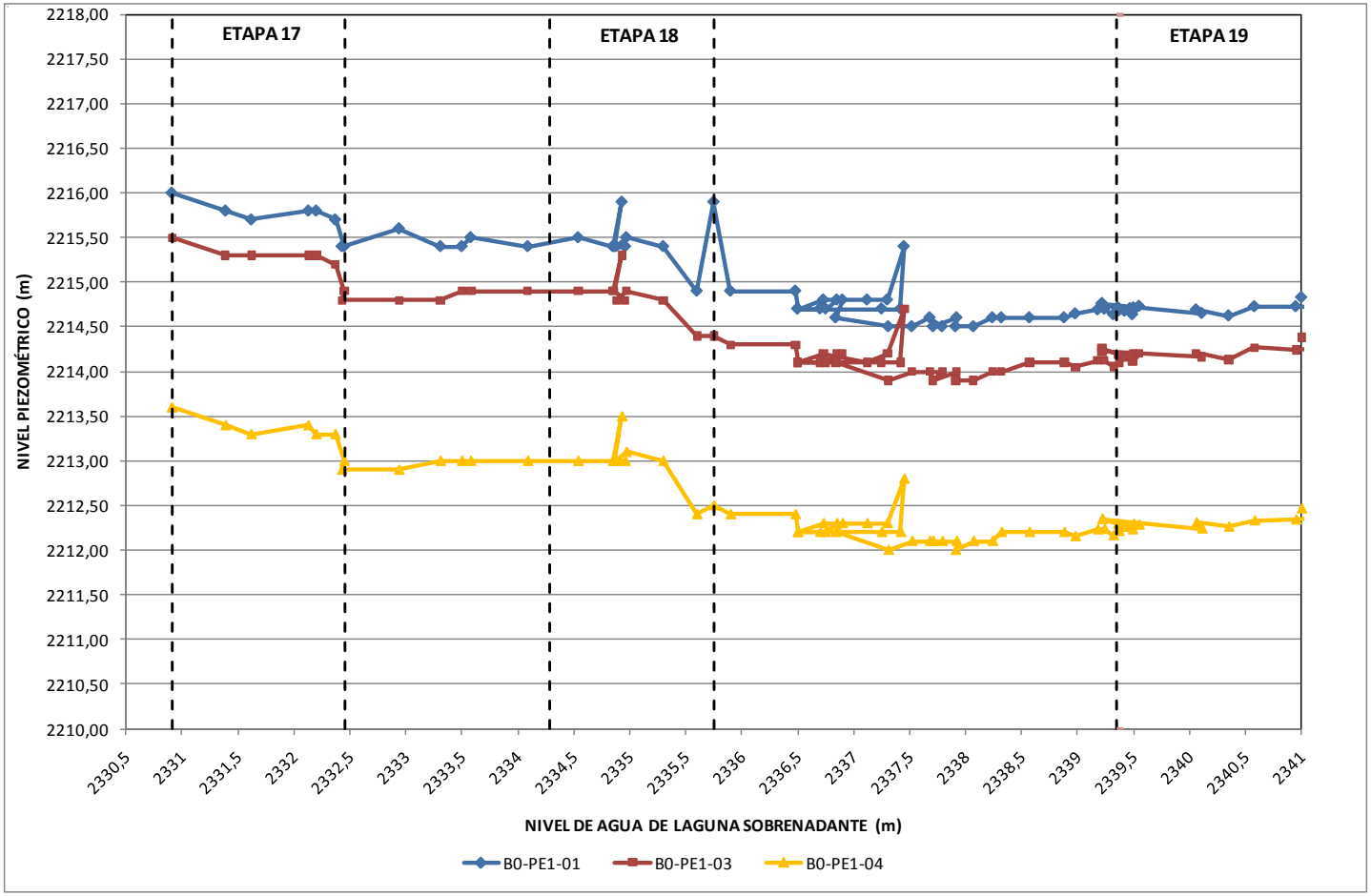


Figura 7.14. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2210m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

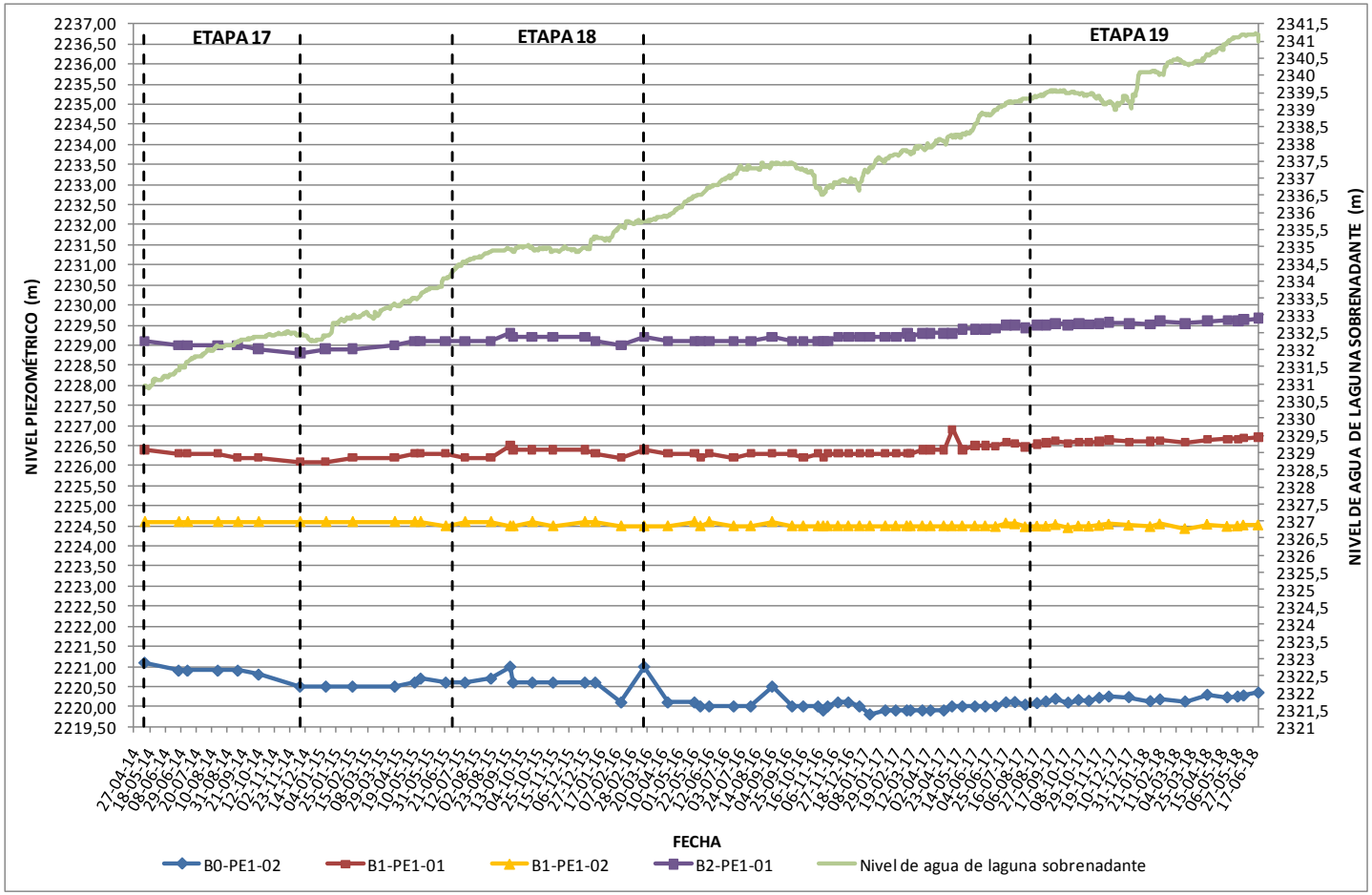


Figura 7.15. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2220m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

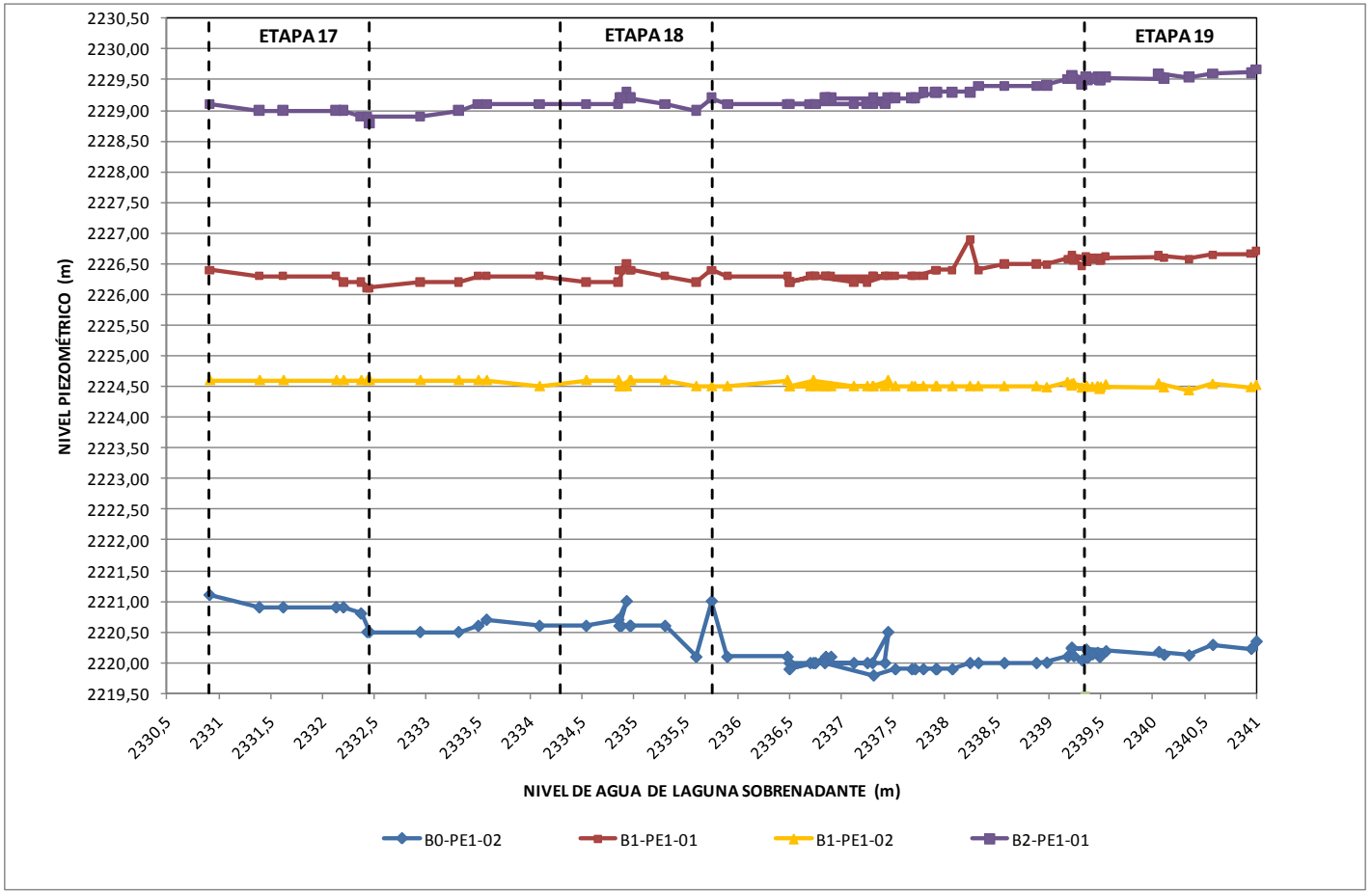


Figura 7.16. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2220m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

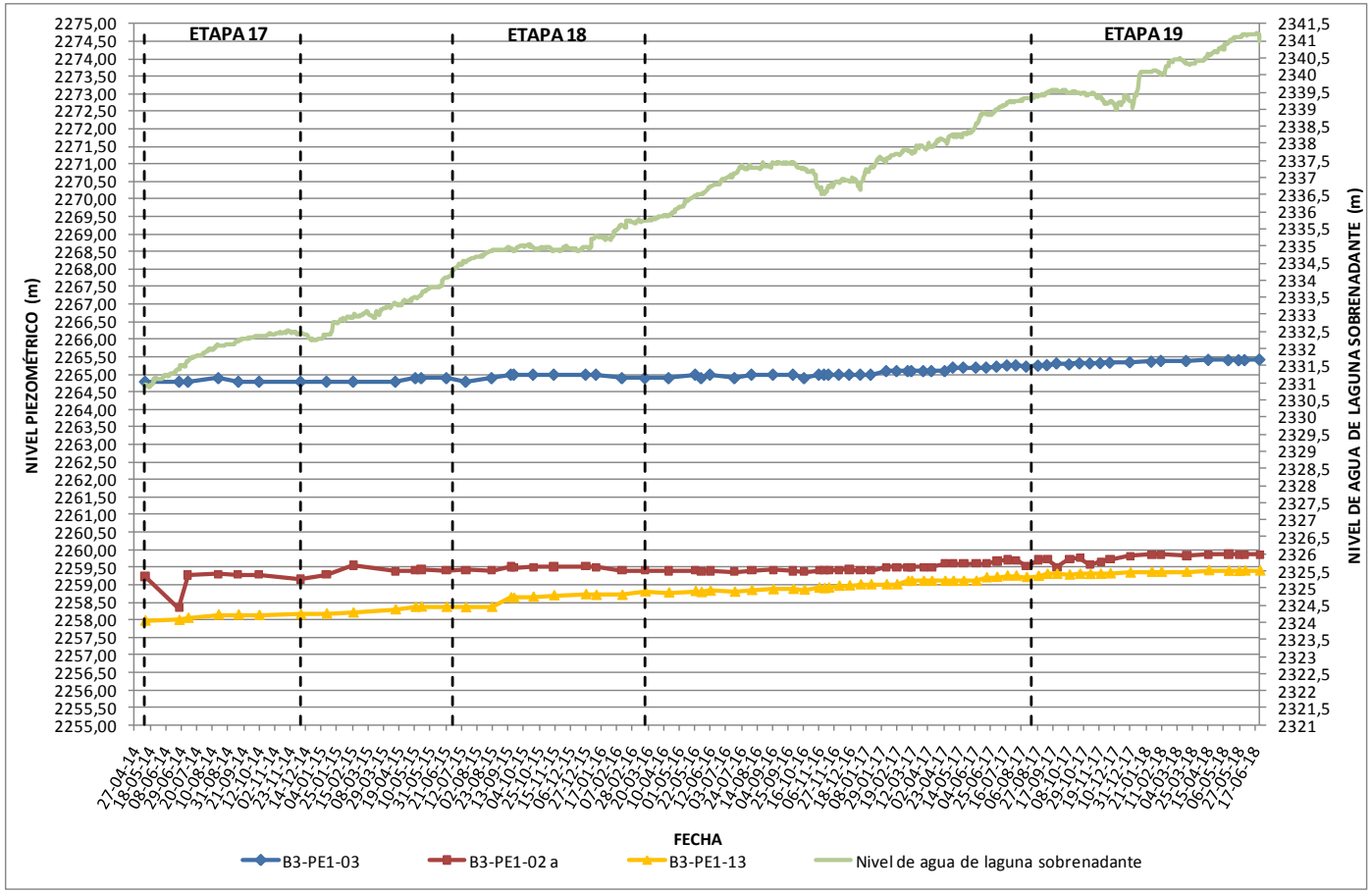


Figura 7.17. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

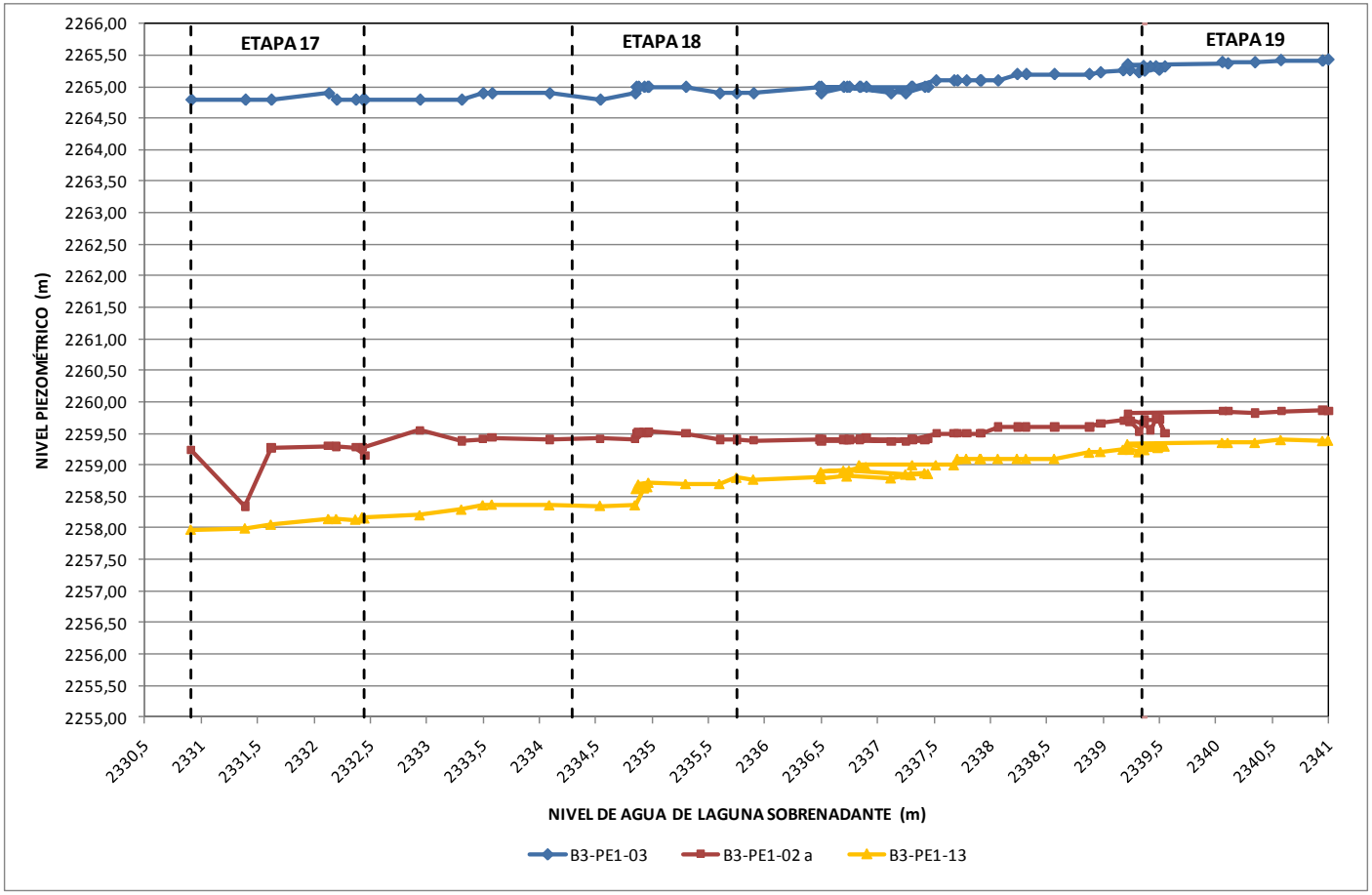


Figura 7.18. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2255m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

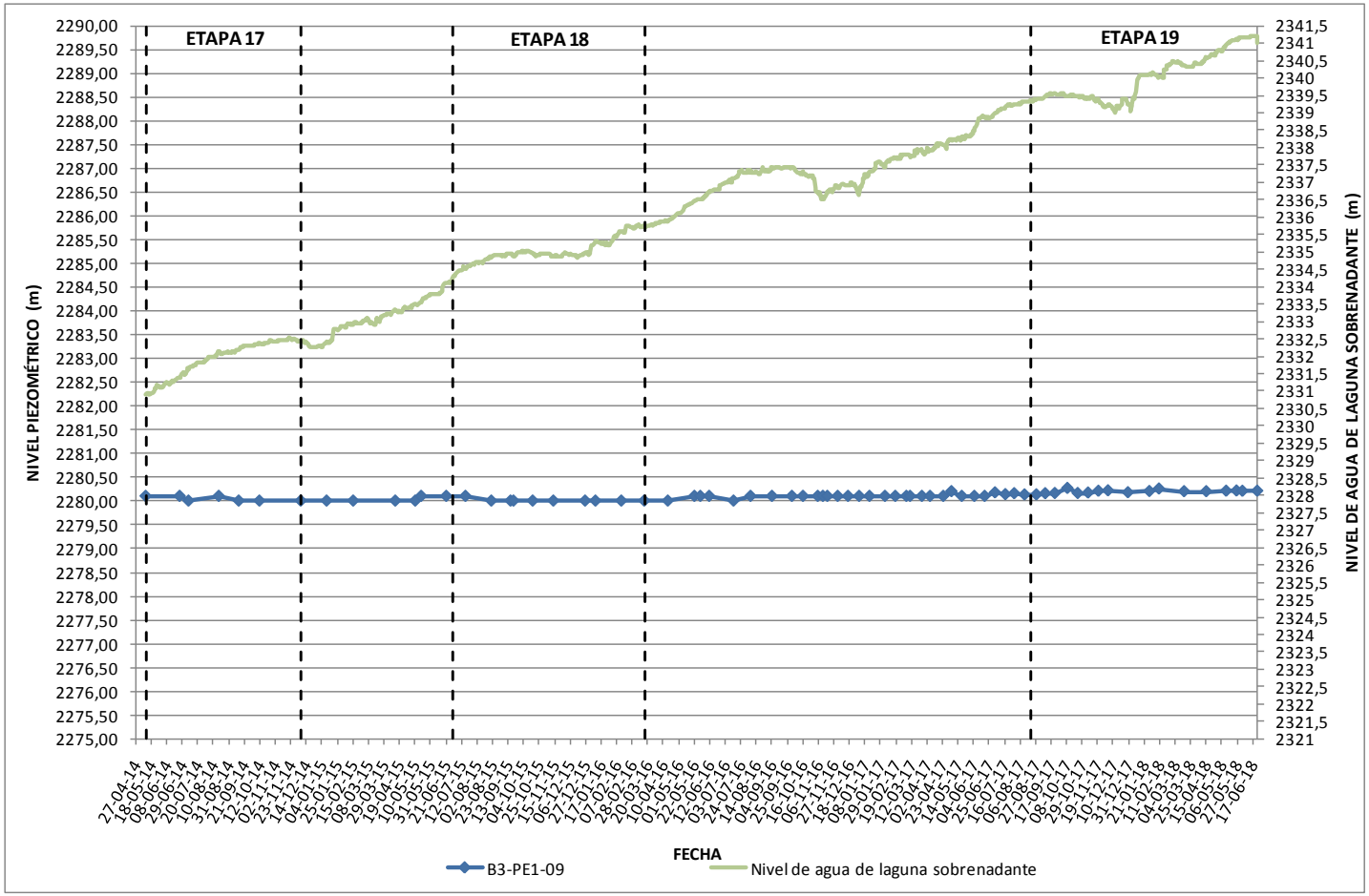


Figura 7.19. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

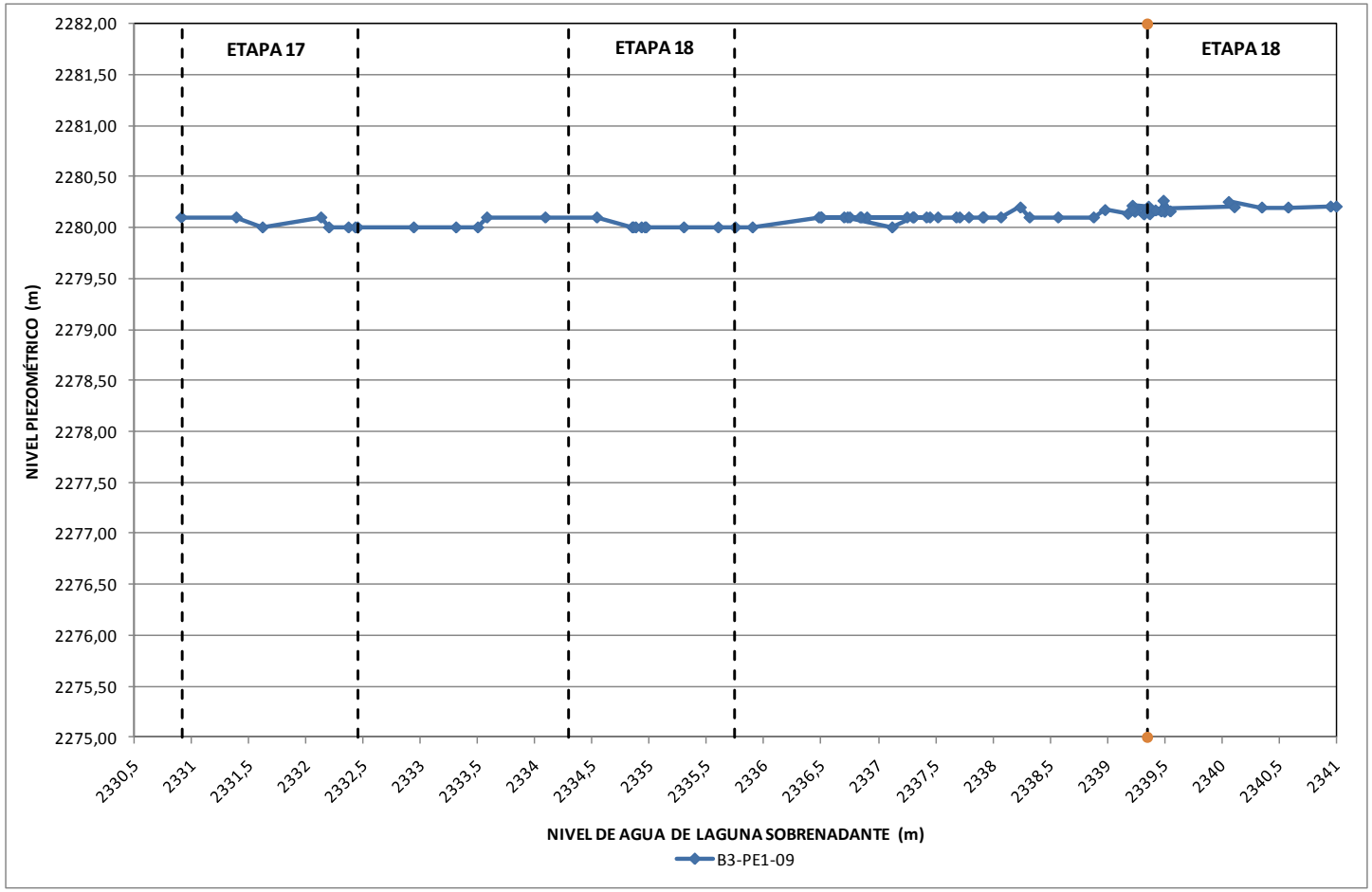


Figura 7.20. Niveles piezométricos de piezómetros del grupo de instrumentación B en función del nivel de agua de la laguna sobrenadante – Elevación 2275m. Etapa 17, 18 y 19 (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

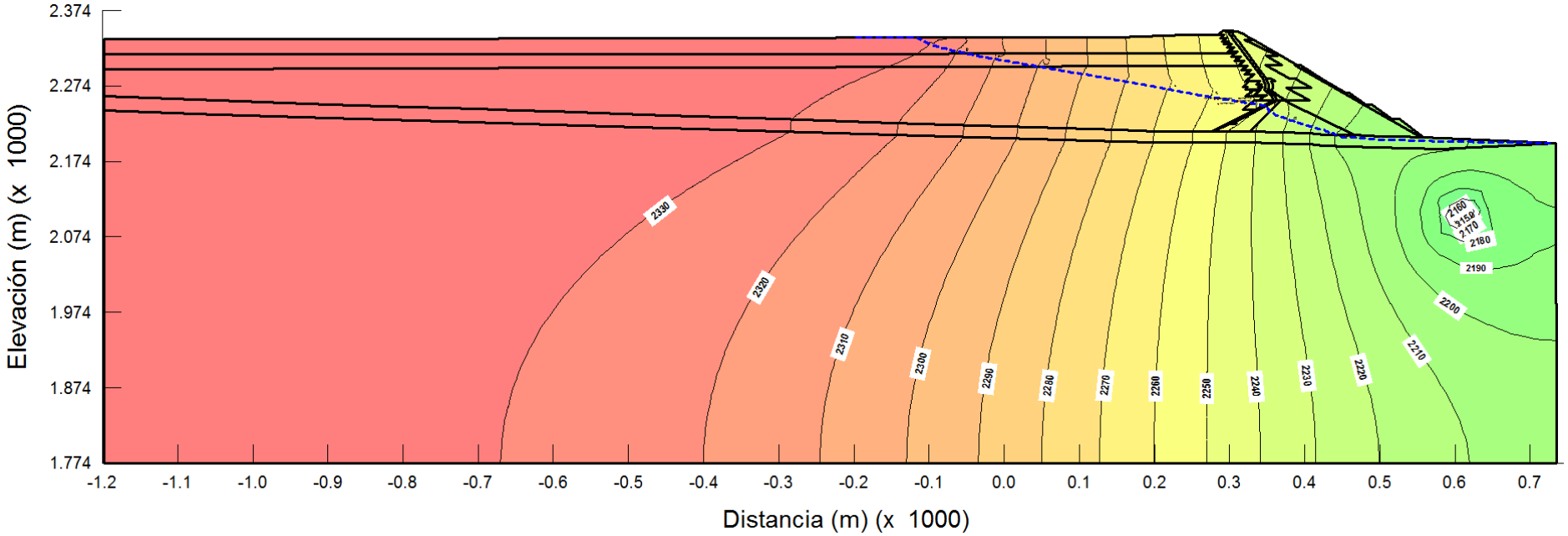


Figura 7.21. Líneas equipotenciales y de corrientes en todo el desarrollo de la presa durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA).

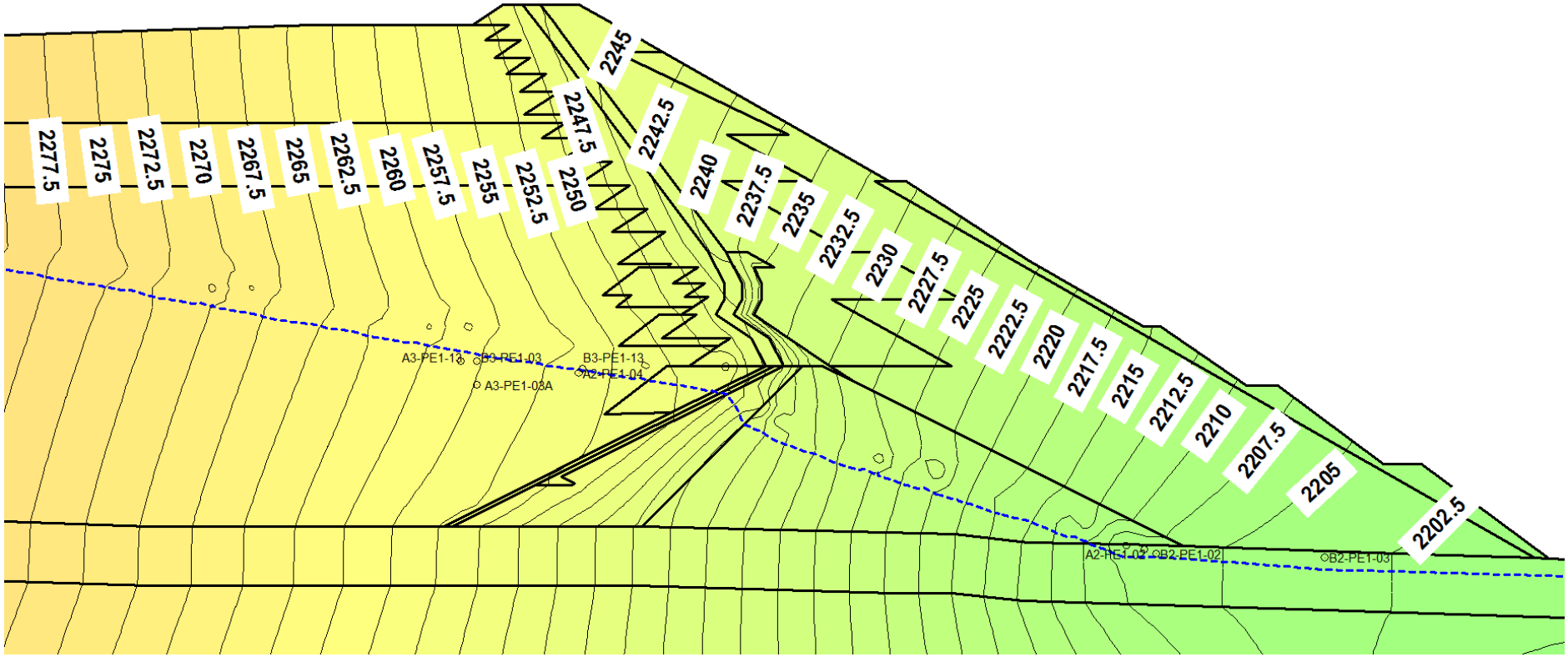
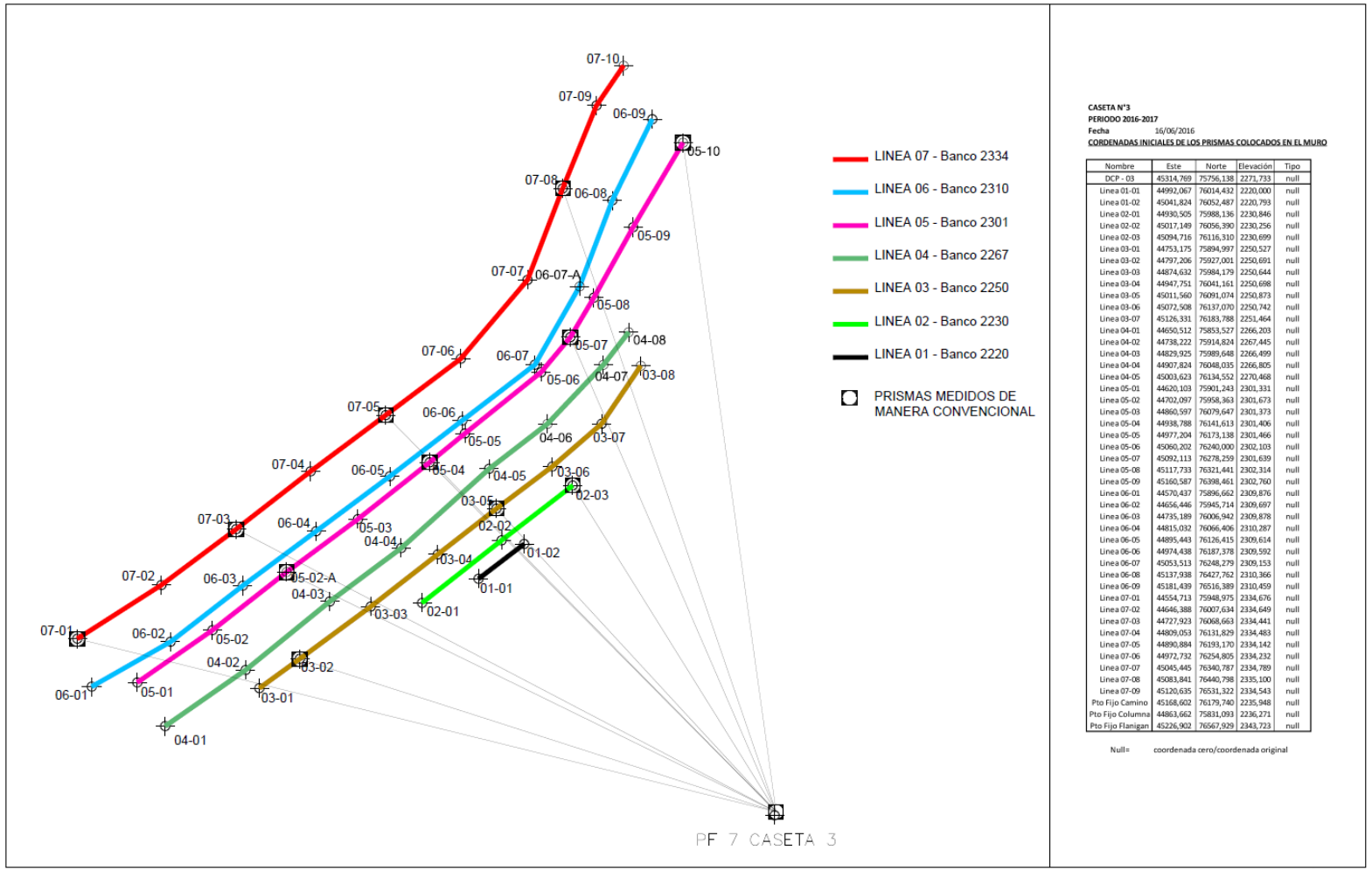


Figura 7.22 Líneas equipotenciales en detalle en la zona de la presa durante la construcción de la etapa 19 (Fuente: elaborado por IATASA.



CASETA N°3
PERIODO 2016-2017
Fecha 16/06/2016
CORDENADAS INICIALES DE LOS PRISMAS COLOCADOS EN EL MURO

Nombre	Este	Norte	Elevación	Tipo
DCP - 03	45314,769	75756,138	2271,733	null
Linea 01-01	44992,067	76014,432	2220,000	null
Linea 01-02	45041,824	76052,487	2220,793	null
Linea 02-01	44930,505	75988,136	2230,846	null
Linea 02-02	45017,149	76056,390	2230,256	null
Linea 02-03	45094,716	76116,310	2230,699	null
Linea 03-01	44753,175	75894,997	2250,527	null
Linea 03-02	44797,206	75927,001	2250,691	null
Linea 03-03	44874,632	75984,179	2250,644	null
Linea 03-04	44947,751	76041,161	2250,698	null
Linea 03-05	45011,560	76091,074	2250,873	null
Linea 03-06	45072,508	76137,070	2250,742	null
Linea 03-07	45126,331	76183,788	2251,464	null
Linea 04-01	44650,512	75853,527	2266,203	null
Linea 04-02	44738,222	75914,824	2267,445	null
Linea 04-03	44829,925	75989,648	2266,499	null
Linea 04-04	44907,824	76048,035	2266,805	null
Linea 04-05	45003,623	76134,552	2270,468	null
Linea 05-01	44620,103	75901,243	2301,331	null
Linea 05-02	44702,097	75958,363	2301,673	null
Linea 05-03	44860,597	76079,647	2301,373	null
Linea 05-04	44938,788	76141,613	2301,406	null
Linea 05-05	44977,204	76173,138	2301,466	null
Linea 05-06	45060,202	76240,000	2302,103	null
Linea 05-07	45092,113	76278,259	2301,639	null
Linea 05-08	45117,733	76321,441	2302,314	null
Linea 05-09	45160,587	76398,461	2302,760	null
Linea 06-01	44570,437	75896,662	2309,876	null
Linea 06-02	44656,446	75945,714	2309,697	null
Linea 06-03	44735,189	76006,942	2309,878	null
Linea 06-04	44815,032	76066,406	2310,287	null
Linea 06-05	44895,443	76126,415	2309,614	null
Linea 06-06	44974,438	76187,378	2309,592	null
Linea 06-07	45053,513	76248,279	2309,153	null
Linea 06-08	45137,938	76427,762	2310,366	null
Linea 06-09	45181,439	76516,389	2310,459	null
Linea 07-01	44554,713	75948,975	2334,676	null
Linea 07-02	44646,388	76007,634	2334,649	null
Linea 07-03	44727,923	76068,663	2334,441	null
Linea 07-04	44809,053	76131,829	2334,483	null
Linea 07-05	44890,884	76193,170	2334,142	null
Linea 07-06	44972,732	76254,805	2334,232	null
Linea 07-07	45045,445	76340,787	2334,789	null
Linea 07-08	45083,841	76440,798	2335,100	null
Linea 07-09	45120,635	76531,322	2334,543	null
Pto Fijo Camino	45168,602	76179,740	2235,948	null
Pto Fijo Columna	44863,662	75831,093	2236,271	null
Pto Fijo Flanigan	45226,902	76567,929	2343,723	null

Null= coordenada cero/coordenada original

Figura 9.1. Esquema de ubicación de prismas topográficos (Fuente: información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM)

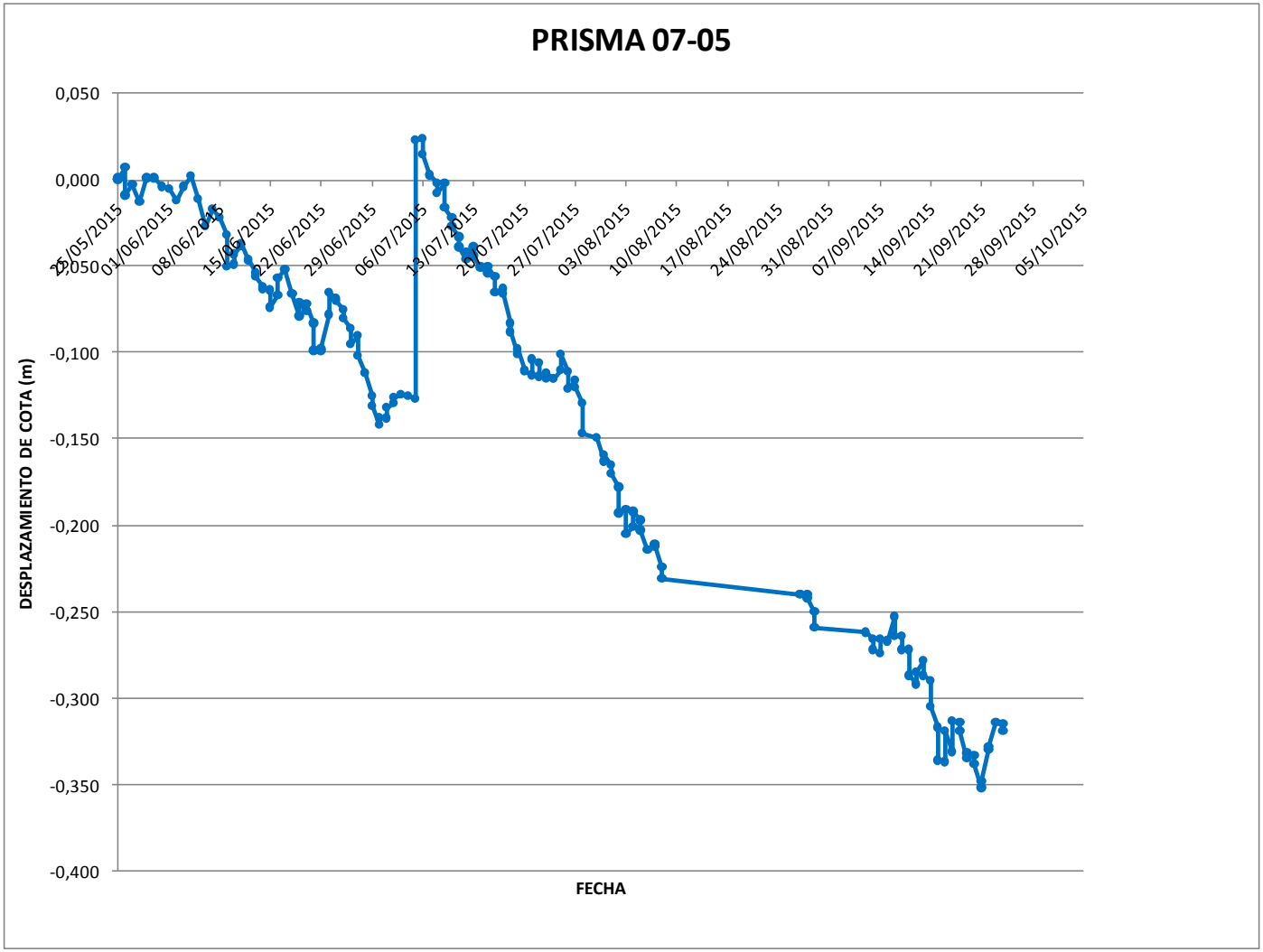


Figura 9.2. Desplazamiento de prisma 07-05 (25/05/2015 - 24/09/2015) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

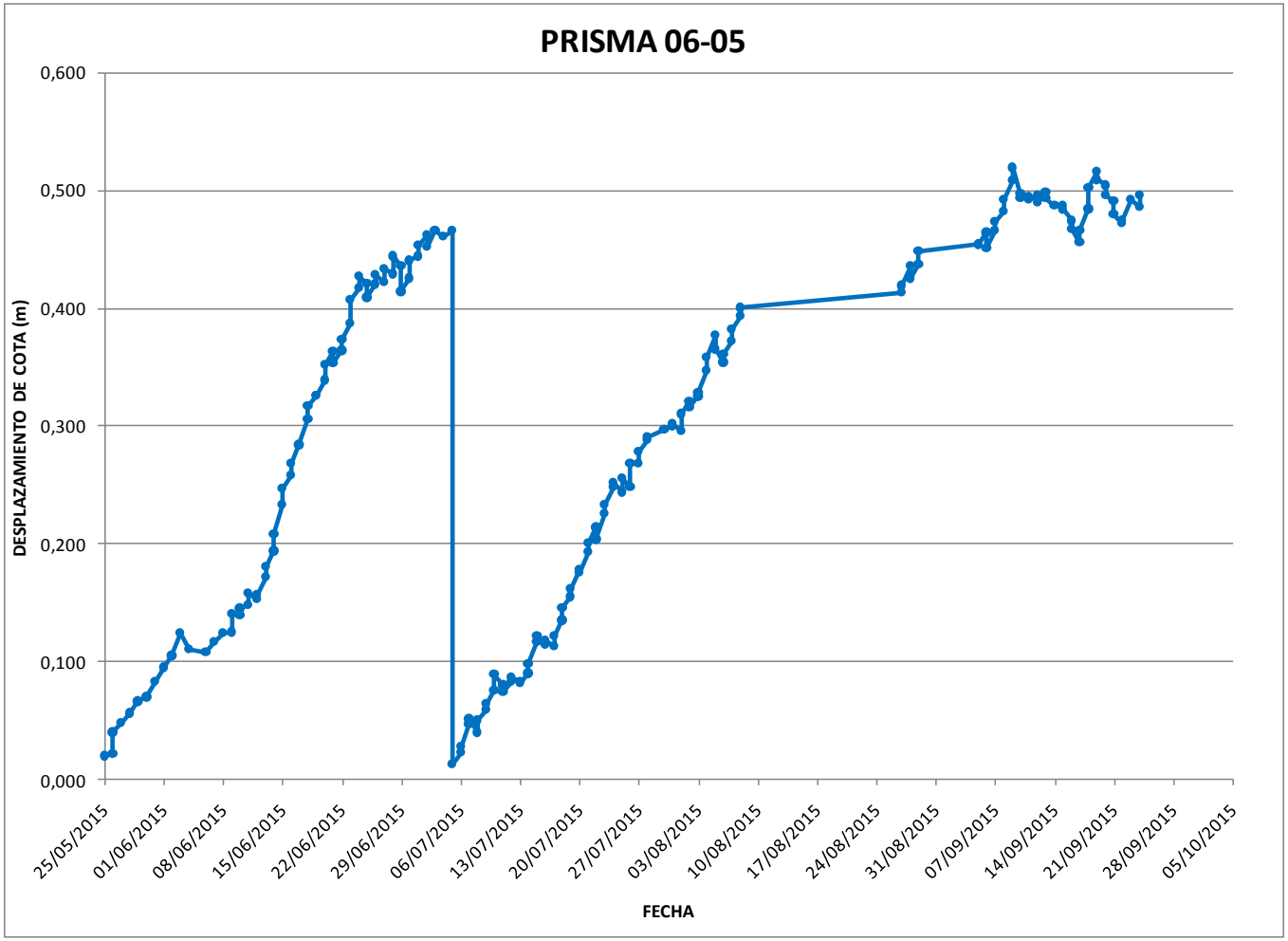


Figura 9.3. Desplazamiento de prisma 06-05 (25/05/2015 - 24/09/2015) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

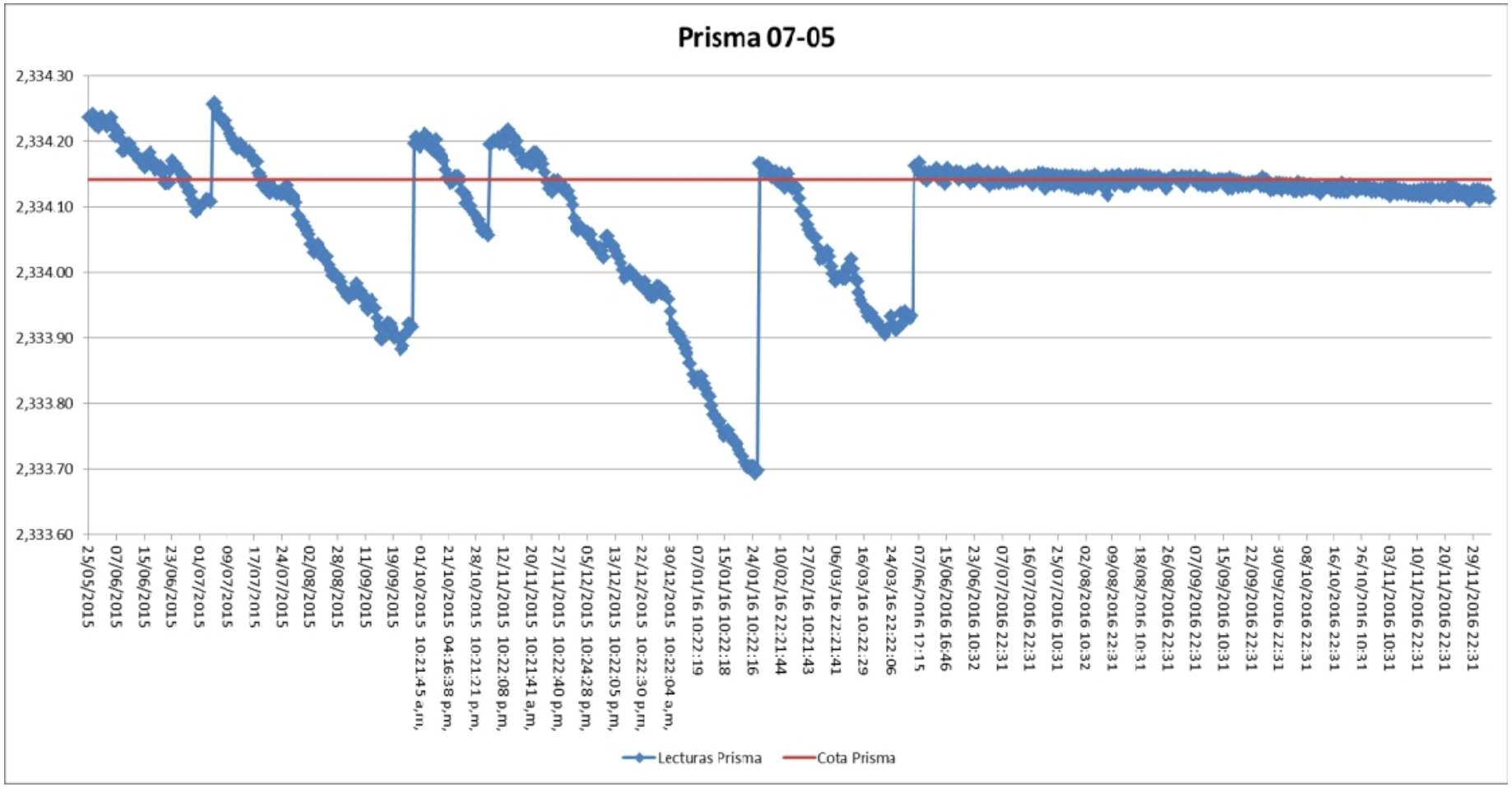


Figura 9.4. Desplazamiento de prisma 07-05 presentado por Minera Alumbrera (25/05/2015 – 19/11/2016) (Fuente: Cédula de notificación DiPGAM N° 154/16)

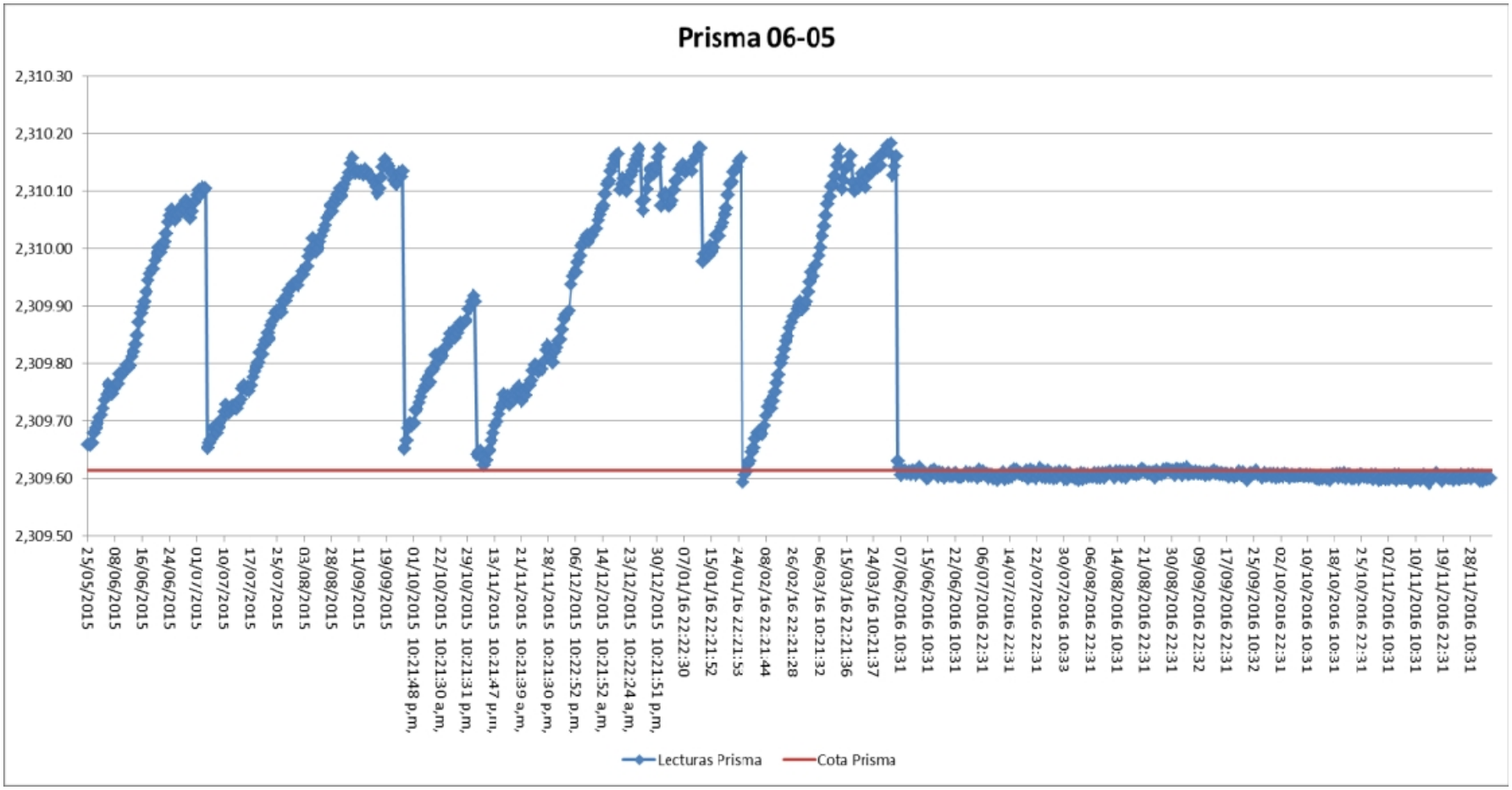


Figura 9.5. Desplazamiento de prisma 06-05 presentado por Minera Alumbrera (25/05/2015 – 19/11/2016) (Fuente: Cédula de notificación DiPGAM N° 154/16)

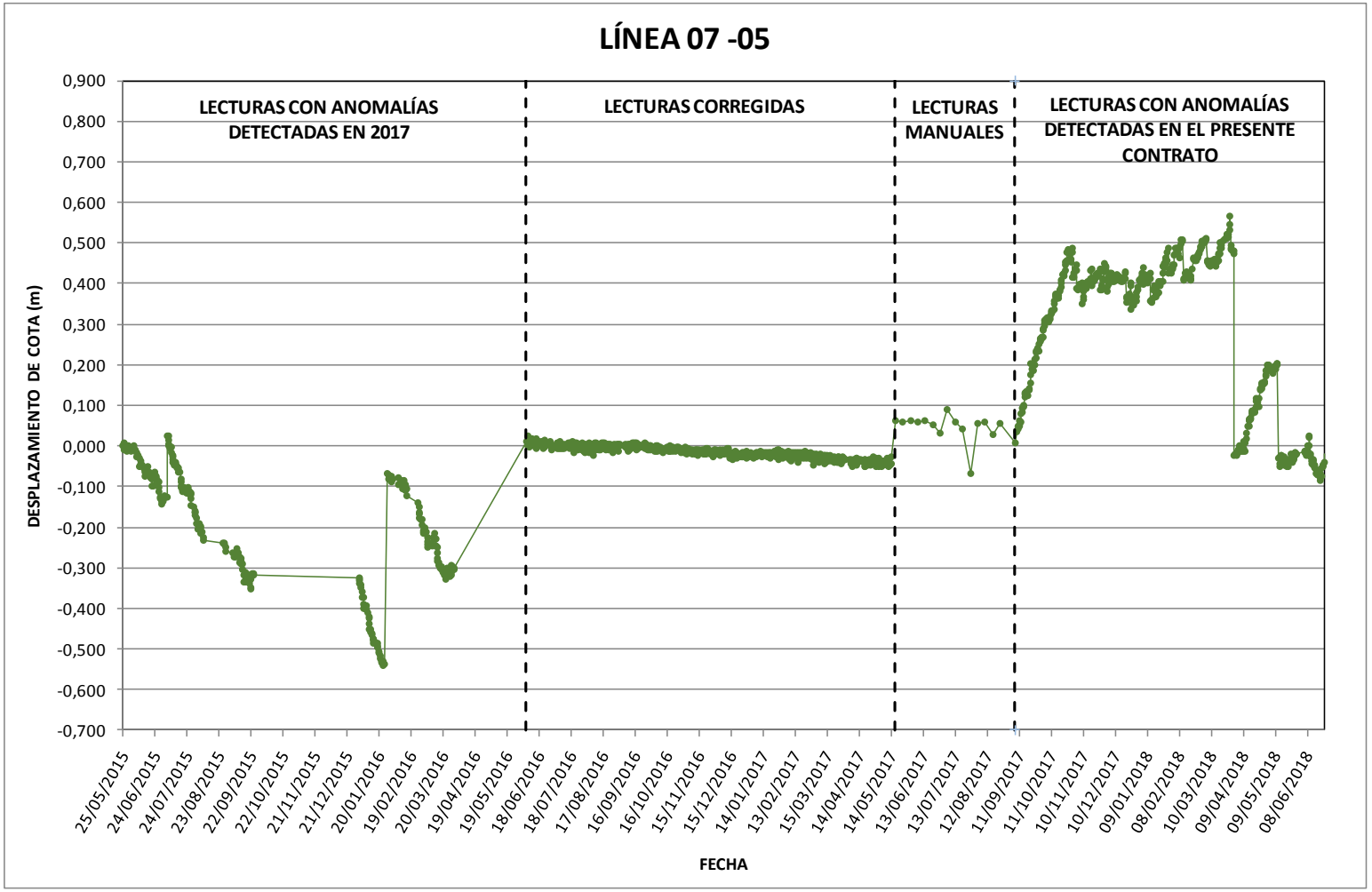


Figura 9.6. Desplazamiento de prisma 07-05 (25/05/2015 – 24/06/2018) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

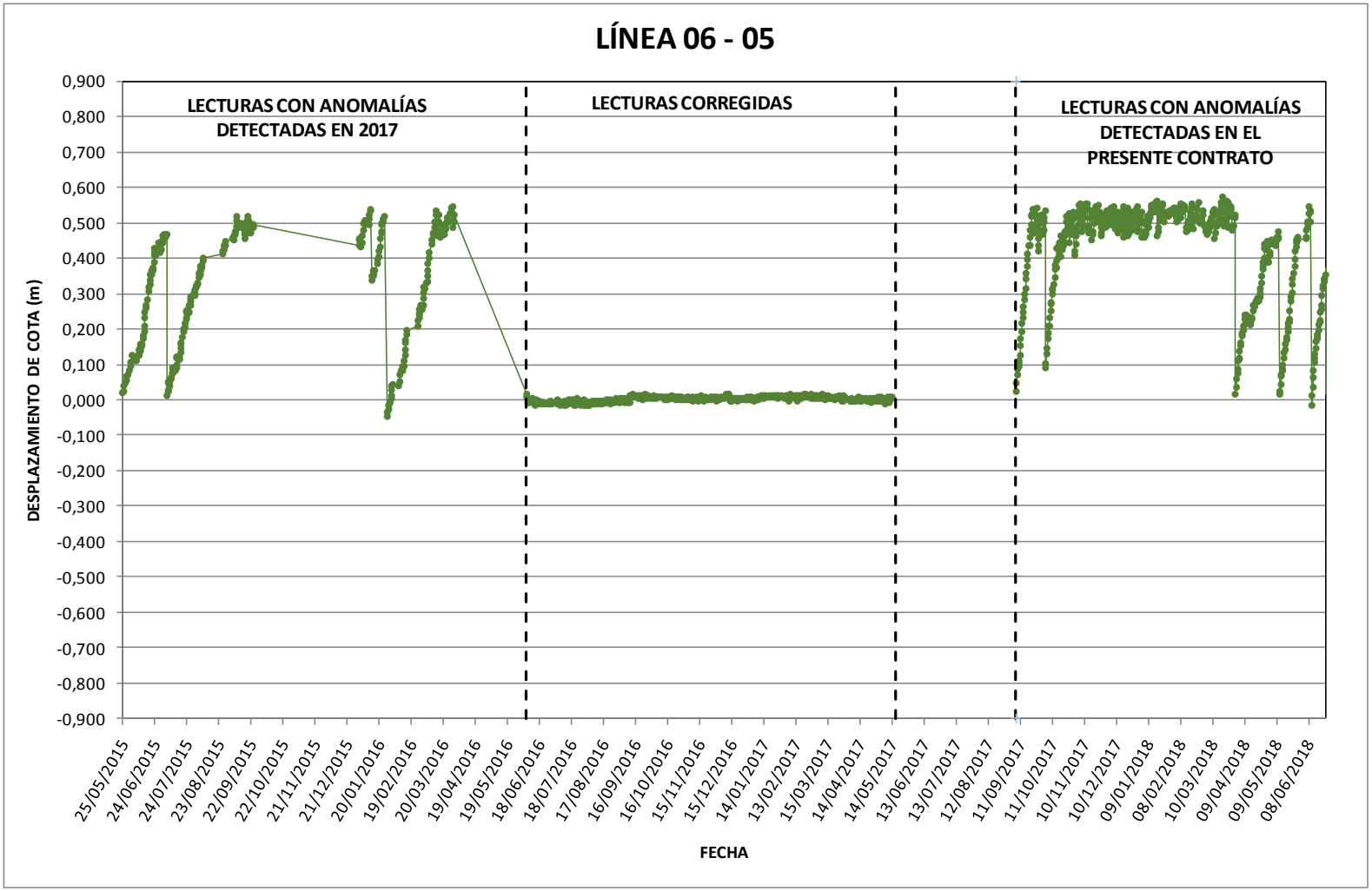


Figura 9.7. Desplazamiento de prisma 06-05 (25/05/2015 – 24/06/2018) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 13.1. Sectores visitados el 23 de abril (Fuente: elaborado por IATASA).

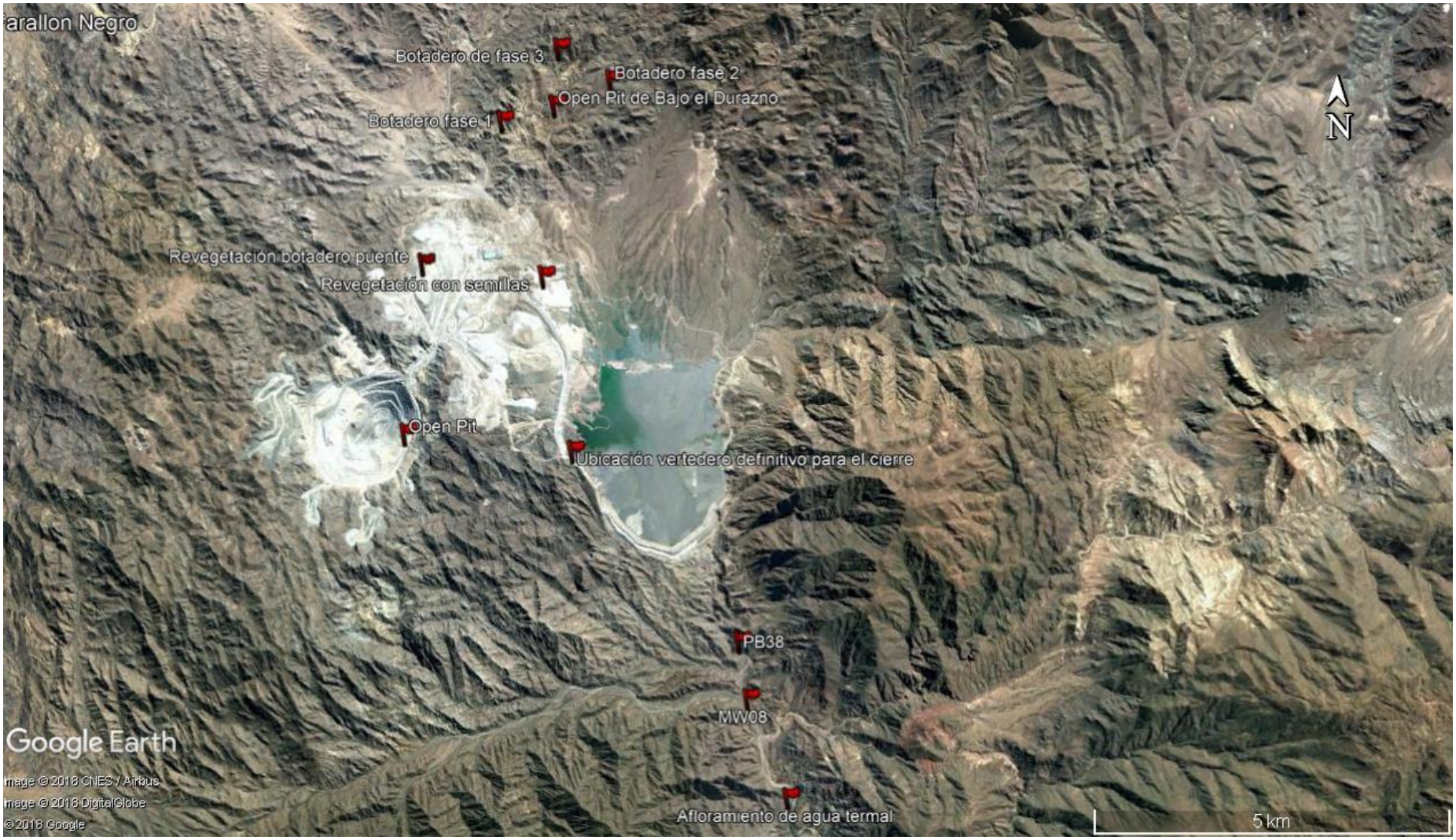


Figura 13.2. Sectores visitados el 24 de abril (Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 13.3. Sectores visitados el 25 de abril (Fuente: elaborado por IATASA).

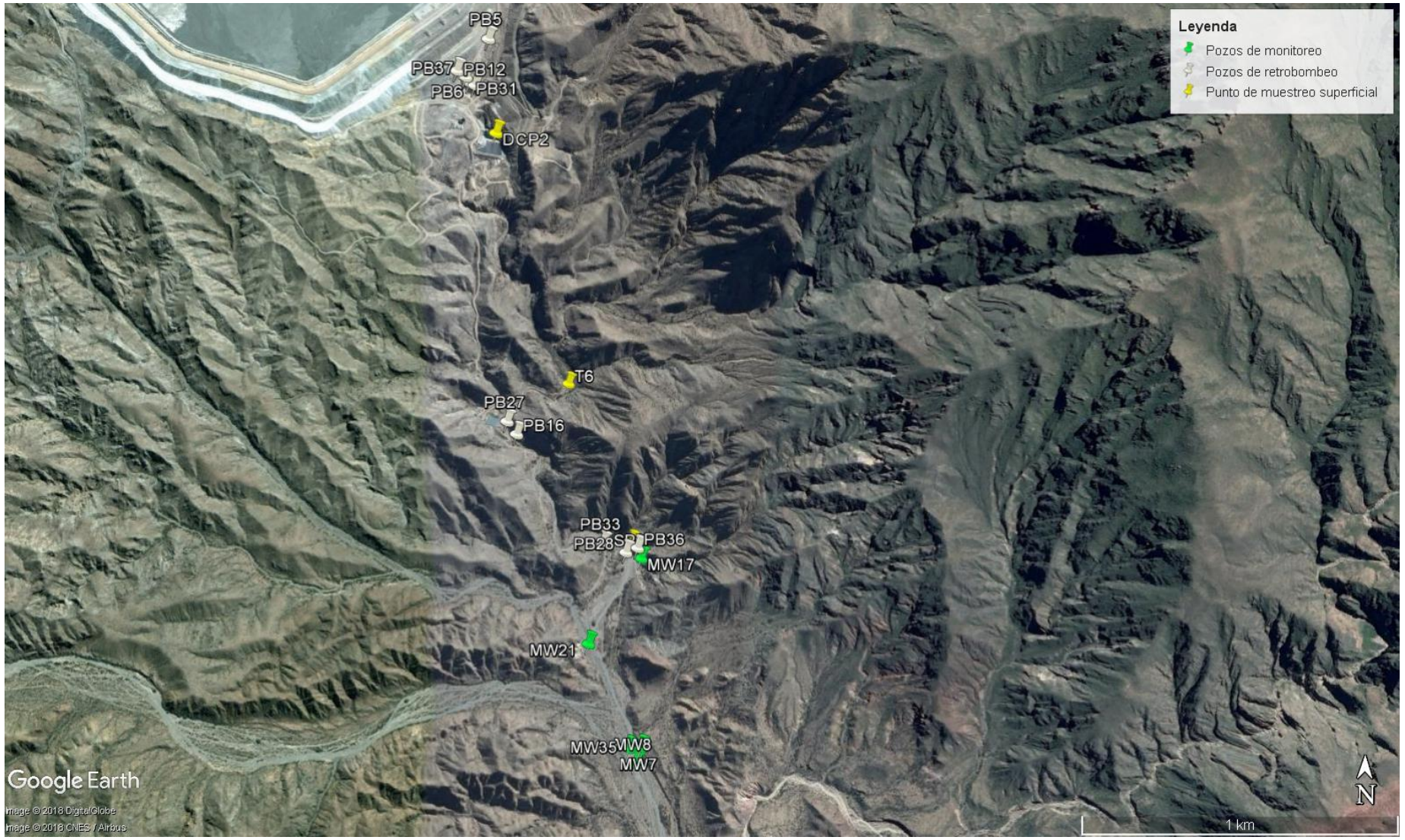


Figura 13.4. Pozos de monitoreo, retrobombeo y puntos de muestreo superficial visitados (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

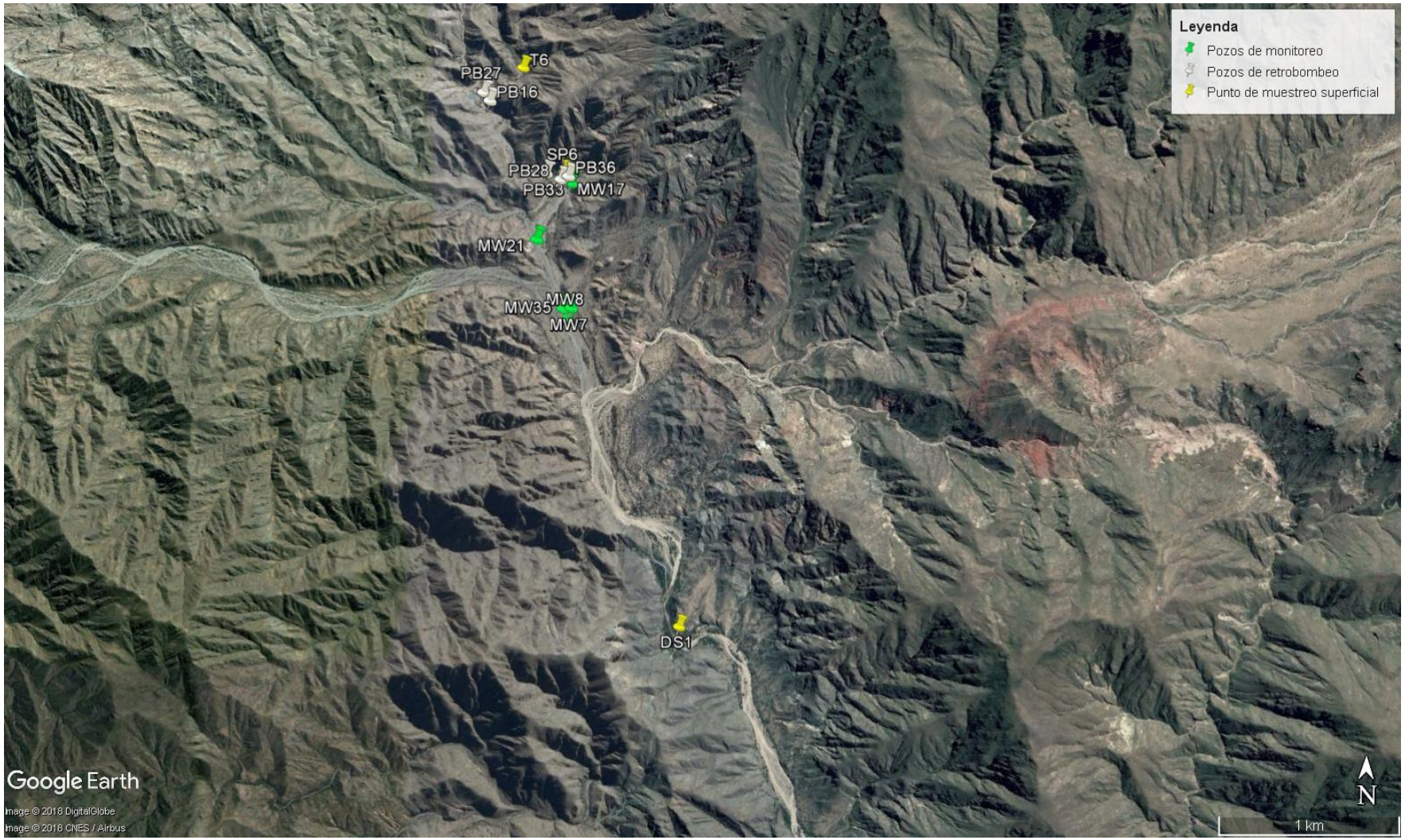


Figura 13.5. Pozos de monitoreo, retrobombeo y puntos de muestreo superficial visitados (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 13.6. Presentación de Daniel Moreno (MAA, Fuente: elaborado por IATASA).

Figura 13.7. Presentación de Alejandra Baumgartner (EyC Asociados, Fuente: elaborado por IATASA).

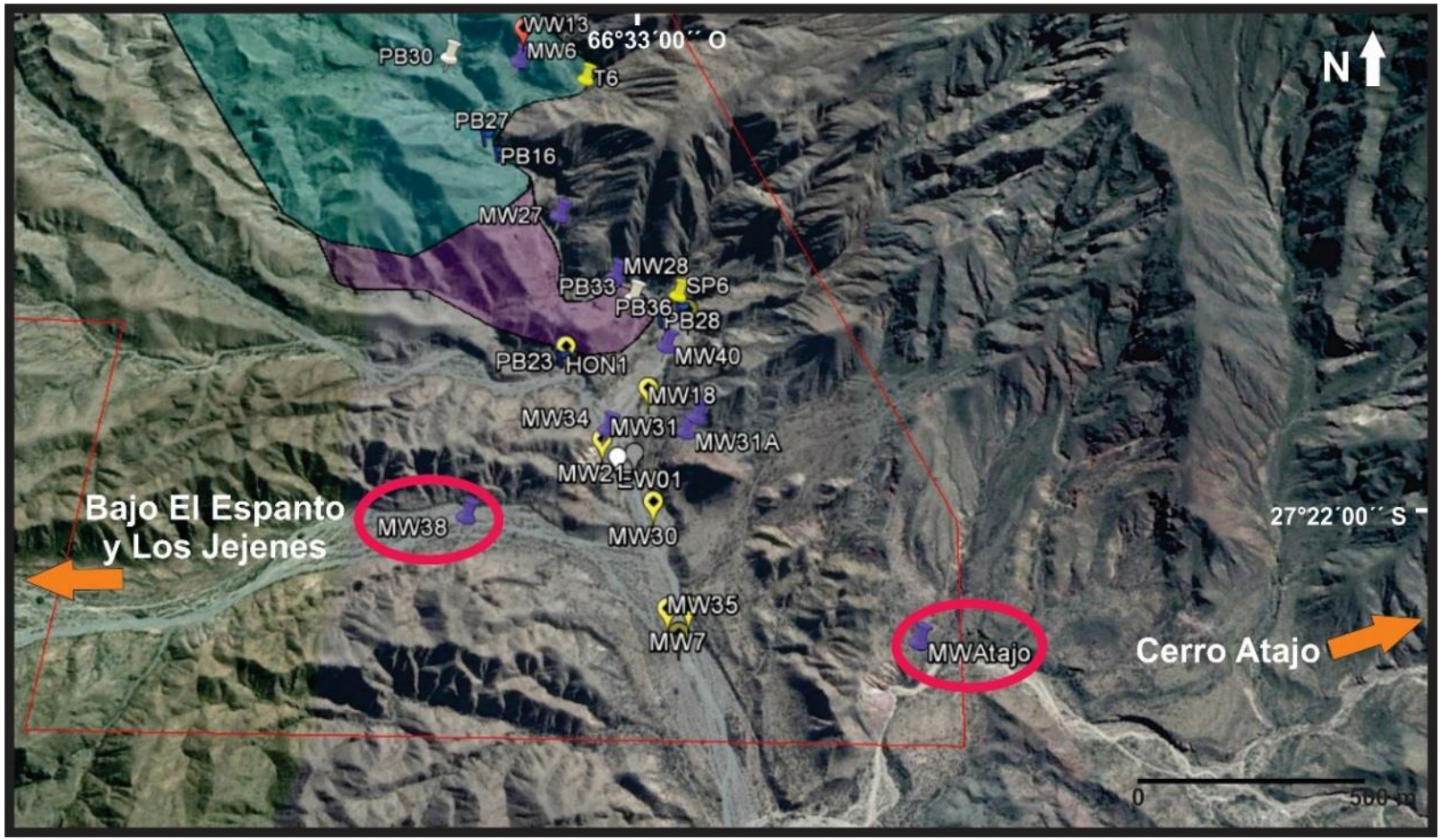


Figura 13.8. Detalle del sector superior del río Vis-Vis en donde se marcan con círculos rojos los pozos MW38 y MW Atajo, que se recomiendan sean puestos en funcionamiento para monitorear aguas de afluentes vinculados al Bajo El Espanto y Los Jejenes hacia el oeste y a Cerro Atajo hacia el este. Las áreas en color verde y violeta corresponden al agua de proceso y la zona de mezcla respectivamente de la pluma del dique de colas. Las líneas rojas representan el límite de la concesión minera (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

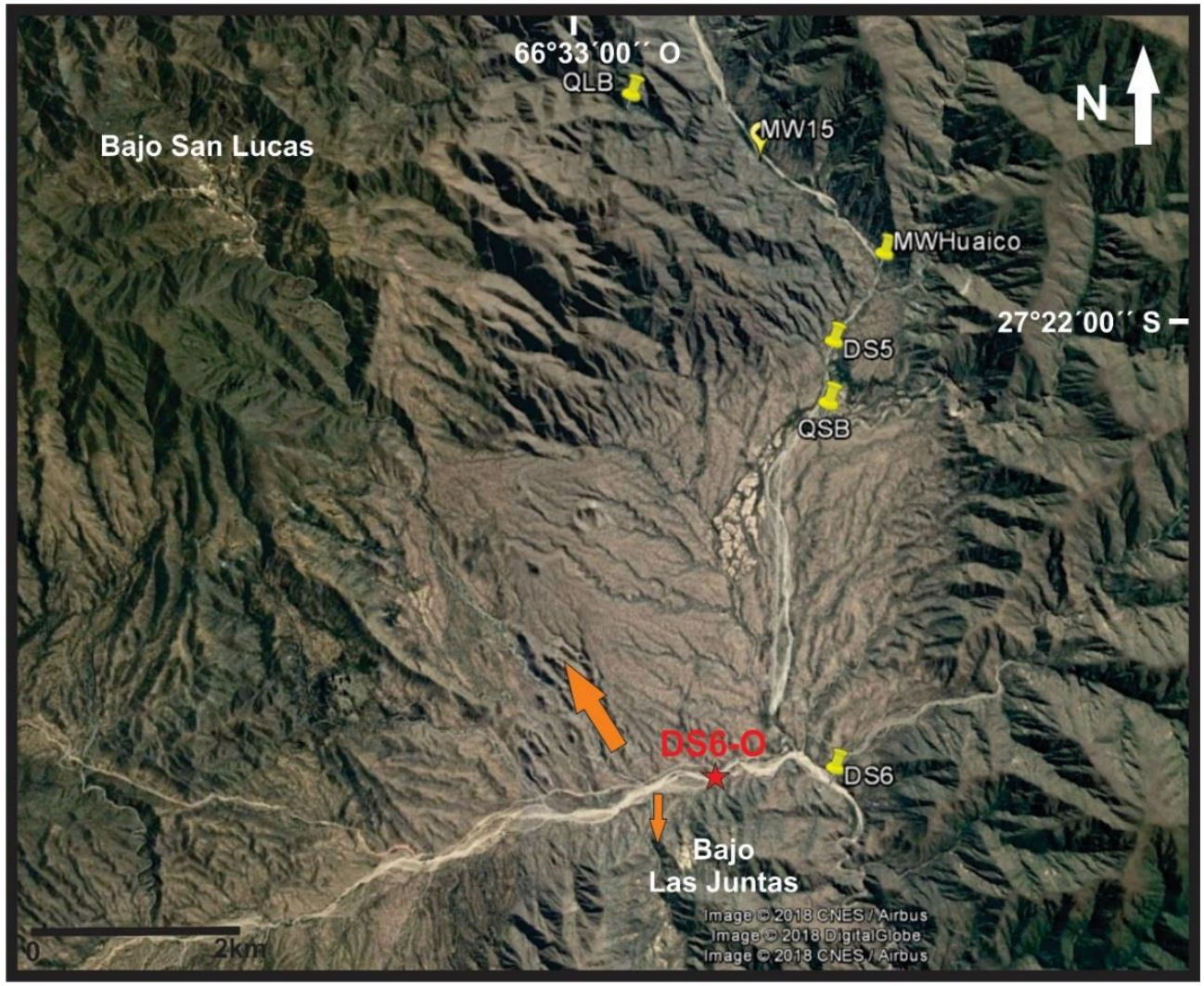


Figura 13.9. Detalle del sector inferior del río Vis-Vis en donde se destacan en rojo la ubicación del pozo DS6-O propuesto para que controle la calidad de aguas de los afluentes vinculados a Bajo Las Juntas al O y Bajo San Lucas al NO (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

Figura 13.10. Durante la última visita, vista de la instalación de piezómetro tipo Casagrande construido recientemente sobre las colas, aguas arriba de la Presa de Relaves (Fuente: IATASA).

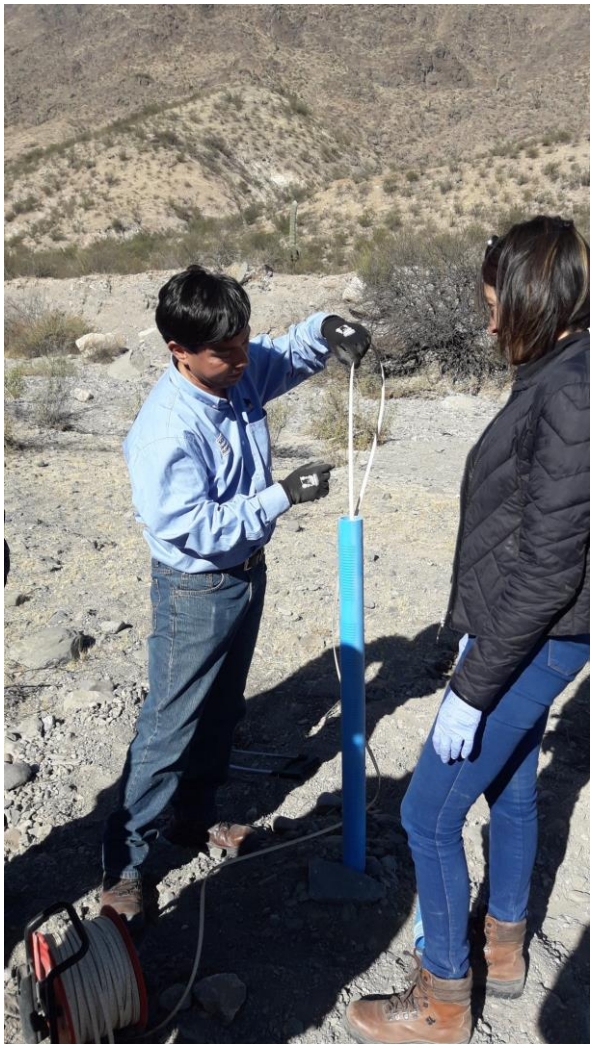


Figura 13.11. Durante la última visita, medición de nivel de agua subterránea en la quebrada del río Vis Vis aguas abajo de la Presa de Relaves (Fuente: IATASA).

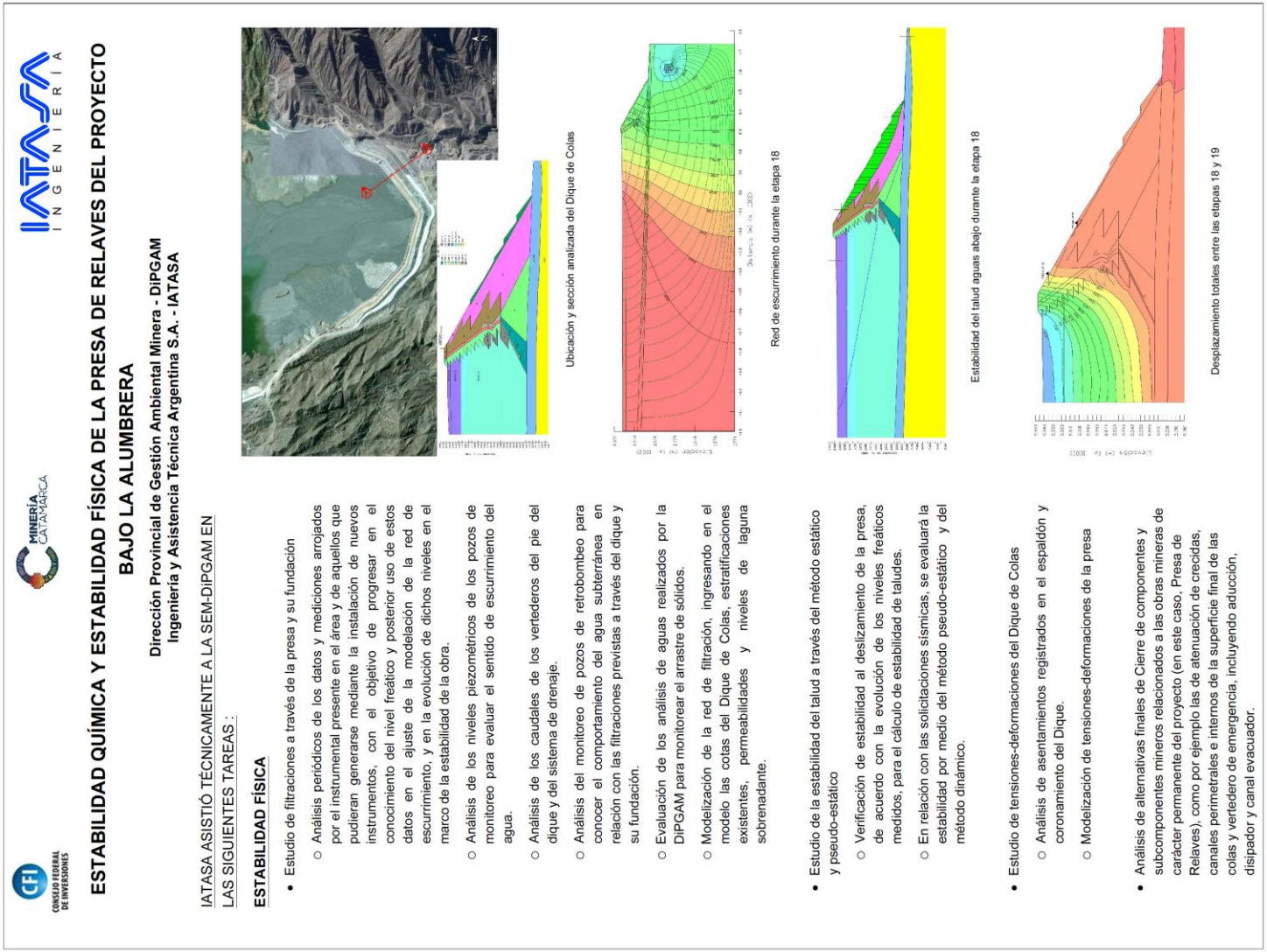


Figura 13.12. Afiche de la exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 de Estabilidad Física (Fuente: IATASA).

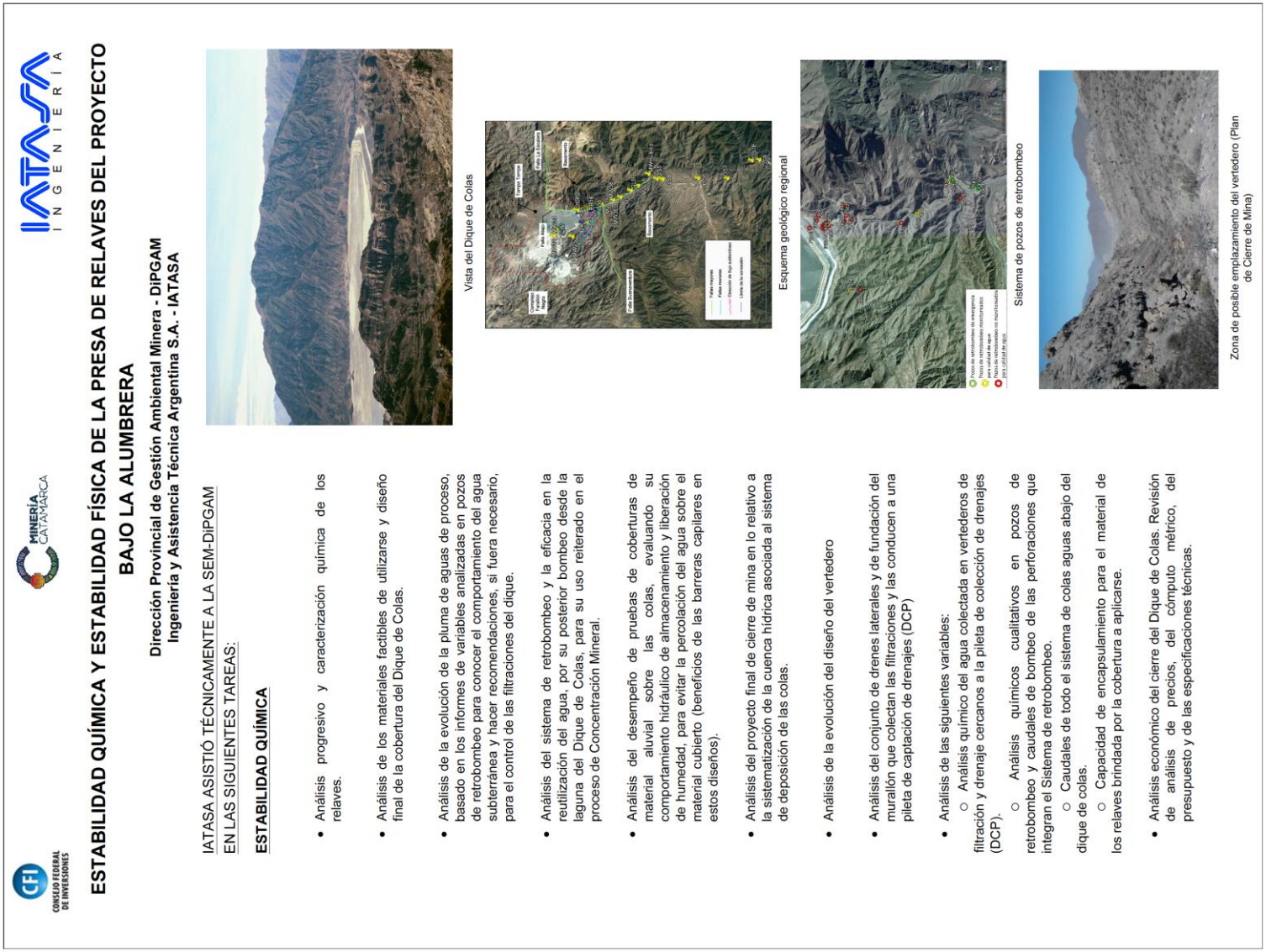


Figura 13.13. Afiche de la exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 de Estabilidad Química (Fuente: IATASA).

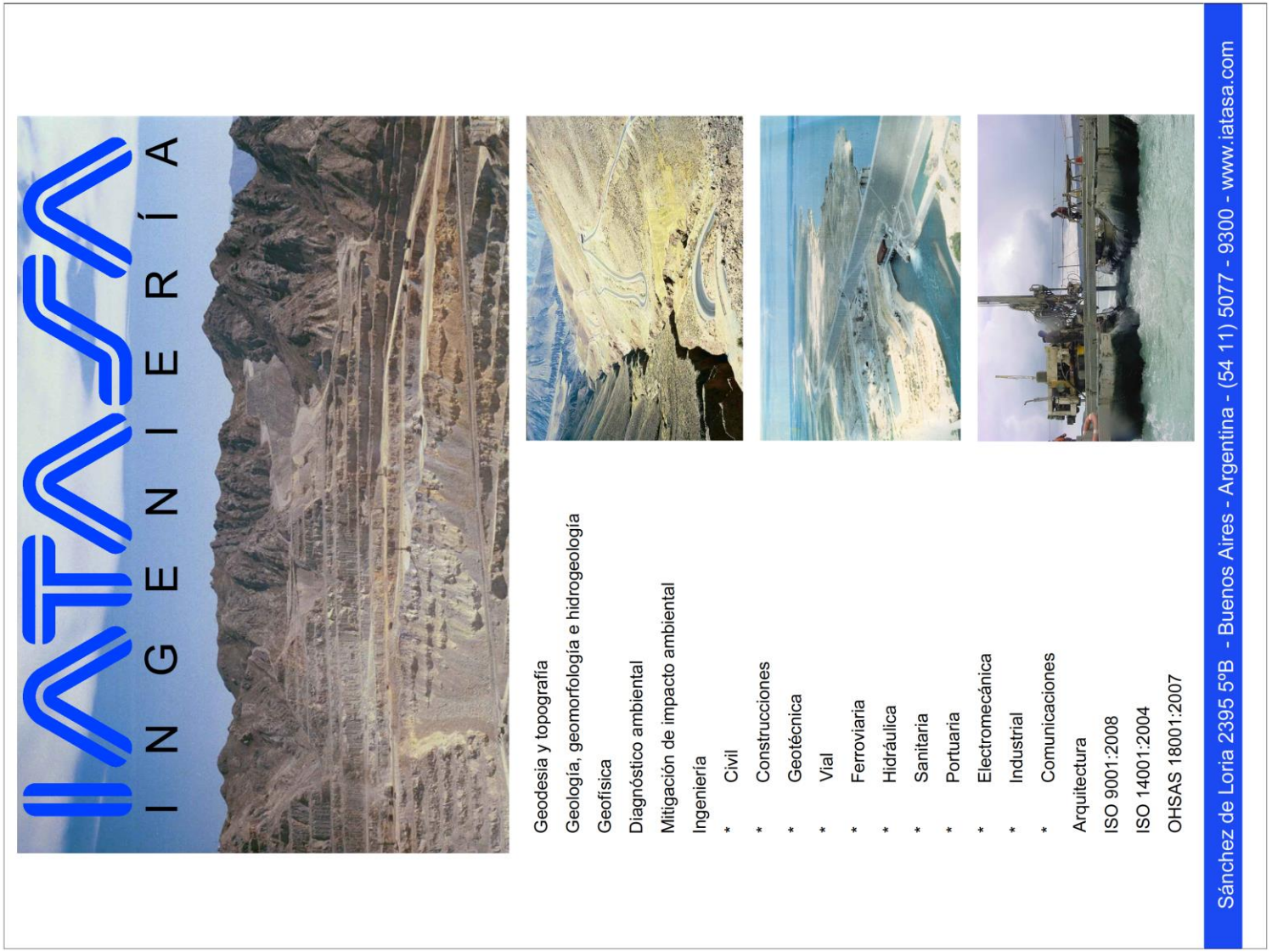


Figura 13.14. Afiche de la exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

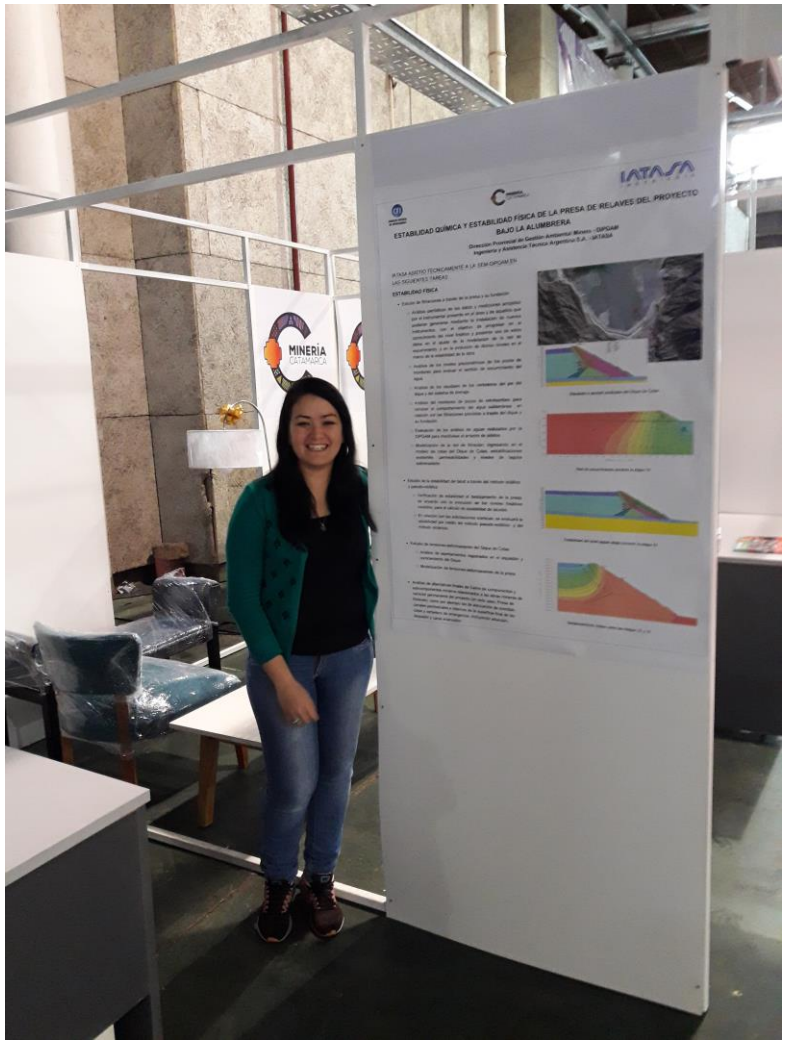


Figura 13.15. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

Figura 13.16. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

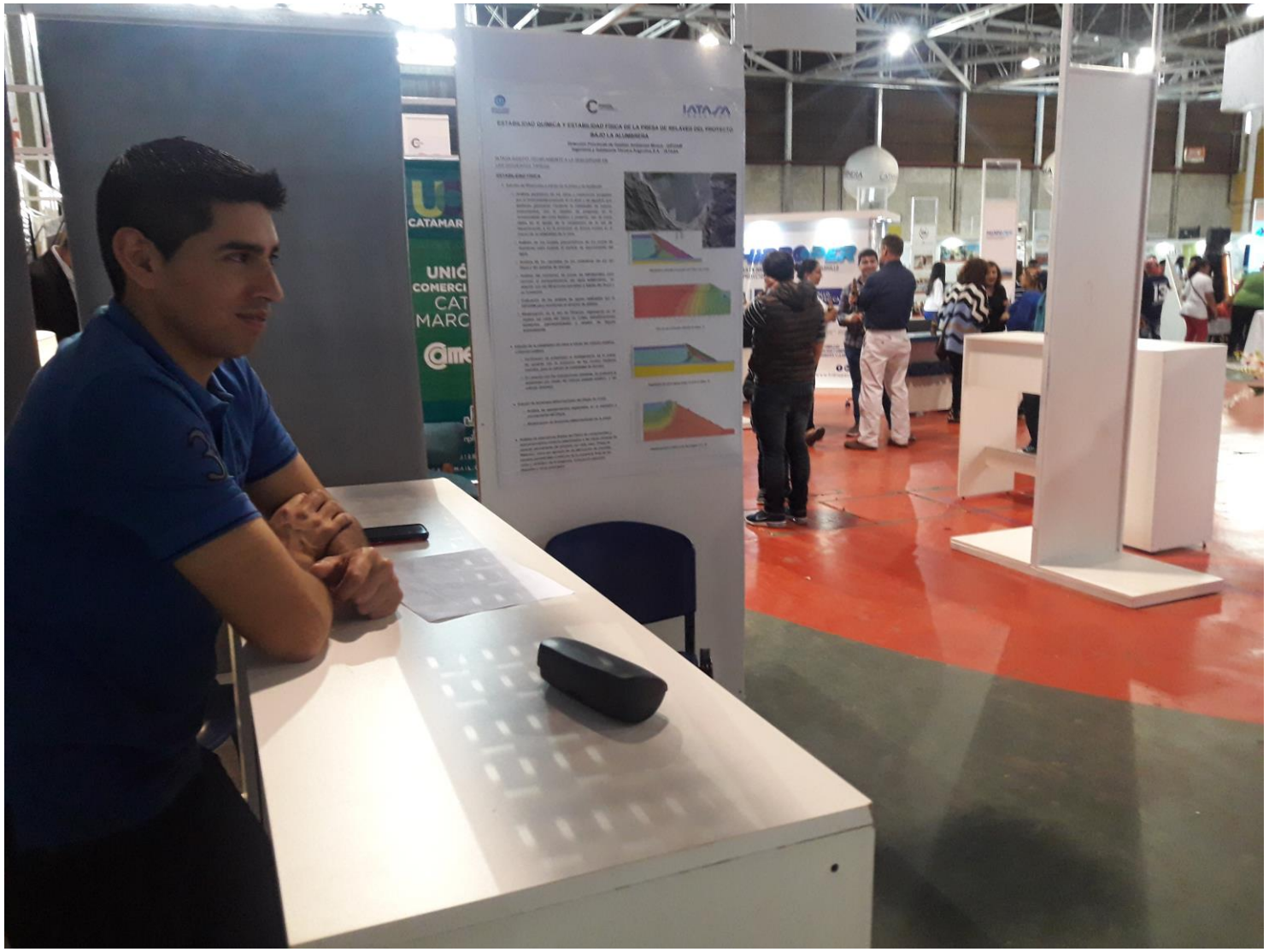


Figura 13.17. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

Figura 13.18. Exposición en el Espacio Minero de la Expo Productiva 2018 (Fuente: IATASA).

Anexo 1

Síntesis de conclusiones y recomendaciones (revegetación y cobertura)

REVEGETACIÓN Y COBERTURA - SÍNTESIS DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES POR ÁREA DE INTERÉS

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS (JUL 2018)	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES A (SET2018)
DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS		
	Redefinir y consensuar conceptos como el de rehabilitación ambiental en tanto los conceptos son los que permiten precisar objetivos y acciones y, por otra parte dar a las actividades de revegetación un soporte experimental, conceptual y operativo de mayor solidez	**En torno a este aspecto se estima que aún no se ha logrado un consenso suficientemente claro empleándose en ocasiones en diferentes etapas y documentos desarrollos conceptuales contrapuestos o bien asignándoles el mismo significado. No se trata aquí de cuestiones epistemológicas sino de orden práctico. Esto es : un concepto acerca de cuál es el punto al que debo llegar en una mejora ambiental debería traducirse en metas, secuencias operativas, resultados y control de comportamiento de componentes ecosistémicos a futuro. Es probable decidir desde una posición pragmática, que significado se da a deteerminadas acciones capaces de cumplir con los objetivos de emitigar daños al ambiente. Desde esta perspectiva un concepto es una cuestión que puede ser "convencional" y en terreno esta convención es válida, en particular cuando no existe un consenso claro..** **En efecto se observa que tanto en la Resol S.E.M. 396/16, como en los informes de sostenibilidad o aún en el más reciente documento de abril de 2018 no existe absoluta coincidencia de significados. Se estima ppor ello recomendable realizar un esfuerzo de acotar cada uno de esos términos con criterio operativo tal que permita su vista en un cronograma y en una definición de tareas a desarrollar..** **En este orden es oportuno volver a la definición que se expone en el Informe Global 2010 – 2015 que asume la necesidad de un recorte realista a una concepción tal vez demasiado exigente de la Restauración ambiental** [i] **Sobre el particular se recomienda atender a lo**

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS (JUL 2018)	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES A (SET2018)
DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS		
		dispuestos en el título complementario de la ley de gestión ambiental minera 24.585 en cuyo glosario se define el significado del Plan de Gestión Ambiental en los siguientes términos: **Plan de Manejo Ambiental: plan en el que se presenten organizadas, según etapas y cronología de ejecución, las medidas y acciones de prevención y mitigación del impacto ambiental, y rehabilitación, restauración o recomposición del medio alterado, según correspondiere, desde el inicio de la construcción de la infraestructura para la explotación hasta el cierre temporario o abandono del yacimiento. De acuerdo al tipo de explotación y el grado de riesgo o peligrosidad deberá incluir un Plan de Monitoreo de las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas, según resultare necesario.** **En este sentido se entiende oportuno revisar la definición que propone el Informe Global 2010 – 2015 que asume la necesidad de un recorte realista a una concepción tal vez demasiado exigente de la Restauración ambiental**
	Replantear las variables críticas, del Plan de Cierre entendiendo que podrán observarse variaciones sustanciales en los próximos 13 años.	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina**
	Dimensionar las actividades que pudieran resultar más costo efectivas dado el cambio de escenario operado a partir de la prolongación del plazo de explotación	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina**
	Articular sistémicamente los distintos componentes del	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la**

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS (JUL 2018)	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES A (SET2018)
DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS		
	cierre, considerando la indispensable efectividad colectiva e integral de las medidas que aseguren la remanencia a largo plazo de la vegetación de cobertura	mayor vida útil de la mina
	Se recomienda que, en tanto limitante clave, se reconsidere el espesor y configuración de la cobertura, toda vez que de la efectividad de la misma depende todo el sistema.	Debería profundizarse el análisis técnico-economico de esta variable aplicando para ello la ventaja que proporciona la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
EL PAISAJE COMO BIEN AMBIENTAL A RESTAURAR		
	Es recomendable la inclusión de planes, programas y proyectos específicos con sus respectivas medidas de mitigación orientados a la recomposición del paisaje .	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
	Teniendo en consideración con lo establecido en la Resolución S.E.M 396/2016 ítem 7. Medidas y Actividades de Cierre. Se recomienda detallar las medidas, acciones y obras relativas al establecimiento de la forma del terreno en las diferentes etapas de cierre (Cierre Temporal, Cierre Progresivo, Cierre Final).	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
	Particularmente se recomienda realizar una descripción del paisaje desde el punto de vista de la conservación de hábitats naturales en el área de influencia del proyecto. Esto significa poder identificar áreas/zonas protección a nivel ecológico natural, especialmente en la Cuenca Río Vis Vis – Amanao y Cuenca de Campo Arenal.	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
	Sería deseable la incorporación de medidas de mitigación orientadas a la conservación, reconexión de hábitats aislados (lagos, lagunas, cursos hídricos, entre otros) y rehabilitación de áreas naturales. Se recomienda incluir medidas, acciones y obras relativas a la rehabilitación de Hábitats en las diferentes etapas de	No está contemplado

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS (JUL 2018)	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES A (SET2018)
DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS		
	cierre (Cierre Temporal, Cierre Progresivo, Cierre Final).	
	Sería oportuno incluir una evaluación en detalle y por medio de un relevamiento con información de terreno la descripción de actividades locales en el área de influencia con el objetivo de complementar y validar la información contenida en el ítem Usos del Suelo" Pág. 99.	**En esta etapa no se hace referencia al uso del suelo previo a la explotación y al uso probable a futuro. Debería profundizarse la consideración de esta variable.**
LA REVEGETACION COMO UNO DE LOS COMPONENTES DE UN PROGRAMA DE REHABILITACIÓN AMBIENTAL O COMO FIN EN SI MISMA		
	Debatir y consensuar los alcances y significados de la revegetación habida cuenta que un proyecto ejecutivo debe contar con esas precisiones al definir objetivos, metas, materiales, métodos de trabajo y cronogramas para efectivizar las acciones de revegetación y/0 rehabilitación..	**En el Punto VI de la Propuesta de diseño se aborda esta cuestión especificándose su alcance al de la revegetación como uno de los componentes de la restauración. El último párrafo de ese ítem expresa a modo de síntesis:** *En este caso la revegetación de estas áreas tiene como objetivo, crear una condición de partida para favorecer las dinámicas de sucesión que lleven a la formación de un ecosistema con funciones similares a los ecosistemas presentes en los ambientes aledaños a la mina.(Pag. 13)*
	Se reitera y destaca la conveniencia de definir los criterios de selección de especies a emplear en a revegetación de modo tal que permita vincular los mismos a los objetivos planteados y las limitaciones operativas	**No se justifica la elección de especies más allá de que demostraron aptitud para el cultivo, razón por la cual no puede considerarse como criterio de restauración ecológica**

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS (JUL 2018)	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES A (SET2018)
DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS		
	Desarrollar un proyecto ejecutivo de revegetación que comprenda todas las etapas, insumos, labores culturales, sistemas de plantación y manejo de la plantación, con el correspondiente cálculo de costos y cronogramas de detalle.	**Aporta una aproximación a un proyecto detallado que no podría considerarse ejecutivo sino m ás bien de detalle, secuencial. En la instancia actual de modificación de escenarios puede adoptarse esta propuesta como una matriz inicial para el desarrollo de un proyecto ejecutivo.**
, COBERTURA, DEL DIQUE DE COLAS		
	Efectuar caracterizaciones complementarias del material Tampa Tampa a fin de determinar su calidad agronómica, y considerar la aplicación de medios complementarios tales como compost o biosólidos.	En rigor la cobertura del dique no estará constituida por suelos sino por material tipo suelos (Ver Norma ISO 15176:2002 (E) Soil quality – Characterization of excavated soil and other soil materials intended for re-used- Norma IRAM 29557[ii] Además de los reparos que se han formulado con relación al espesor de la cobertura se recomienda tener en consideración los resultados de los estudios de caracterización del material TAMPA TAMPA en función de su uso como suelo agrícola, estudios estos encarados por MAA y cuyo valor ha sido avalado por la empresa. Se estima que su inclusión como factor relevante para el cultivo de plantas de revegetación debería ser considerada.
	Extender los ensayos de campo con distintos formatos, sobre la base de los hallazgos documentados en ensayos previos.	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina**
	Analizar nuevas alternativas de cobertura, desde las posibilidades de prorrateo de costos que ofrece la extensión de vida útil de la mina	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina**
	Efectuar proyecciones respecto de la condición en la que se presume estén las instalaciones productivas en	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina**

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS (JUL 2018)	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES A (SET2018)
DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS		
	el año 2029.	
	Revisar los modelos de deshidratación de colas en base a la extensión de uso del dique.	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
	Incorporar al Plan de Monitoreo, instrumental y procedimientos para la medición del desempeño de la cobertura	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
FAUNA SILVESTRE		
	Sería importante efectuar la identificación espacial de los hábitats naturales presentes en el área de influencia, particularmente sobre la Cuenca Río Vis Vis – Amanao y Cuenca de Campo Arenal.	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
	Se recomienda incluir medidas y actividades de mitigación sobre los hábitats naturales y principalmente en las instalaciones principales de cierre de mina (open pits, botaderos de estéril y dique de colas) para las diferentes etapas (cierre temporal, cierre progresivo, cierre final), cumplimentando lo especificado en la Resolución S.E.M 396/2016 ítem 7. Medidas y Actividades de Cierre, Rehabilitación de Hábitats.	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina
. RELIEVE Y GEOFORMAS		
	Incorporar medidas orientadas a prevenir y reducir el riesgo de procesos de erosión hídrica u eólica	No se ha identificado ninguna medida con este propósito
	Incluir la consideración de la rugosidad del relieve en la reconstitución del paisaje de cobertura	No se ha identificado ninguna medida con este propósito
. VÁLIDO PARA TODAS LAS ÁREAS DE INTERÉS		
	Dado el nuevo horizonte temporal, analizar la conformidad de los distintos componentes del Plan, en el marco del marco regulatorio nacional sobre cierre de minas que se encuentra en desarrollo en virtud de lo establecido en el Nuevo Acuerdo Federal Minero.	A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS (JUL 2018)	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES A (SET2018)
DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS		
	Analizar la articulación sistémica entre los distintos componentes del cierre, considerando la indispensable efectividad colectiva e integral de las medidas.	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina**
	Incluir un análisis de árbol de fallas que permita articular variables de distintos sistemas y proyectar e incluso estimar probabilísticamente, los posibles incidentes y efectos adversos asociados que pudieran suscitarse.	**A considerar en la extensión de plazos derivados de la mayor vida útil de la mina**

NOTA: Este cuadro resulta de la actualización de lo expuesto en los items 2.2 y 2.3 *REVEGETACIÓN DE DIQUE DE COLA Y COBERTURA*,EN FUNCIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN POR ÁREAS CRÍTICAS (Elaborados en los informes parciales Informes preliminares Nos. 2 y 3) Busca sistematizar:

Los acuerdos alcanzados en temas en los que se plantearon originalmente divergencias, los que se resaltan en verde pudiendo dar, no obstante lugar a sugerencias o propuestas destinadas a mejorar los resultados,

las cuestiones en las que no se ha superado tal divergencia y se solicita su revisión y por último.

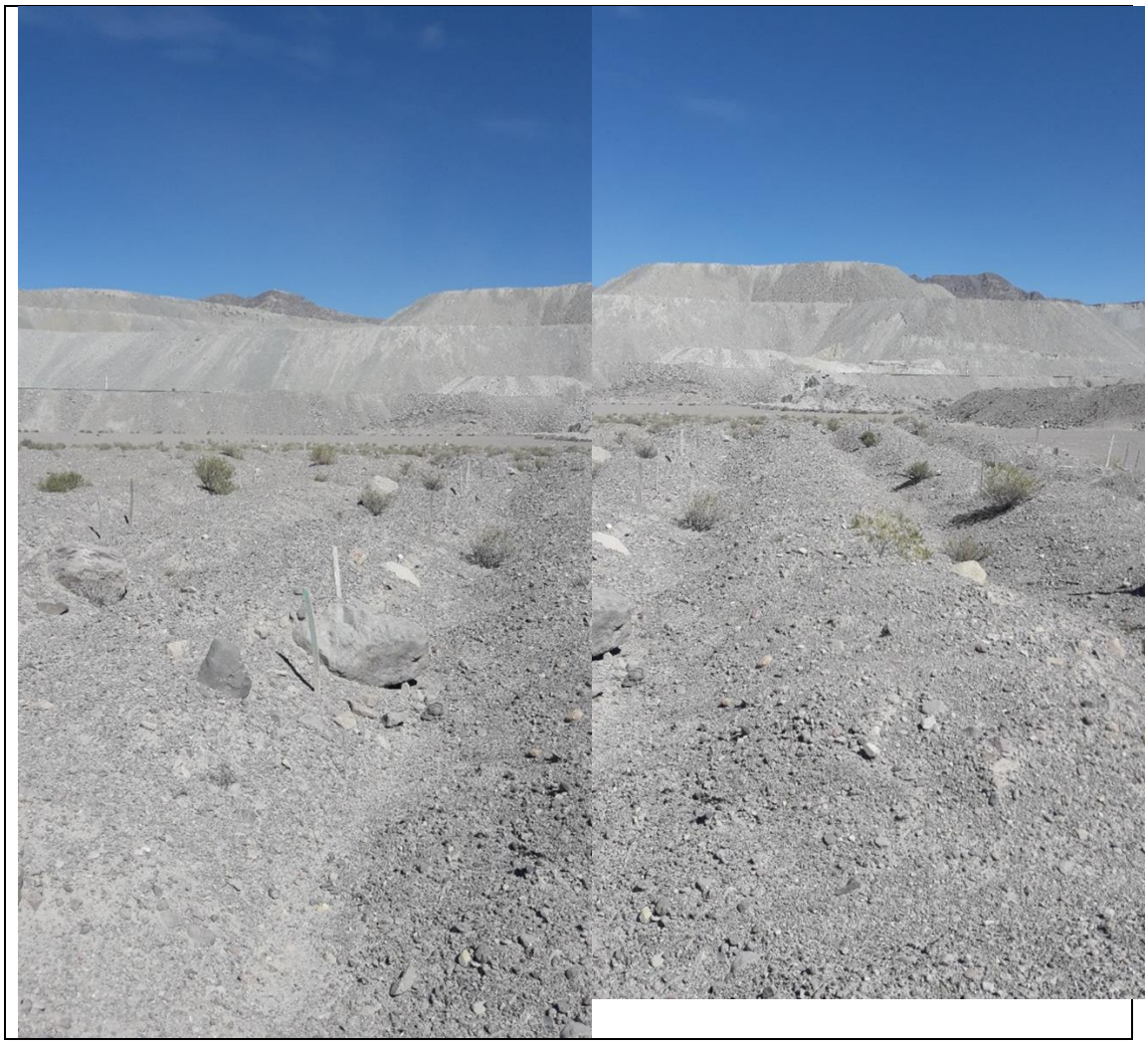
aquellas que se recomiendan en función de las oportunidades que ofrece la ampliación del periodo de explotación.

De esta forma este cuadro opera como una síntesis o “check list “ ampliado con el propósito de conformar una herramienta para el control de gestión.

Anexo 2

Anexo fotográfico (revegetación y cobertura)

ACOPIO DE ALUVION TAMPA TAMPA EN CERCANIÁS DE LOS RELAVES EXTREMO NORTE DE LOS DEPÓSITOS,



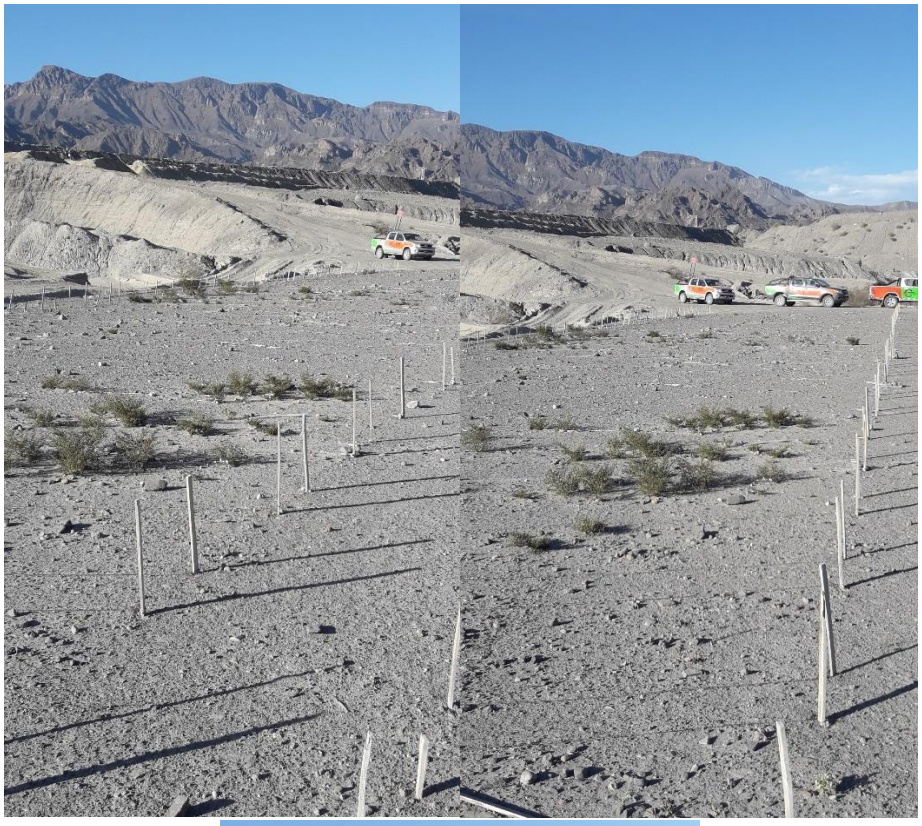
VISTAS DE CUBIERTA DE TAMPA TAMPA SOBRE RELAVES Y CON PLANTINES CRECIDOS DE SIEMBRA DIRECTA

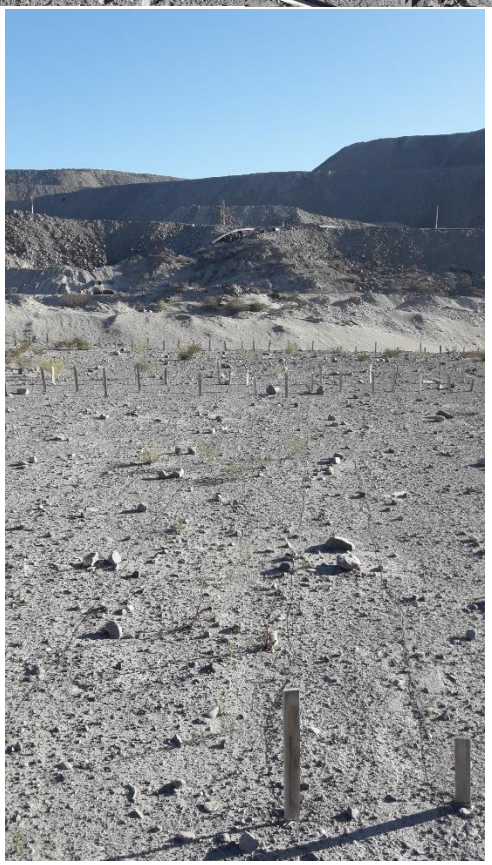
COLOCACION DE COBERTURA CON MATERIAL ALUVIAL TAMPA TAMPA SOBRE RELAVES

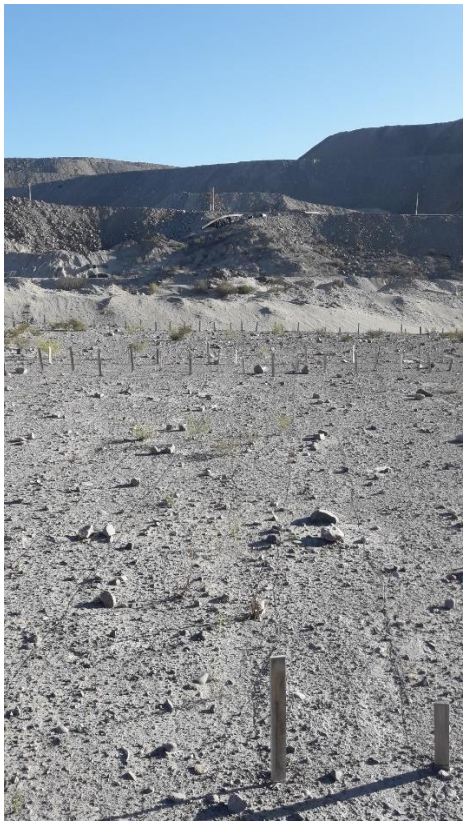
EN PRIMER PLANO CUBIERTA CON RELAVES, EN SEGUNDO PLANO BOTADERO SIN CUBIERTA

SIEMBRA DIRECTA SOBRE CUBIERTA

PLANTINES SOBRE CUBIERTA ALUVIAL TAMPA TAMPA







Anexo 3

Anexo fotográfico Visita a Mina Abril 2018

Foto 1.Freatímetro E0-PC1-01 ubicado aguas abajo del Dique de Colas.

Foto 2.Freatímetro E3-PC1-01 ubicado aguas arriba del Dique de Colas.

Foto 3.Freatímetro A3-PC1-01 ubicado aguas arriba del Dique de Colas.

Foto 4.Freatímetro GTS-1-17 ubicado aguas arriba del Dique de Colas. No se encuentra identificado correctamente.

Foto 5. Deslizamientos superficiales en el espaldón de aguas abajo de la presa

Foto 6. Vertedero de aforo del agua captada por el Dren de muro.Zona cercana a la DCP.Se observa presencia de agua clara.

Foto 7. Vertedero de aforo del agua captada por el Dren de fundación. Zona cercana a la DCP. Se observa presencia de agua clara.

Foto 8: Pileta de Captación de Drenaje (DCP) aguas abajo del Dique de colas.

Foto 8: Open Pit de Bajo el Durazno.

Foto 10. Botadero Fase 1. Se observa material aluvional y epidota-Clorita como cobertura.

Foto 10. Botadero Fase 3. Material estéril de mina sin cobertura.

Foto 10. Botadero Fase 2. Material estéril de mina sin cobertura.

Foto 11. Open Pit de Bajo Alumbrera. Se observa el deslizamiento que produjo el cese de las operaciones.

Foto ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**12. Zona de ubicación (al Sur) del vertedero de descarga.**

Foto 13. Pozo de retrobombeo profundo PB38. Se encuentra en la zona de aguas de procesos.

Foto 14. Termistor 4. Se encuentra ubicado en el Botadero Sam inferior.

Foto 15. Termistor 6. Se encuentra ubicado en el Botadero Sam superior.

Anexo 4

Presentación Jornadas CIC-SEM-CFI-IATASA

JORNADAS DE DIFUSION INGENIERIA 2018

CENTRO DE INGENIEROS DE CATAMARCA

MINERÍA CATAMARCA

IATASA INGENIERÍA

CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA PROVINCIA DE CATAMARCA

CIERRE DE MINAS
MINERA ALUMBRERA

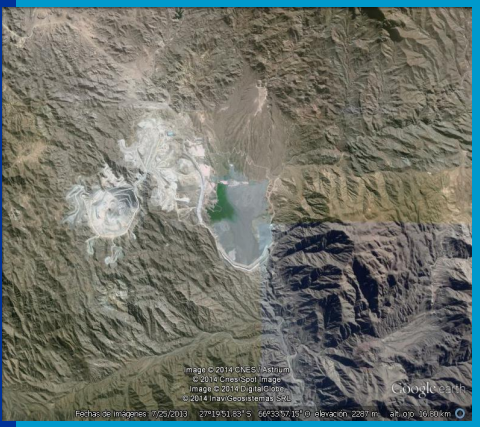
Ing. Eduardo Capdevila, Dr. Armando Massabie e Ing. Ricardo Barletta-IATASA

CONSULTORÍA TÉCNICA INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS
DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA – 2014

OBJETIVOS

Evaluar, modelar e interpretar los datos existentes a fin de concluir sobre el estado actual del Dique de Cola y definir las intervenciones a realizar en el cierre de la operación de explotación Minera Alumbrera.

ALCANCES



Balance hídrico: volúmenes de embalse

Riesgo sísmico y estudios de licuefacción en relaves

Estudio de filtraciones (fundación y presa)

Estudio de estabilidad del taludes y coeficientes de seguridad

Evaluación de compactación, densidad y humedad

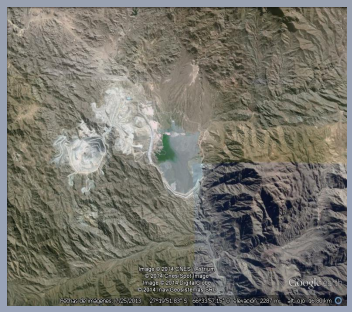
Estudio de erosión del talud

Estudio del estado de los drenes

Capacitación a personal técnico provincial en Buenos Aires

ANALISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA

5/2016 a 5/2017



1. AUSCULTACION DE PRESA

OBJETIVOS

***Contribuir a garantizar la estabilidad física del Dique de Colas hasta su etapa de post-cierre**, a partir del desarrollo de un Sistema de Auscultación operado actualmente por Minera Alumbrera, y de un seguimiento de las variables operacionales de la Obra.*

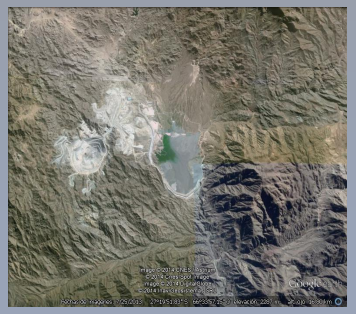
ALCANCES

*Consiste en la **recopilación y análisis de antecedentes de todo lo relacionado con la Presa de Relaves, en particular con su operatividad y estabilidad estructural a lo largo del tiempo**, para prevenir daños que podrían ocasionar impactos ambientales significativos.*

ANALISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA

5/2016 a 5/2017

2. ESTABILIDAD QUÍMICA



OBJETIVOS

*Contribuir a **garantizar la estabilidad química del Dique de Colas hasta su etapa de post-cierre**, a partir de un seguimiento de las variables operacionales de Obra.*

ALCANCES

- *Recopilación y análisis de antecedentes de los aspectos ambientales vinculados con la presa.*
- *Analizar el comportamiento de la cobertura de material a disponer sobre las colas.*
- *Análisis del sistema de retrobombeo y ubicación de la pluma con aguas de proceso.*
- *Análisis del diseño de la Sistematización de la Cuenca Hídrica donde se halla emplazada la estructura en consideración.*

ESTABILIDAD QUÍMICA Y ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA

2/2018 a 9/2018

Componentes

1. ***Estabilidad Química***

2. ***Estabilidad Física***

3. ***Análisis económico del cierre del dique de colas. Revisión de análisis de precios.***

4. ***Presencia permanente de IATASA en Catamarca***

ESTABILIDAD QUÍMICA Y ESTABILIDAD FÍSICA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA

2/2018 a 9/2018

ALCANCES

Estabilidad Química

1. ***Análisis progresivo y caracterización química de las relaves.***

2. ***Análisis de los materiales factibles de utilizarse y diseño final de la cobertura del Dique de Colas.***

3. ***Análisis de la evolución de la pluma de dispersión**, basado en las informes surgentes de variables analizadas en pozos de retrobombeo para conocer el comportamiento del agua subterránea y hacer recomendaciones, si fuera necesario, para evitar el desplazamiento de las filtraciones del dique.*

4. ***Análisis del sistema de retrobombeo**, a partir del control de los caudales de bombeo de las perforaciones que integran el Sistema. Evaluar la distribución eficaz de pozos para cumplir con la finalidad de mantener la pluma de aguas de proceso dentro de las límites mencionados. Analizar la eficacia en la reutilizaci6n del agua, teniendo en cuenta que se trata de recuperar la mayor parte del agua de proceso, proveniente del Dique de Colas, su posterior bombeo hasta la Laguna del Dique de Colas, para su uso nuevamente en el proceso de Concentración Mineral.*

ESTABILIDAD QUÍMICA Y ESTABILIDAD FÍSICA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA

2/2018 a 9/2018

ALCANCES

Estabilidad Química

***5. Analizar el desempeño de pruebas de coberturas de material aluvial sobre las colas**, evaluando su comportamiento hidráulico de almacenamiento y liberación de humedad, para evitar la percolación del agua sobre el material cubierto (beneficios de las barreras capilares en estos diseños).*

6. Análisis en lo relativo a la sistematización de la cuenca hídrica asociada al sistema de deposición de las colas.

***7. Análisis del conjunto de drenajes laterales y de fundación del murallón** que colectan las filtraciones y las conducen a una pileta de captaci6n de drenajes situada aguas abajo del dique (DCP).*

8. Análisis de la evolución del diseño del vertedero.

***9. lntegración de todos los aspectos evaluados** en recomendaciones para un diseño ingenieril relacionado con la Estabilidad Física.*

ESTABILIDAD QUÍMICA Y ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA
2/2018 a 9/2018

ALCANCES

Estabilidad Química
10. Análisis de diferentes variables:

a. Análisis químico del agua colectada en vertederos de filtración y drenaje cercanos a la pileta de colección de drenajes (DCP).

b. Caudales ingresados a la presa mediante aportes externos (pluviométricos, etc.).

c. Análisis químicos cualitativos en pozos de retrobombeo y caudales de bombeo de las perforaciones que integran el Sistema de Retrobombeo.

d. Caudales de todo el sistema de colas aguas abajo del dique de colas.

e. Capacidad de encapsulamiento para el material de los relaves brindada por la cobertura a aplicarse.

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y PROGRESIVA DESAFECTACIÓN DEL SISTEMA DE RETROBOMBEO AGUAS ABAJO DE LA PRESA - FIGURA 1

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y PROGRESIVA DESAFECTACIÓN DEL SISTEMA DE RETROBOMBEO AGUAS ABAJO DE LA PRESA – FIGURA 2

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y PROGRESIVA DESAFECTACIÓN DEL SISTEMA DE RETROBOMBEO AGUAS ABAJO DE LA PRESA

REQUERIMIENTO IDENTIFICADO	DEFINICION FALTANTE
Requerimientos relativos a la concentración de sulfatos a alcanzar en la etapa de cierre y post-cierre de mina	Definir y expresar en valor numérico la concentración de sulfatos para desafectar los pozos de retrobombeo (línea de base) Definir el tiempo de verificación de estabilización de la medición de sulfatos para desafectar los pozos de retrobombeo Definir cómo serán desafectados los pozos de retrobombeo que no cuentan con datos de valores de concentración de sulfatos Definir qué otros parámetros físico-químicos deberían ser verificados según legislación vigente u estándar de calidad de agua adoptado para la etapa de cierre y post-cierre, para desafectar los pozos de retrobombeo.
Requerimientos referidos a la secuencia desafectación de los pozos de retrobombeo en la etapa de cierre y post-cierre de mina	Definir y expresar en valor numérico la concentración de sulfatos para desafectar los pozos de retrobombeo (línea de base)
Requerimientos relativos a las aguas de proceso recuperadas luego del cese de las operaciones mineras	Definir el destino de disposición final o uso futuro del agua recuperada por retrobombeo luego del cese de las operaciones mineras Definir el control o monitoreo físico-químico del agua recuperada en función de su destino de disposición final o uso futuro Identificar qué parámetros físico-químicos indicarían la presencia de DAR, en caso de que se dieran estas condiciones, para poder activar las medidas de mitigación que se planteen a tal efecto Definir las medidas de mitigación en caso de DAR
Requerimiento de obras de ingeniería hidráulica de desvío de escorrentías superficiales	Definir el diseño de ingeniería de detalle de estas obras
Requerimientos relativos al abandono de los pozos de retrobombeo y las instalaciones del sistema de retrobombeo	Definir el plan de abandono de pozos de retrobombeo e instalaciones

PB-26

ESTABILIDAD QUÍMICA Y ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA
2/2018 a 9/2018

ALCANCES

Estabilidad Física

11. Estudio de filtraciones (presa y fundación)

12. Estudio de la estabilidad del talud a través del método estático y pseudoestático

13. Estudio de tensiones-deformaciones del Dique de Colas

14.Análisis de alternativas finales de Cierre
(Presa de Relaves: atenuación de crecidas, canales y vertedero - incluyendo aducción, disipador y canal evacuador).

ESTABILIDAD FÍSICA EN PRESA DE RELAVES

Etapa Constructiva	Cota Coronamiento Muro [msnm]	Altura máxima del Muro [m]
Etapa 1	2255,0	50
Etapa 2	2262,0	57
Etapa 3	2268,0	63
Etapa 4	2273,2	68,2
Etapa 5	2276,0	71
Etapa 6	2280,0	75
Etapa 7	2287,0	82
Etapa 8	2290,0	85
Etapa 9	2296,0	91
Etapa 10	2302,0	97
Etapa 11	2308,0	103
Etapa 12	2314,0	109
Etapa 13	2320,0	115
Etapa 14	2326,0	121
Etapa 15	2330,5	125,5
Etapa 16	2335,5	130,5
Etapa 17	2338,9	133,9
Etapa 18	2343,0	138
Etapa 19 (en proceso)	2347,0	142

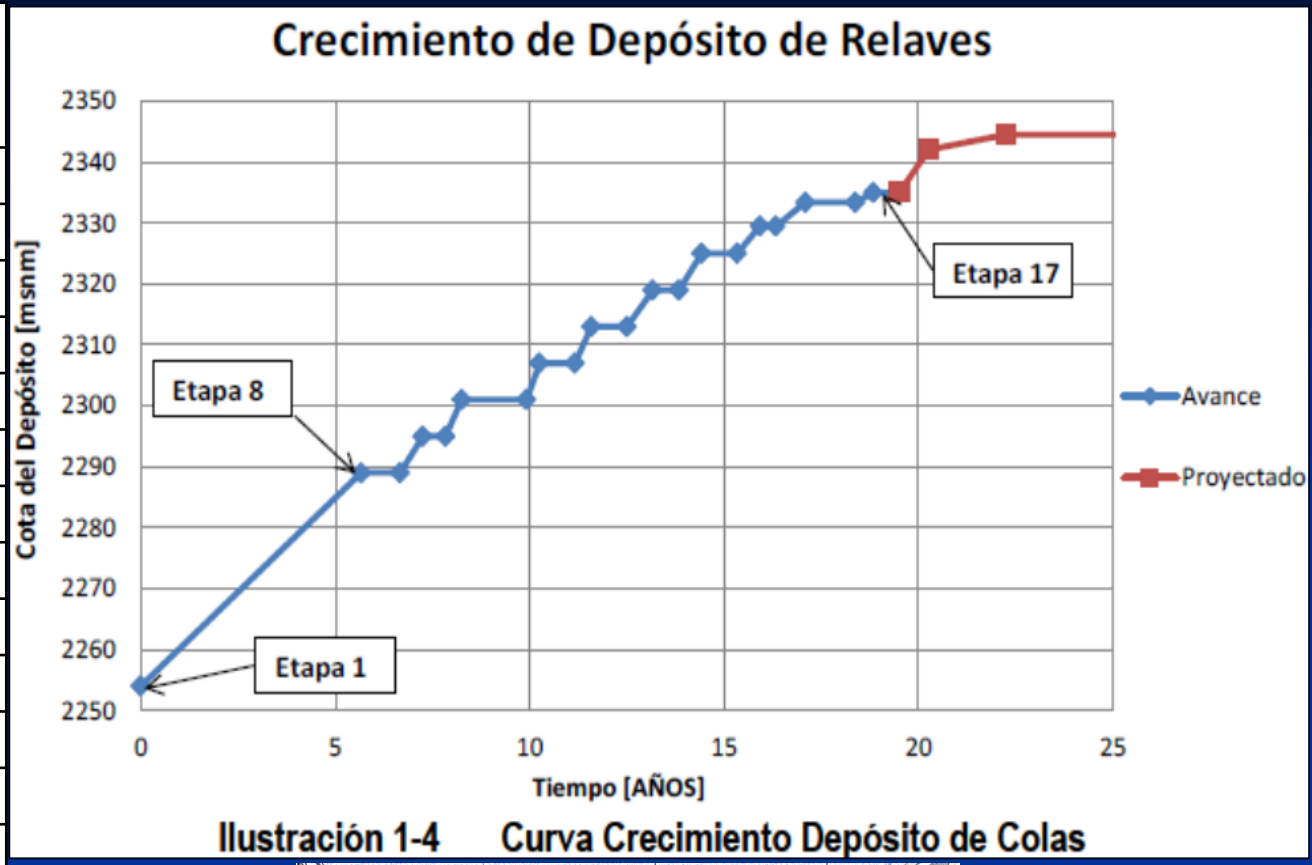
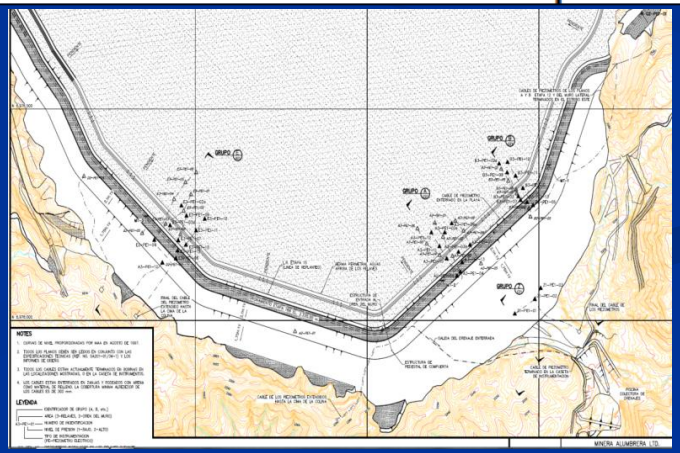


Ilustración 1-4 Curva Crecimiento Depósito de Colas

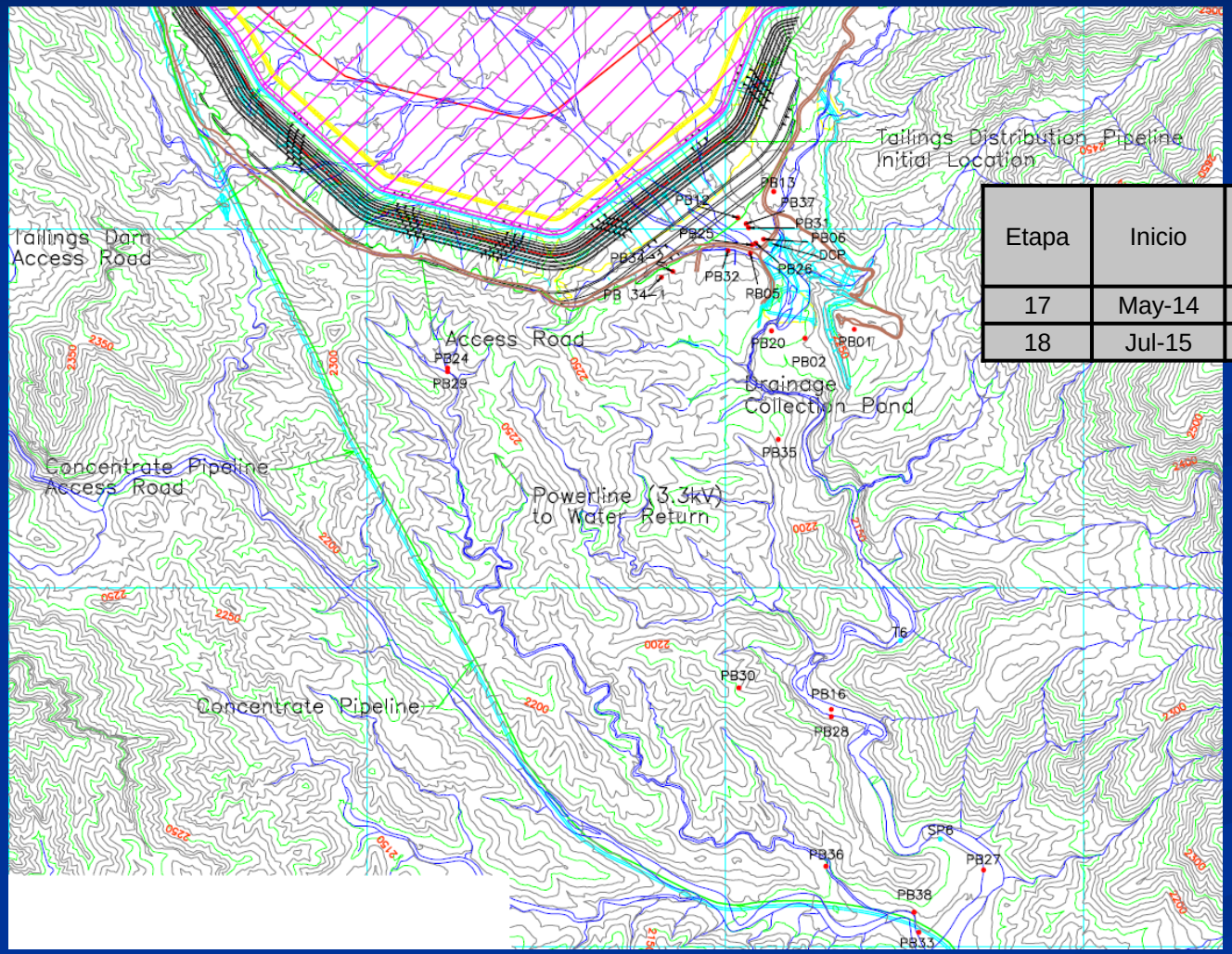


MONITOREO PRESA DE RELAVES
Propuesta MA

Monitoreo	Fases		
	Explotación	Cierre	Post-Cierre
Lecturas de Piezómetros eléctricos instalados tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa	X	X	X
Lecturas de vertedero de filtración y drenaje instalados en DCP	X	X	X
Medición de niveles y caudales en pozos profundo de bombeo	X	X	X
Medición de niveles en pozos de monitoreo	X	X	X
Mediciones de nivel de laguna sobrenadante	X	X	X
Lecturas topográficas de monolitos instalados en el espaldón del Dique de Colas	X	X	Se evaluará
Lectura de nivel de agua mediante piezómetros de Casagrande o pozos abiertos de monitoreo		X	X
Monitoreo del sistema de desvío de las aguas superficiales (inspecciones visuales)		X	X
Control de asentamiento de colas			X

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

ANÁLISIS DEL MONITOREO DE POZOS DE RETROBOMBEO Y FILTRACIONES A TRAVÉS DE SU FUNDACIÓN



Etapa	Inicio	Fin	Cota de Coronamiento del Dique (m.s.n.m)
17	May-14	Nov-14	2338,9
18	Jul-15	Abr-16	2343,0

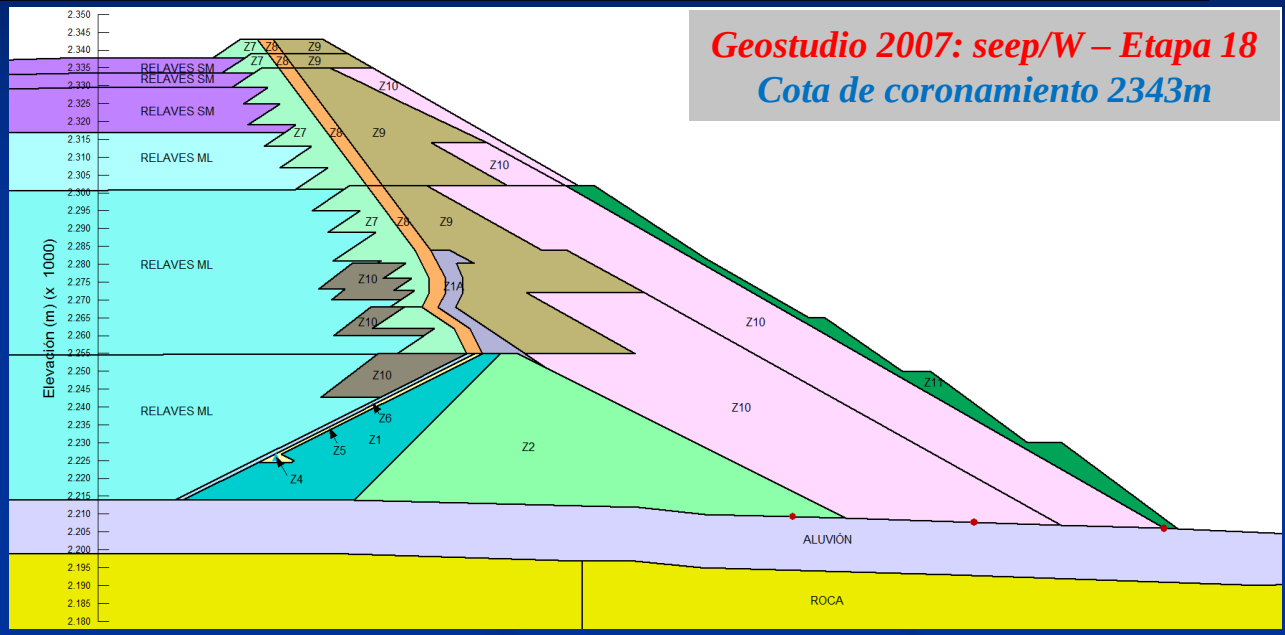
Etapa	Cota pelo de agua libre en la laguna (m.s.n.m.)
17	2331,94
18	2335,08

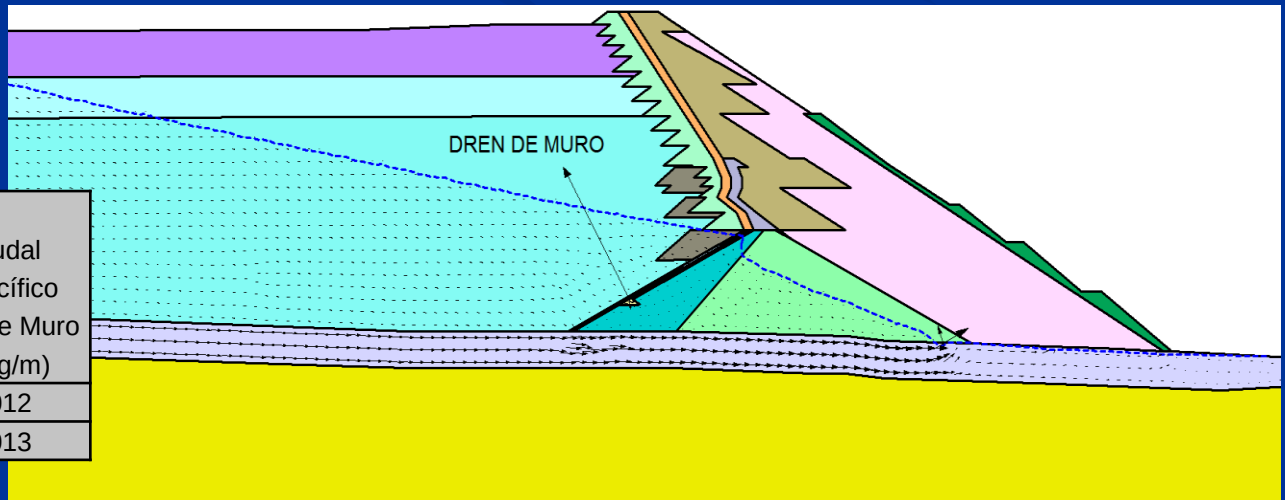
Ubicación de los pozos de retrobombeo

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN RELACIÓN CON LAS FILTRACIONES PREVISTAS A TRAVÉS DEL DIQUE Y SU FUNDACIÓN

	K prom (cm/s)	K max (cm/s)
z 1	1*10^-4	1*10^-4
z 1A	1*10^-4	1*10^-4
z 2	3*10^-4	5*10^-3
z 4	1*10^-3	1*10^-3
z 5	1*10^-3	1*10^-3
z 6	1*10^-3	1*10^-3
z 7	3*10^-4	5*10^-4
z 8	1*10^-3	1*10^-3
z 9	3*10^-3	5*10^-3
z 10	3*10^-3	5*10^-3
z 11	3*10^-3	5*10^-3
Relaves	Kh	Kv
SM	1,16*10^-3	5,79*10^-4
ML	1,04*10^-3	5,21*10^-4
Aluvión	3*10^-3	5*10^-3
Roca madre intacta	5*10^-5	5*10^-5

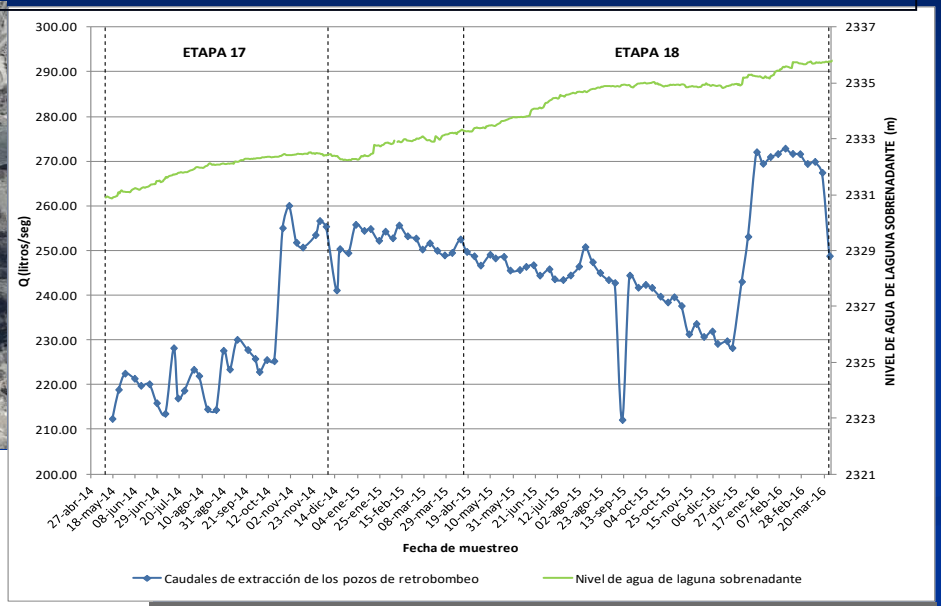


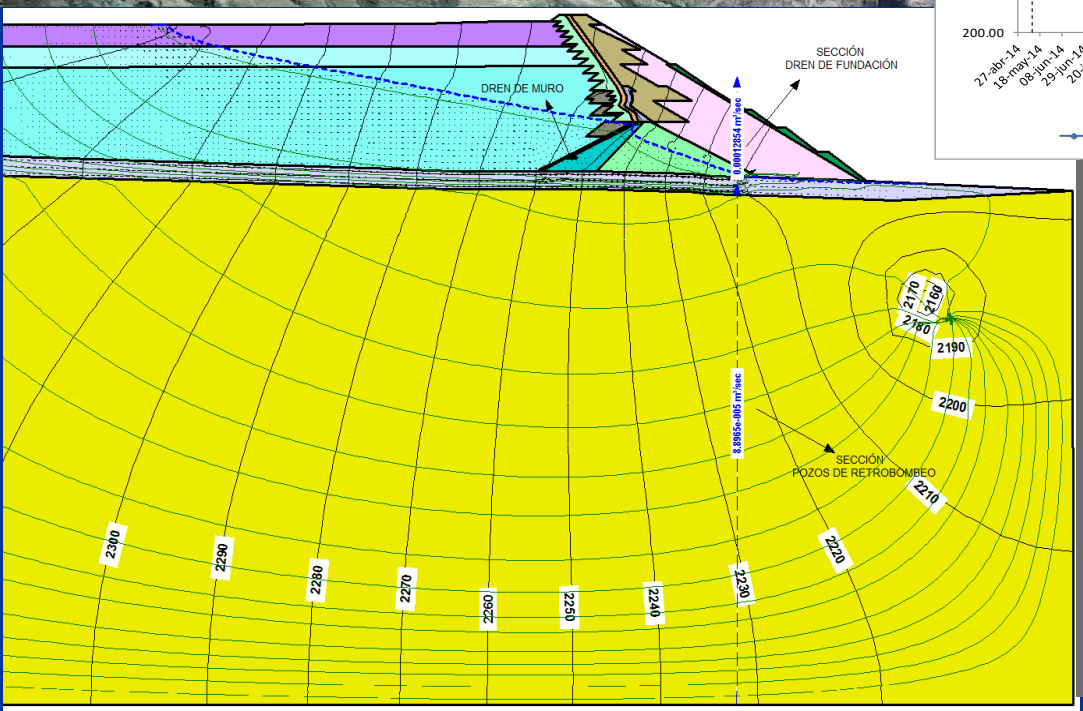


Etapa	Caudal promedio aforado Dren de Muro (l/seg)	Longitud estimada del Dren de Muro (m)	Caudal específico Dren de Muro (l/seg/m)
17	36	2950	0,012
18	38		0,013

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN RELACIÓN CON LAS FILTRACIONES PREVISTAS A TRAVÉS DEL DIQUE Y SU FUNDACIÓN





Caudal específico modelo bidimensional 0,089 l/seg/m

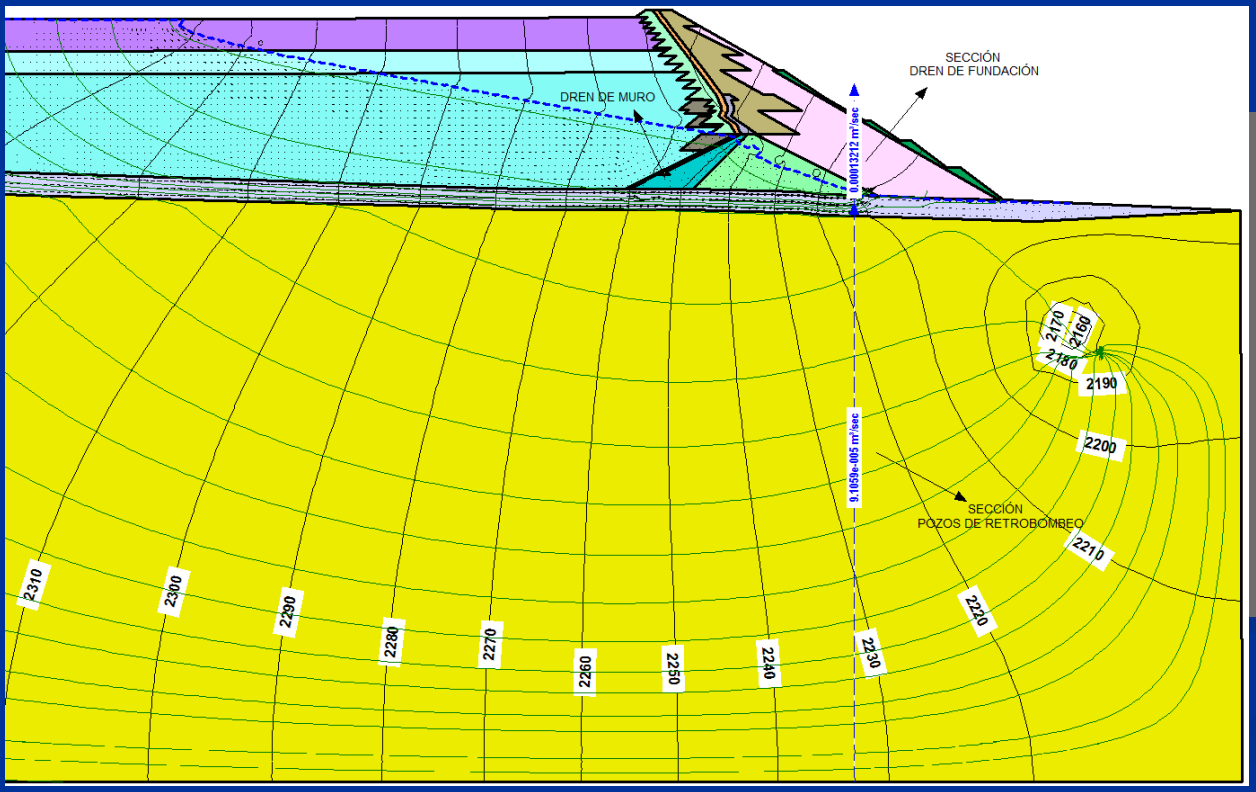
Ancho influencia 2.300m
Caudal modelo
205 l/s

Caudal extracción promedio pozos retrobombeo Etapa 18:
247 l/s

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN RELACIÓN CON LAS FILTRACIONES PREVISTAS A TRAVÉS DEL DIQUE Y SU FUNDACIÓN CORONAMIENTO 2347m

Este modelo bidimensional no evalúa la efectividad del sistema de retrobombeo en función del control de agua de proceso.

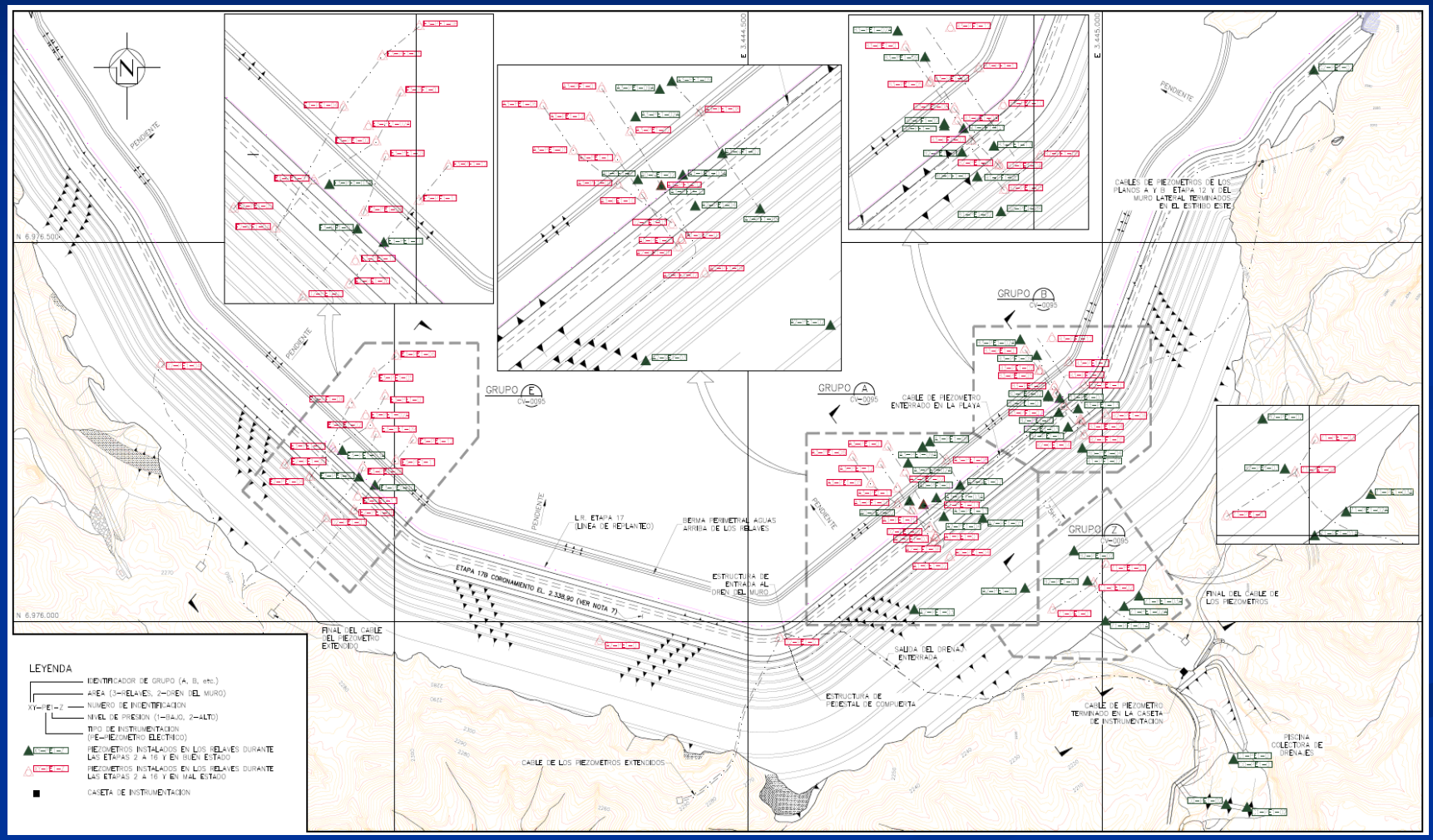


Caudal modelo Etapa 19
Cota coronamiento 2347m
209 l/s (2% + Etapa 18)

Caudal extracción promedio pozos retrobombeo Etapa 18:
247 l/s

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

ANÁLISIS PERIÓDICOS DE DATOS Y MEDICIONES DEL INSTRUMENTAL PRESENTE PARA EL CONOCIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

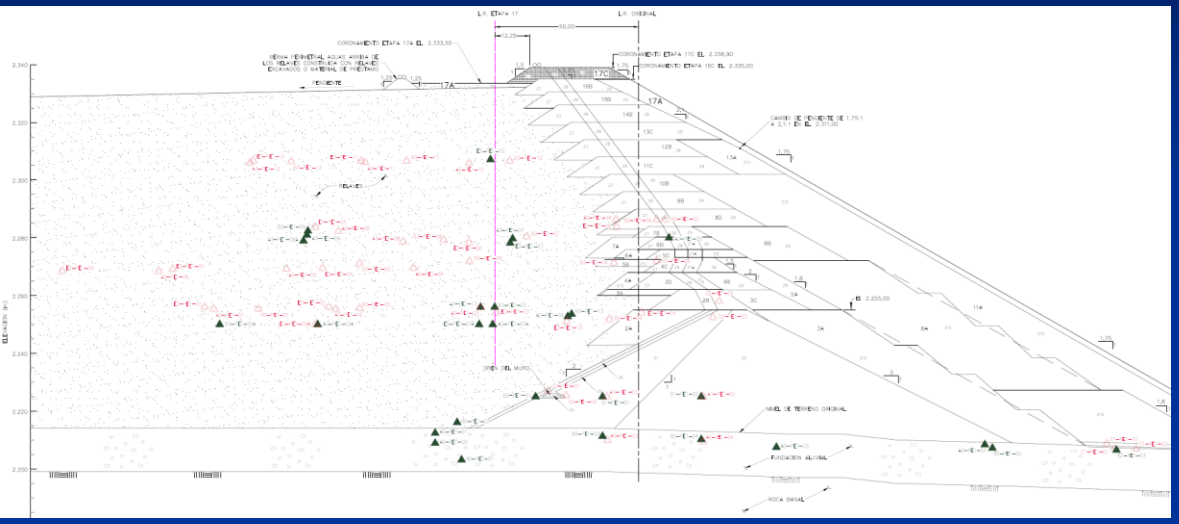


PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS - PLANTA

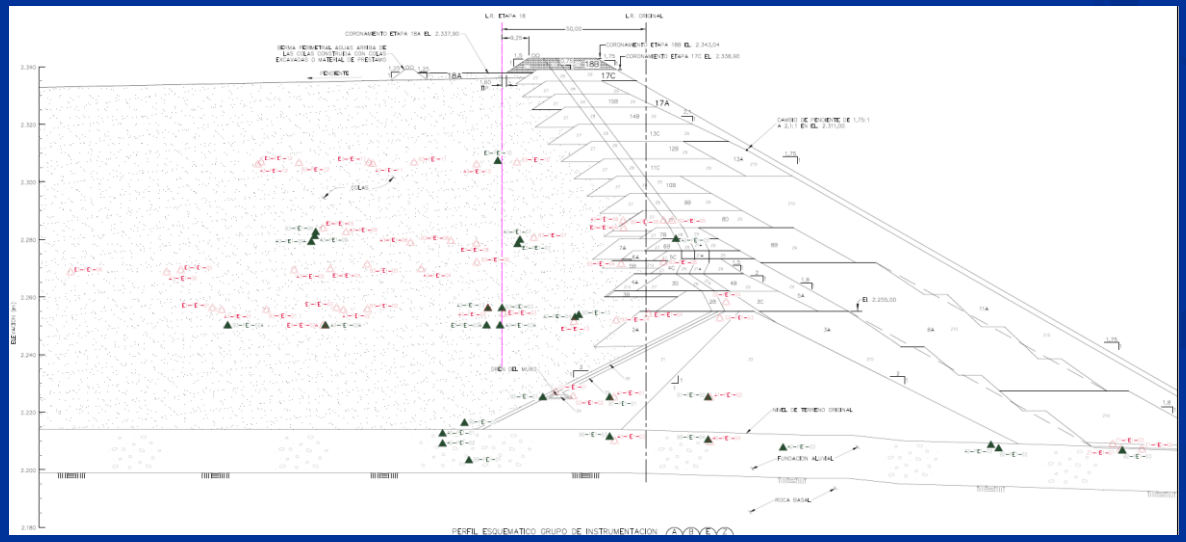
ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

PIEZÓMETROS EN FUNCIONAMIENTO SEGÚN MINERA ALUMBRERA

ETAPA 17



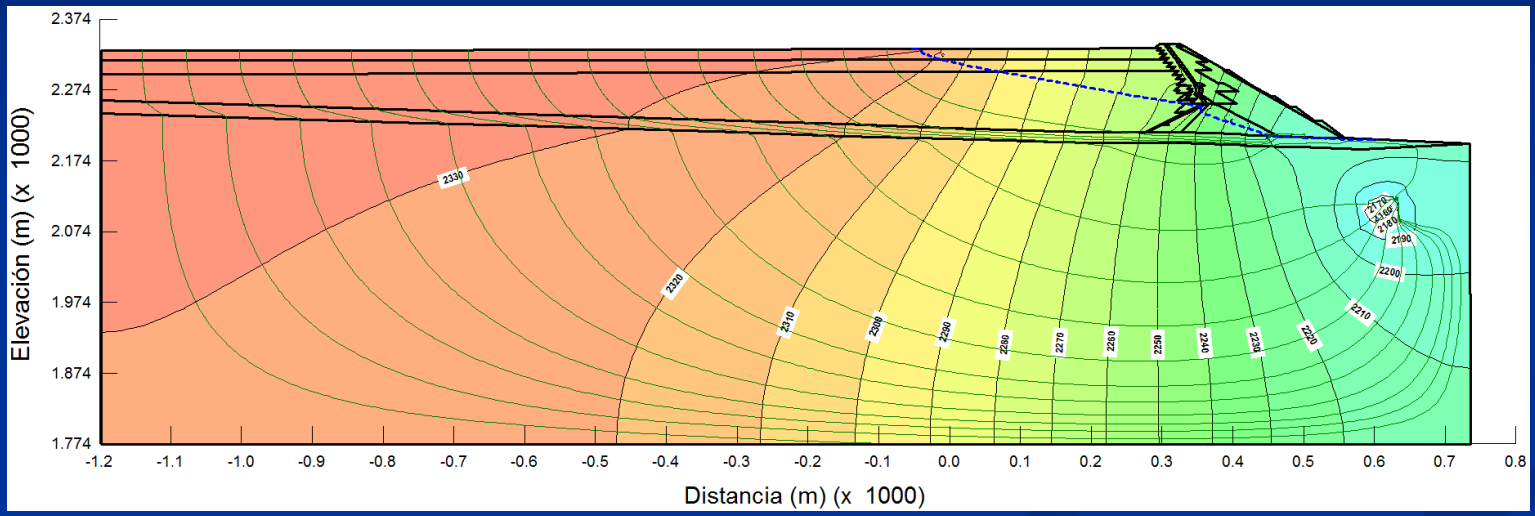
ETAPA 18



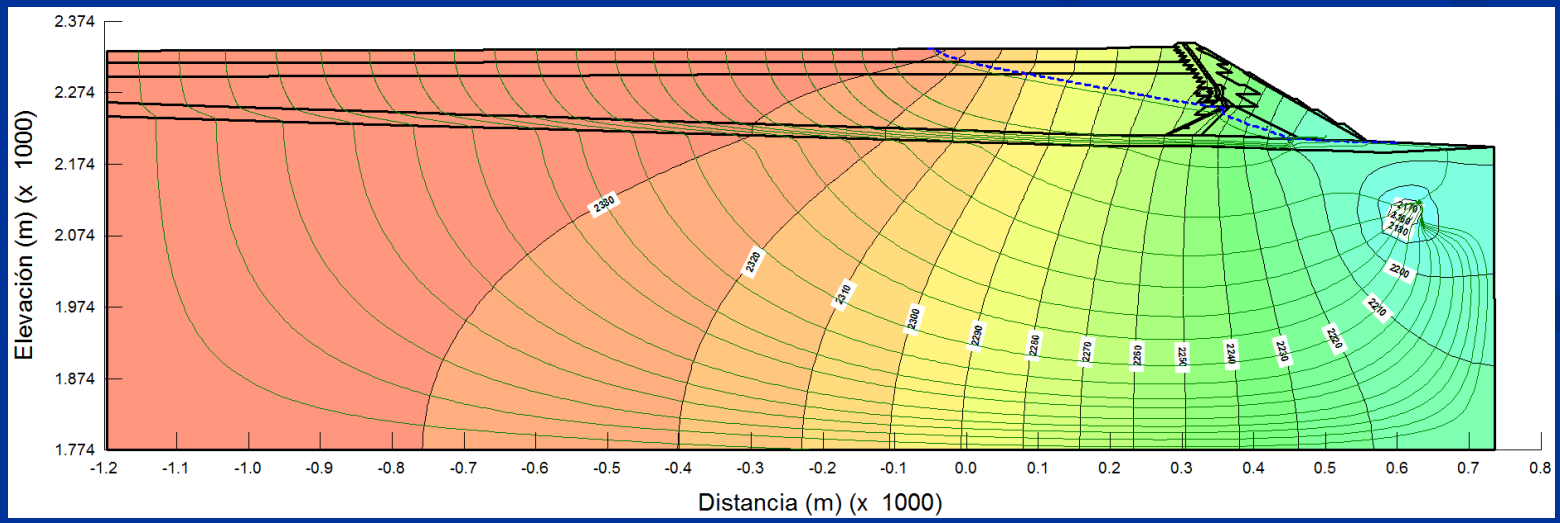
Grupo de instrumentación	Piezómetros	Cota de instalación (m)	Estado	
			Etapa 17	Etapa 18
A	A0-PE1-01	2,212.40	Bueno	Bueno
	A0-PE1-02	2,208.90	Bueno	Bueno
	A0-PE1-03	2,209.90	Malo	Malo
	A0-PE1-04	2,209.40	Malo	Malo
	A1-PE1-01	2,225.00	Malo	Malo
	A1-PE1-02	2,225.00	Malo	Malo
	D2-PE1-02	2,225.30	Malo	Malo
	A2-PE1-02	2,208.40	Bueno	Bueno
	A2-PE1-03	2,207.50	Bueno	Bueno
	A3-PE1-01	2,255.30	Malo	Malo
	A3-PE1-02	2,255.30	Malo	Malo
	A3-PE1-02a	2,250.00	Bueno	Bueno
	A3-PE1-03	2,255.90	Malo	Malo
	A3-PE1-03a	2,250.00	Bueno	Bueno
	A3-PE1-13	2,256.00	Bueno	Bueno
	A2-PE1-04	2,252.80	Bueno	Bueno
	A3-PE1-04	2,269.50	Malo	Malo
	A3-PE1-05	2,269.20	Malo	Malo
	A3-PE1-06	2,268.50	Malo	Malo
	A2-PE1-05	2,286.30	Error	Error
	A3-PE1-07	2,279.70	Bueno	Bueno
	A3-PE1-08	2,278.70	Malo	Malo
	A3-PE1-09	2,281.00	Bueno	Malo
	A3-PE1-09a	2,278.96	Bueno	Bueno
	A2-PE1-06	2,286.30	Malo	Malo
	A3-PE1-10	2,305.90	Malo	Malo
	A3-PE1-11	2,306.10	Malo	Malo
	A3-PE1-12	2,305.90	Malo	Malo
Funcionando			**12 de 28 (42,8%)**	**11 de 28 (39,3%)**
B	B0-PE1-01	2,203.10	Bueno	Bueno
	B0-PE1-02	2,216.10	Bueno	Bueno
	B0-PE1-03	2,211.30	Bueno	Bueno
	B0-PE1-04	2,210.20	Bueno	Bueno
	B1-PE1-01	2,225.00	Bueno	Bueno
	B1-PE1-02	2,225.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-01	2,225.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-02	2,207.20	Bueno	Bueno
	B2-PE1-03	2,206.50	Bueno	Bueno
	B3-PE1-01	2,255.40	Malo	Malo
	B3-PE1-02	2,255.60	Malo	Malo
	B3-PE1-02a	2,250.00	Bueno	Bueno
	B3-PE1-03	2,256.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-04	2,251.80	Malo	Malo
	B3-PE1-04	2,271.30	Malo	Malo
	B3-PE1-05	2,271.20	Malo	Malo
	B3-PE1-06	2,271.90	Malo	Malo
	B2-PE1-05	2,286.40	Malo	Malo
	B3-PE1-07	2,280.40	Malo	Malo
	B3-PE1-08	2,279.30	Malo	Malo
	B3-PE1-09	2,282.40	Bueno	Bueno
	B2-PE1-06	2,286.40	Malo	Malo
	B3-PE1-10	2,306.60	Malo	Malo
	B3-PE1-11	2,306.60	Malo	Malo
	B3-PE1-12	2,306.40	Malo	Malo
	B3-PE1-13	2,253.55	Bueno	Bueno
Funcionando			**13 de 26 (50,0%)**	**13 de 26 (50,0%)**

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS
MODELIZACIÓN DE REDES DE FILTRACIÓN PARA LAS ETAPAS 17 Y 18

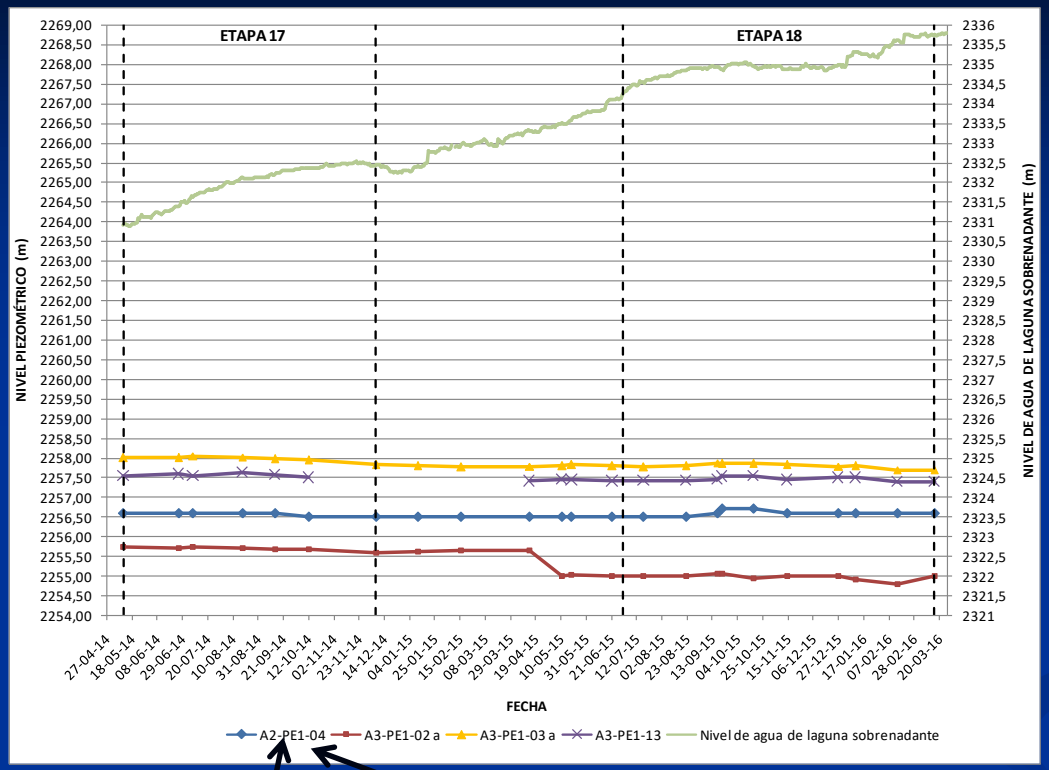


ETAPA 17



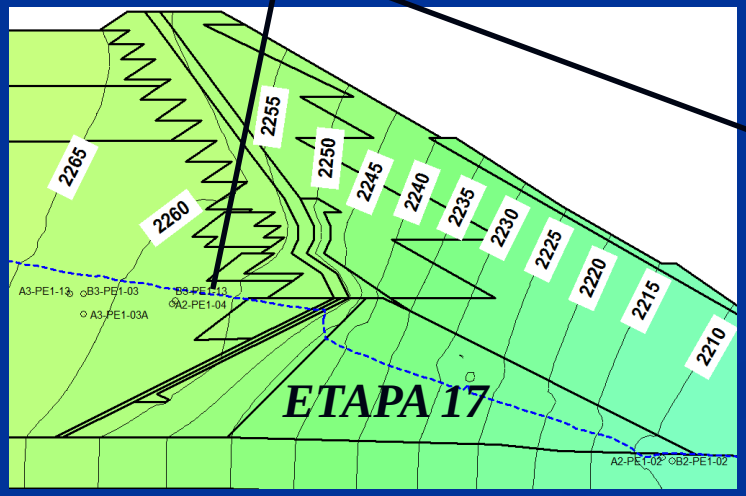
ETAPA 18

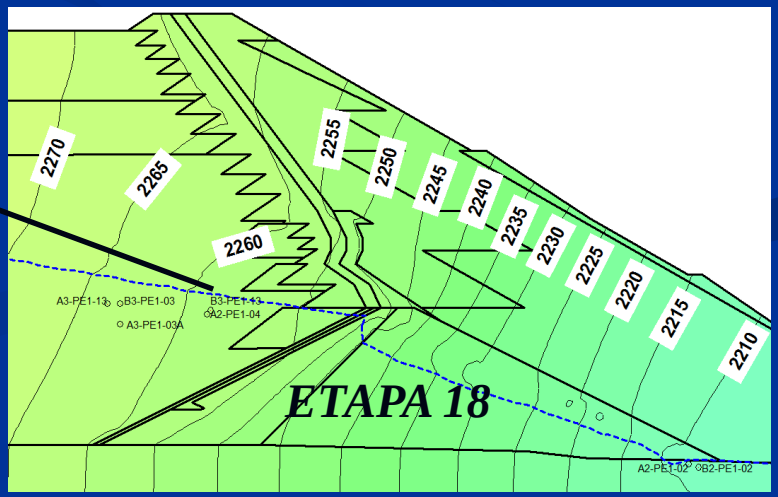
ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN



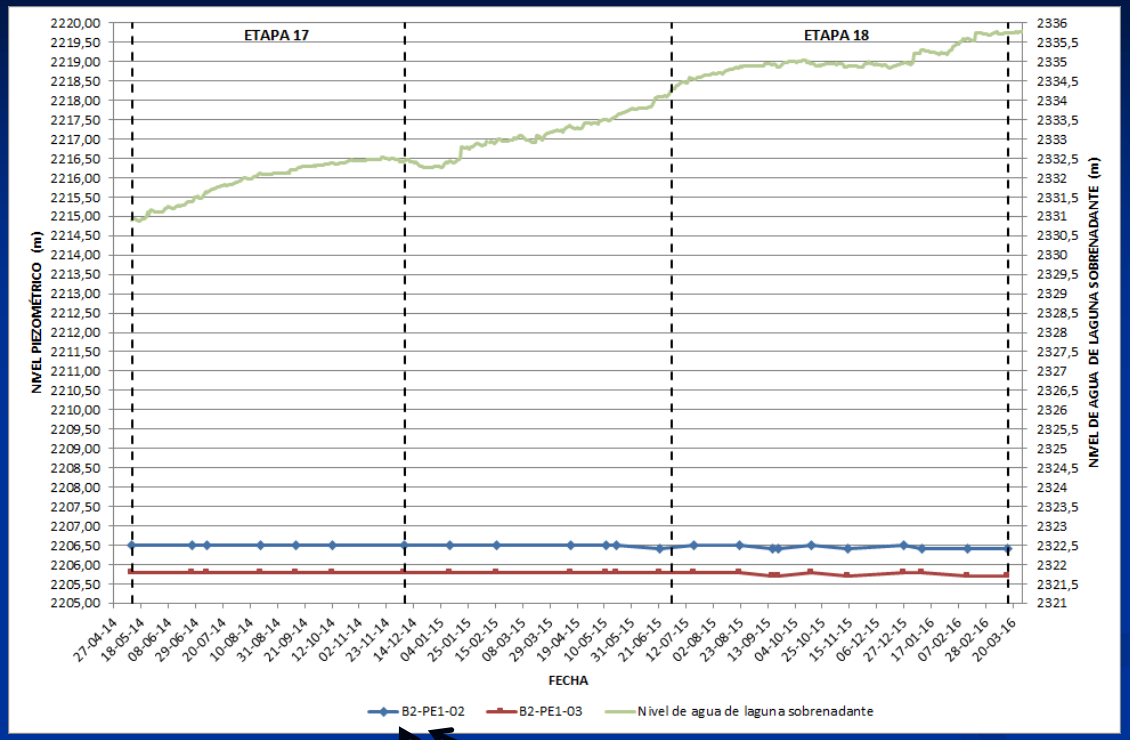
FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS NIVEL PIEZOMÉTRICO VS TIEMPO

Como se puede observar en las figuras la mayoría de los niveles piezométricos de los grupos de instrumentación se mantienen relativamente constantes con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de la etapa 17 y 18.



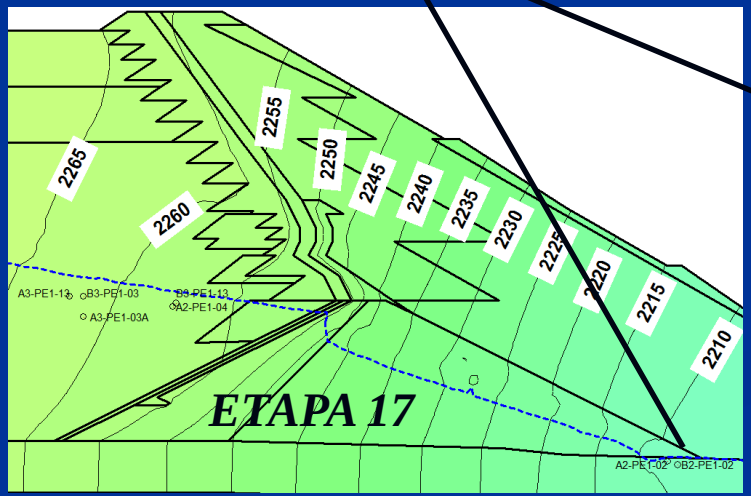


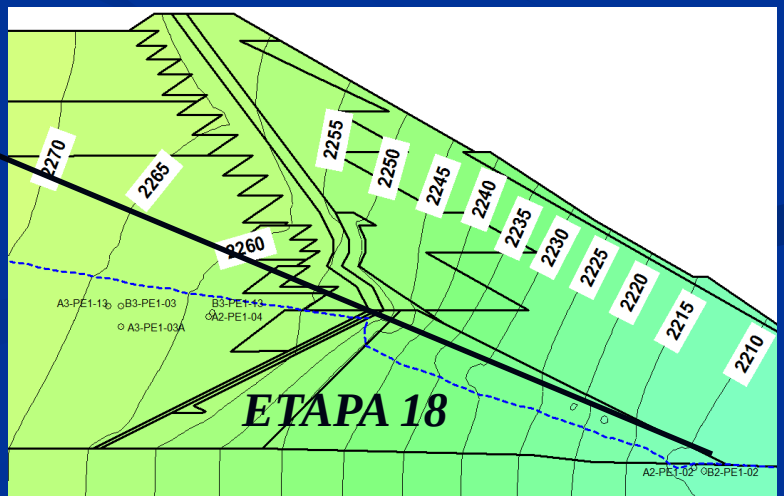
ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN



FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS NIVEL PIEZOMÉTRICO VS NIVEL LAGUNA SOBRENADANTE

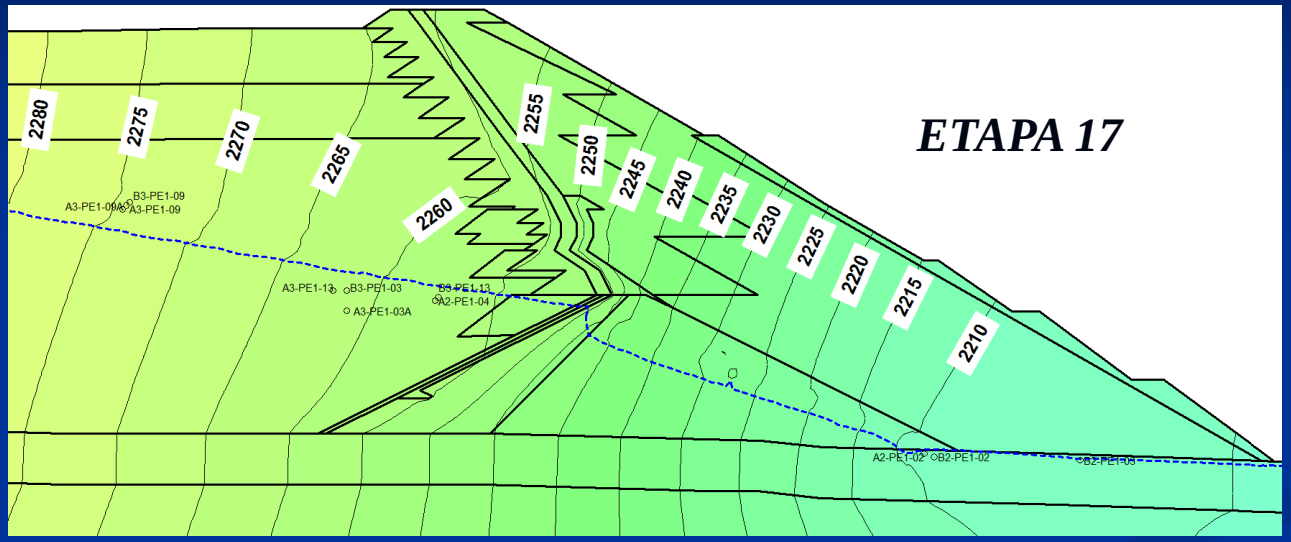
Como se puede observar en las figuras la mayoría de los niveles piezométricos de los grupos de instrumentación se mantienen constantes con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de la etapa 17 y 18.

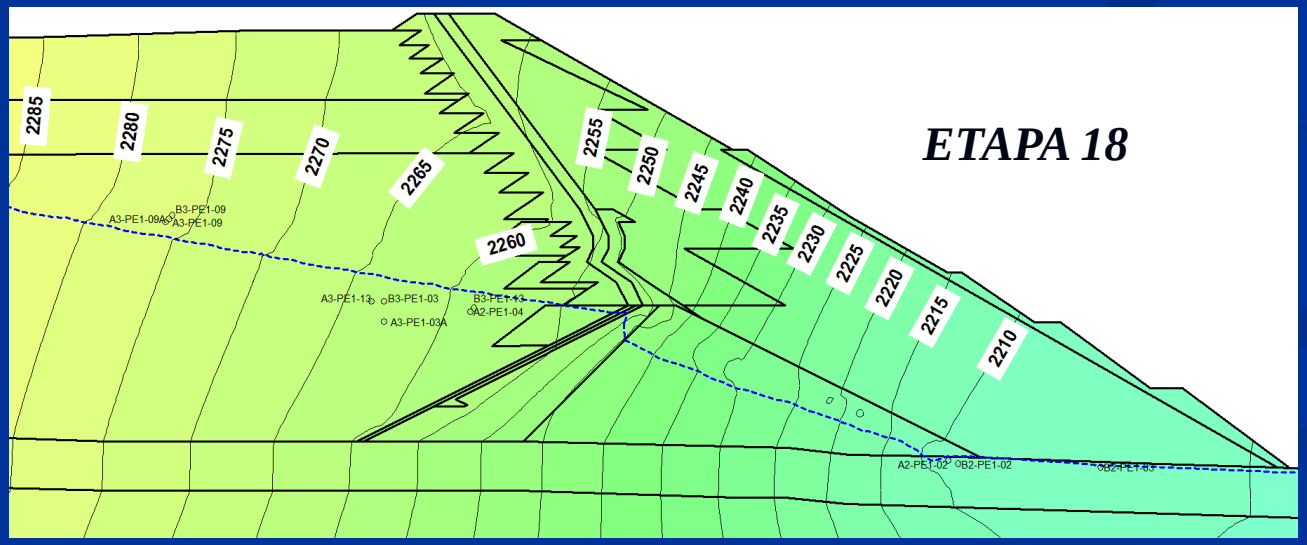




ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS





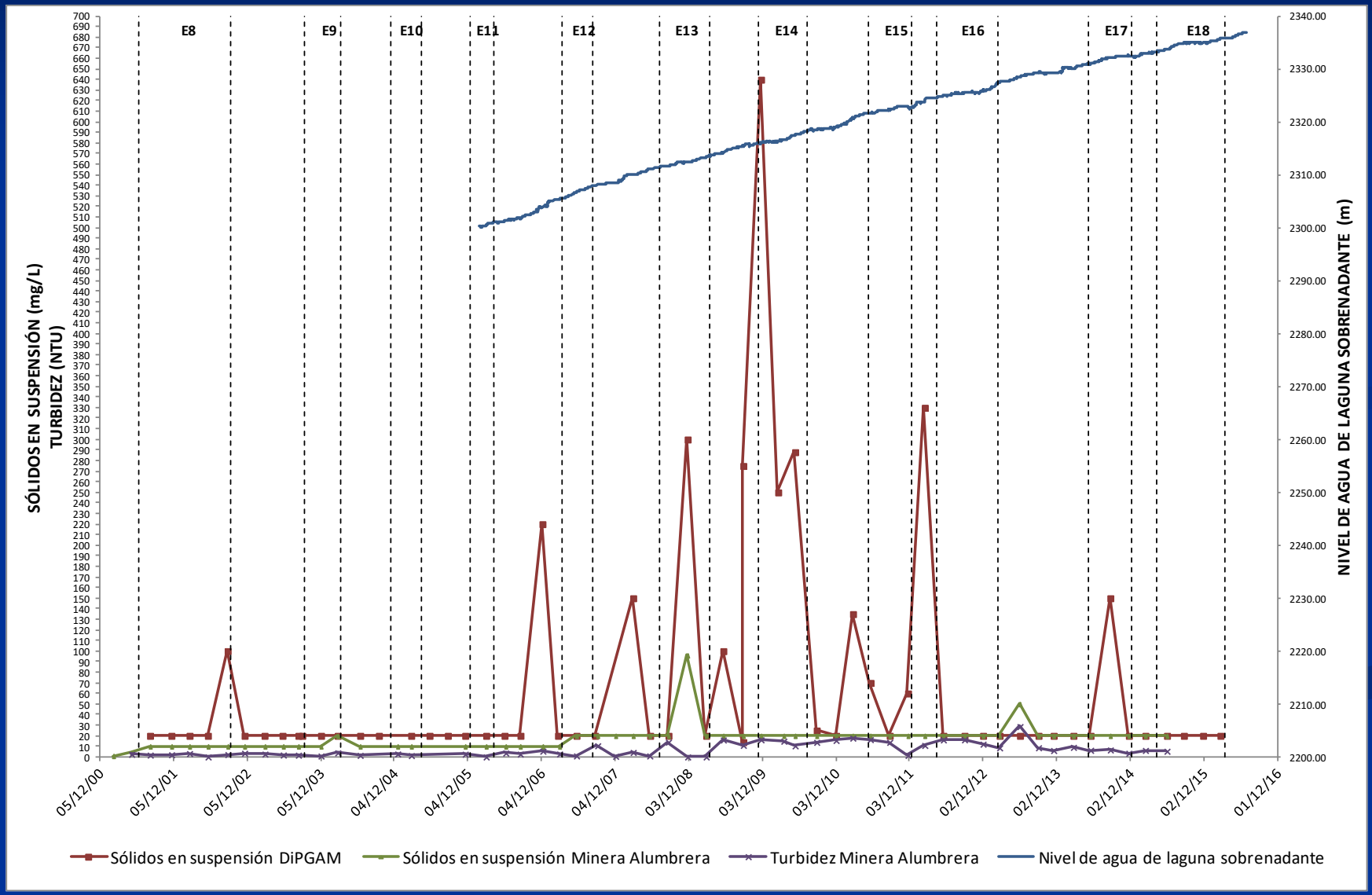
Tendencia en cuanto al funcionamiento de los piezómetros eléctricos es, lógicamente, ir quedando paulatinamente desafectados en el tiempo como ha ocurrido en muchas presas auscultadas con este tipo de piezómetros.

Resulta conveniente tener más datos medidos en forma directa en distintos puntos representativos de la presa y su fundación, de manera tal de poder compararlos con los del modelo. Para ello, se recomienda la instalación de freatímetros en los relaves, presa y fundación, de manera de permitir un mejor conocimiento del comportamiento real de la presa de acuerdo con lo requerido en el informe presentado por IATASA en 2014.

Restan colocar 5 freatímetros. Los que están ubicados aguas abajo de la presa, tener en cuenta su protección ya que falta aún la construcción de la cobertura y que se ha recomendado que el talud final (conforme a obra) sea de 1V:2H.

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS REALIZADOS POR LA DIPGAM Y MA PARA MONITOREO DE ARRASTRE DE SÓLIDOS



ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS REALIZADOS POR LA DIPGAM Y MA PARA MONITOREO DE ARRASTRE DE SÓLIDOS

La toma de muestras en el punto DCP/DCP-2 y la ejecución del ensayo de sólidos en suspensión y turbidez son una manera adecuada de apreciar el arrastre de sólidos en los drenes de la presa.
Si bien se aprecian algunas diferencias entre las mediciones efectuadas, no se observan inconvenientes en el comportamiento de la presa.

VERTEDERO DREN DE MURO

VERTEDERO DREN DE FUNDACIÓN

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS REALIZADOS POR LA DIPGAM Y MA PARA MONITOREO DE ARRASTRE DE SÓLIDOS

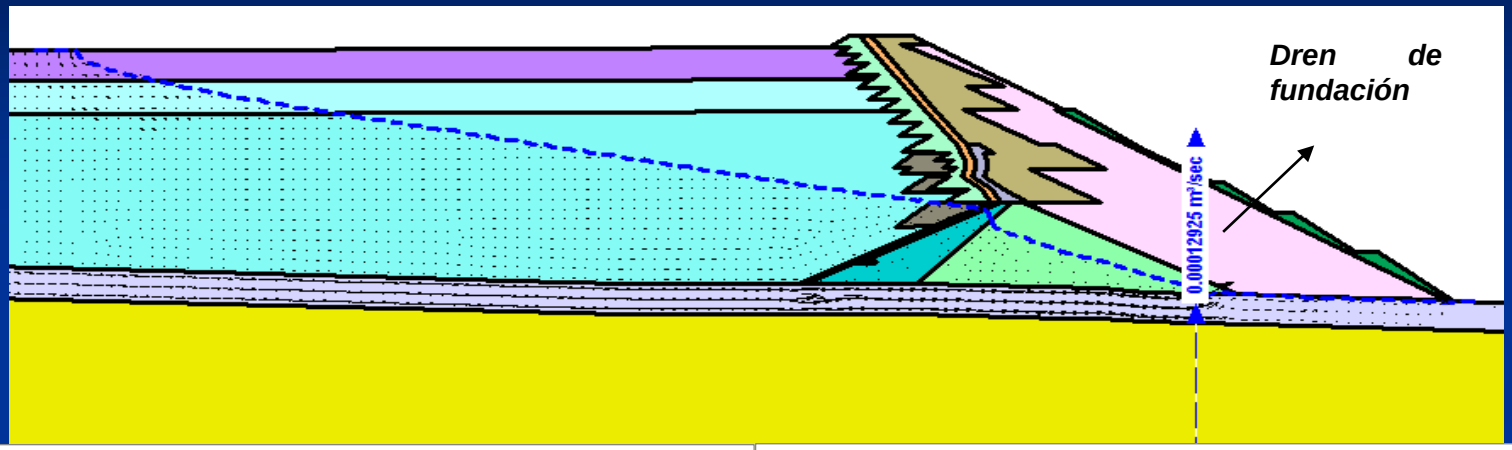
Para evaluar el monitoreo del arrastre de sólidos, se han procesado los valores de sólidos en suspensión y turbidez tomados de muestras de aguas superficiales en el punto denominado Pileta Colectora de Drenajes DCP/DCP-2.

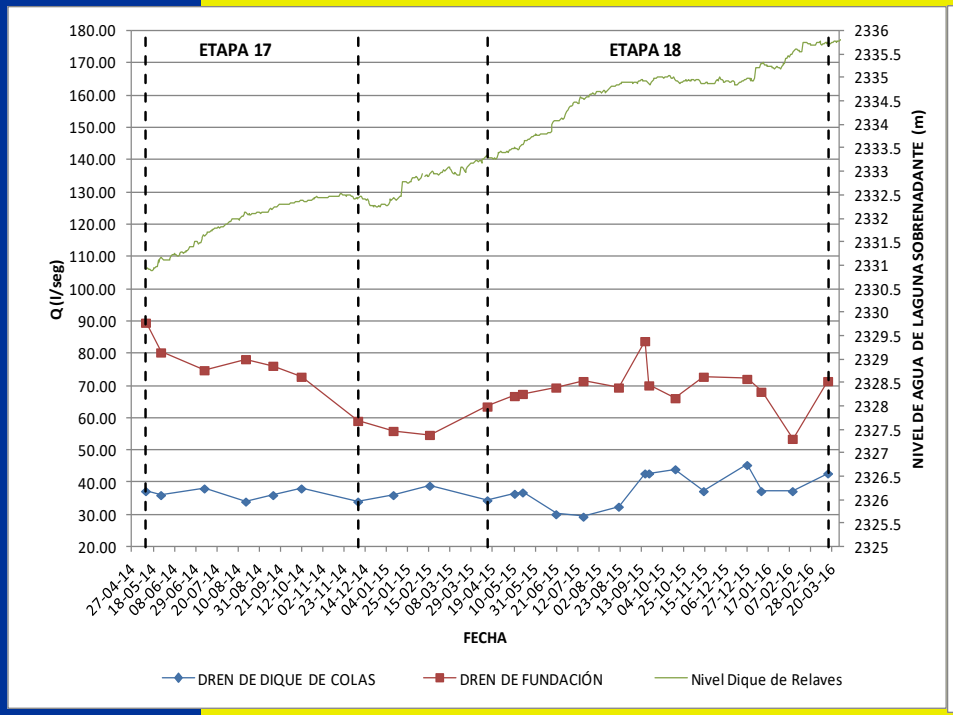
Se cuenta con datos de sólidos en suspensión y turbidez tomados por Minera Alumbrera, trimestralmente.

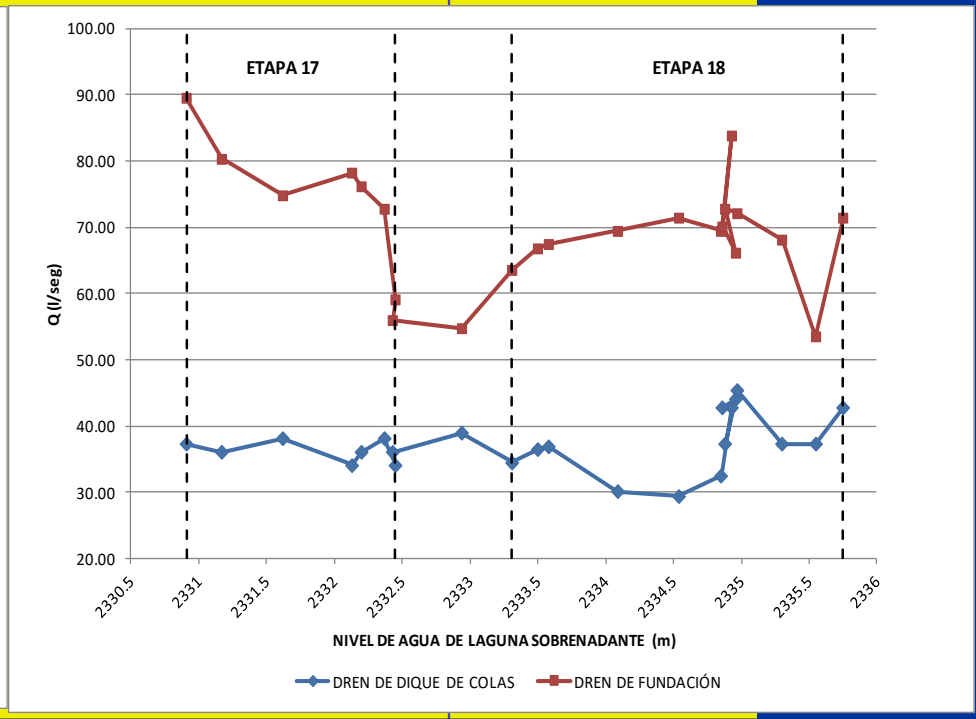
Además se cuenta con datos de sólidos en suspensión tomados por DiPGAM, trimestralmente.

ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

ANÁLISIS DE LOS CAUDALES DE LOS VERTEDEROS DEL PIE DEL DIQUE Y DEL SISTEMA DE DRENAJE







ESTUDIO DE FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

ANÁLISIS DE LOS CAUDALES DE LOS VERTEDEROS DEL PIE DEL DIQUE Y DEL SISTEMA DE DRENAJE

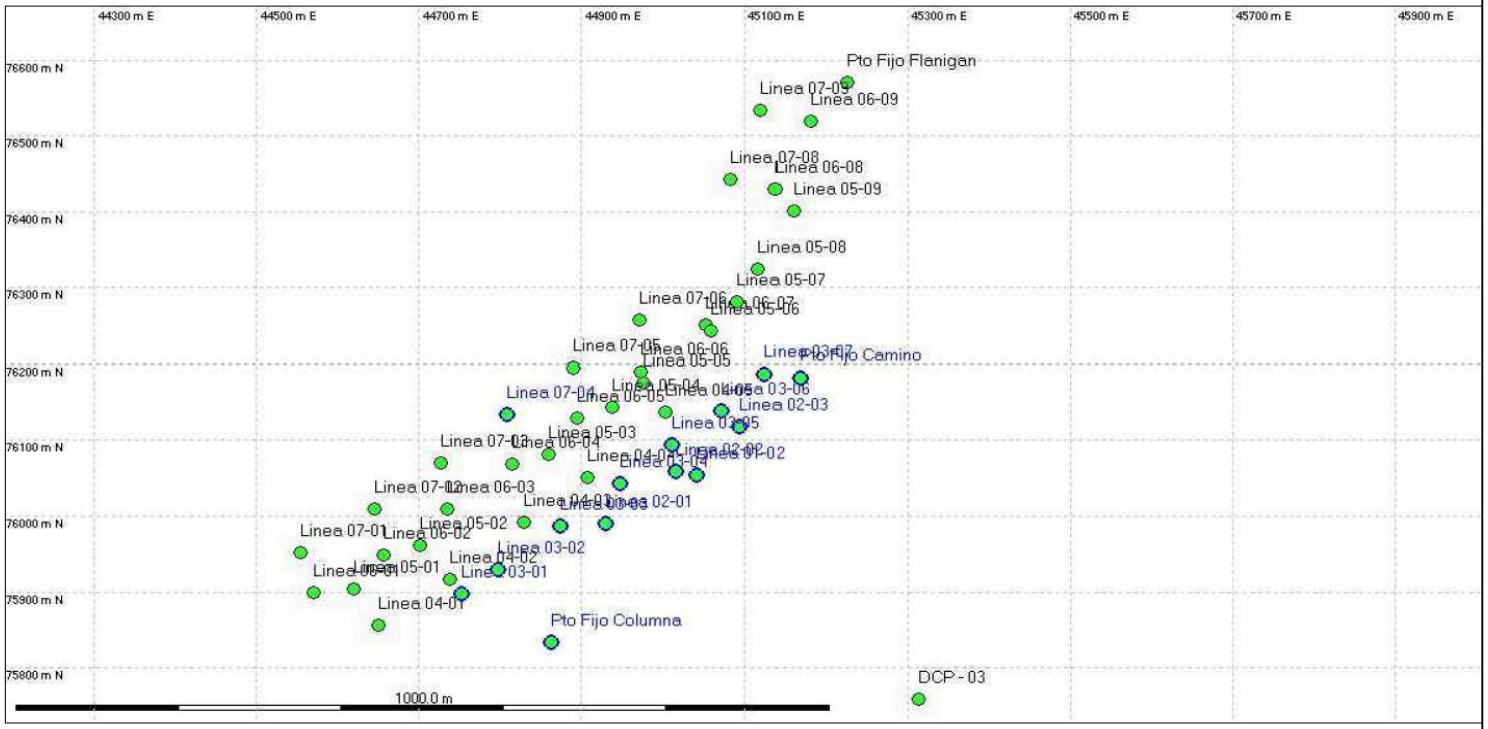
***Caudales medidos** del dren del Dique de Colas y Dren de fundación **se mantienen relativamente constantes** (no se observa dependencia entre las variables medidas), con caudales promedios de 38 y 69 l/s respectivamente (Etapa 18).*

Valores similares registrados en etapa 17: 36 l/s para el dren de Dique de Colas y
76 l/s para el Dren de fundación

Caudal específico dren fundación modelo Etapa 18: 0,126 l/s/m,
Longitud de presa con desarrollo de filtros de fundación: 550m

Q modelado 70 l/s = Q prom. aforado dren fundación Etapa 18

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA



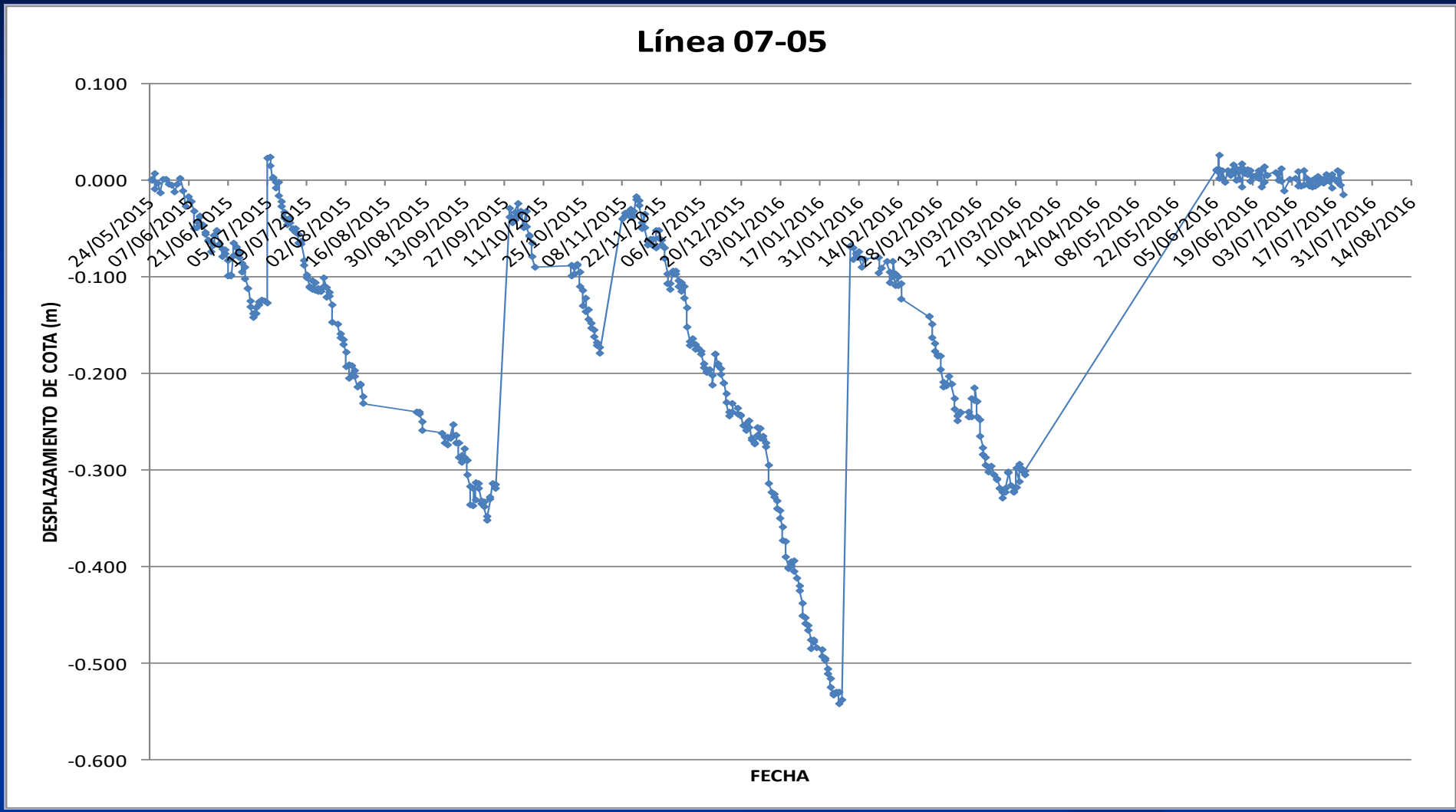
CASETA N°3
PERIODO 2016
CORDENADAS INICIALES DE LOS PRISMAS COLOCADOS EN EL MURO

Nombre	Este	Norte	Elevación	Tipo
DCP - 03	45314.769	75756.138	2271.733	null
Linea 01-01	44992.067	76014.432	2220.000	null
Linea 01-02	45041.824	76052.487	2220.793	null
Linea 02-01	44930.505	75988.136	2230.846	null
Linea 02-02	45017.149	76056.390	2230.256	null
Linea 02-03	45094.716	76116.310	2230.699	null
Linea 03-01	44753.175	75894.997	2250.527	null
Linea 03-02	44797.206	75927.001	2250.691	null
Linea 03-03	44874.632	75984.179	2250.644	null
Linea 03-04	44947.751	76041.161	2250.698	null
Linea 03-05	45011.560	76091.074	2250.873	null
Linea 03-06	45072.508	76137.070	2250.742	null
Linea 03-07	45126.331	76183.788	2251.464	null
Linea 03-08	45168.971	76247.069	2250.537	null
Linea 04-01	44650.512	75853.527	2266.203	null
Linea 04-02	44738.222	75914.824	2267.445	null
Linea 04-03	44829.925	75989.648	2266.499	null
Linea 04-04	44907.824	76048.035	2266.805	null
Linea 04-05	45003.623	76134.552	2270.468	null
Linea 04-06	45067.100	76183.565	2270.268	null
Linea 04-07	45128.174	76248.080	2270.392	null
Linea 04-08	45155.702	76283.758	2267.872	null
Linea 05-01	44620.103	75901.243	2301.331	null
Linea 05-02	44702.097	75958.363	2301.673	null
Linea 05-02-A	44782.813	76021.769	2301.965	null
Linea 05-03	44860.597	76079.647	2301.373	null
Linea 05-04	44938.788	76141.613	2301.406	null
Linea 05-05	44977.204	76173.138	2301.466	null
Linea 05-06	45060.202	76240.000	2302.103	null
Linea 05-07	45092.113	76278.259	2301.639	null
Linea 05-08	45117.733	76321.441	2302.314	null
Linea 05-09	45160.587	76398.461	2302.760	null
Linea 05-10	45214.947	76490.722	2302.511	null
Linea 06-01	44570.437	75896.662	2309.876	null
Linea 06-02	44656.446	75945.714	2309.697	null
Linea 06-03	44735.189	76006.942	2309.878	null
Linea 06-04	44815.032	76066.406	2310.287	null
Linea 06-05	44895.443	76126.415	2309.614	null
Linea 06-06	44974.438	76187.378	2309.592	null
Linea 06-07	45053.513	76248.279	2309.153	null
Linea 06-07-A	45102.283	76333.802	2309.813	null
Linea 06-08	45137.938	76427.762	2310.366	null
Linea 06-09	45181.439	76516.389	2310.459	null
Linea 07-01	44554.713	75948.975	2334.676	null
Linea 07-02	44646.388	76007.634	2334.649	null
Linea 07-03	44727.923	76068.663	2334.441	null
Linea 07-04	44809.053	76131.829	2334.483	null
Linea 07-05	44890.884	76193.170	2334.142	null
Linea 07-06	44972.732	76254.805	2334.232	null
Linea 07-07	45045.445	76340.787	2334.789	null
Linea 07-08	45083.841	76440.798	2335.100	null
Linea 07-09	45120.635	76531.322	2334.543	null
Linea 07-10	45150.191	76574.800	2335.486	null
Pto Fijo Camino	45168.602	76179.740	2235.948	null
Pto Fijo Columna	44863.662	75831.093	2236.271	null
Pto Fijo Flanigan	45226.902	76567.929	2343.723	null

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

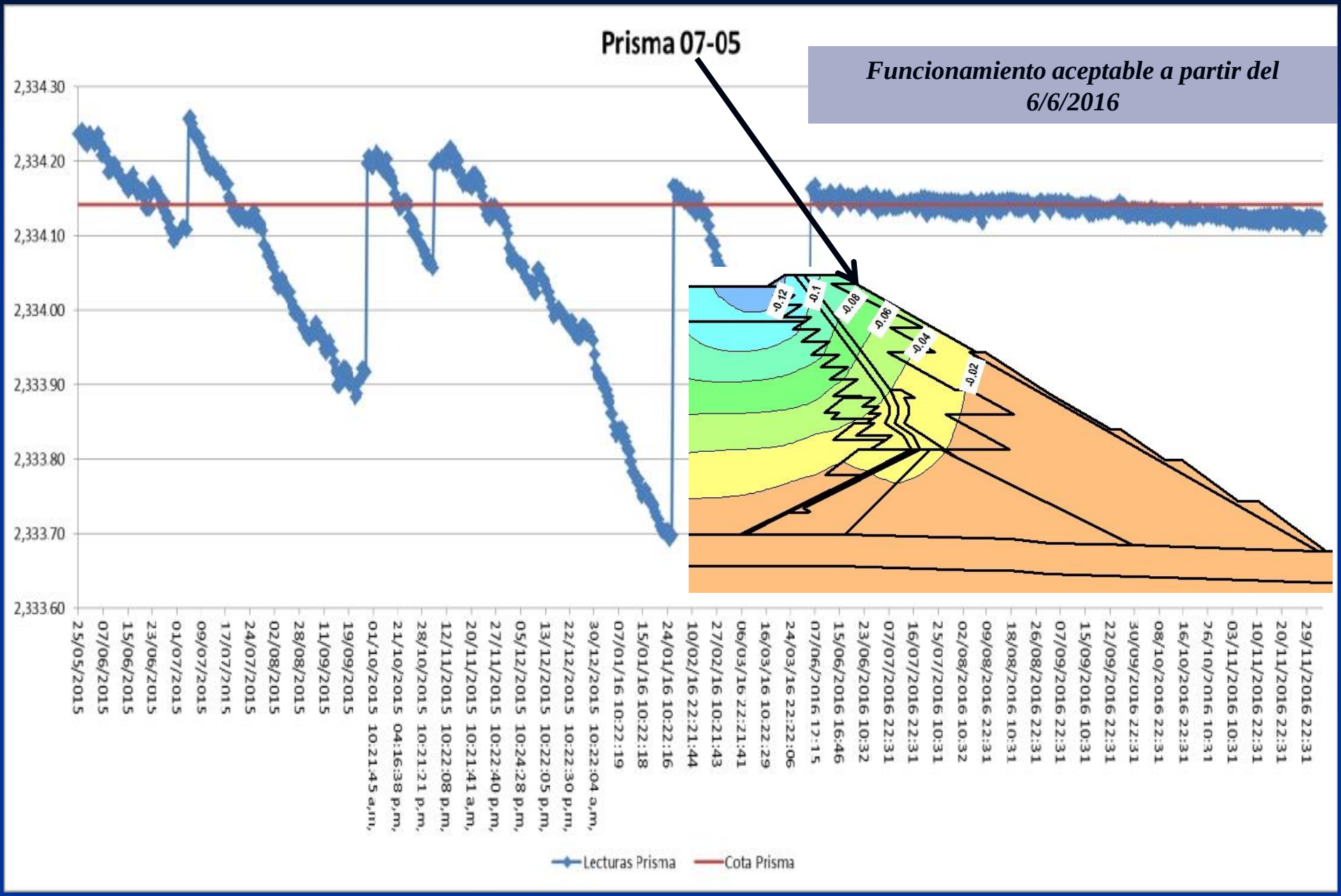
PUNTO FIJO: 07-05

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA



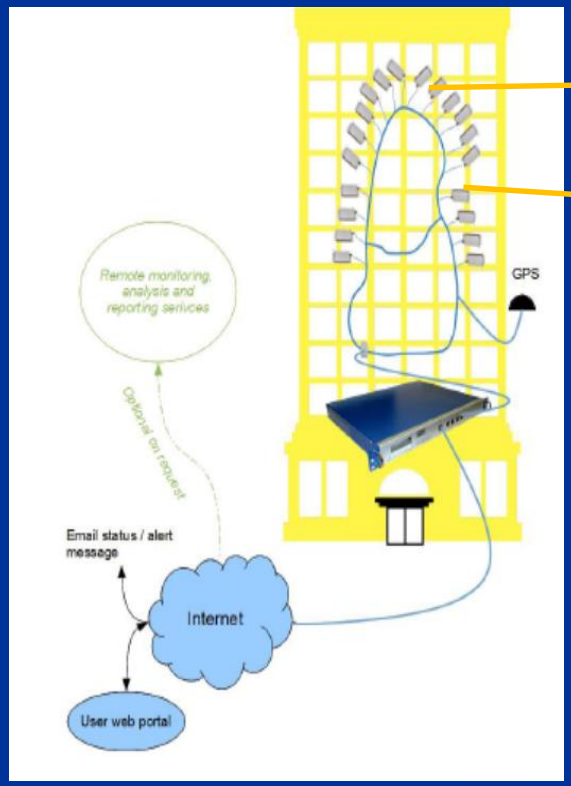
La cota inicial de los prismas topográficos desciende significativamente y en determinadas fechas se presentan saltos ascendentes (4/7/2015, 24/9/2015, 31/10/2015 y 24/01/2016).
A partir del 06/06/16, se aprecia un cambio en las magnitudes de las mediciones.

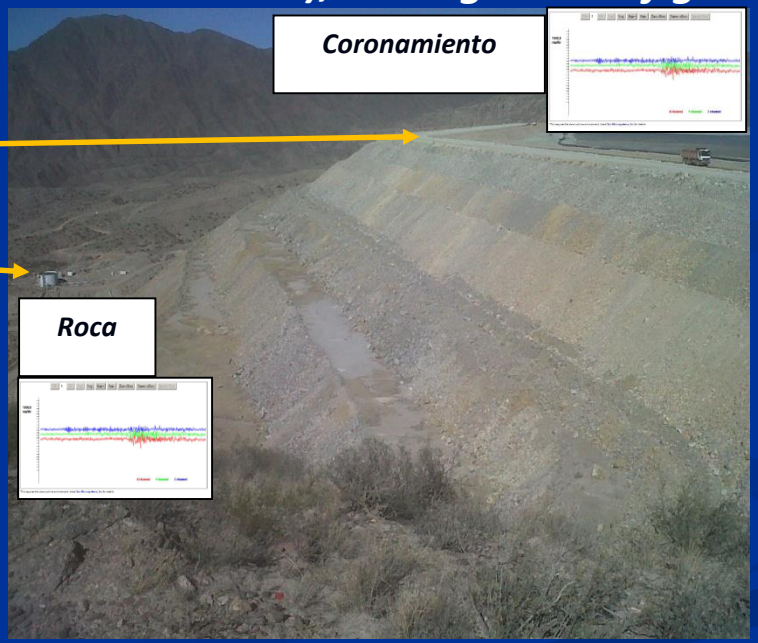
FUNCIONAMIENTO ACEPTABLE ENTRE PUNTOS FIJOS Y MODELO ETAPA 17 (7 MESES) - CORONAMIENTO 2339 (5CM APROX. EN 6 MESES)



ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

***Recomendación: colocar dos acelerógrafos** con sensores remotos uno en el pie de presa (apoyado en roca) y otro en el coronamiento de la presa (en la sección de mayor altura), también se debería contar con una central que registre los datos medidos con todos los accesorios necesarios para poder acoplarlos a un **Sistema de Auscultación Automático** (con acceso a un sitio Web para poder evaluar los datos medidos en línea desde Catamarca y establecer la alertas), ver siguientes figuras como ejemplo:*





Monitoreo de presa de relaves
Iatasa - Recomendaciones:

1) *Realizar relevamiento topográficos de verificación del estado actual*

2) *Instalar puntos fijos distribuidos a lo largo de todo el coronamiento y el talud aguas abajo de la presa*

3) *Monitorear el asentamiento de las colas*

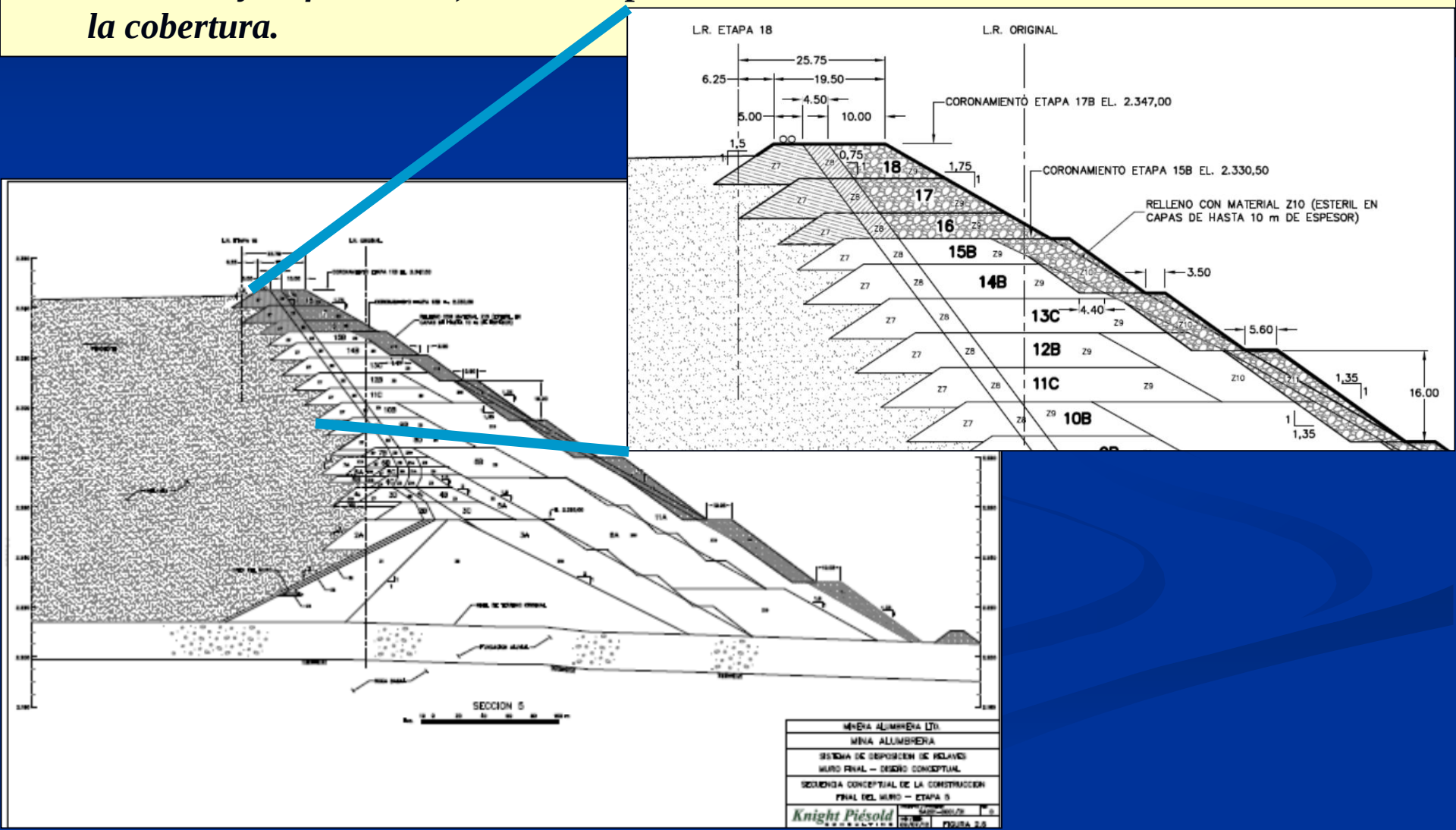
4) *Instalar 9 piezómetros Casagrande*

5) *Incluir Plan de acción durante emergencias (PADE)*

6) *Incluir sistema automático de auscultación*

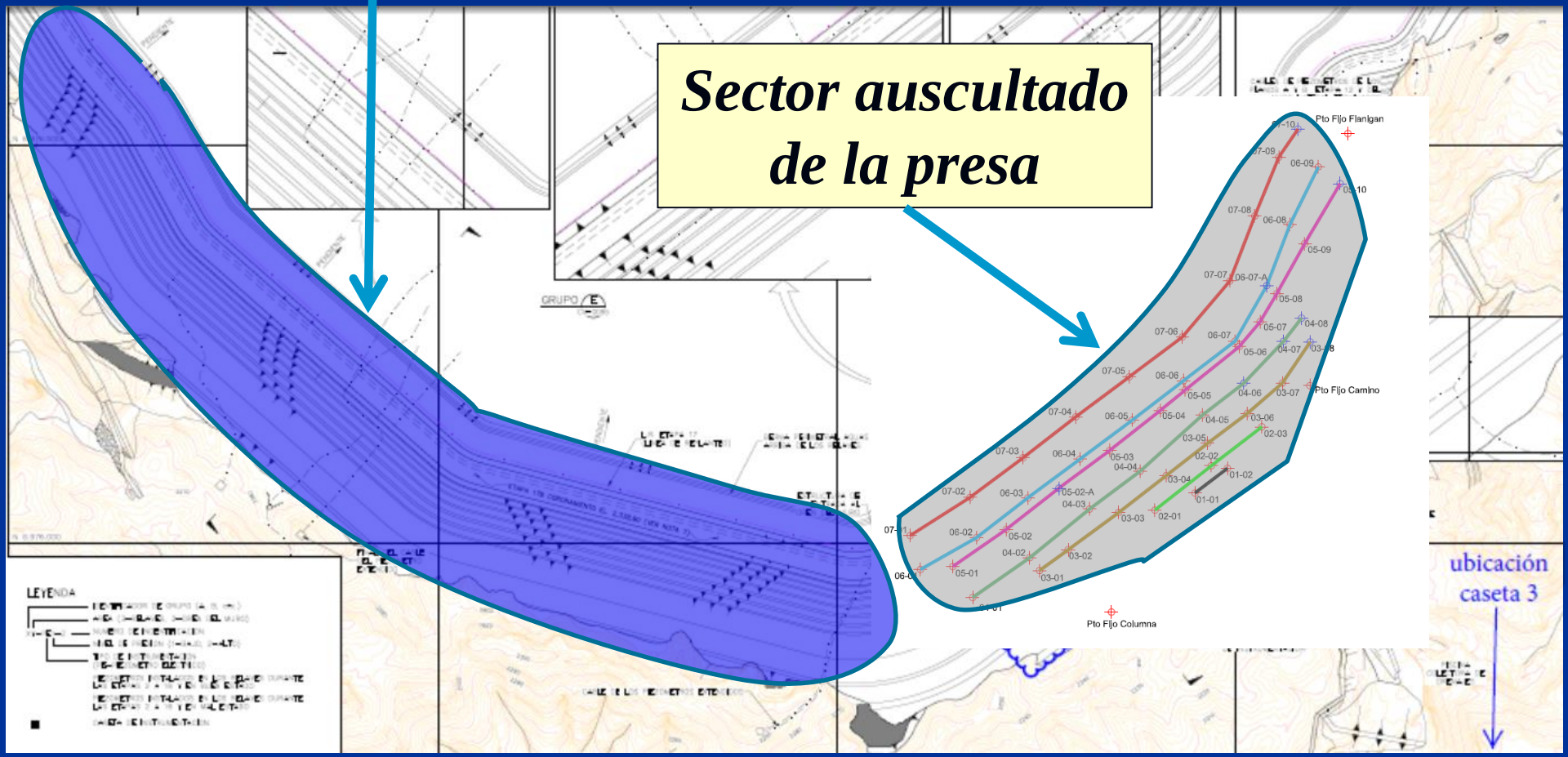
Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

1) ***Realizar relevamiento de verificación (situación actual) y elaboración de planos de toda la presa (planialtimetría y perfiles transversales), incluyendo relaves, coronamiento y espaldón de aguas abajo y la zona de pie de presa (con zonificación interior de materiales utilizados y la fundación). En la etapa 19 actualmente, en construcción, se deberá indicar la cobertura.***



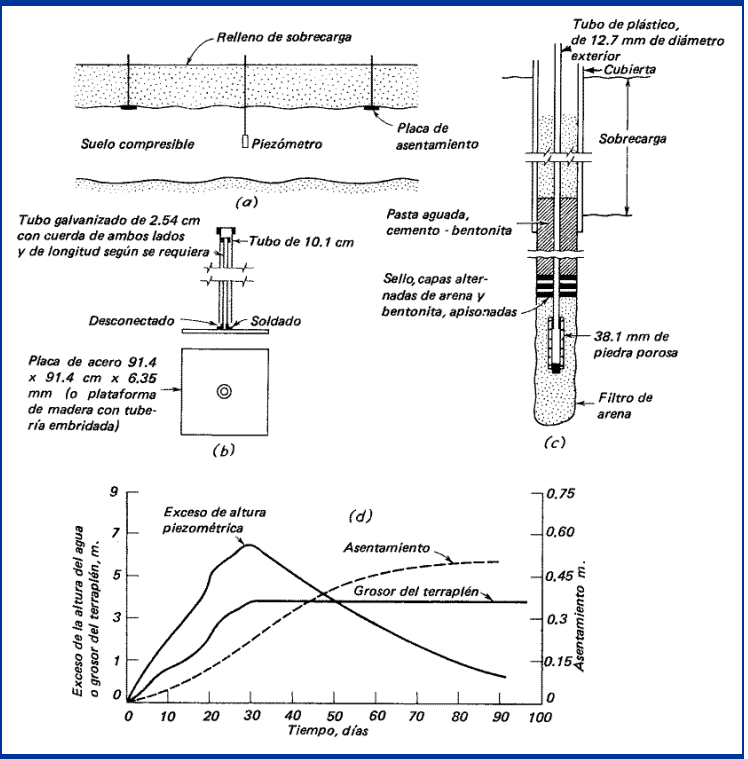
Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

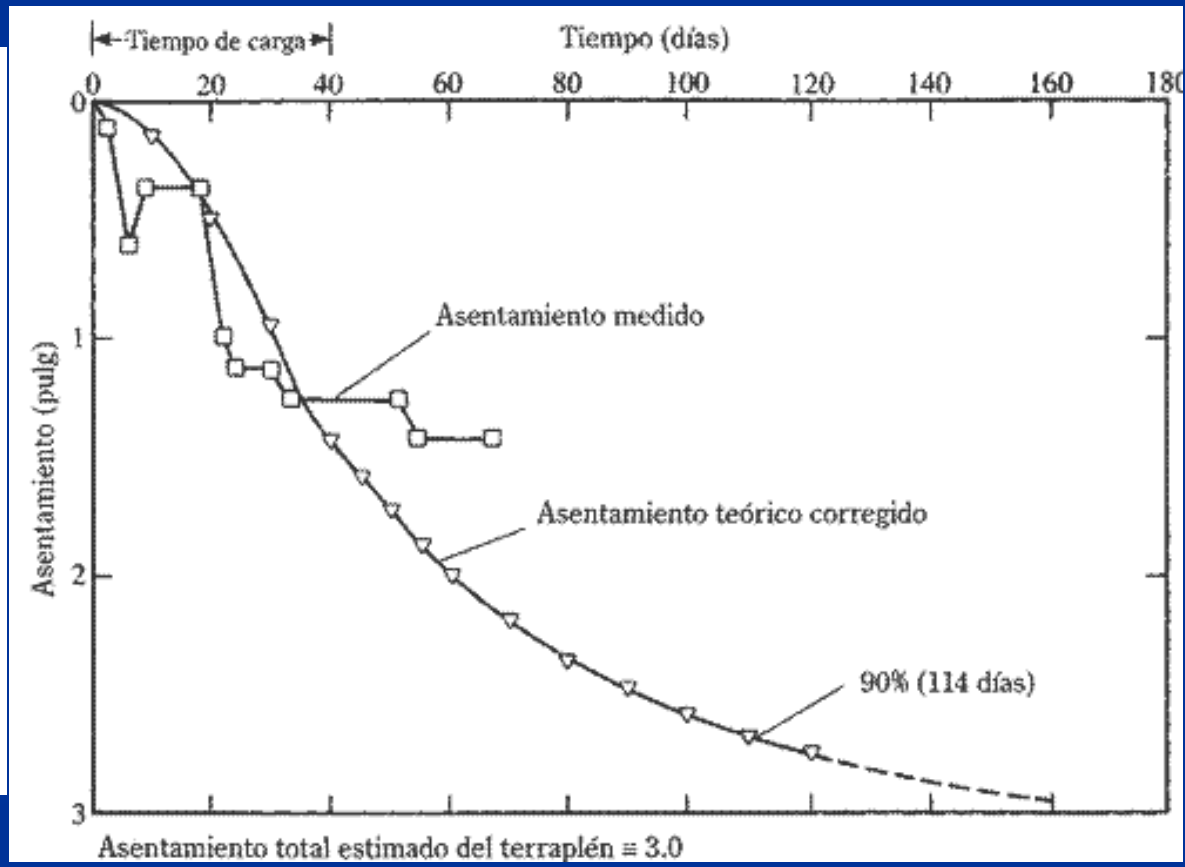
2) Instalar puntos fijos distribuidos a lo largo de todo el coronamiento y el talud aguas abajo de la presa (no solamente en el sector de mayor altura de presa).



Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

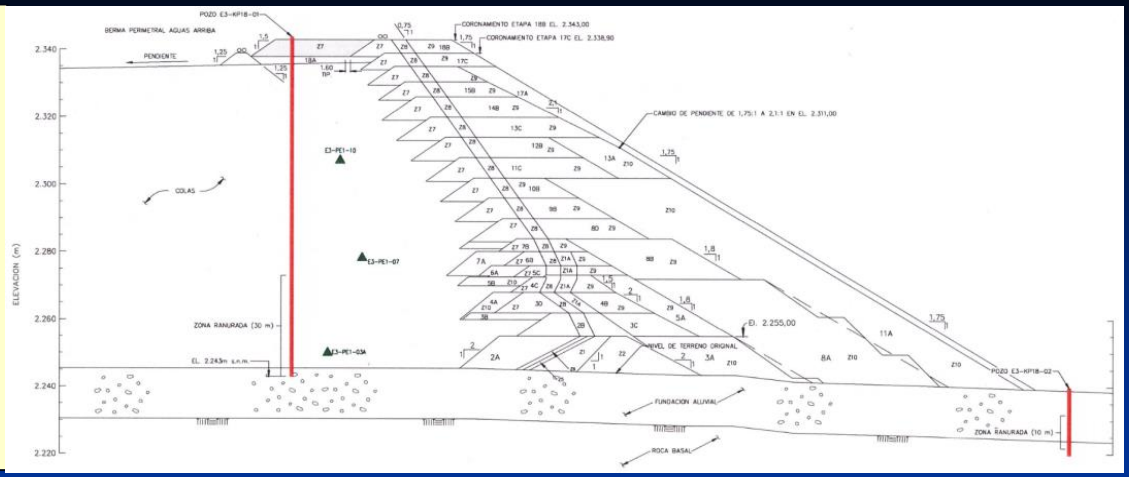
3) ***Monitorear el asentamiento de las colas, mediciones periódicas para verificar asentamiento teórico, comprobar comportamiento asintótico de la curva de consolidación. Se deberá garantizar un correcto funcionamiento del sistema de desagüe y de cobertura.***

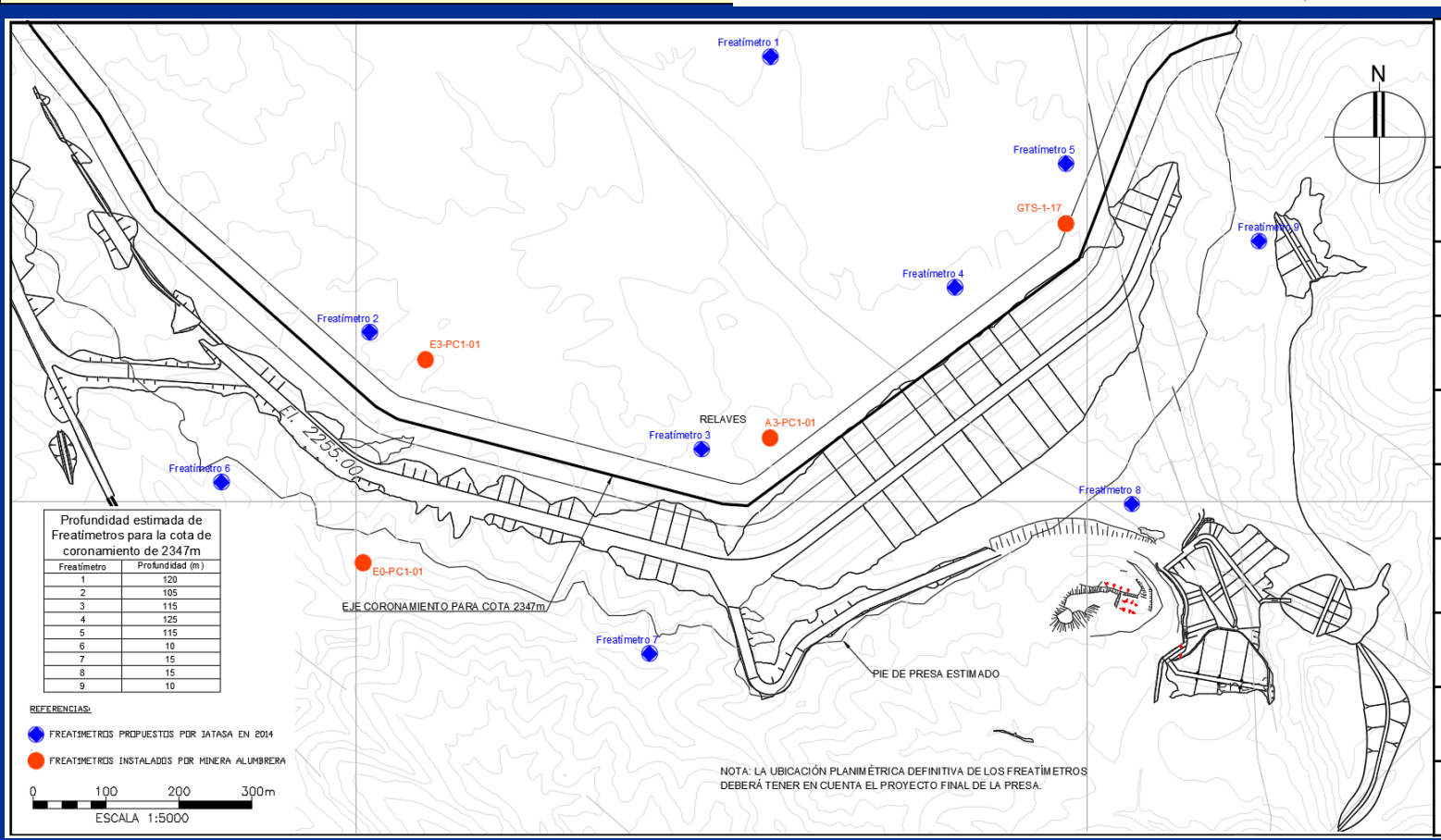




Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

4) Instalar 9 piezómetros Casagrande (4, ya en ejecución. 3 deberán profundizarse).





Freatímetros	Profundidad [m]
1	120
2	105
3	115
4	125
5	115
6	10
7	15
8	15
9	10

Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

5) ***Incluir en el Plan de Cierre de la Mina, un plan de acción durante emergencias (PADE), con los procedimientos y acciones que el operador de una presa debe seguir en caso de una emergencia, estableciendo posibles acciones a seguir. La información permitirá a las dependencias gubernamentales y de servicios planificar y coordinar esfuerzos.***

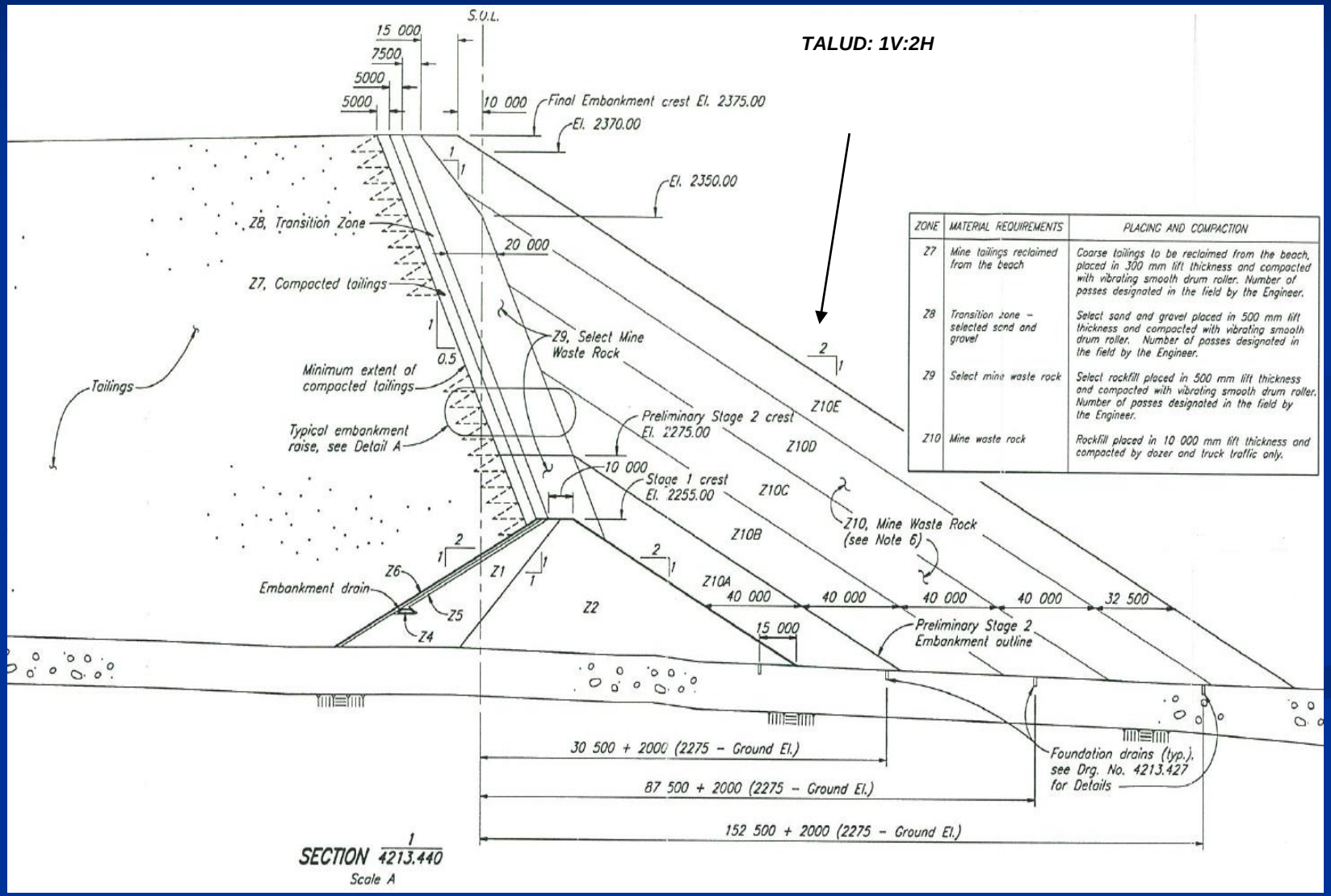
6) ***Implementar un Sistema de Auscultación Automático en la presa incorporando las variables medidas:***

- ***Piezómetros eléctricos y de medición directa***
- ***Caudales en vertederos***
- ***Monolitos topográficos***
- ***Acelerógrafos***
- ***Placas asentimétricas en las colas***
- ***Otro instrumental necesario desde el punto de vista químico podría ser integrado de manera tal que forme parte del monitoreo periódico***

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES

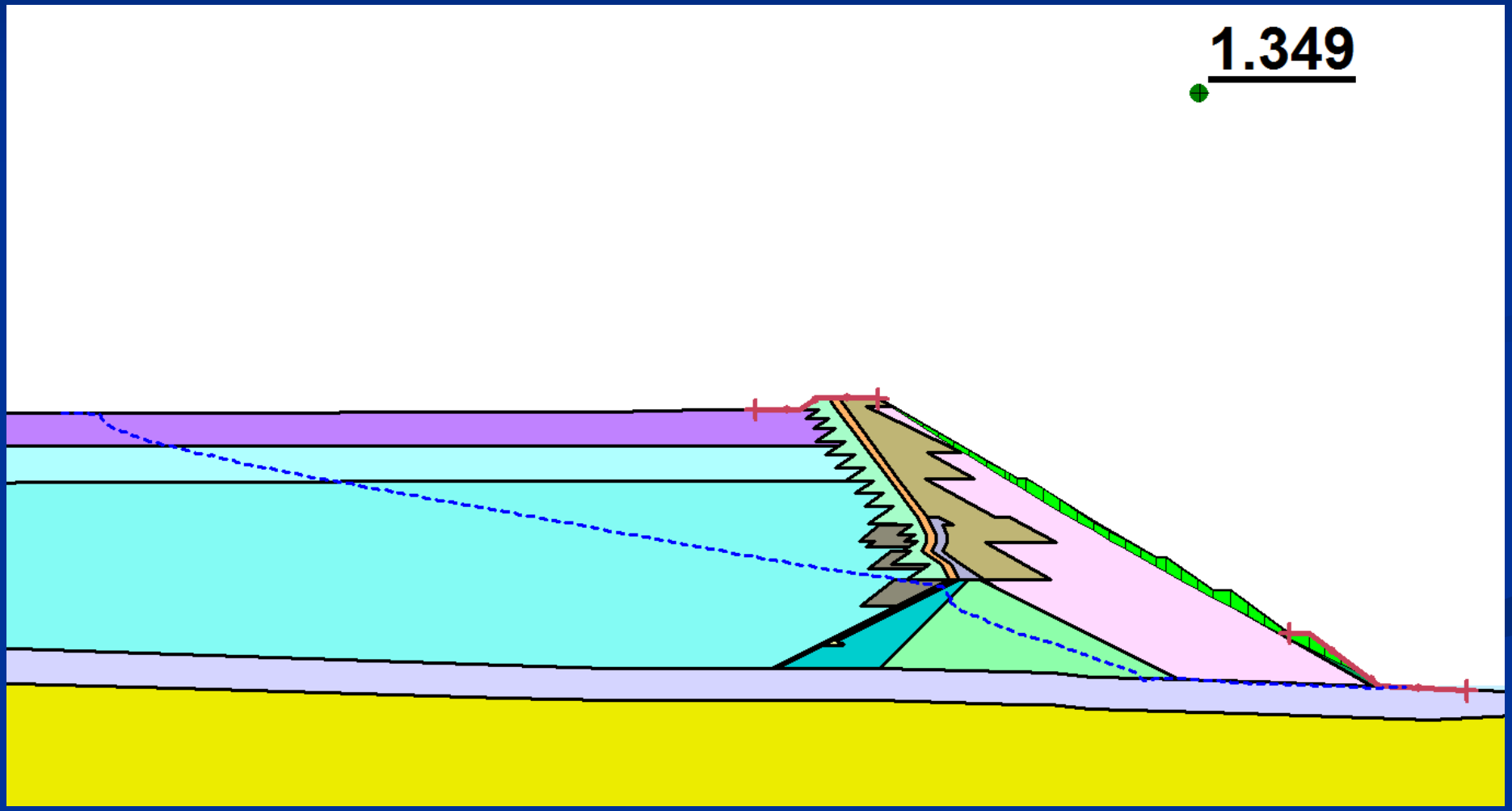
Sección transversal proyectada en 1996



ZONE	MATERIAL REQUIREMENTS	PLACING AND COMPACTION
Z7	Mine tailings reclaimed from the beach	Coarse tailings to be reclaimed from the beach, placed in 300 mm lift thickness and compacted with vibrating smooth drum roller. Number of passes designated in the field by the Engineer.
Z8	Transition zone – selected sand and gravel	Select sand and gravel placed in 500 mm lift thickness and compacted with vibrating smooth drum roller. Number of passes designated in the field by the Engineer.
Z9	Select mine waste rock	Select rockfill placed in 500 mm lift thickness and compacted with vibrating smooth drum roller. Number of passes designated in the field by the Engineer.
Z10	Mine waste rock	Rockfill placed in 10 000 mm lift thickness and compacted by dozer and truck traffic only.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

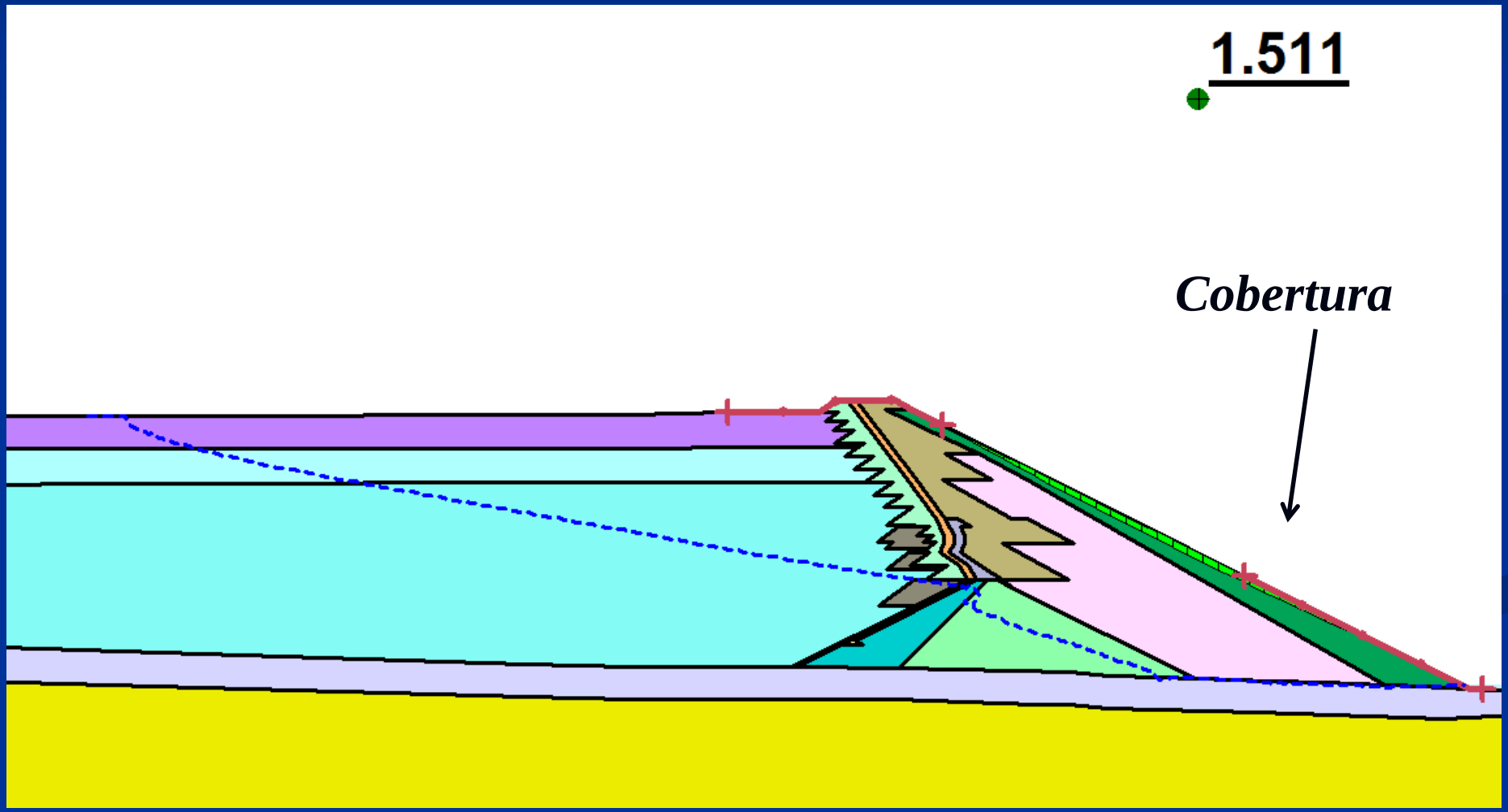
ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES. TALUD 1:1.75



ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES

Talud 1:2 con un Fs >1.5 y con la cobertura sobre el espaldón aguas abajo (la propuesta de IATASA asegura estabilidad física-química).



ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE
PRESA DE RELAVES

RECOMENDACIONES

***Relevamiento durante la construcción de toda la presa de relaves**, se deberán presentar los planos correspondientes "conforme a obra".*

*Adoptar un **talud aguas abajo de la presa de relaves de 1(v):2(h)** (igual pendiente a la adoptada al inicio del proyecto), que podría lograrse compatibilizando la metodología constructiva a adoptar en futuras etapas hasta el cierre con ejecución de **cobertura de protección asegurando la estabilidad química**.*

***Instalación de 9 freatímetros o piezómetros en los relaves (4 en ejecución)**, presa y fundación, de manera de permitir un mejor conocimiento del comportamiento real de la presa, de acuerdo con lo requerido en el informe presentado por IATASA en 2014. También permitirían tomar muestras para análisis químicos de agua.*

*Incluir Plan de acción durante emergencias (**PADE**)*

*Implementar un **Sistema de Auscultación Automático** en la presa incorporando todas las variables medidas y sus alertas correspondientes*

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

RECOMENDACIONES

Los tiempos necesarios de Proyecto y su revisión, continuando con el proceso de licitación, adjudicación y finalmente el de construcción y auditoría de las obras serán significativos, por lo que se recomienda que se compatibilicen estos tiempos con la fecha de cierre de mina.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

RECOMENDACIONES

Alcanzar nivel de Proyecto Ejecutivo de las obras necesarias (por ejemplo: diseño final de la presa de relaves, atenuación de crecidas, canales perimetrales e internos de la superficie final de las colas y vertedero de emergencia – incluyendo aducción, disipador y canal evacuador) para el cierre de mina.

Documentación: memoria descriptiva, memoria de cálculo, planos, cómputos, precios unitarios, presupuesto y especificaciones técnicas generales y particulares de cada ítem de las obras de cierre.

Anexo 5

Anexo fotográfico Visita a Mina Julio 2018

-Sistema de retrobombeo y monitoreo de la pluma de agua de procesos del dique de colas.

Foto 1: Pileta de contención, recibe agua de diversos pozos y se encuentra impermeabilizada.

Foto 2: Espaldón del dique de colas en el que se pueden observar deslizamientos del material detrítico. Al fondo, en contacto con la represa se encuentra el pozo de retrobombeo PB-12 (zona de agua de proceso).

Foto 3: Vista del espaldón del dique de colas desde el SE. Hacia adelante se distingue el pozo de retrobombeo PB-37 y luego a mayor distancia los pozos PB-34-2 y PB-34-1 (zona de agua de proceso).

Foto 4: Pozo de retrobombeo PB-31 (zona de agua de proceso).

Foto 5: Pozo de retrobombeo PB-5 y su caudalímetro que marca un caudal instantáneo de 38,21 m^3/h (zona de agua de proceso).

Foto 6: Pozo de retrobombeo PB-6 (zona de agua de proceso).

Foto 7: Laguna DCP-2 a la cual llegan los diferentes aportes de agua bombeados por los pozos de retrobombeo (zona de agua de proceso).

Foto 8: Vertiente T6 proveniente del dique de colas (zona de agua de proceso).

Foto 9: Pozo de retrobombeo PB-27 y su caudalímetro el cual indica un caudal instantáneo de 52,28 m^3/h (zona de agua de proceso).

Foto 10: Pozo de retrobombeo PB-16 (zona de agua de proceso)

Foto 11: Pozo de retrobombeo PB-28 (zona de mezcla) y caudalímetro indicando un caudal instantáneo de 4 l/s.

Foto 12: Pozo de emergencia cercano a PB-28 que se pone en marcha en caso de derrame.

Foto 13: Pozo de monitoreo MW-17 (zona de mezcla)

Foto 14: Pozo de retrobombeo PB-36 (zona de mezcla).

Foto 15: Vertiente SP6 de una subcuenca que descarga a la zona de mezcla de la cuenca del río VisVis. El área de la vertiente es frecuenta por animales lo que puede alterar las características químicas naturales del agua.

Foto 16: Pozo de monitoreo MW-21 (aguas debajo de la zona de mezcla)

Foto 17: Pozo de retrobombeo PB-33 (aguas debajo de la zona de mezcla)

Foto 18: Pozos de monitoreo MW-35a (izquierda) y 35b (derecha) (aguas debajo de zona de mezcla)

Foto 19: Pozo de monitoreo MW-08 (aguas debajo de zona de mezcla)

Foto 20: Pozo de monitoreo MW-07 (aguas debajo de zona de mezcla)

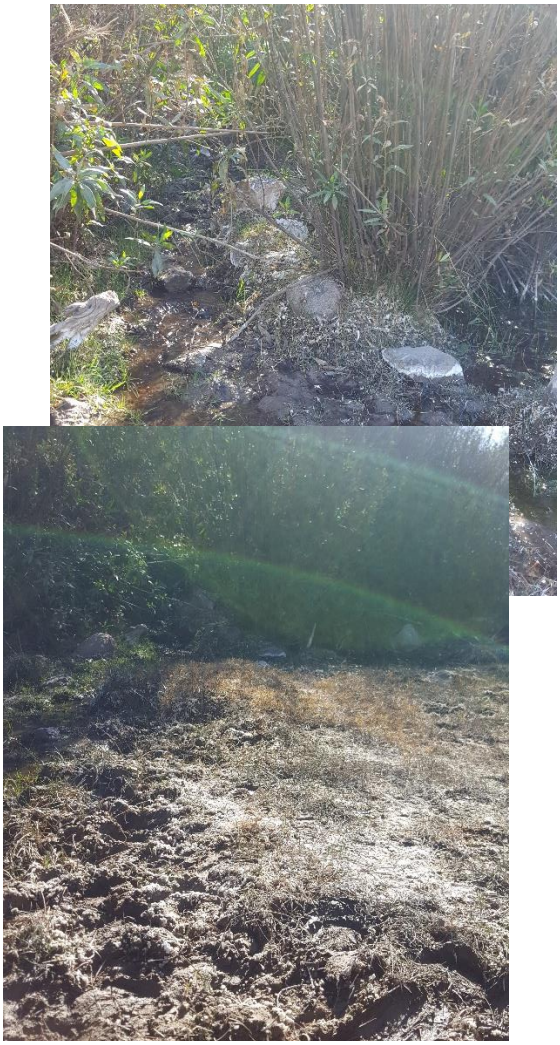


Foto 21: Vertiente de agua termal “Los Baños”, notar la importante presencia de sales junto con el curso de agua.

Foto 22: Punto de muestreo superficial DS1 sobre el cauce del río VisVis. (izq) vista aguas arriba, (der) vista aguas abajo. Notar la presencia de sales y óxidos de Fe hacia las márgenes del río.

-Aspecto y dimensión del dique de colas en la actualidad, revisión de pozos de monitoreo aledaños y featrímetros.

Foto 23: Dique de colas visto desde el NO, al fondo se puede observar el espaldón del mismo y material de las colas disecado.

Foto 24: Vista desde el espaldón del dique de colashacia el SSE. Se distingue la quebrada del río Vis-Vis delimitada hacia la izquierda de la foto por el bloque Atajo y la falla homónima y hacia la derecha por rocas de la sierra de Buenaventura.

Foto 25: Vista del dique de colas hacia el NNE en la que se observa en primer plano el punto de medición de la laguna sobrenadante TLW. A continuación del relave se distingue el abanico aluvial de Tampa Tampa y más distante la sierra de Durazno. Nótese el material particulado de las colas en suspensión sobre los detritos de Tampa Tampa producto de la acción del viento.

Foto 26: Pozos de monitoreo MW-32 (izq) y MW-33 (der) ubicados inmediatamente al O del dique de colas.

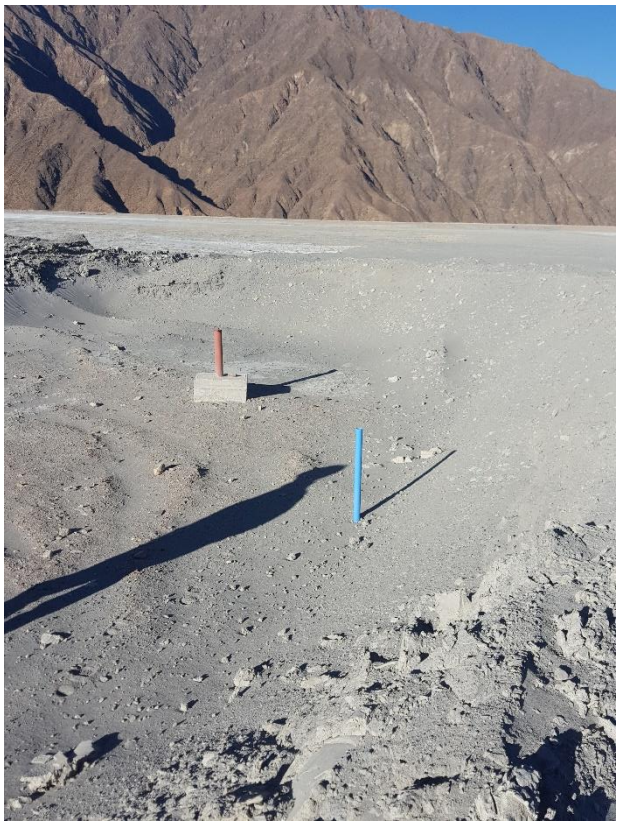


Foto 27: Freatímetro en el dique de colas E3-PC1-01.

Foto 28: Freatímetro en el dique de colas A3-PC1-01.

-Prueba de coberturas y revegetación en botadores y dique de colas.

Foto 29: Prueba de revegetación sobre relave con siembra directa. Bajo nivel de eficiencia, solo un 10 % de las semillas lograron crecer. Prueba año 2016.

Foto 30: Prueba de revegetación sobre relave con siembra directa. Bajo nivel de eficiencia, solo un 10 % de las semillas lograron crecer. Prueba año 2016.

Foto 31: Prueba de revegetación sobre relave con siembra directa. Bajo nivel de eficiencia, solo un 10 % de las semillas lograron crecer. Prueba año 2016.

Foto 32: Prueba de revegetación sobre relave mediante trasplante de plantines. Este método demostró ser mucho más eficiente. Año de inicio de prueba 2005.

Foto 33: Prueba de revegetación sobre relave mediante trasplante de plantines. Este método demostró ser mucho más eficiente. Año de inicio de prueba 2005.

Foto 34: Prueba de cobertura sobre material de relave (3 sectores) en el que se observa el crecimiento natural de plantas. El que se ubica en primer plano posee membrana entre el material de relave y cobertura además de un material granular sobre el relave. El sector intermedio posee membrana entre material de relave y cobertura sin material granular. El sector del fondo no posee membrana entre

relave y cobertura. En todos los casos no se aprecian diferencias significativas en la cantidad de plantas que se han crecido.

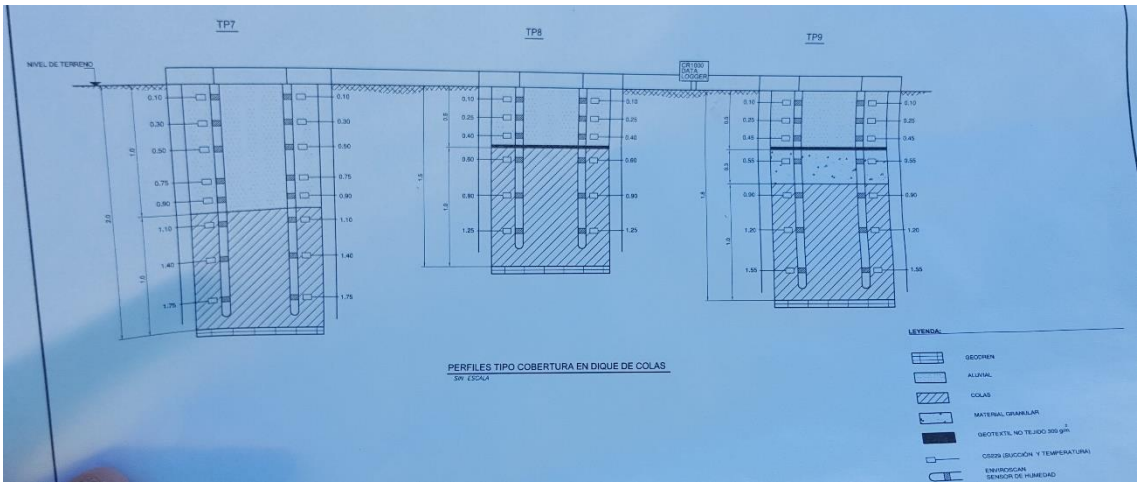


Foto 35: Perfiles de los sectores mencionados en la fotografía anterior

Foto 36: Prueba de revegetación sobre material de botadero mediante trasplante de plantines, año 2008. Se observa que hacia el frente el material que domina es del *barren core,* el cual presenta mucha cantidad de cuarzo y en el que el crecimiento de la flora ha sido pobre. Por lo contrario, hacia el fondo, domina material de alteraciónepidoto – clorita en donde las plantas han tenido una considerable mejor adaptación.

-Avance de la excavación de las vías de acceso a mina subterránea en el bajo de la Alumbrera.

y

2 de acceso a mina subterránea sobre el sector SO del *open pit*.

F

e

talle del ingreso a rampa del túnel 1.

Foto 39: Rampa de ingreso del túnel 2.

Foto 40: Medidas de contención en rampa del túnel 2.

Foto 41: Avance de excavación de rampa del túnel 1.

-*Open pit* de Bajo de la Alumbrera y Bajo El Durazno.

Foto 42: *Open pit* de Bajo de la Alumbrera. Se distinguen los importantes deslizamientos acontecidos en mayo de 2017. Hacia el sector inferior de la fotografía puede observarse una laguna cubriendo el fondo del rajo.

Foto 43: Fotografías del *open pit* de Bajo El Durazno. Notar la gran cantidad de material particulado en suspensión.

Foto 44: Fotografía del sector central del open pit de BED. Se distingue hacia el área central un tramo de nivel a explotar que cuenta con una densa malla de perforaciones.

Foto 45: Camión con carga de mineral circulando desde BED hasta la planta de tratamiento.

Foto 46: Pala utilizada en la explotación de BED.

-Pozos de bombeo en campo del arenal.

Foto 47: Vista parcial panorámica del dique de agua fresca.

Foto 48: Vista hacia el NO del campo del arenal.

Foto 49: Pozo de bombeo N°5 que presenta un caudal instantáneo de 397,44 m^3/h.

Foto 50: Pozo de bombeo N°1 que presenta un caudal instantáneo de 11,14 m^3/h.

Foto 51: Pozos de monitoreo CMW-10A Y CMW-10B cercanos al pozo de bombeo N°8.

Foto 52: Pozo de monitoreo CMW-5A, está seco. Al fondo pozo de bombeo N°7.

Foto 53: Pozo de bombeo N°6 que presenta un caudal instantáneo de 452,2 m^3/h.

Foto 54: Pozo de bombeo N°9.

Foto 55: Estación de bombeo Booster 1 que recibe el agua de todos los pozos de bombeo de campo del arenal.

Foto 56: El agua fresca sobrante es derramada en las inmediaciones y aprovechada por los animales de la zona.

Anexo 6

Anexo fotográfico Campaña de muestreo de aguas subterráneas y superficiales Agosto 2018

TLW

MW32 (izquierda) y MW33 (derecha)

BED

PB16

MW28

PB28

MW18 (izquierda) y MW40 (derecha)

MW17 (izquierda) y PB23 (derecha)

HON1 (izquierda) y MW 19 (derecha)

MW21 (izquierda) y MW25 (derecha)

Vertiente Los Baños (izquierda) y DS1 (derecha)

QLB

DS4 (izquierda) y DS5 (derecha)

DS6

DS7

DS8 (izquierda) y DS7E (derecha)

Medición de T°, conductividad, pH, oxígeno disuelto y Eh

Filtrado manual

Filtrado con bomba de vacío

Kit para acidificación con ácido nítrico

Titulación con fenolftaleina y ácido clorhídrico para determinación de carbonatos

Anexo 7

Anexo fotográfico Visita a Mina Agosto 2018

Foto 1. Freatímetro E3-PC1-01 ubicado sobre las colas del dique.

Foto 2. Freatímetro A3-PC1-01 ubicado sobre las colas del dique.

Foto 3. Freatímetro A2-PC1-05A ubicado sobre el muro del dique de colas.

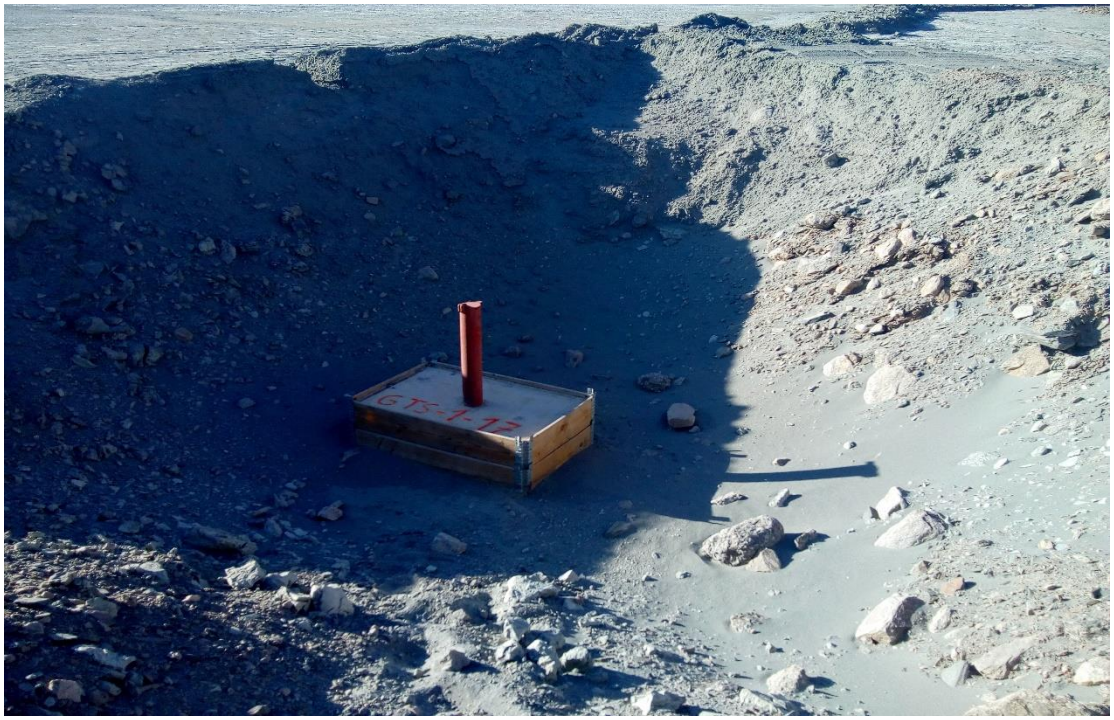


Foto 4. Freatímetro GTS-1-17 ubicado sobre las colas del Dique.

Foto 5. Freatímetro E0-PC1-01 ubicado aguas abajo del Dique de Colas.

Foto 6. Freatímetro A0-PC1-01 ubicado aguas abajo del Dique de Colas.

Foto 7. Freatímetro Z0-PC1-01 ubicado aguas abajo del Dique de Colas.

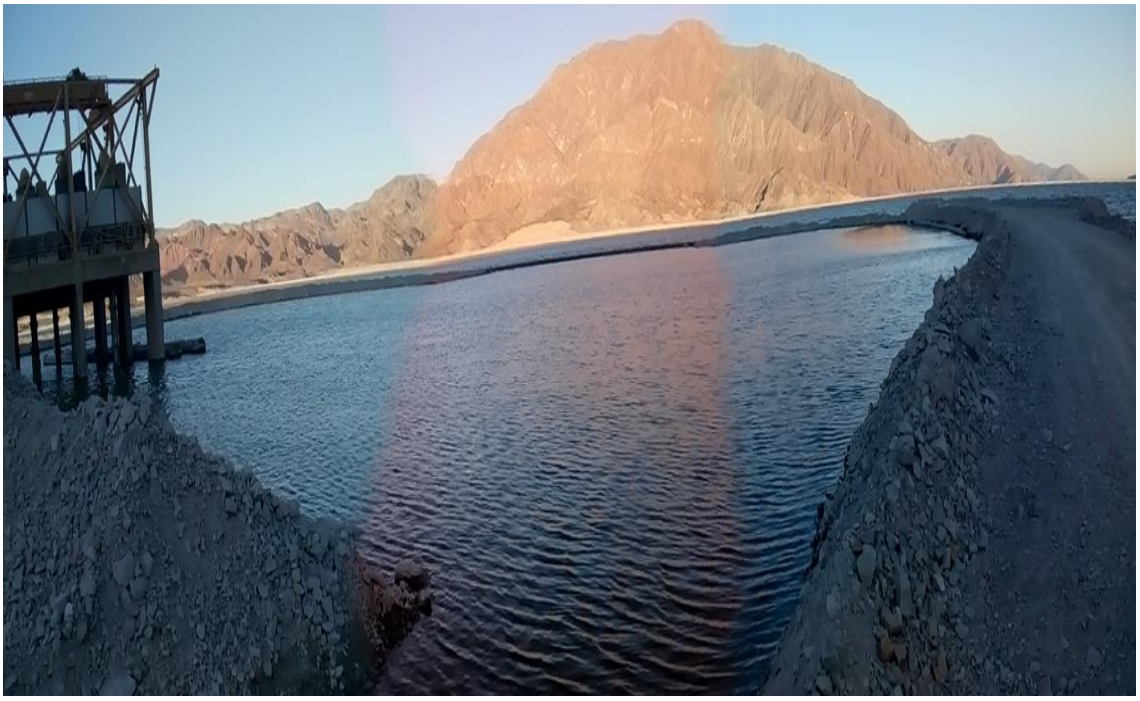


Foto 8. Laguna de agua clara.

Foto 9. Torre de bombeo.

Foto 10. Pozo de monitoreo PE01 ubicado aguas abajo del Dique de Colas.

Foto 11. Pozo de monitoreo PE02 ubicado aguas abajo del Dique de Colas.

Foto 12. Vertiente Los Baños ubicada aguas arriba de la estación DS1.

Foto 13. Pozo de monitoreo PE03 ubicado aguas abajo del Dique de Colas.

Foto 14. Pozo de monitoreo PE04 ubicado entre las estaciones DS4 y DS5, aguas abajo del dique de colas.

Foto 15. Punto de muestreo superficial DS4 ubicado sobre el rio Huaico (Afluente del rio Vis Vis).

Foto 16. Quebrada las Burras (QLB) ubicada entre las estaciones DS1 y DS4 (Afluente del rio Vis Vis).

Foto 17. Pozo de emergencia EW02 ubicado aguas abajo de la pileta de emergencia.

Foto 18. Pileta Vis Vis.

Foto 19. Prueba piloto de siembra directa, especies nativas sobre material aluvial de Tampa Tampa.

Foto 20. Material aluvial Tampa Tampa.

Foto 21. Molino SAG.

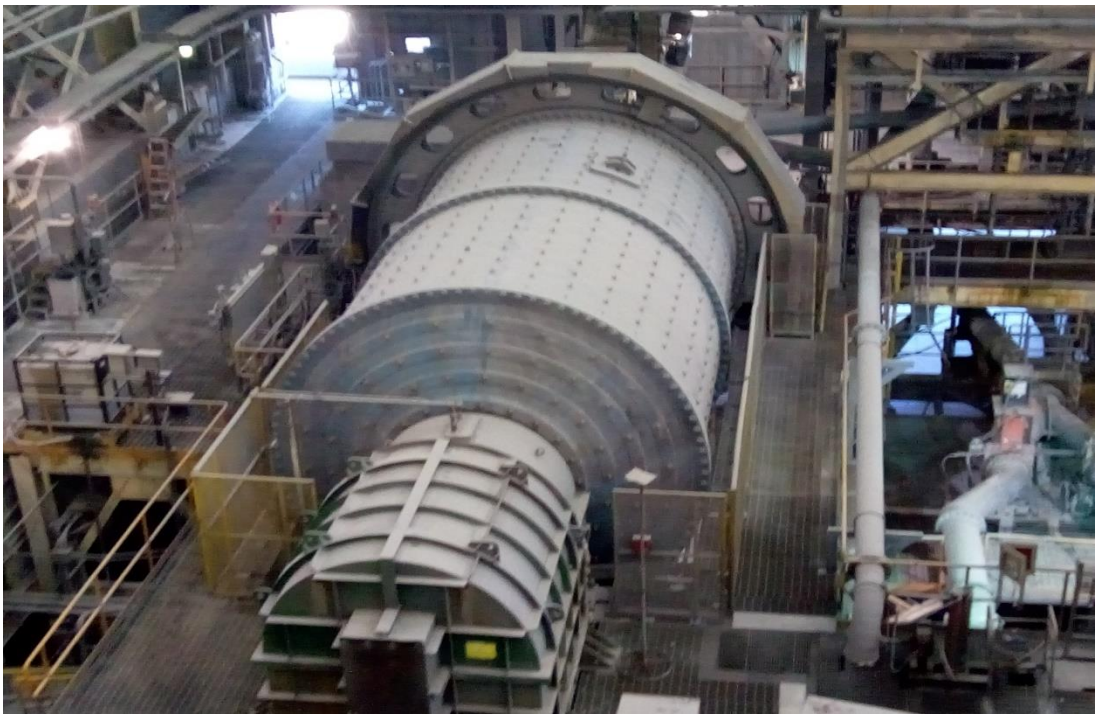


Foto 22. Molino de bolas.

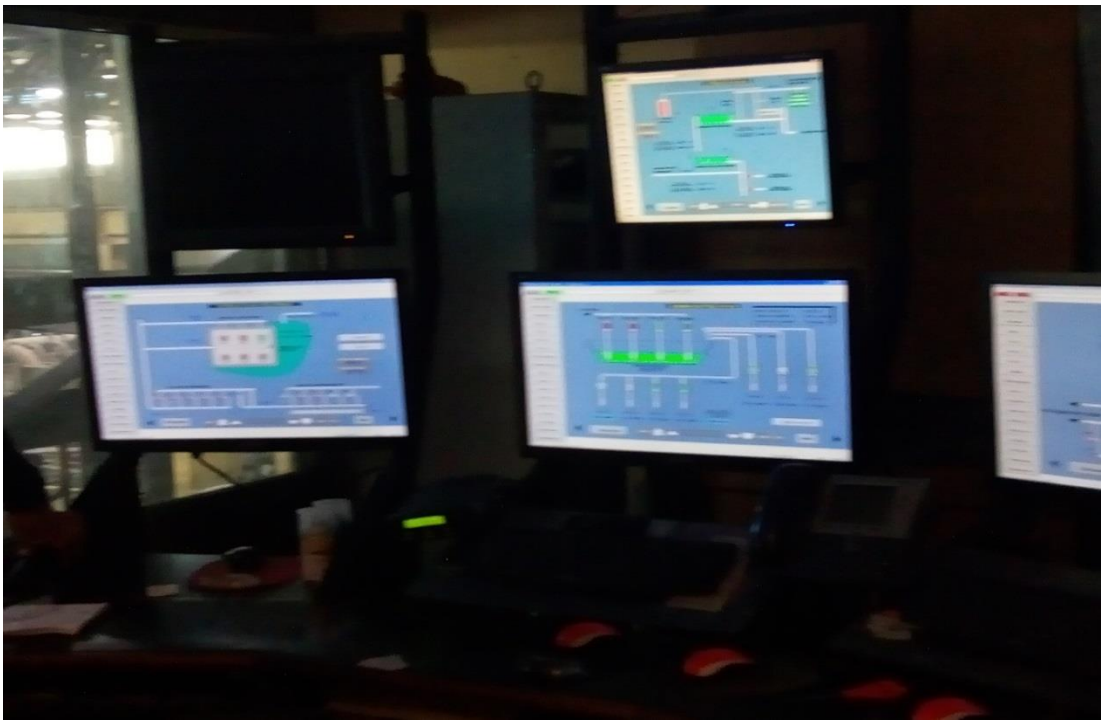


Foto 23. Sala de control de la planta de proceso.

Foto 24. Espesador.

Foto 25. Pruebas de revegetación en botadero Puente.

Anexo 8

Resumen de las presentaciones dadas por Minera Alumbrera en la Visita a la Mina Agosto 2018

ETAPA DE CUIDADO Y MANTENIMIENTO

Minera Alumbrera, tiene un año y medio por delante hasta que comience la producción de underground, en ese periodo la idea es desarrollar todo lo relacionado al cuidado y mantenimiento de las instalaciones, para que llegado el momento en que se vuelva a producir esté todo el sistema en condiciones de arrancar y no tengan incluso que salir a comprar nuevos equipos.

Dentro de las tareas que se deben realizar en este año y medio, se puede considerar dividirlas en 5 etapas de la siguiente manera:

1) Auscultación del dique de colas.
2) Mantenimiento del sistema.
3) Distribución de agua del sistema de retrobombeo para el regado de las colas.
4) Calibración de instrumentos.
5) Mantenimiento de equipos.

Ahora se va a ver en que consiste cada una de ellas:

1) Auscultación:
   - ✓ Se va a continuar con la lectura de los piezómetros, esta actividad la van a continuar haciendo de manera mensual, aquí también se van a agregar los 7 freatimetros que finalmente diseñó Knight Piésold, los cuales ya se encuentran ejecutados.
     Inicialmente se arrancó con la ejecución de 2 de ellos como prueba, porque se estaba en una etapa en la cual todavía se estaban añadiendo colas en el dique.
     En el momento que se detuvo las operaciones se procedió a la ejecución del resto de los freatimetros.
   - ✓ Se va a Continuar con la lectura de los vertederos.
   - ✓ Recopilación de la lectura de los prismas en forma mensual.
   - ✓ Medición de los desplazamientos relativos de los mojones.

2) Mantenimiento del sistema:
   - ✓ Inspección visual y mantenimiento de toda la estructura del dique de colas, incluso de la pileta de colección de drenaje, geomembrana, canales de desvíos de crecida cada 180 días.
   - ✓ Mantenimiento de los cuencos de los vertederos cada 180 días.
   - ✓ Reposición de los prismas sobre el espaldón, generalmente cada 90 días.
   - ✓ Limpieza y mantenimiento de la caseta.
   - ✓ Reconstrucción de fusibles del canal federal.

3) Distribución de aguas de retrobombeo para regado de las colas:
   - ✓ Embridado y desembridado de cañerías para descargar el agua en diferentes puntos, esta tarea será realizada en forma diaria.
   - ✓ Apertura y cierre de caños transversales dentro del canal federal.

Al inicio el riego de las colas se realizara a través del Canal Federal hasta que se pueda armar el sistema de riego por aspersión.

4) Calibración de instrumentos:
   - ✓ Calibración de la lectora en forma anual
   - ✓ Calibración de la estación robótica

5) Mantenimiento de equipos:
   - ✓ Mantenimiento preventivo y correctivo de camionetas de manera semanal.
   - ✓ Mantenimiento preventivo y correctivo de retroexcavadoras de manera mensual

Estas son las actividades de cómo se va a monitorear y distribuir el agua de retrobombeo, antes del underground.

Plan alternativo: en el caso que se tuviera la dificultad de que la laguna de agua clara creciese y estuviese muy cerca del muro, se está terminando de armar una cañería que va desde una pileta que hay en la zona llamada camino al cielo hasta el Pit de BED, ya que las bombas ubicadas en la torre tendrían la capacidad suficiente de llevar el agua hasta la pileta, y desde esta pileta el agua bajaría por gravedad aprovechando el desnivel de 30 metros aproximadamente hasta el Pit de BED.

Las etapas 13 y 14 de Alumbrera se van a extraer con el Underground. No se necesita de la etapa 20 para comenzar a almacenar lo del Underground, ya que no se alcanzó la cota final de 2347 sino que se llegó hasta la cota 2346, esto quiere decir que se puede construir perfectamente un metro más de altura del muro dentro del diseño que ya estaba. Para tener un número global, por año del Underground va a hacer que el dique crezca en colas 50 centímetro, quiere decir que en 2 años de Underground va a crecer 1 metro.

MODELO DE FLUJO Y TRANSPORTE DE AGUA SUBTERRANEA VIS VIS

Objetivos:

- ✓ Determinar el estado actual de la pluma aguas abajo del dique de colas (lo primero que hicieron fue actualizar datos de niveles, de sulfato, que luego se introducen en el modelo).
- ✓ Determinar si la actual configuración del sistema de retrobombeo es suficiente para mantener la pluma dentro de los límites de la concesión.
- ✓ Evaluar que la alternativa de retrobombeo se repita.

Estrategia del Modelo conceptual:

- ✓ Basarse en el trabajo desarrollado previamente.
- ✓ Continuar explorando el modelo con información más reciente.

Se visualizó una imagen con el modelo conceptual realizado por hidrogeólogos. Se observó la cabecera de la cuenca del rio Vis Vis, el dominio del modelo, se representó el pit de Alumbrera, el pit de BED, los botaderos y el dique de colas. Esto se considera

como una cuenca hidrológica, es decir que toda el agua que drena o sale de la cuenca se la considera en la cabecera y desde la cabecera drena hacia lo que es la quebrada Vis Vis, se modelo hasta el primer punto de agua superficial DS1.

Análisis de riesgos:

Fuente de sulfato: consideramos para el modelo una fuente constante durante la operación de 2500 ppm de sulfato.

Vías de trasporte:

- Migración superficial: que es el material aluvial, el material superficial y el material rocoso fracturado y meteorizado.

Receptor Potencial: Quebrada de Vis Vis aguas abajo del límite de concesión.

Desarrollo del Modelo:

Hubo un cambio de modelo, se pasó de un modelo de diferencia finita, a un modelo de elementos finitos el cual es mucho más práctico y representa mejor las áreas. Porque en el caso del modelo de diferencia finita, por ejemplo en la zona aguas abajo del dique de colas, donde está la zona de los pozos de retrobombeo, si uno quiere aumentar la densidad de las celdas, se aumenta todo a lo largo del modelo y todo a lo ancho del modelo, en cambio con el modelo de elementos finitos uno puede aumentar la densidad en el lugar que necesita, es decir que puede aumentar la densidad de las celdas en el lugar que vamos a tener mayores cambios de nivel o de concentración de sulfato.

Calibración: lo que se debe lograr es que el modelo repita los datos que se miden en el terreno.

Los puntos de observación con los que se trabajó son:

- Pozos de bombeo.
- Pozos de monitoreo.

Resultados de Calibración:

Calibración de niveles:

EPB10: Es un pozo que está en el medio, entre el dique de colas y el límite de la concesión. Lo consideran como que es el nivel medio de agua que tiene el acuífero regional en toda la zona.

Consideraron para el modelo los pozos:

- HON1
- MW7
- MW40 profundo, el cual está al fin de la salida del modelo (no se lo pudo calibrar mejor de lo que está).
- PB27
- PB35, en este pozo hay desconexiones con fracturas (no quisieron tocar demasiado el modelo, ya que es muy complejo, porque si se toca el modelo en un lugar ya se descalibran los puntos anteriores).

Calibración de Sulfato:

La calibración de sulfato se tomó desde diciembre de 2010 a diciembre de 2016, donde se considera que los datos son más confiables (el modelo se ajusta mejor)

Como el valor de background de sulfato en la zona de modelación es muy variable (por ejemplo en la zona de botaderos hay pozos que tienen valores de sulfato, que están en un rango de 600 - 1300 ppm), se decidió tomar un valor de background bajo en toda el área (200 ppm de sulfato).
Luego se observaron gráficos de variación de concentración de sulfato.

Una vez que el modelo esta calibrado se comienzan con las simulaciones predictivas.
Los escenarios de modelación fueron los siguientes:

- Simulación 1(no considera la Minería subterránea)
- Simulación 2 (si considera la Minería subterránea)

Simulación 1:

- En esta simulación no se considera la minería subterránea.
- Disminución del nivel freático del dique de colas.
- El agua de retrobombeo va hacia el Open Pit, para tratar que el dique de colas drene más rápido.
- Si Minera Alumbrera cerraba la operación en 2018, tendría que bombear hasta 2035 para recuperar la pluma (entre 8 y 15 años se podría dejar de bombear).
- Se modelo con 3 pozos adicionales profundos de alrededor de 200 m, ubicados en sectores de alta permeabilidad.
- El máximo no superable de sulfato en DS1 está en el orden de los 850 ppm (se trabajó en la modelación tratando de no superar ese valor).
- Sulfato contenido en la pluma: gráfico en función del tiempo.
- Se tomaron 4 estaciones de ejemplo PB26, PB27, MW7, DS1.
- En esta simulación iría disminuyendo la concentración de sulfato.

Simulación 2:

- En esta simulación se considera la Minería Subterránea.
- Se tendría el sistema de retrobombeo como en la actualidad.
- Extracción del underground de 2020 – 2030.
- Escenario B1 (2019 – 2028), operación del underground.
- Escenario C1 (2029 – 2045), en el cierre el agua de retrobombeo iría al Open Pit para acelerar el drenaje de las colas.
- El agua de las colas seria 1/5.
- La tasa de llenado o de crecimiento del dique está en el orden de 0,4 m/año, es decir que en los 10 años de operación del underground el dique de colas va a crecer una etapa de 4 m.
- 3 pozos de bombeo adicionales para la optimización.
- Disminución del nivel freático y meno aporte de colas.
- Sulfato contenido en la pluma: gráfico en función del tiempo.
- Se tomaron 4 estaciones de ejemplo PB26, PB27, MW7, DS1.
- En esta simulación iría disminuyendo la concentración de sulfato durante el periodo de cierre.

- La concentración de sulfato en el DS1<< 850 mg/l.

Conclusión:

- El sistema actual seria efectivo para contener la pluma dentro de límite de concesión hasta finales de 2018 y durante la explotación subterránea (2018-2028).
- Si paramos el sistema de retrobombeo antes del cierre, la pluma se saldría de los límites de la concesión.
- Hay zonas que van a quedar con concentraciones altas de sulfato.
- El propósito del sistema de retrobombeo es remover las masas de sulfato, para que las concentraciones de sulfato en el punto de muestreo superficial DS1 no superen en el futuro los 850 mg/l.
- Eliminar la mayor cantidad de sulfato posible usando pozos más profundos en el área debajo de TSF.

RECUPERACION DE ALUVIAL EN TAMPA TAMPA

- ✓ Se necesitan aproximadamente 4.500.000 m^3 de material para la cobertura del dique.
- ✓ Se dispone de un acopio de este material aluvial de 1.500.000 m^3, el cual fue llevado a cabo en 2014.
- ✓ El área probable es de fácil acceso desde el punto de vista operativo.
- ✓ Se va a hacer una cantera dentro de los límites de la concesión.
- ✓ El área a extraer tiene un Volumen aproximado=3.415.000 m^3
- ✓ Altura de banco= 5 m
- ✓ Ancho de Berma= 6 m
- ✓ Rampas con pendiente=10%
- ✓ Ancho de rampa=15 m
- ✓ El área presenta pendiente negativa norte sur.
- ✓ El área de acopio tendría los mismos parámetros.
- ✓ Capacidad de acopio aproximadamente= 3.500.000 m^3
- ✓ Altura de banco= 5 m
- ✓ Ancho de Berma= 6 m
- ✓ Rampas con pendiente=10%
- ✓ Ancho de rampa=15 m
- ✓ Cuando comience la producción de underground se va a comenzar a extraer el material de ese pequeño pit.
- ✓ La extracción de ese pequeño pit sería de 3 meses.

Anexo 9

Presentaciones Capacitaciones Septiembre 2018

MINERÍA CATAMARCA

IATASA INGENIERÍA

CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA
PROVINCIA DE CATAMARCA

CIERRE DE MINA - MINERA ALUMBRERA
Informe Final y Capacitación
Estabilidad Física

Ings. Eduardo Capdevila, Ricardo Barletta y Pascual Chuchuy - IATASA

CONSULTORÍA TÉCNICA INGENIERÍA DE OBRAS MINERAS
DIQUE DE COLAS EN BAJO LA ALUMBRERA – 2014

OBJETIVOS

Evaluar, modelar e interpretar los datos existentes a fin de concluir sobre el estado actual del Dique de Cola y definir las intervenciones a realizar en el cierre de la operación de explotación Minera Alumbrera.

ALCANCES

Balance hídrico: volúmenes de embalse

Riesgo sísmico y estudios de licuefacción en relaves

Estudio de filtraciones (fundación y presa)

Estudio de estabilidad del taludes y coeficientes de seguridad

Evaluación de compactación, densidad y humedad

Estudio de erosión del talud

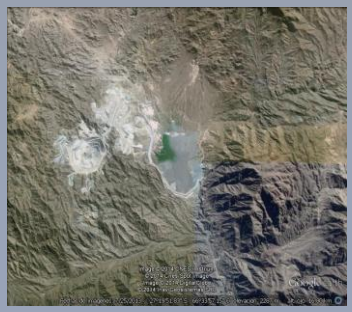
Estudio del estado de los drenes

Capacitación a personal técnico provincial en Buenos Aires

ANALISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA

5/2016 a 5/2017

1. AUSCULTACION DE PRESA



OBJETIVOS

***Contribuir a garantizar la estabilidad física del Dique de Colas hasta su etapa de post-cierre**, a partir del desarrollo de un Sistema de Auscultación operado actualmente por Minera Alumbrera, y de un seguimiento de las variables operacionales de la Obra.*

ALCANCES

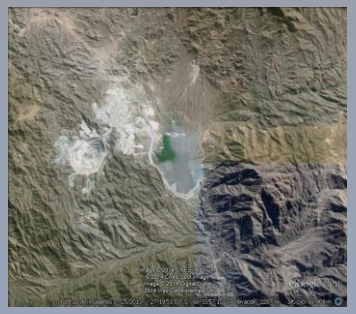
*Consiste en la **recopilación y análisis de antecedentes de todo lo relacionado con la Presa de Relaves, en particular con su operatividad y estabilidad estructural a lo largo del tiempo**, para prevenir daños que podrían ocasionar impactos ambientales significativos.*

ANALISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA

5/2016 a 5/2017

2. ESTABILIDAD QUÍMICA

OBJETIVOS



*Contribuir a **garantizar la estabilidad química del Dique de Colas hasta su etapa de post-cierre**, a partir de un seguimiento de las variables operacionales de Obra.*

ALCANCES

- *Recopilación y análisis de antecedentes de los aspectos ambientales vinculados con la presa.*
- *Analizar el comportamiento de la cobertura de material a disponer sobre las colas.*
- *Análisis del sistema de retrobombeo y ubicación de la pluma con aguas de proceso.*
- *Análisis del diseño de la Sistematización de la Cuenca Hídrica donde se halla emplazada la estructura en consideración.*

ESTABILIDAD QUÍMICA Y ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES DEL PROYECTO MINERO BAJO LA ALUMBRERA

2/2018 a 9/2018

Componentes

1. ***Estabilidad Química***

2. ***Estabilidad Física***

3. ***Análisis económico del cierre del dique de colas. Revisión de análisis de precios.***

4. ***Presencia permanente de IATASA en Catamarca***

Estabilidad Física

Alcances

Estudio de filtraciones (presa y fundación)

Estudio estabilidad taludes a través del método estático y pseudoestático

Estudio de tensiones-deformaciones del Dique de Colas

ESTABILIDAD FÍSICA – ETAPAS CONSTRUCTIVAS

Etapa Constructiva	Cota Coronamiento Muro [msnm]	Altura máxima del Muro [m]
Etapa 1 (1993)	2255,0	50
Etapa 2	2262,0	57
Etapa 3	2268,0	63
Etapa 4	2273,2	68,2
Etapa 5	2276,0	71
Etapa 6	2280,0	75
Etapa 7	2287,0	82
Etapa 8	2290,0	85
Etapa 9	2296,0	91
Etapa 10	2302,0	97
Etapa 11	2308,0	103
Etapa 12	2314,0	109
Etapa 13	2320,0	115
Etapa 14	2326,0	121
Etapa 15	2330,5	125,5
Etapa 16	2335,5	130,5
Etapa 17	2338,9	133,9
Etapa 18	2343,0	138
Etapa 19 (2018)	**2347,0**	**142**

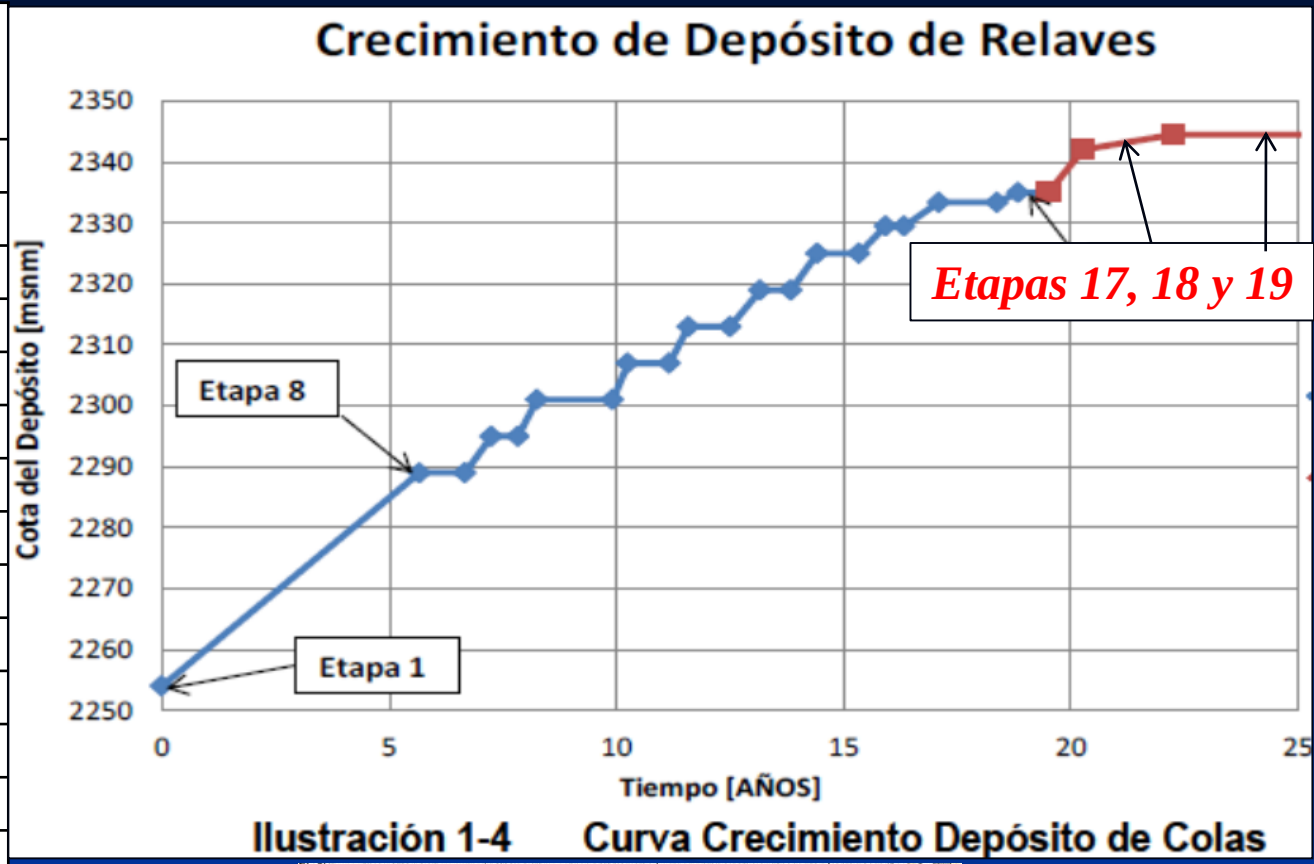
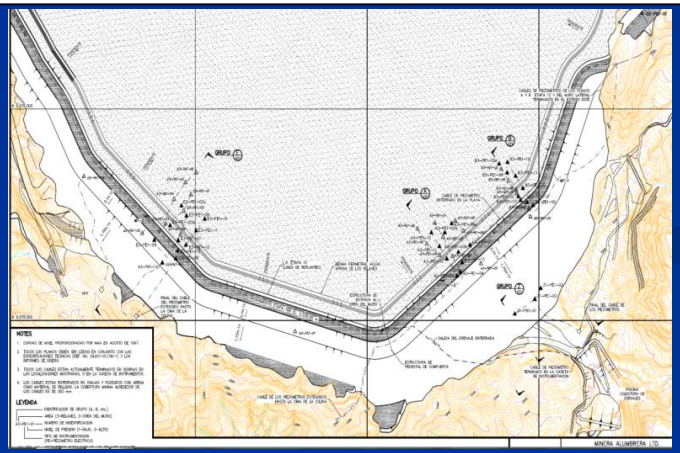


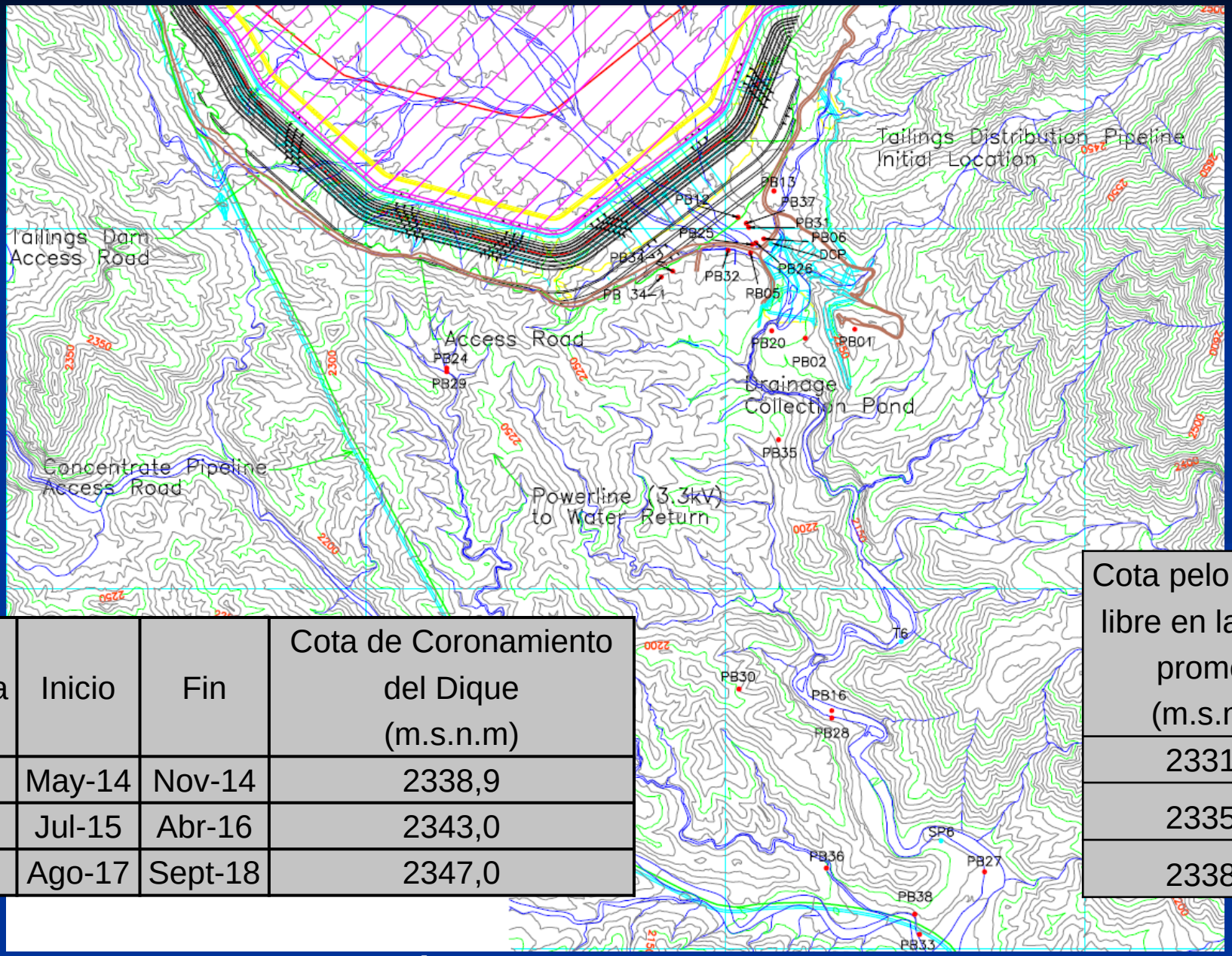
Ilustración 1-4 Curva Crecimiento Depósito de Colas



MONITOREO PRESA DE RELAVES
Propuesta MA

Monitoreo	Fases		
	Explotación	Cierre	Post-Cierre
Lecturas de Piezómetros eléctricos instalados tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa	X	X	X
Lecturas de vertedero de filtración y drenaje instalados en DCP	X	X	X
Medición de niveles y caudales en pozos profundo de bombeo	X	X	X
Medición de niveles en pozos de monitoreo	X	X	X
Mediciones de nivel de laguna sobrenadante	X	X	X
Lecturas topográficas de monolitos instalados en el espaldón del Dique de Colas	X	X	Se evaluará
Lectura de nivel de agua mediante piezómetros de Casagrande o pozos abiertos de monitoreo		X	X
Monitoreo del sistema de desvío de las aguas superficiales (inspecciones visuales)		X	X
Control de asentamiento de colas			X

FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN



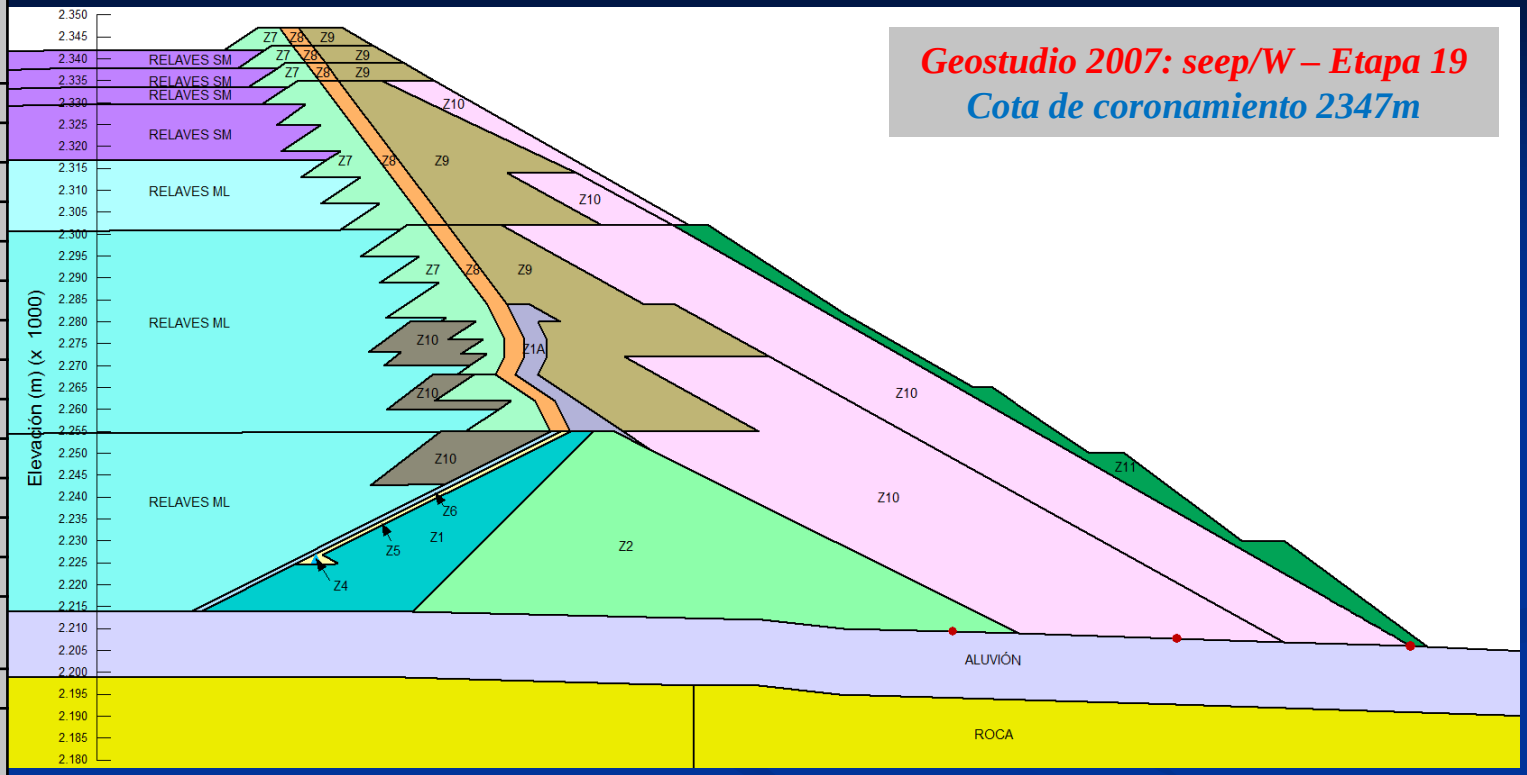
Etapa	Inicio	Fin	Cota de Coronamiento del Dique (m.s.n.m)
17	May-14	Nov-14	2338,9
18	Jul-15	Abr-16	2343,0
19	Ago-17	Sept-18	2347,0

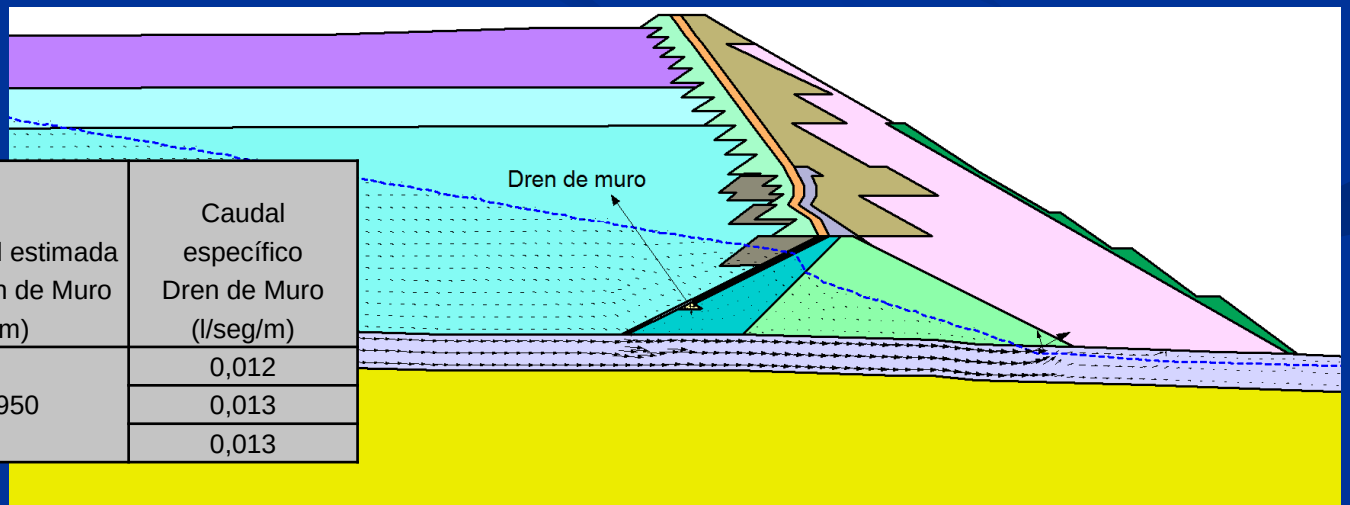
Cota pelo de agua libre en la laguna promedio (m.s.n.m.)
2331,94
2335,08
2338,00

Ubicación de los pozos de retrobombeo

FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

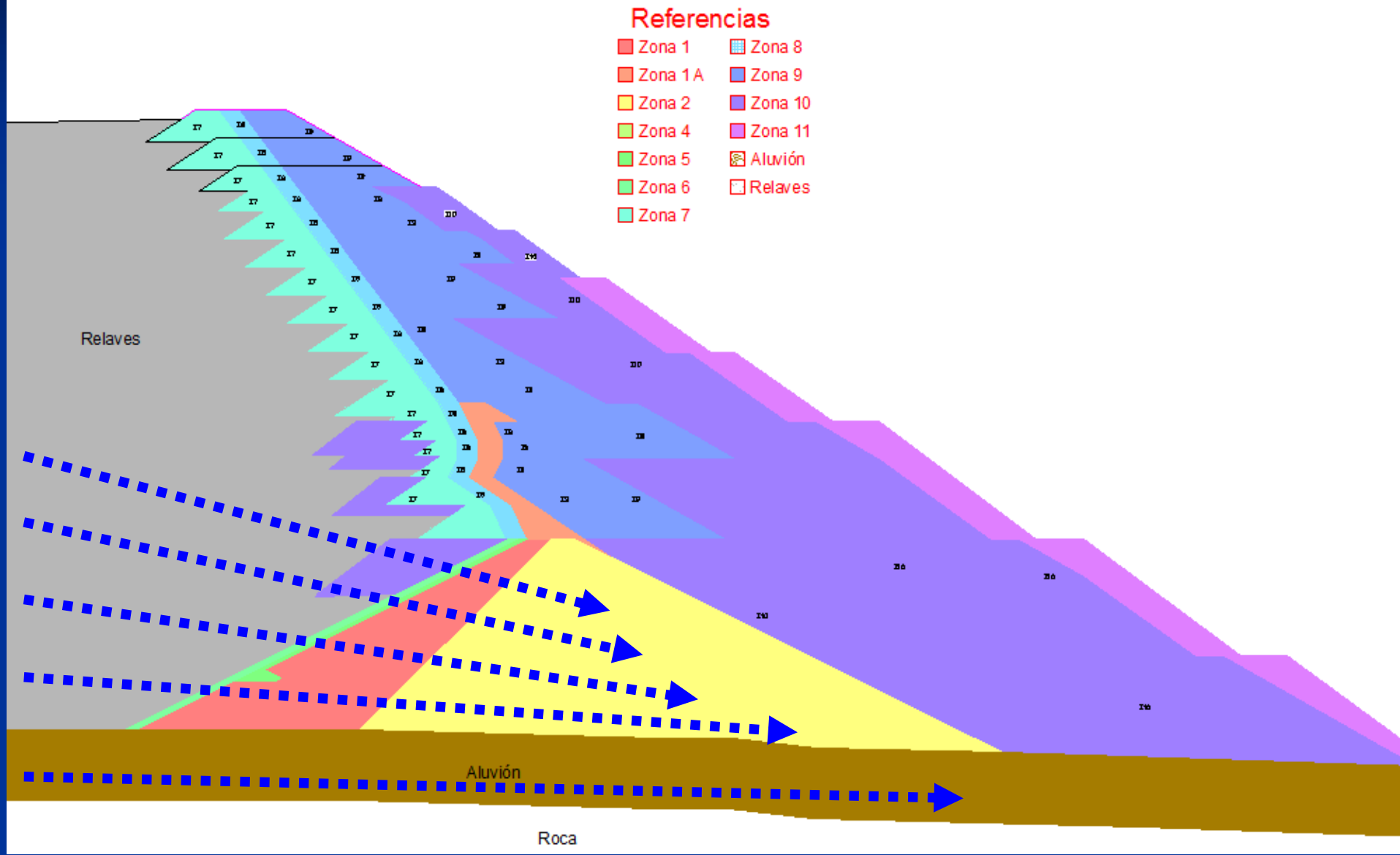
Zona	Kprom (cm/s)
z 1	1*10^-4
z 1ª	1*10^-4
z 2	3*10^-4
z 4	1*10^-3
z 5	1*10^-3
z 6	1*10^-3
z 7	3*10^-4
z 8	1*10^-3
z 9	3*10^-3
z 10	3*10^-3
z 11	3*10^-3
Relaves	Kh
SM	1,16*10^-3
ML	1,04*10^-3
Aluvión	3*10^-3
Roca madre intacta	5*10^-5



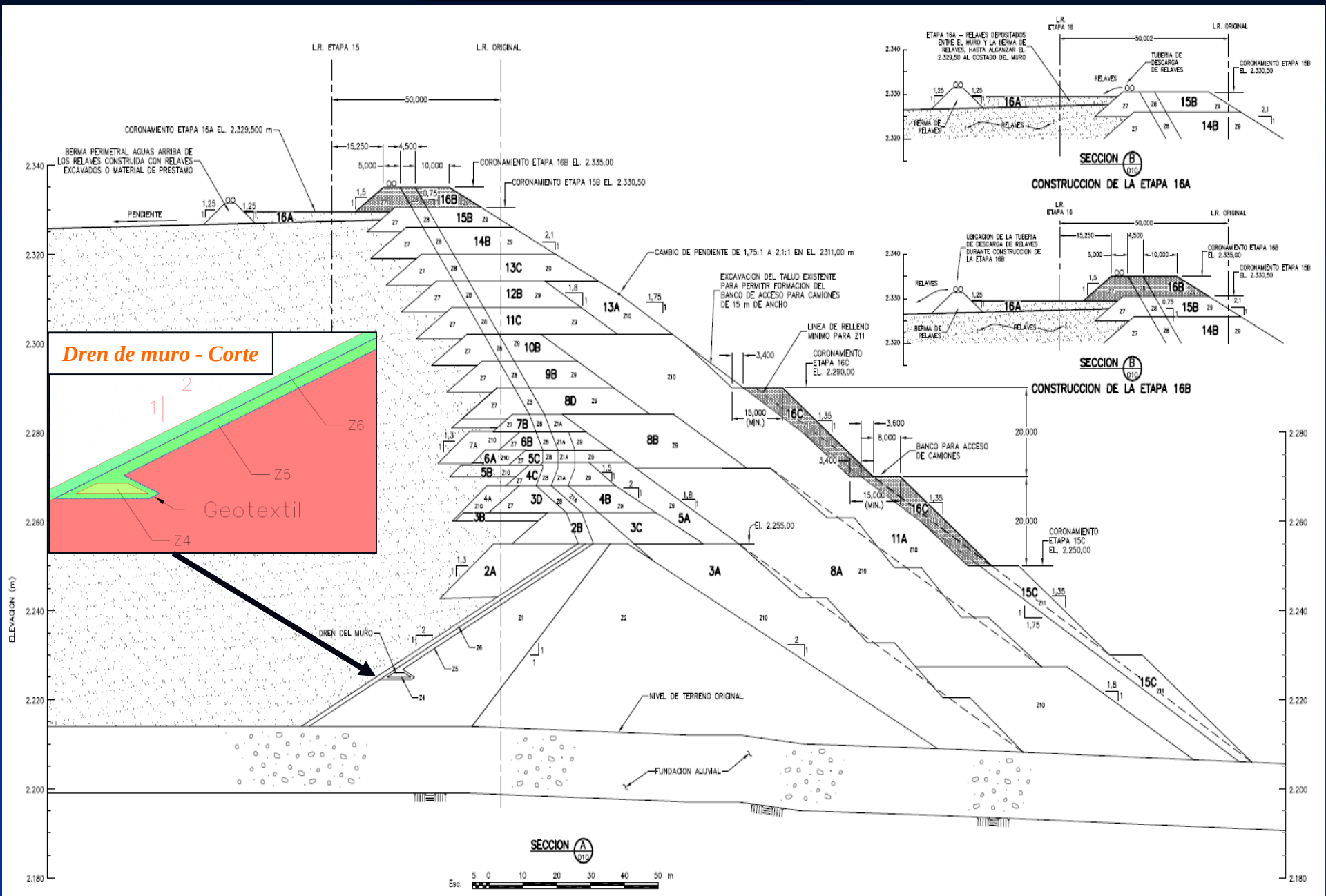


Etapa	Caudal promedio aforado Dren de Muro (l/seg)	Longitud estimada del Dren de Muro (m)	Caudal específico Dren de Muro (l/seg/m)
17	36	2950	0,012
18	38		0,013
19	38		0,013

Sección Transversal - Escurrimiento
Cota de coronamiento 2347m



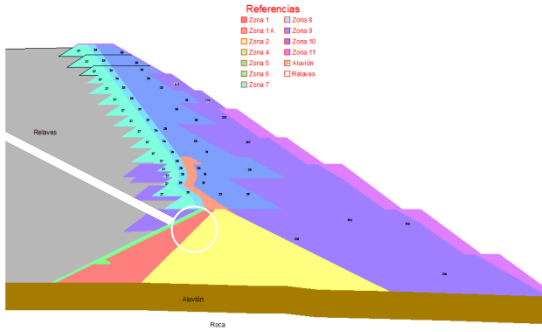
Dren de muro - Corte



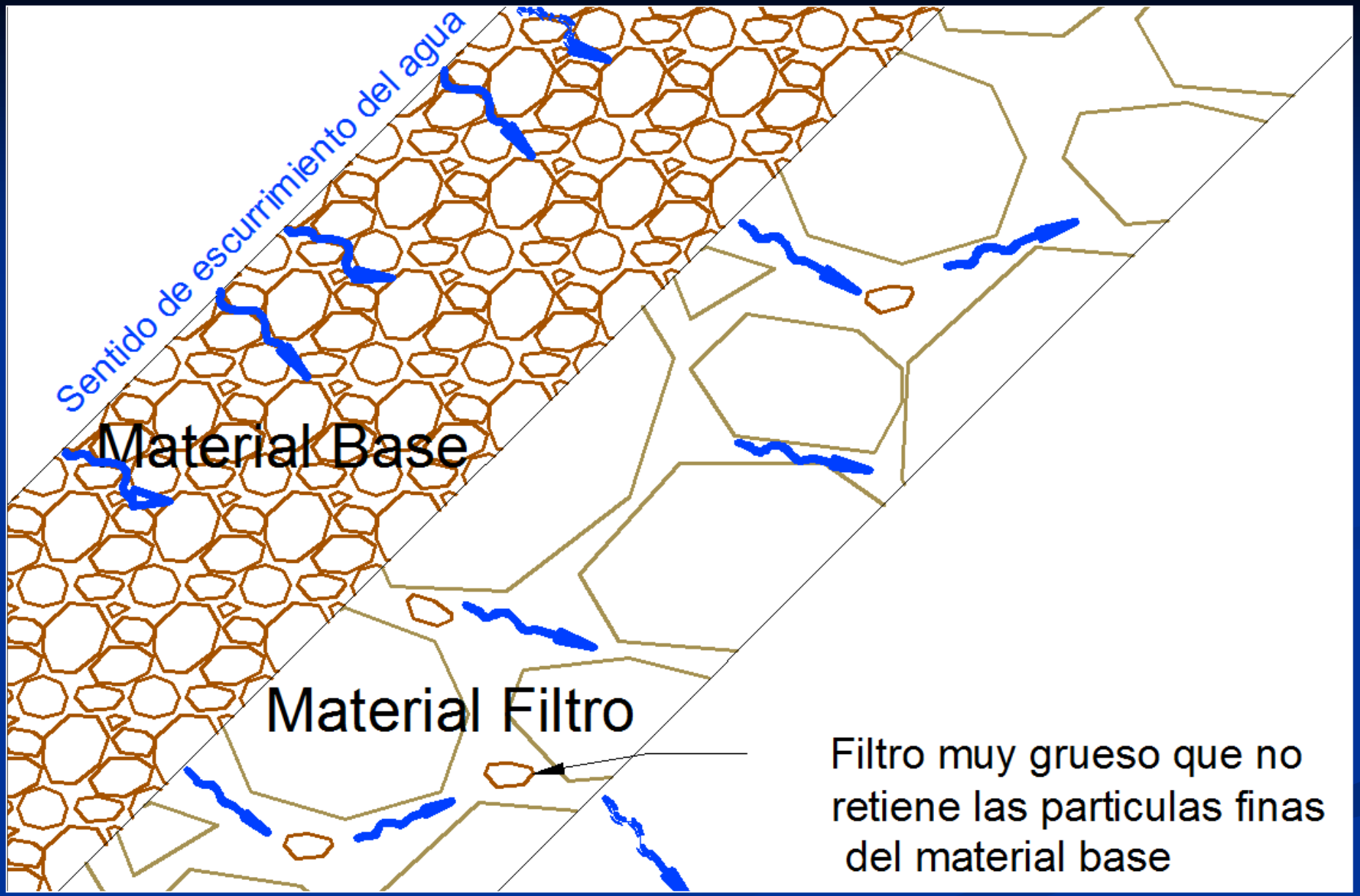
Sentido de escurrimiento del agua

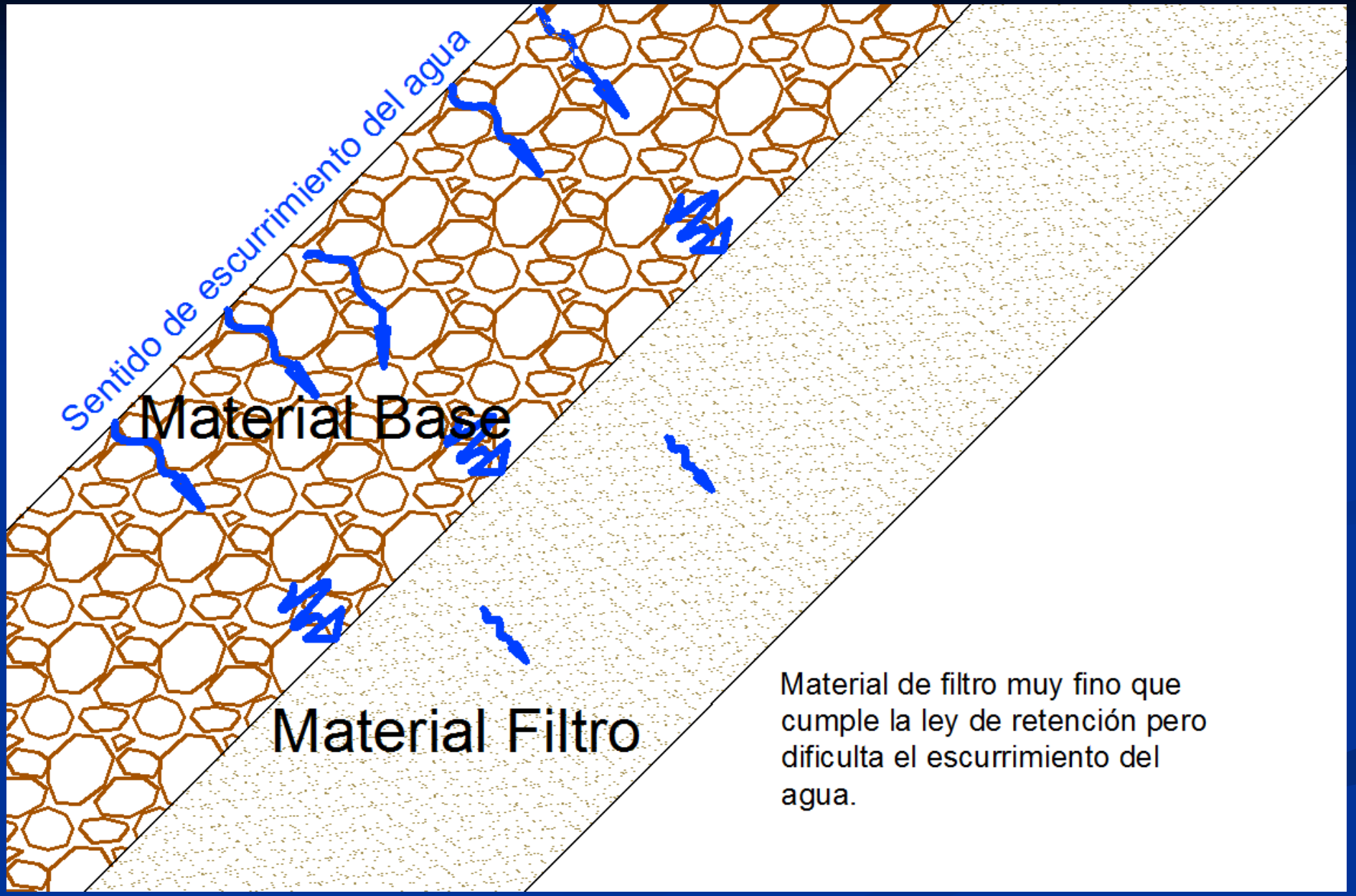
Material Base

Material Filtro



El Filtro retiene las particulas del material base y permite un adecuado escurrimiento


Sentido de escurrimiento del agua
Material Base
Material Filtro
Filtro muy grueso que no retiene las particulas finas del material base

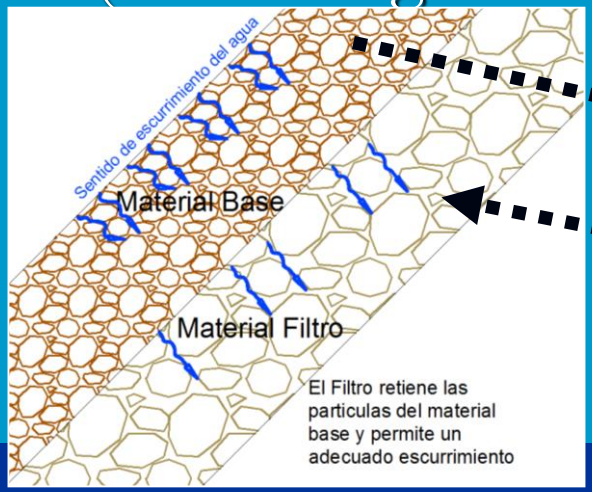


Material de filtro muy fino que cumple la ley de retención pero dificulta el escurrimiento del agua.

Criterios Evaluados

- 1 - Criterio de Retención:

  Garantiza que no se produzca una migración de partículas en el sentido de escurrimiento del agua. Consiste en una relación o inecuación entre las aberturas pasa tamiz 85 % del material a retener o filtrar (ubicado aguas arriba) y el 15% pasante del material de filtro (ubicado aguas abajo).

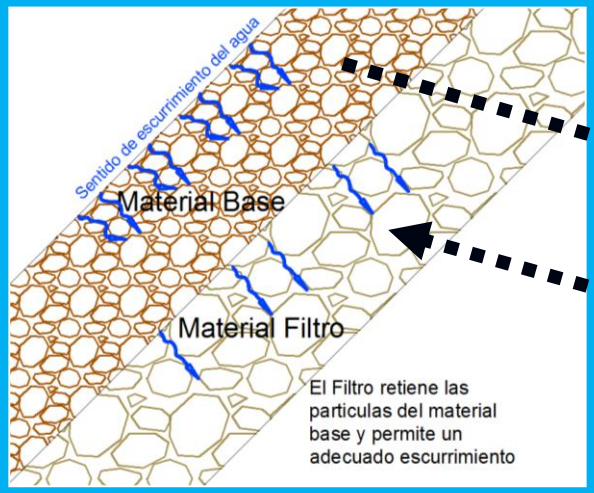


$$D_{15\ filtro} <= 5\ D_{85\ base}$$

Criterios Evaluados

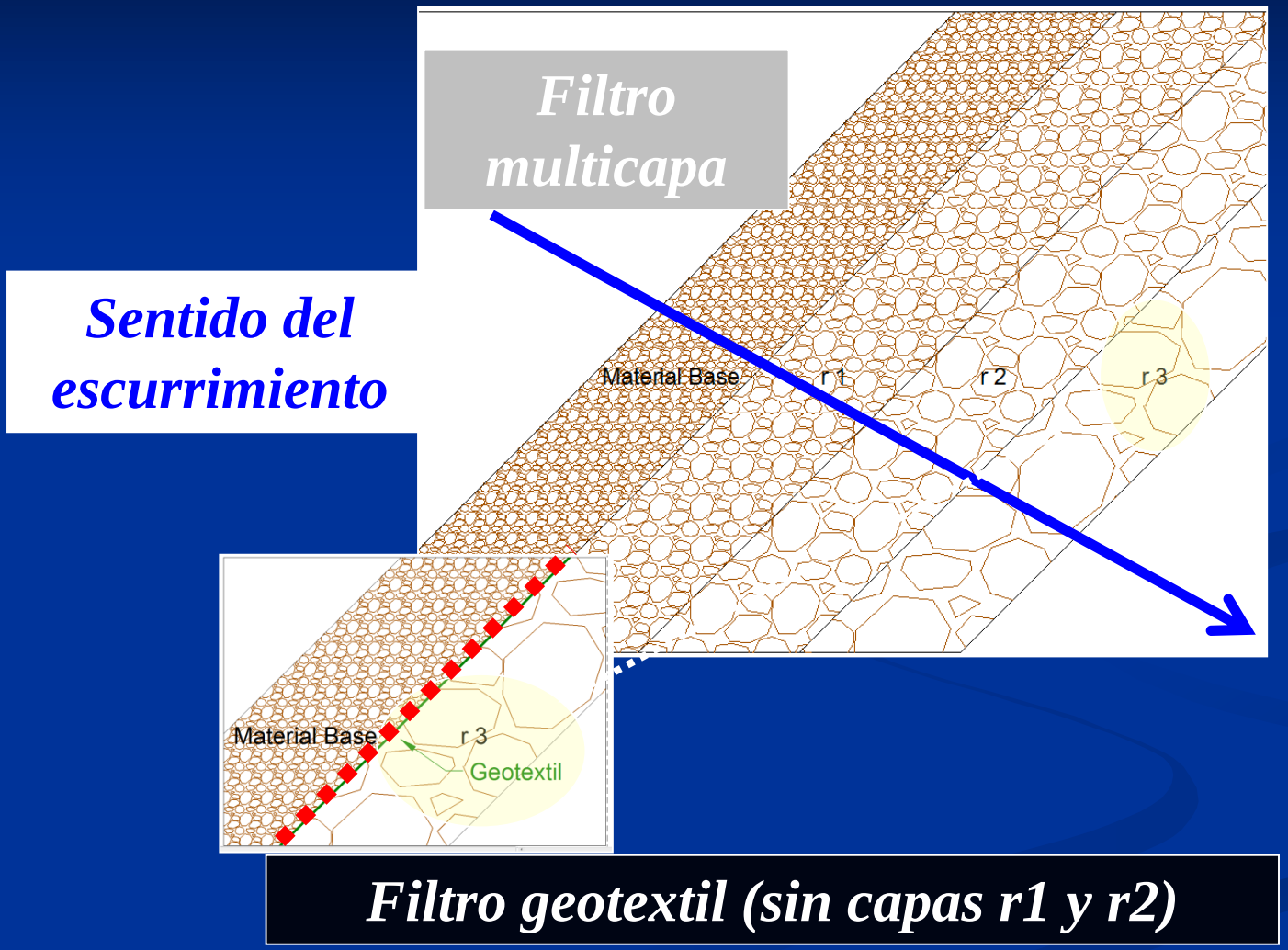
- 2 - Criterio de permeabilidad:

  Garantiza el escurrimiento de agua a través de los materiales de la presa. Consiste en una relación o inecuación entre las aberturas de tamiz que dejan pasar el 15 % del material de filtro y el suelo analizado o base.

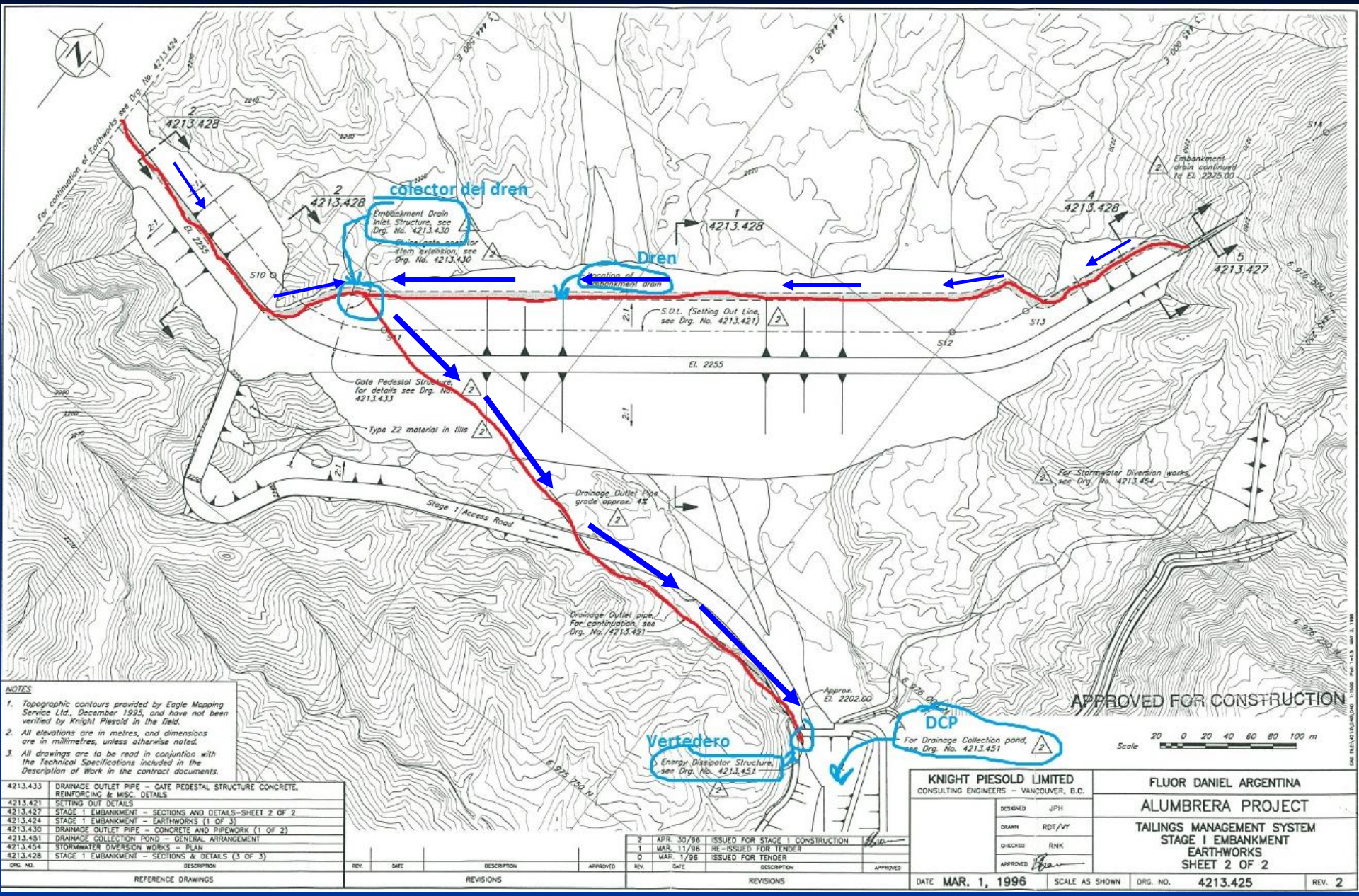


$$D_{15\ filtro} >= 5\ D_{15\ base}$$

Filtros multicapa vs geotextil



Dren de muro - Planta



NOTES

1. Topographic contours provided by Eagle Mapping Service Ltd., December 1995, and have not been verified by Knight Piesold in the field.
2. All elevations are in metres, and dimensions are in millimetres, unless otherwise noted.
3. All drawings are to be read in conjuntion with the Technical Specifications included in the Description of Work in the contract documents.

REFERENCE DRAWINGS

DRG. NO.	DESCRIPTION
4213.433	DRAINAGE OUTLET PIPE – GATE PEDESTAL STRUCTURE CONCRETE, REINFORCING & MISC. DETAILS
4213.421	SETTING OUT DETAILS
4213.427	STAGE 1 EMBANKMENT – SECTIONS AND DETAILS-SHEET 2 OF 2
4213.424	STAGE 1 EMBANKMENT – EARTHWORKS (1 OF 3)
4213.430	DRAINAGE OUTLET PIPE – CONCRETE AND PIPEWORK (1 OF 2)
4213.451	DRAINAGE COLLECTION POND – GENERAL ARRANGEMENT
4213.454	STORMWATER DIVERSION WORKS – PLAN
4213.428	STAGE 1 EMBANKMENT – SECTIONS & DETAILS (3 OF 3)

REVISIONS

REV.	DATE	DESCRIPTION	APPROVED

REVISIONS

REV.	DATE	DESCRIPTION	APPROVED
2	APR. 30/96	ISSUED FOR STAGE 1 CONSTRUCTION	
1	MAR. 11/96	RE-ISSUED FOR TENDER	
0	MAR. 1/96	ISSUED FOR TENDER	

KNIGHT PIESOLD LIMITED
CONSULTING ENGINEERS – VANCOUVER, B.C.

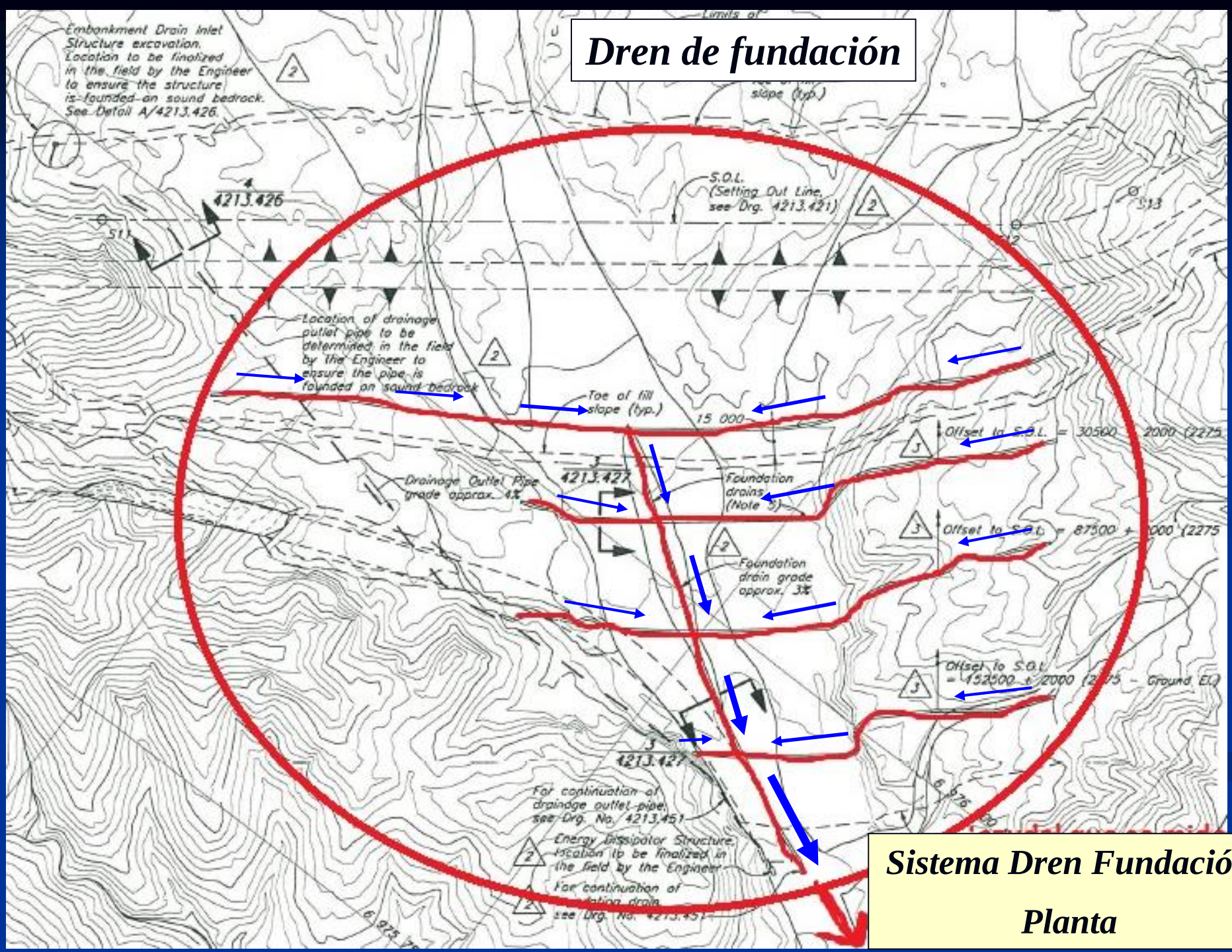
DESIGNED JPH
DRAWN RDT/VY
CHECKED RNK
APPROVED

FLUOR DANIEL ARGENTINA

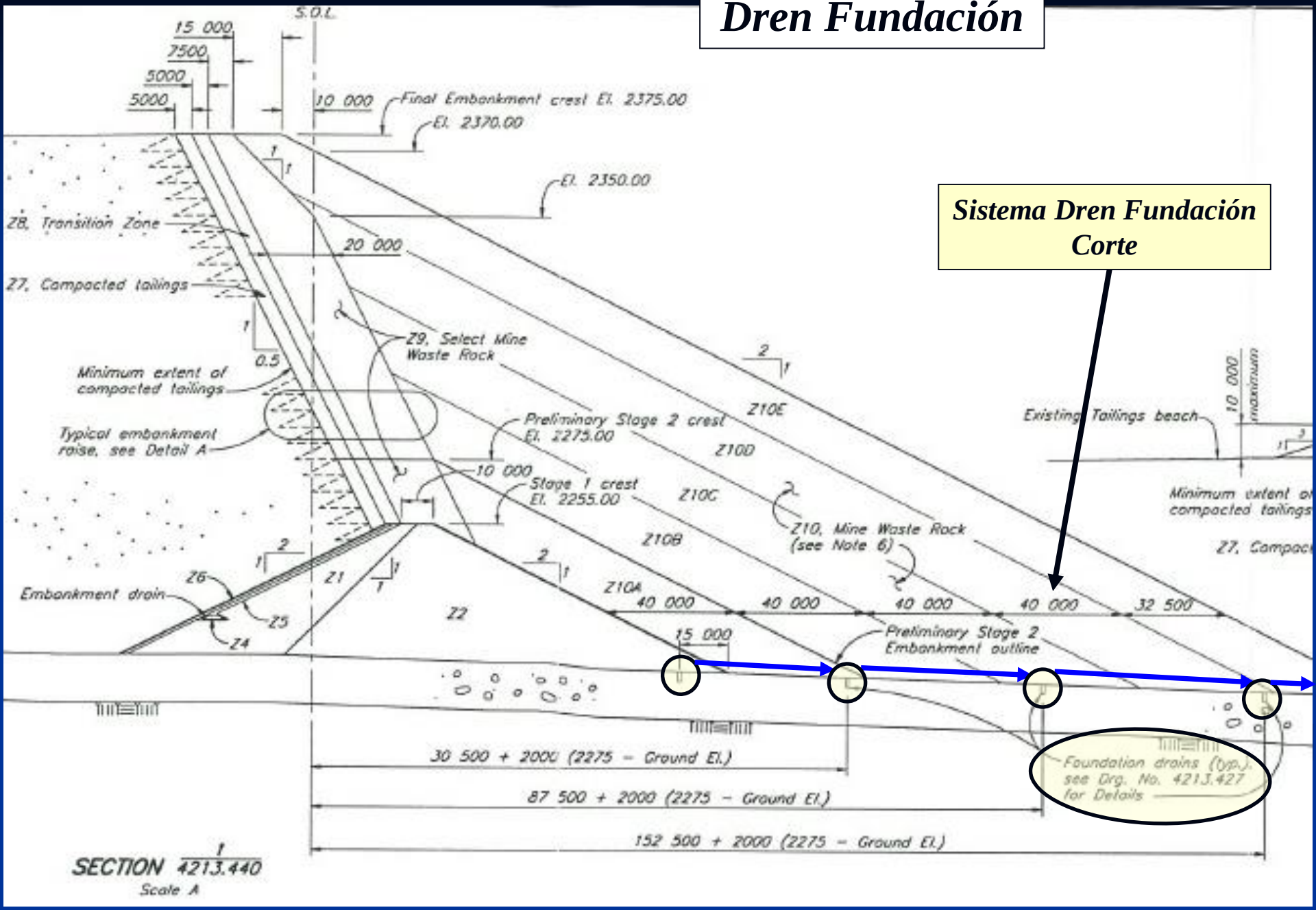
ALUMBRERA PROJECT

TAILINGS MANAGEMENT SYSTEM
STAGE I EMBANKMENT
EARTHWORKS
SHEET 2 OF 2

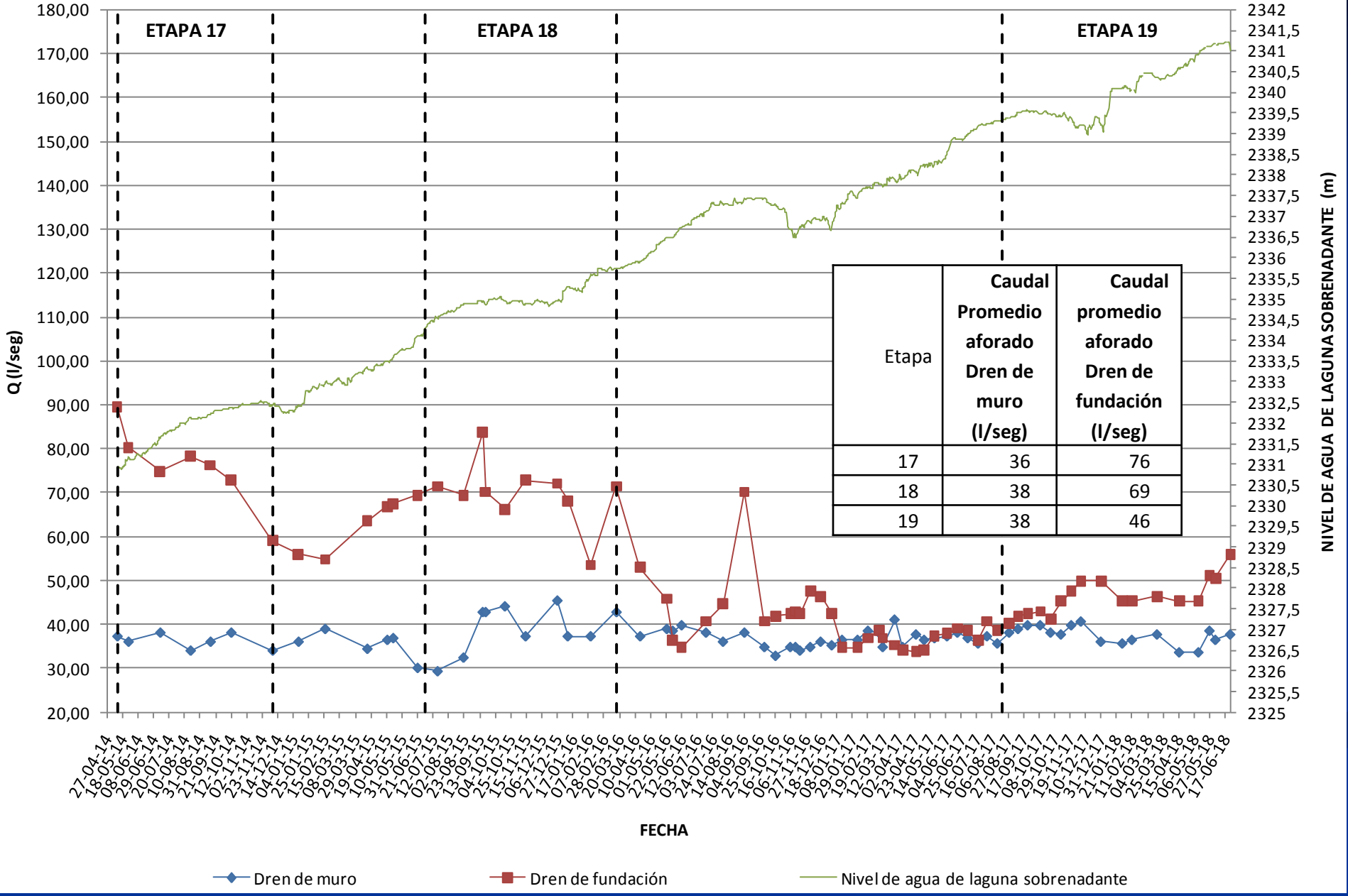
DATE MAR. 1, 1996 | SCALE AS SHOWN | DRG. NO. 4213.425 | REV. 2


Dren de fundación
Embankment Drain Inlet Structure excavation. Location to be finalized in the field by the Engineer to ensure the structure is founded on sound bedrock. See Detail A/4213.426.
4213.426
S.O.L. (Setting Out Line, see Drg. 4213.421)
Location of drainage outlet pipe to be determined in the field by the Engineer to ensure the pipe is founded on sound bedrock
Toe of fill slope (typ.)
15 000
Drainage Outlet Pipe grade approx. 4%
4213.427
Foundation drains (Note 5)
Foundation drain grade approx. 3%
Offset to S.O.L. = 30500 ± 2000 (2275
Offset to S.O.L. = 87500 ± 2000 (2275
Offset to S.O.L. = 152500 ± 2000 (2275 - Ground El.)
For continuation of drainage outlet pipe, see Drg. No. 4213.451
Energy Dissipator Structure, location to be finalized in the field by the Engineer
For continuation of foundation drain, see Drg. No. 4213.451
Sistema Dren Fundación
Planta

Dren Fundación

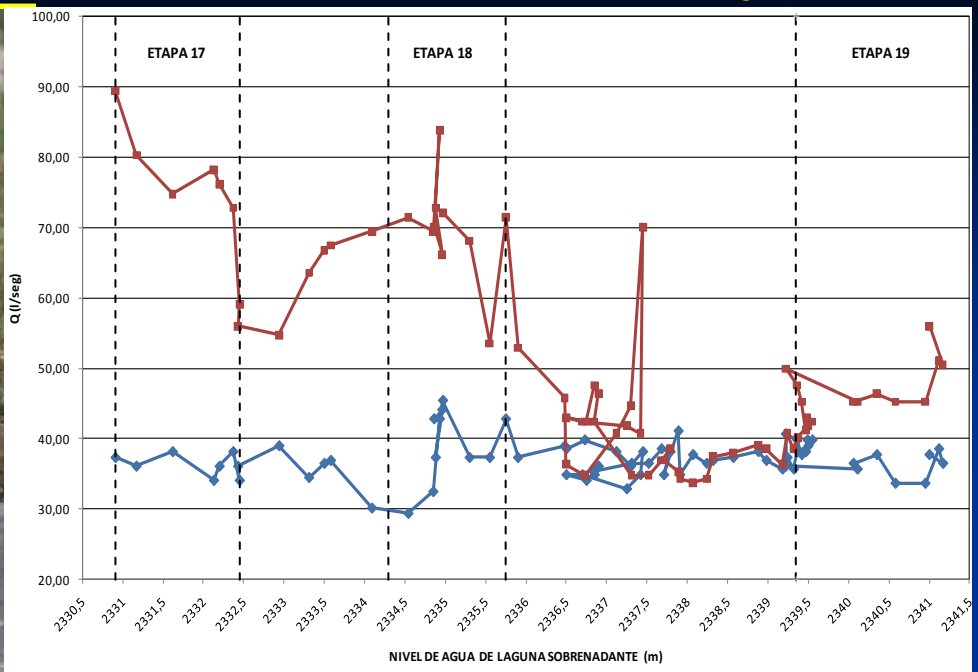


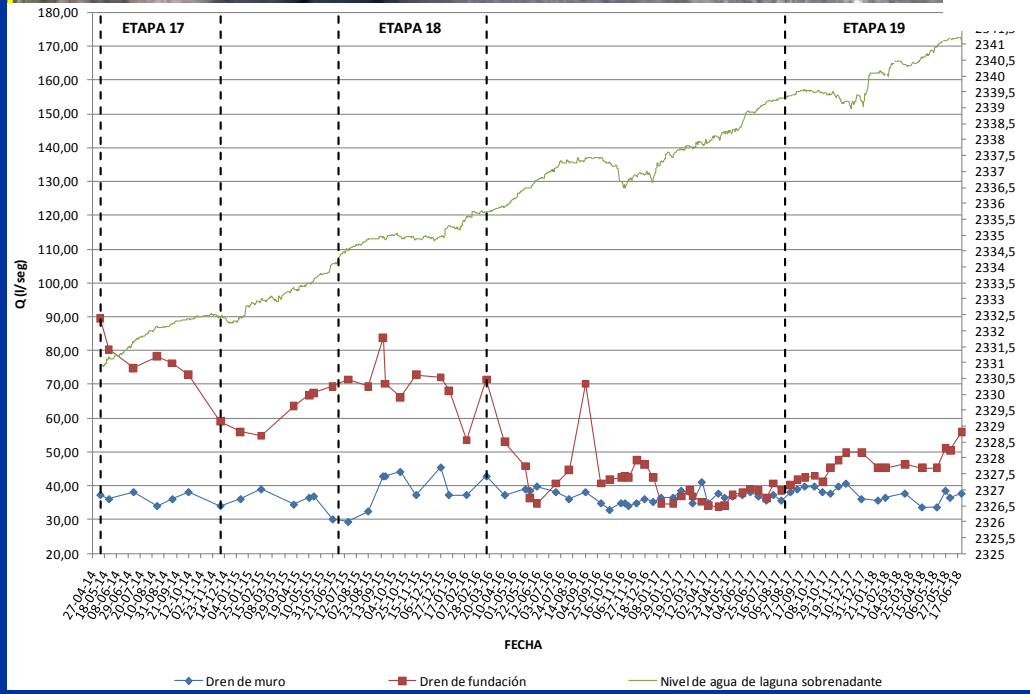
FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN



Etapa	Caudal Promedio aforado Dren de muro (l/seg)	Caudal promedio aforado Dren de fundación (l/seg)
17	36	76
18	38	69
19	38	46

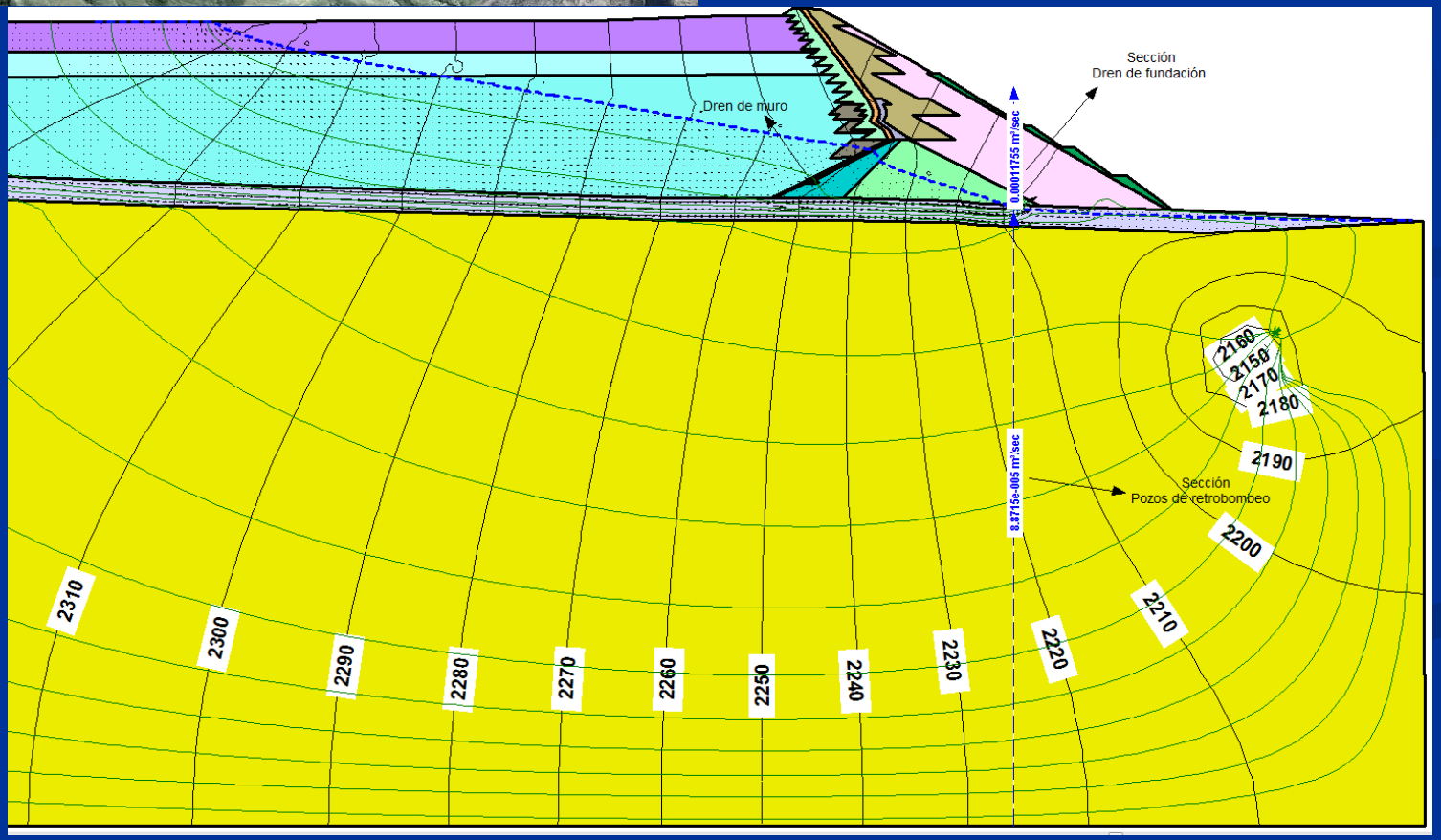
ANÁLISIS DE LOS CAUDALES DE LOS VERTEDEROS DEL PIE DEL DIQUE



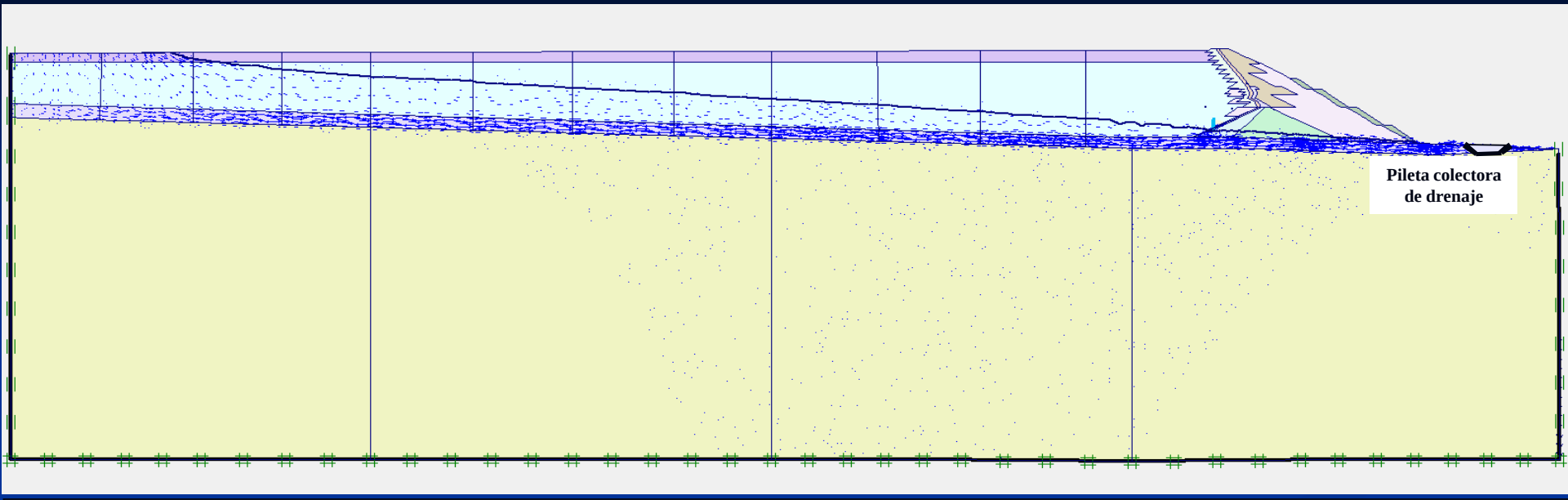


FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

Caudal específico modelo bidimensional
0,0117 l/seg/m
Ancho influencia 550m
Caudal modelo 64 l/s
Caudal aforado dren de fundación
fin Etapa 19: 56 l/s
Valor razonable que indican un buen funcionamiento del dren de fundación



Calibración del modelo con laguna de sobrenadantes a 1300m de presa



Detalle en zona de presa

Aforos drenes de muro y de fundación

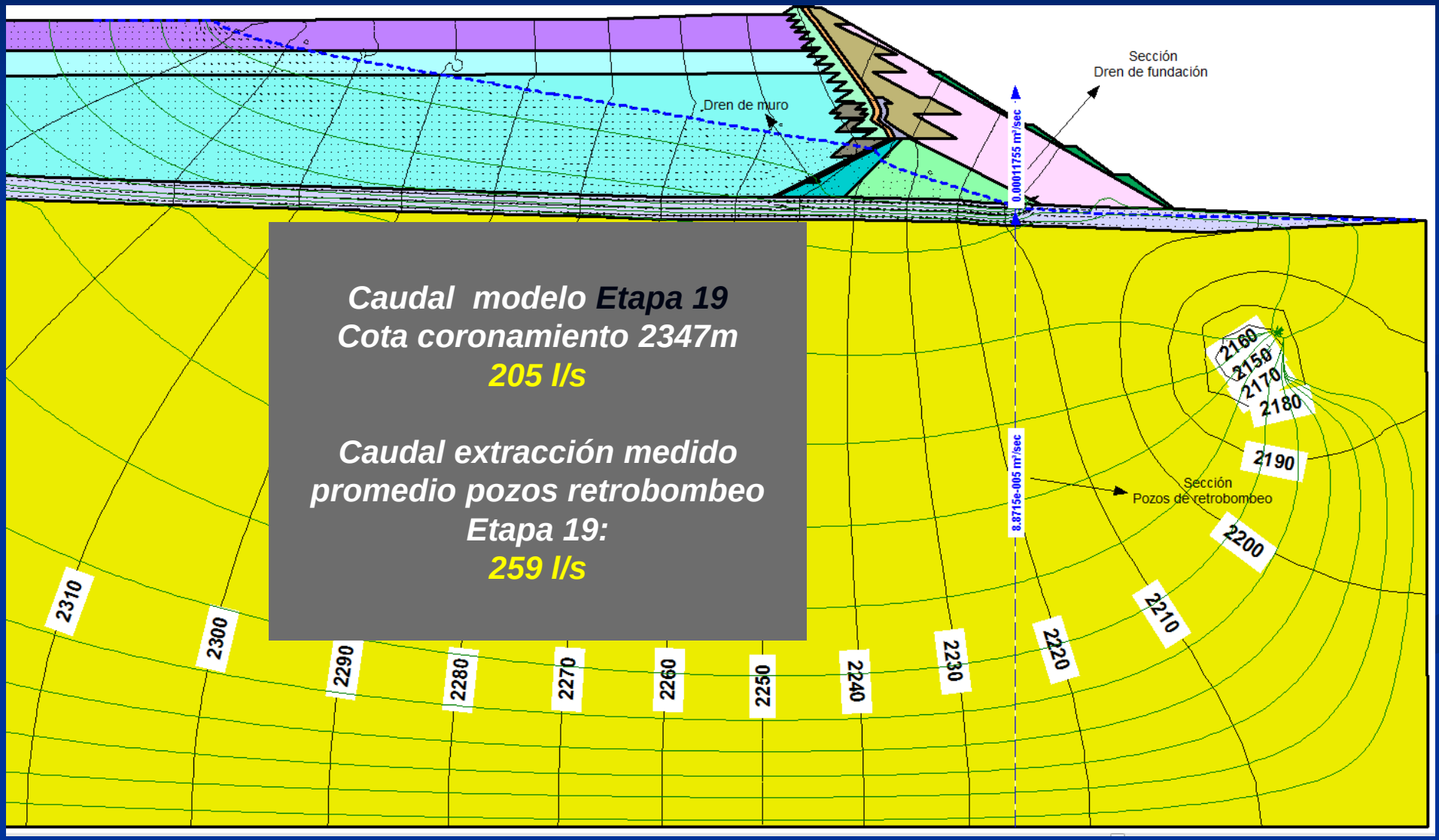
Dren de muro

Dren de fundación

Pileta colectora de drenaje

FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

Este modelo bidimensional no evalúa la efectividad del sistema de retrobombeo en función del control de agua de proceso.



Caudal modelo Etapa 19
Cota coronamiento 2347m
205 l/s

Caudal extracción medido promedio pozos retrobombeo Etapa 19:
259 l/s

- Filtración y drenaje:

  No se han observado filtraciones en el espaldón de aguas abajo o zonas aledañas.

  Las filtraciones están controladas por el sistema de drenaje y retrobombeo.

  En cuanto al sistema de drenes se observó que el agua se presentaba clara y sin arrastre de sólidos.

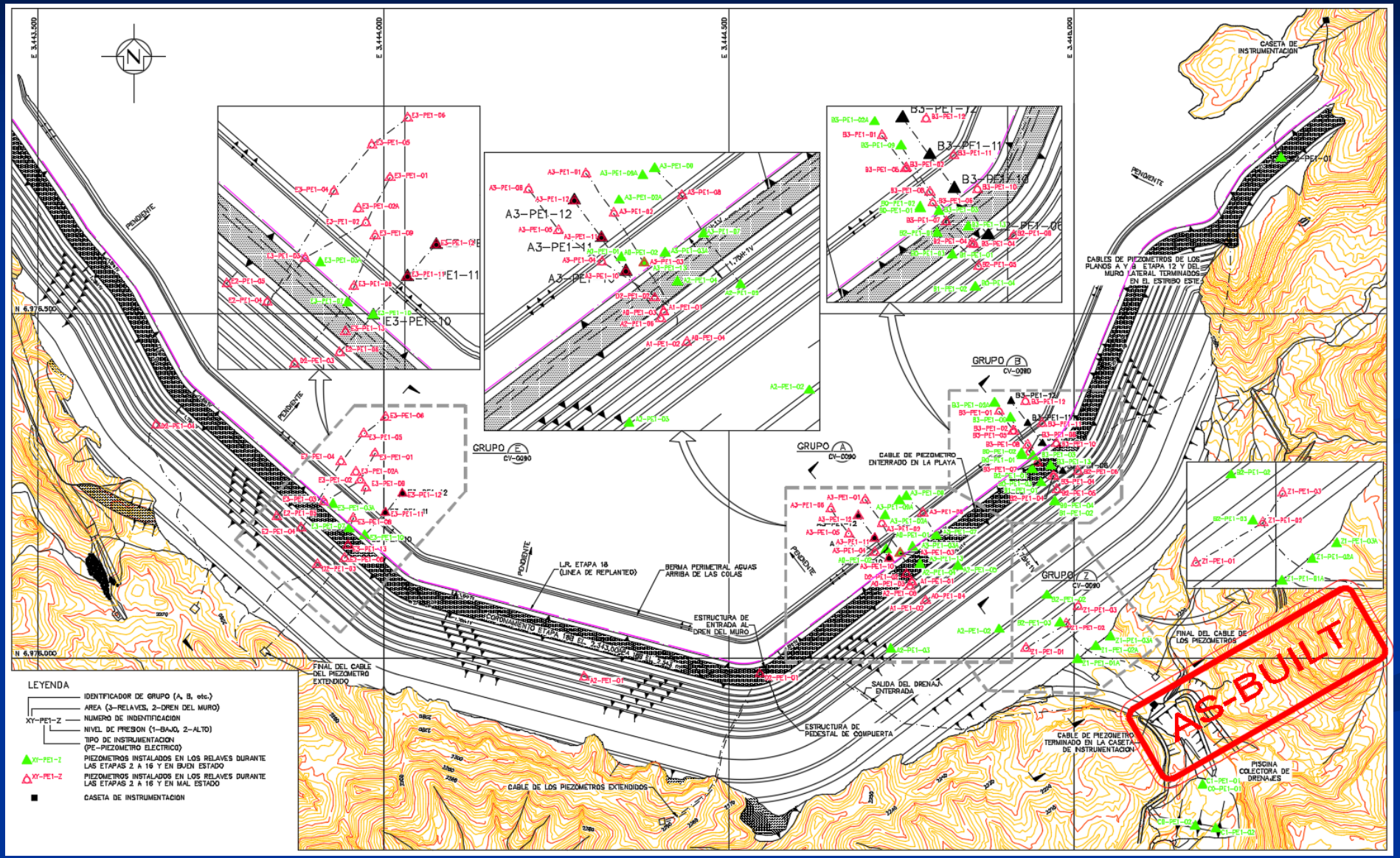
  Los sistemas de medición de caudal se encontraban en adecuadas condiciones.

Vertedero de aforo del agua captada por el Dren de Muro. Zona cercana a DCP

Vertedero de aforo del agua captada por el Dren de Fundación. Zona cercana a DCP

FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

ANÁLISIS PERIÓDICOS DE DATOS Y MEDICIONES DEL INSTRUMENTAL PRESENTE PARA EL CONOCIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

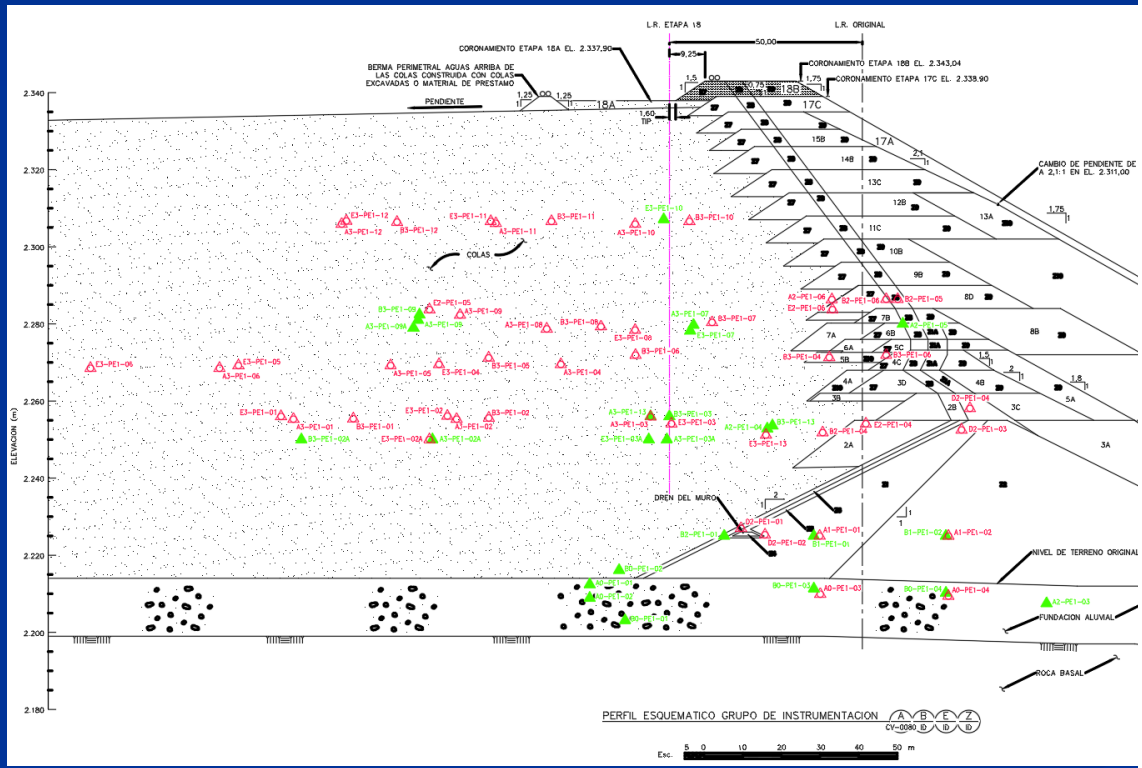


PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS - PLANTA

FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

PIEZÓMETROS EN FUNCIONAMIENTO SEGÚN MINERA ALUMBRERA

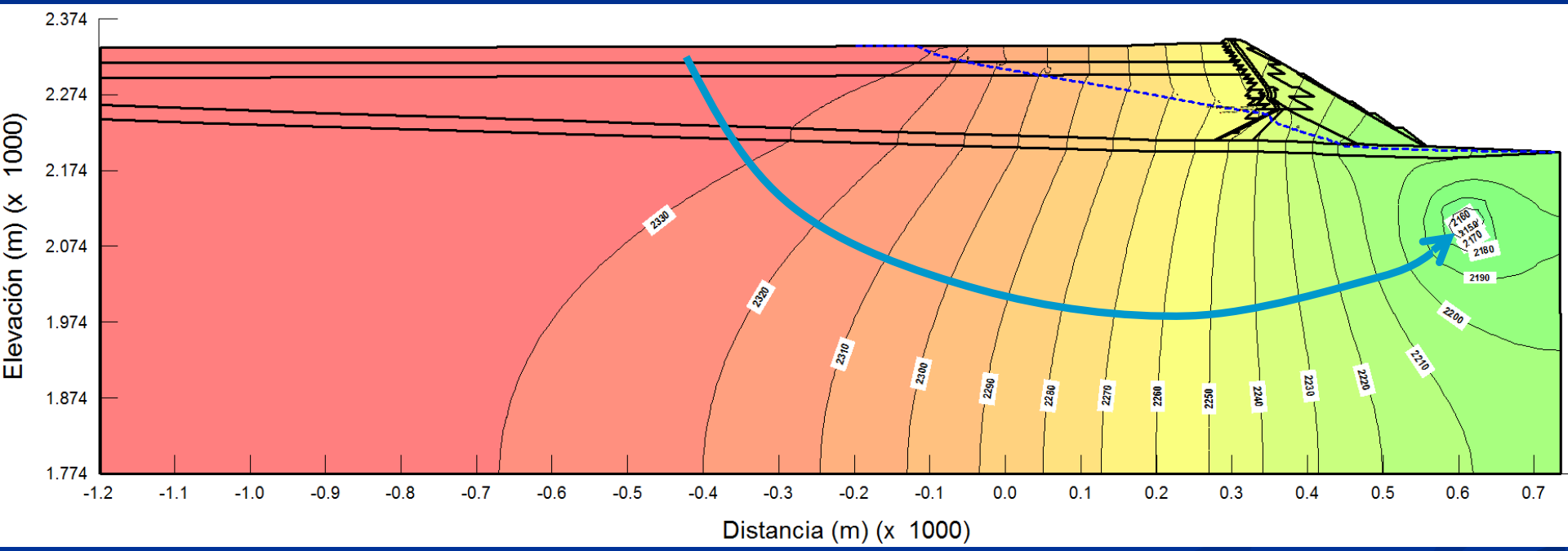
ETAPA 18



Grupo de instrumentación	Piezómetros	Cota de instalación (m)	Estado	
			Etapa 17	Etapa 18
A	A0-PE1-01	2,212.40	Bueno	Bueno
	A0-PE1-02	2,208.90	Bueno	Bueno
	A0-PE1-03	2,209.90	Malo	Malo
	A0-PE1-04	2,209.40	Malo	Malo
	A1-PE1-01	2,225.00	Malo	Malo
	A1-PE1-02	2,225.00	Malo	Malo
	D2-PE1-02	2,225.30	Malo	Malo
	A2-PE1-02	2,208.40	Bueno	Bueno
	A2-PE1-03	2,207.50	Bueno	Bueno
	A3-PE1-01	2,255.30	Malo	Malo
	A3-PE1-02	2,255.30	Malo	Malo
	A3-PE1-02a	2,250.00	Bueno	Bueno
	A3-PE1-03	2,255.90	Malo	Malo
	A3-PE1-03a	2,250.00	Bueno	Bueno
	A3-PE1-13	2,256.00	Bueno	Bueno
	A2-PE1-04	2,252.80	Bueno	Bueno
	A3-PE1-04	2,269.50	Malo	Malo
	A3-PE1-05	2,269.20	Malo	Malo
	A3-PE1-06	2,268.50	Malo	Malo
	A2-PE1-05	2,286.30	Error	Error
	A3-PE1-07	2,279.70	Bueno	Bueno
	A3-PE1-08	2,278.70	Malo	Malo
	A3-PE1-09	2,281.00	Bueno	Malo
	A3-PE1-09a	2,278.96	Bueno	Bueno
	A2-PE1-06	2,286.30	Malo	Malo
	A3-PE1-10	2,305.90	Malo	Malo
	A3-PE1-11	2,306.10	Malo	Malo
	A3-PE1-12	2,305.90	Malo	Malo
Funcionando			**12 de 28 (42,8%)**	**11 de 28 (39,3%)**
B	B0-PE1-01	2,203.10	Bueno	Bueno
	B0-PE1-02	2,216.10	Bueno	Bueno
	B0-PE1-03	2,211.30	Bueno	Bueno
	B0-PE1-04	2,210.20	Bueno	Bueno
	B1-PE1-01	2,225.00	Bueno	Bueno
	B1-PE1-02	2,225.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-01	2,225.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-02	2,207.20	Bueno	Bueno
	B2-PE1-03	2,206.50	Bueno	Bueno
	B3-PE1-01	2,255.40	Malo	Malo
	B3-PE1-02	2,255.60	Malo	Malo
	B3-PE1-02a	2,250.00	Bueno	Bueno
	B3-PE1-03	2,256.00	Bueno	Bueno
	B2-PE1-04	2,251.80	Malo	Malo
	B3-PE1-04	2,271.30	Malo	Malo
	B3-PE1-05	2,271.20	Malo	Malo
	B3-PE1-06	2,271.90	Malo	Malo
	B2-PE1-05	2,286.40	Malo	Malo
	B3-PE1-07	2,280.40	Malo	Malo
	B3-PE1-08	2,279.30	Malo	Malo
	B3-PE1-09	2,282.40	Bueno	Bueno
	B2-PE1-06	2,286.40	Malo	Malo
	B3-PE1-10	2,306.60	Malo	Malo
	B3-PE1-11	2,306.60	Malo	Malo
	B3-PE1-12	2,306.40	Malo	Malo
	B3-PE1-13	2,253.55	Bueno	Bueno
Funcionando			**13 de 26 (50,0%)**	**13 de 26 (50,0%)**

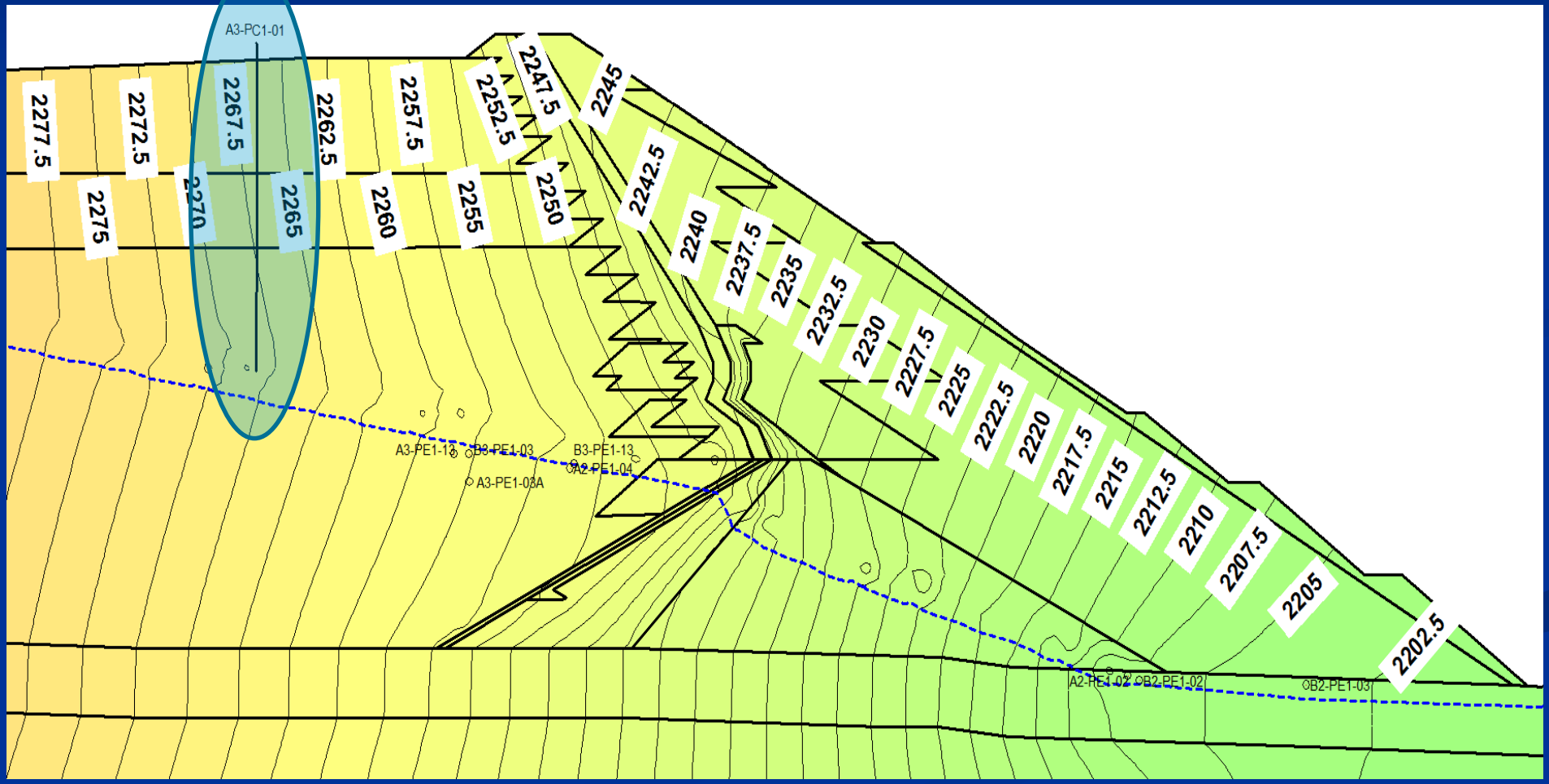
FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS
MODELIZACIÓN DE REDES DE FILTRACIÓN PARA LA ETAPA 19

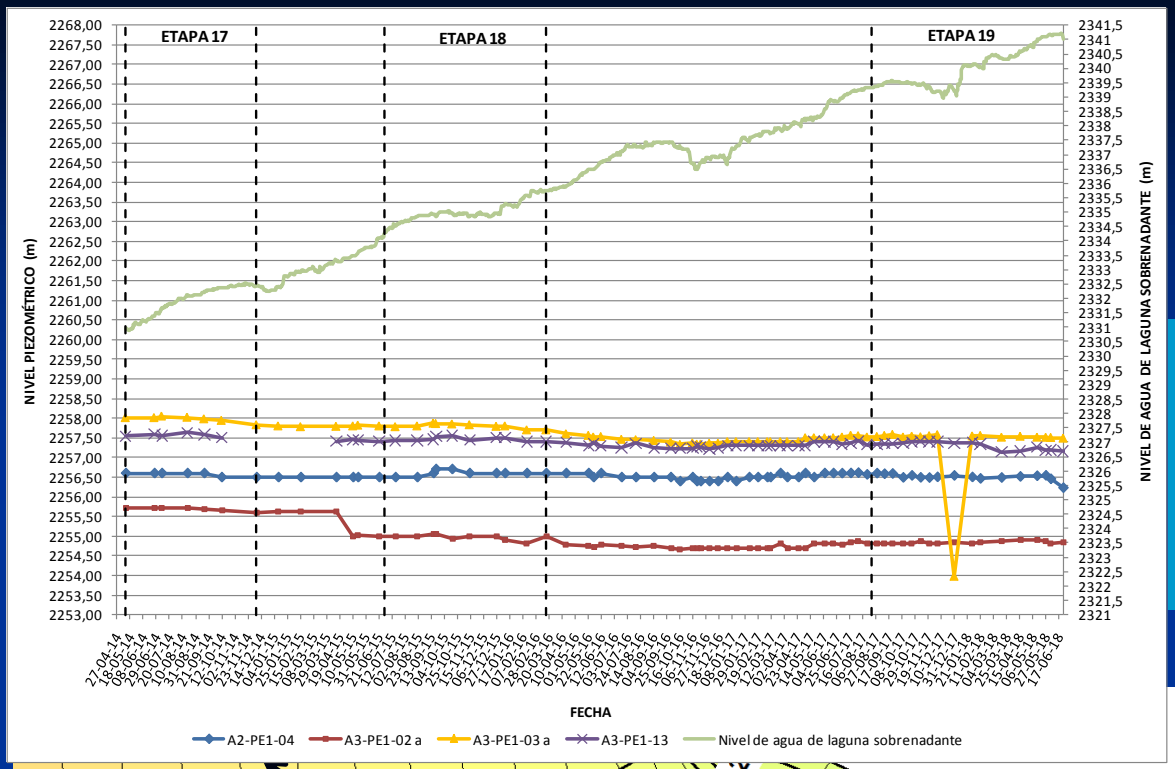


FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS MODELIZACIÓN DE REDES DE FILTRACIÓN PARA LA ETAPA 19

LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS DE LOS FREATÍMETROS PERMITIRÁN VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DE CADA UNO DE LOS PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS. SE SOLICITARON LAS LECTURAS DE LOS FREATÍMETROS.

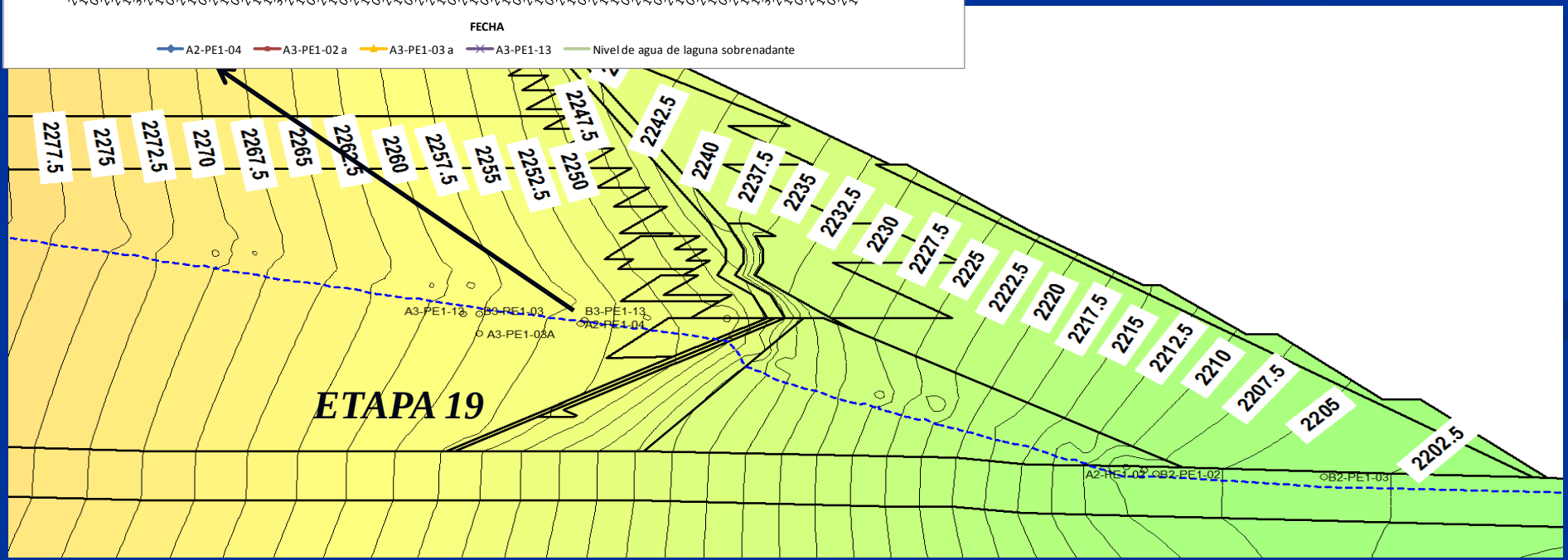


FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

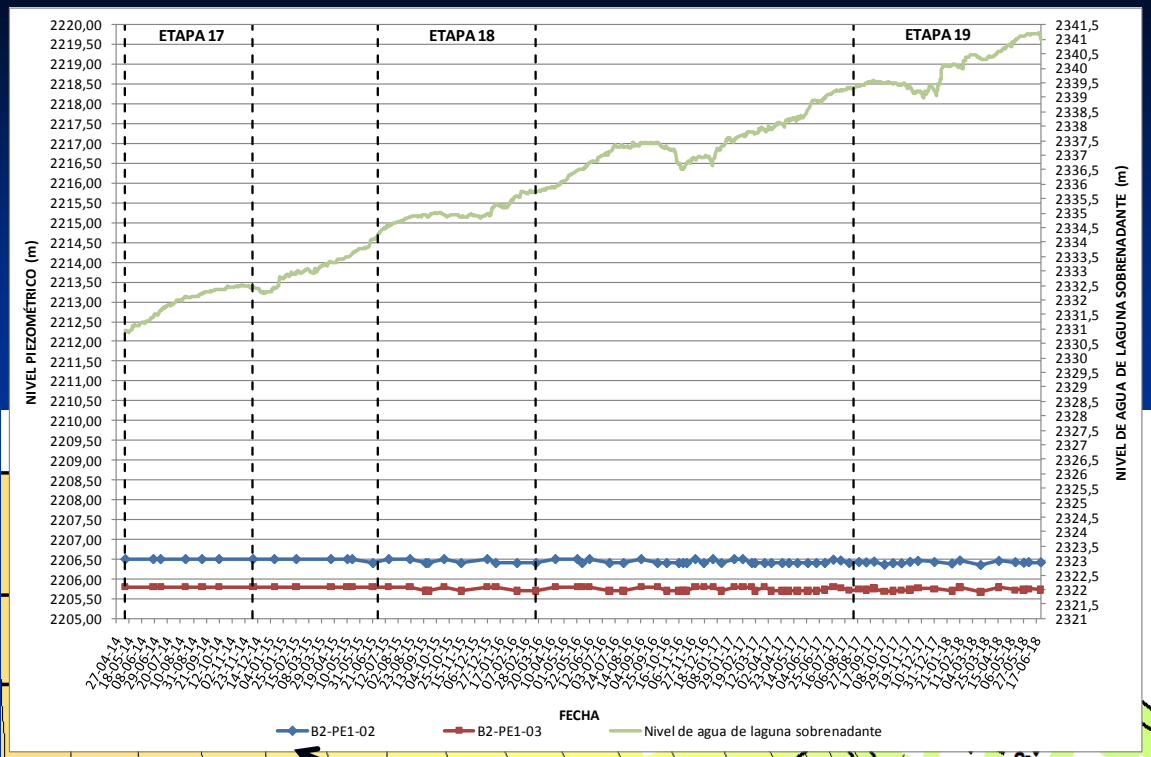


FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

Los niveles piezométricos de los grupos de instrumentación se mantienen relativamente constantes con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de la etapa 17, 18 y 19.
Valor razonable según el modelo.

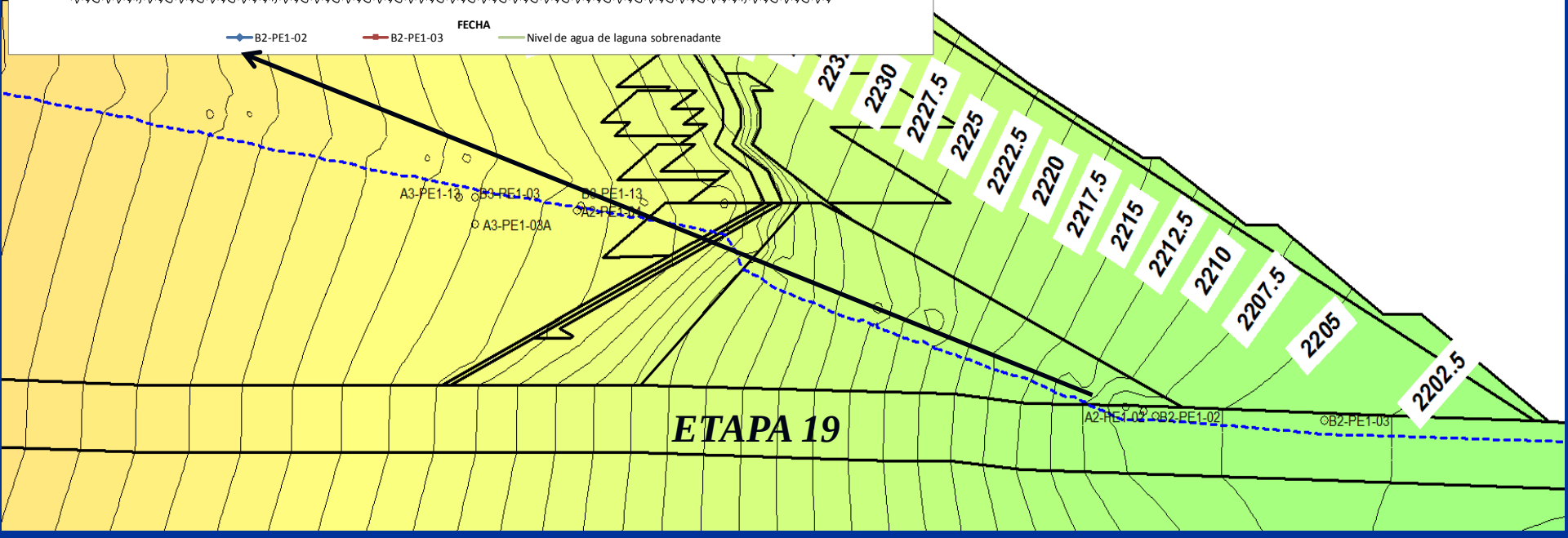


FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN



FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

Los niveles piezométricos de los grupos de instrumentación se mantienen constantes con la variación del nivel de agua de la laguna sobrenadante durante la construcción de la etapa 17, 18 y 19 próximos a su cota de instalación.
Valor razonable según modelo.



FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS Y FREATÍMETROS

Tendencia piezómetros eléctricos, ir quedando desafectados en el tiempo como ha ocurrido en muchas presas auscultadas con este tipo de piezómetros.

Conveniente tener datos medidos en forma directa en presa y su fundación.

Se instalaron 6 de los 9 freatímetros recomendados. Restan colocar 3 freatímetros.

Cabe recordar que las profundidades recomendadas oportunamente por IATASA para los freatímetros construidos recientemente ubicados aguas arriba fueron entre 105m y 120m (Ver freatímetros 1 a 5), con el objetivo de atravesar las colas en toda su altura y de esta manera poder evaluar el descenso del nivel de agua que se producirá durante el cierre de mina.

Se recomienda tomar la misma frecuencia de lectura de freatímetros y piezómetros eléctricos.

Los freatímetros que están ubicados aguas abajo de la presa, deberán protegerse ya que falta aún la construcción de la cobertura, donde se ha recomendado un talud final de 1V:2H.

Los freatímetros aguas arriba deberán prolongarse y protegerse a medida que las colas vayan subiendo, siendo el futuro nivel de coronamiento 2352m de la nueva etapa de explotación minera subterránea que se alcanzará en los próximos 10 años.

FILTRACIONES A TRAVÉS DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS REALIZADOS POR LA DIPGAM Y MA PARA MONITOREO DE ARRASTRE DE SÓLIDOS

La toma de muestras en el punto DCP/DCP-2 y la ejecución del ensayo de sólidos en suspensión y turbidez son una manera adecuada de apreciar el arrastre de sólidos en los drenes de la presa.
No se observan inconvenientes en el comportamiento de la presa.

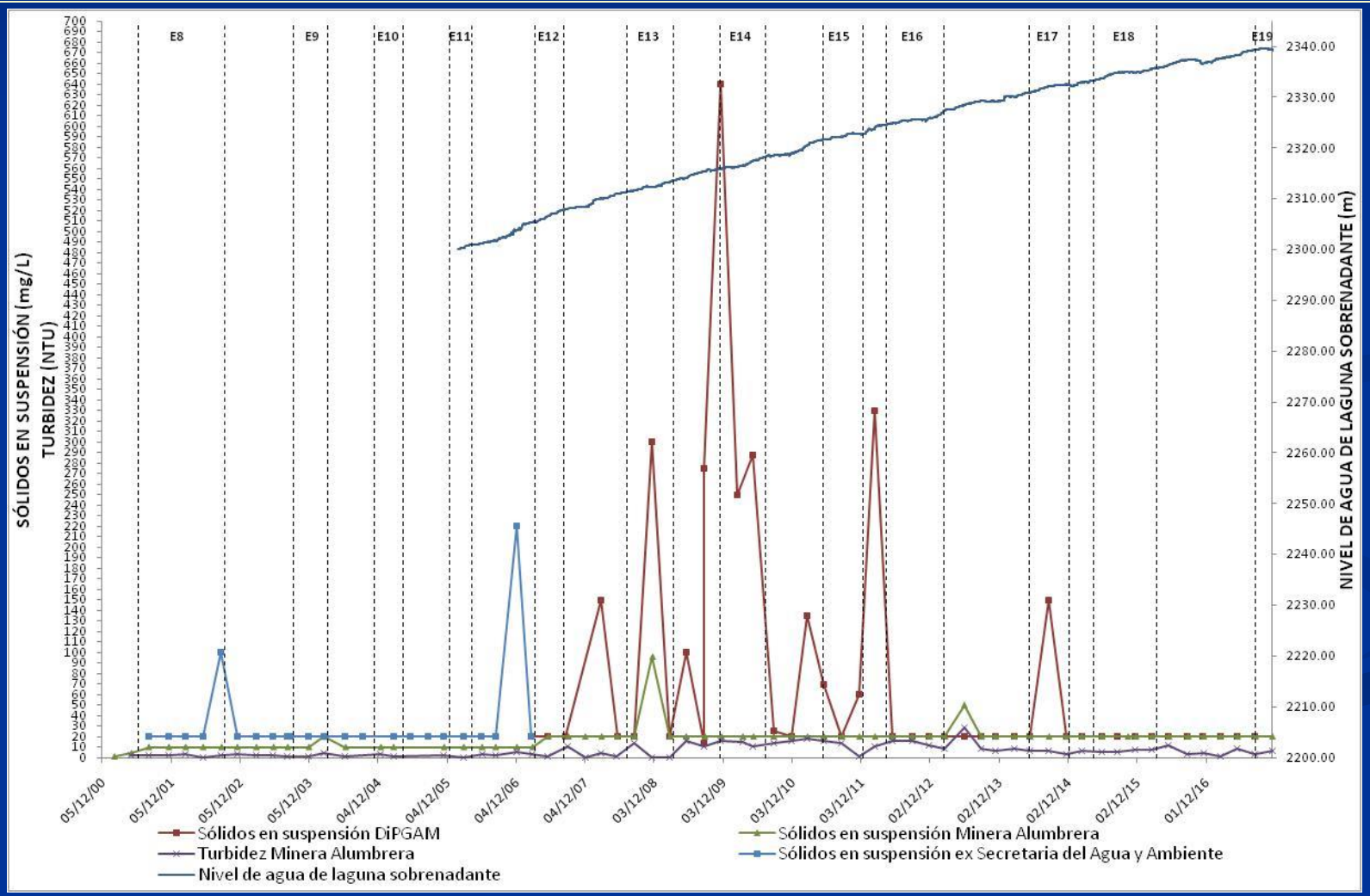
ANÁLISIS DE AGUAS - SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y TURBIDEZ

Para evaluar el monitoreo del arrastre de sólidos, se han procesado los valores de sólidos en suspensión y turbidez tomados de muestras de aguas superficiales en el punto DCP/DCP-2.

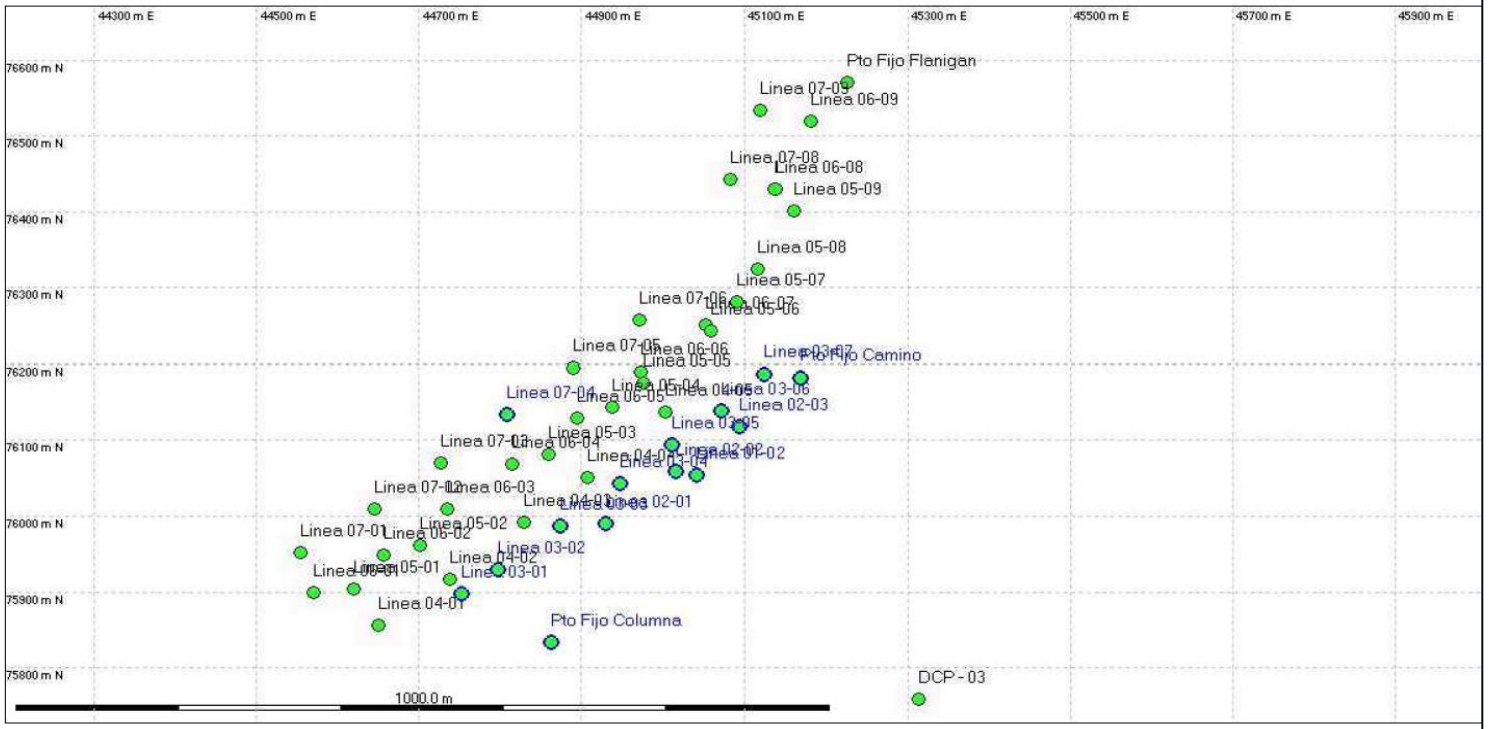
Se cuenta con datos de sólidos en suspensión y turbidez tomados por Minera Alumbrera, trimestralmente.

Además se cuenta con datos de sólidos en suspensión tomados por DiPGAM, trimestralmente.

Las mediciones realizadas durante etapas 18 y 19 se encuentran estables, no evidenciando arrastre de sólidos, ni turbidez. Se aprecia un buen comportamiento de drenes.



ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA



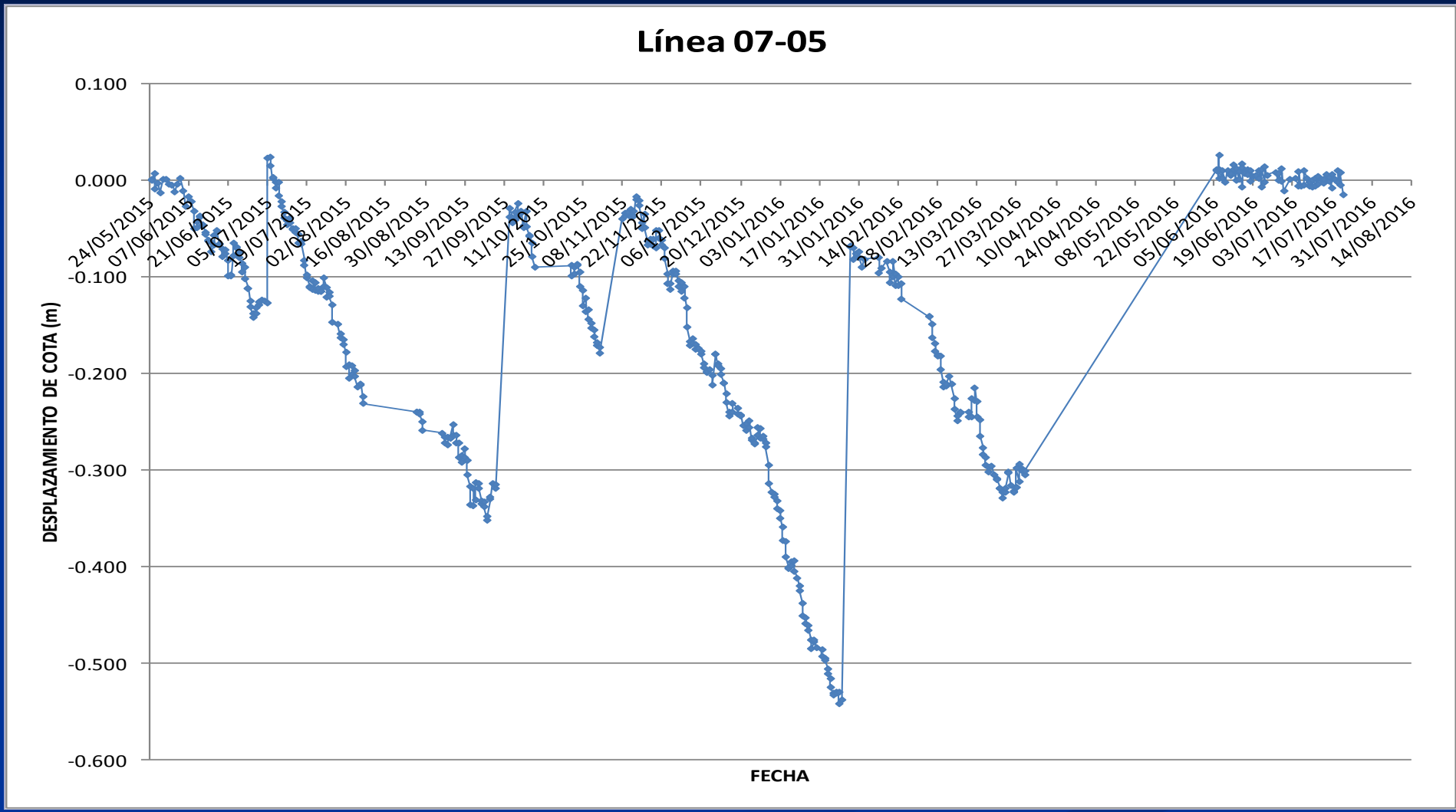
CASETA N°3
PERIODO 2016
CORDENADAS INICIALES DE LOS PRISMAS COLOCADOS EN EL MURO

Nombre	Este	Norte	Elevación	Tipo
DCP - 03	45314.769	75756.138	2271.733	null
Linea 01-01	44992.067	76014.432	2220.000	null
Linea 01-02	45041.824	76052.487	2220.793	null
Linea 02-01	44930.505	75988.136	2230.846	null
Linea 02-02	45017.149	76056.390	2230.256	null
Linea 02-03	45094.716	76116.310	2230.699	null
Linea 03-01	44753.175	75894.997	2250.527	null
Linea 03-02	44797.206	75927.001	2250.691	null
Linea 03-03	44874.632	75984.179	2250.644	null
Linea 03-04	44947.751	76041.161	2250.698	null
Linea 03-05	45011.560	76091.074	2250.873	null
Linea 03-06	45072.508	76137.070	2250.742	null
Linea 03-07	45126.331	76183.788	2251.464	null
Linea 03-08	45168.971	76247.069	2250.537	null
Linea 04-01	44650.512	75853.527	2266.203	null
Linea 04-02	44738.222	75914.824	2267.445	null
Linea 04-03	44829.925	75989.648	2266.499	null
Linea 04-04	44907.824	76048.035	2266.805	null
Linea 04-05	45003.623	76134.552	2270.468	null
Linea 04-06	45067.100	76183.565	2270.268	null
Linea 04-07	45128.174	76248.080	2270.392	null
Linea 04-08	45155.702	76283.758	2267.872	null
Linea 05-01	44620.103	75901.243	2301.331	null
Linea 05-02	44702.097	75958.363	2301.673	null
Linea 05-02-A	44782.813	76021.769	2301.965	null
Linea 05-03	44860.597	76079.647	2301.373	null
Linea 05-04	44938.788	76141.613	2301.406	null
Linea 05-05	44977.204	76173.138	2301.466	null
Linea 05-06	45060.202	76240.000	2302.103	null
Linea 05-07	45092.113	76278.259	2301.639	null
Linea 05-08	45117.733	76321.441	2302.314	null
Linea 05-09	45160.587	76398.461	2302.760	null
Linea 05-10	45214.947	76490.722	2302.511	null
Linea 06-01	44570.437	75896.662	2309.876	null
Linea 06-02	44656.446	75945.714	2309.697	null
Linea 06-03	44735.189	76006.942	2309.878	null
Linea 06-04	44815.032	76066.406	2310.287	null
Linea 06-05	44895.443	76126.415	2309.614	null
Linea 06-06	44974.438	76187.378	2309.592	null
Linea 06-07	45053.513	76248.279	2309.153	null
Linea 06-07-A	45102.283	76333.802	2309.813	null
Linea 06-08	45137.938	76427.762	2310.366	null
Linea 06-09	45181.439	76516.389	2310.459	null
Linea 07-01	44554.713	75948.975	2334.676	null
Linea 07-02	44646.388	76007.634	2334.649	null
Linea 07-03	44727.923	76068.663	2334.441	null
Linea 07-04	44809.053	76131.829	2334.483	null
Linea 07-05	44890.884	76193.170	2334.142	null
Linea 07-06	44972.732	76254.805	2334.232	null
Linea 07-07	45045.445	76340.787	2334.789	null
Linea 07-08	45083.841	76440.798	2335.100	null
Linea 07-09	45120.635	76531.322	2334.543	null
Linea 07-10	45150.191	76574.800	2335.486	null
Pto Fijo Camino	45168.602	76179.740	2235.948	null
Pto Fijo Columna	44863.662	75831.093	2236.271	null
Pto Fijo Flanigan	45226.902	76567.929	2343.723	null

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

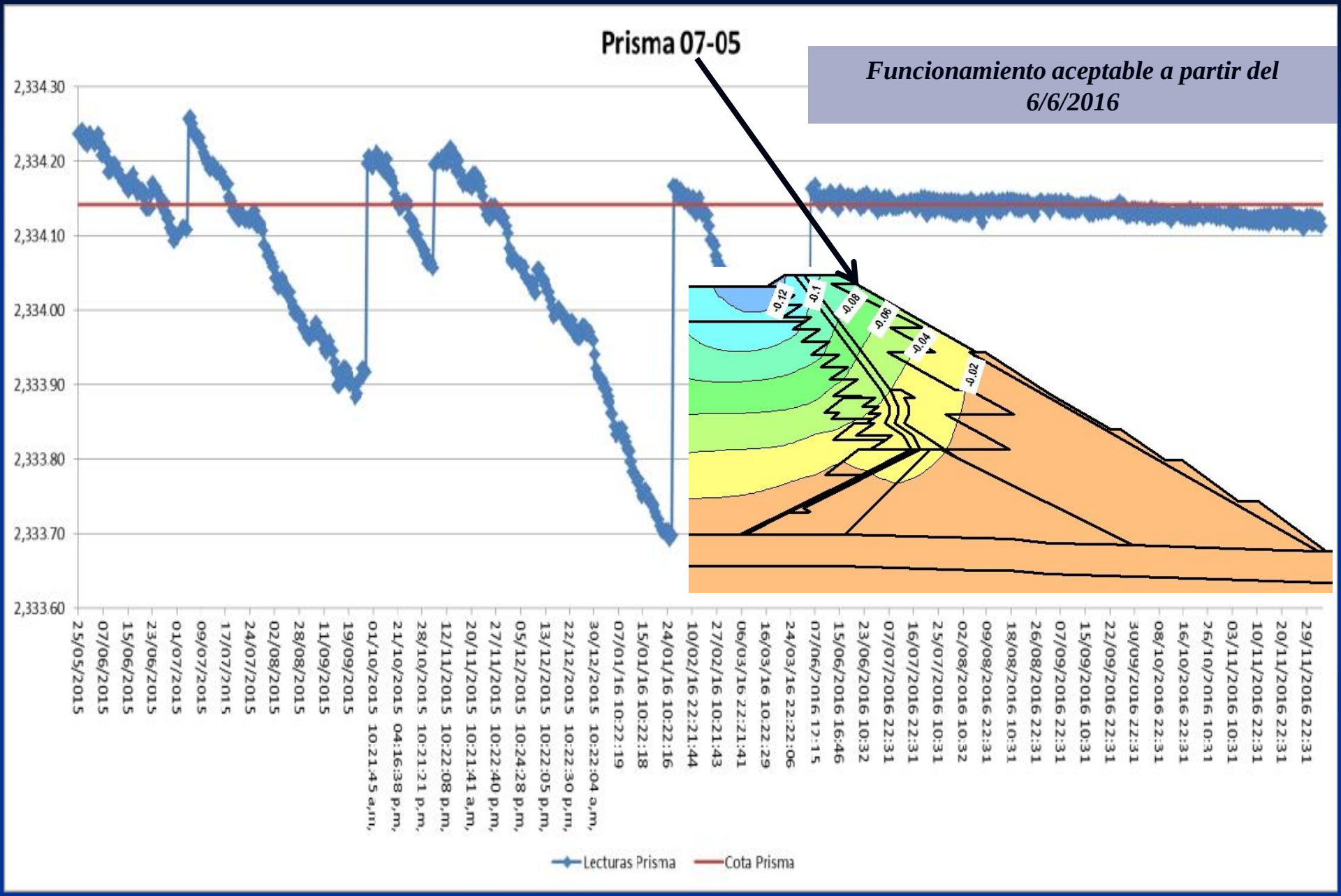
PUNTO FIJO: 07-05

ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA



La cota inicial de los prismas topográficos desciende significativamente y en determinadas fechas se presentan saltos ascendentes (4/7/2015, 24/9/2015, 31/10/2015 y 24/01/2016).
A partir del 06/06/16, se aprecia un cambio en las magnitudes de las mediciones.

FUNCIONAMIENTO ACEPTABLE ENTRE PUNTOS FIJOS Y MODELO (7 MESES) - CORONAMIENTO 2339 (5CM APROX. EN 6 MESES)

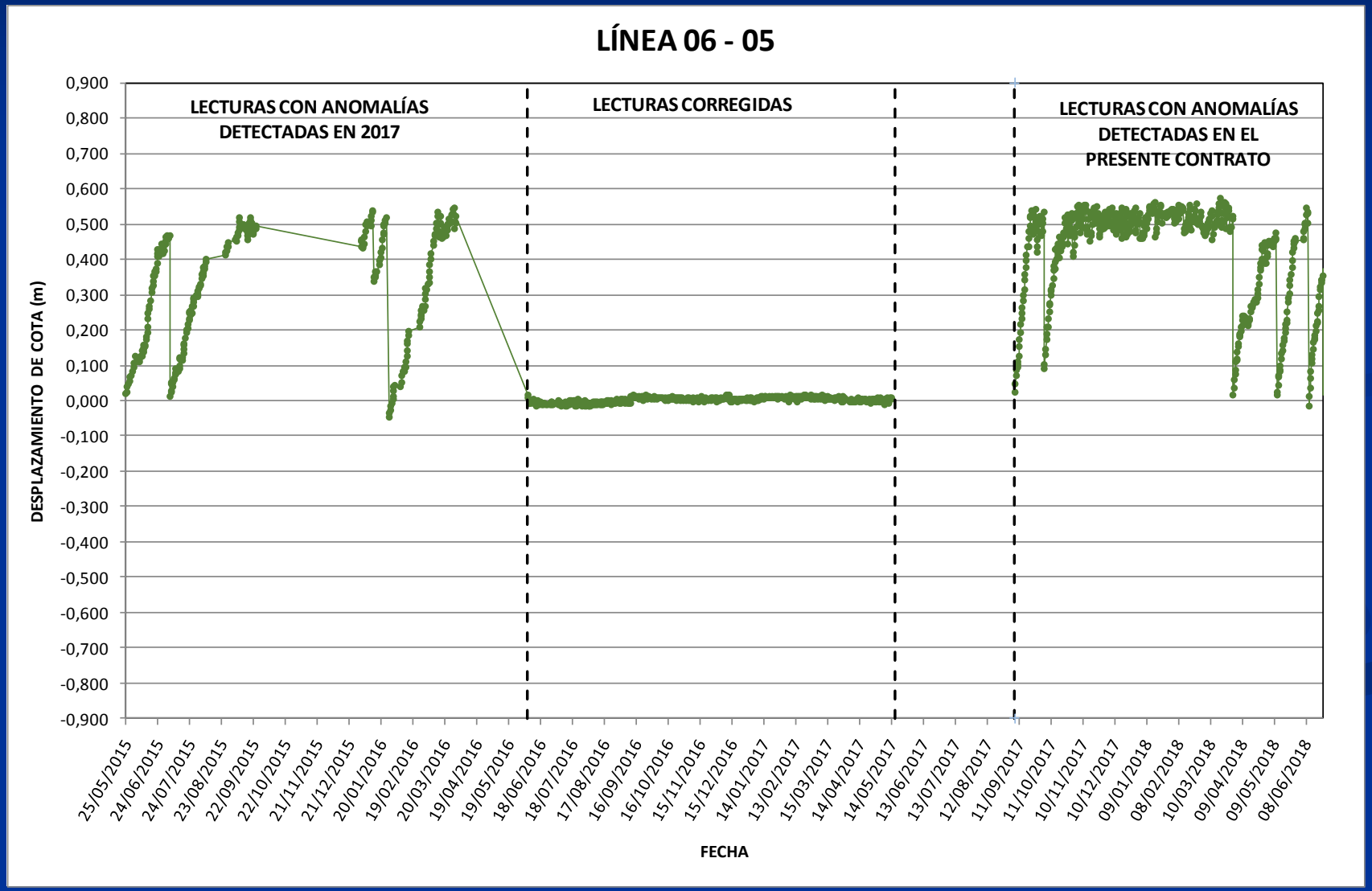


Desplazamiento de prisma 06-05 (25/05/2015 – 24/06/2018) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

COTA PRISMA 2335 METROS

SE APRECIAN LECTURAS ANÓMALAS.

SE RECOMIENDA CORREGIR ESTA SITUACIÓN

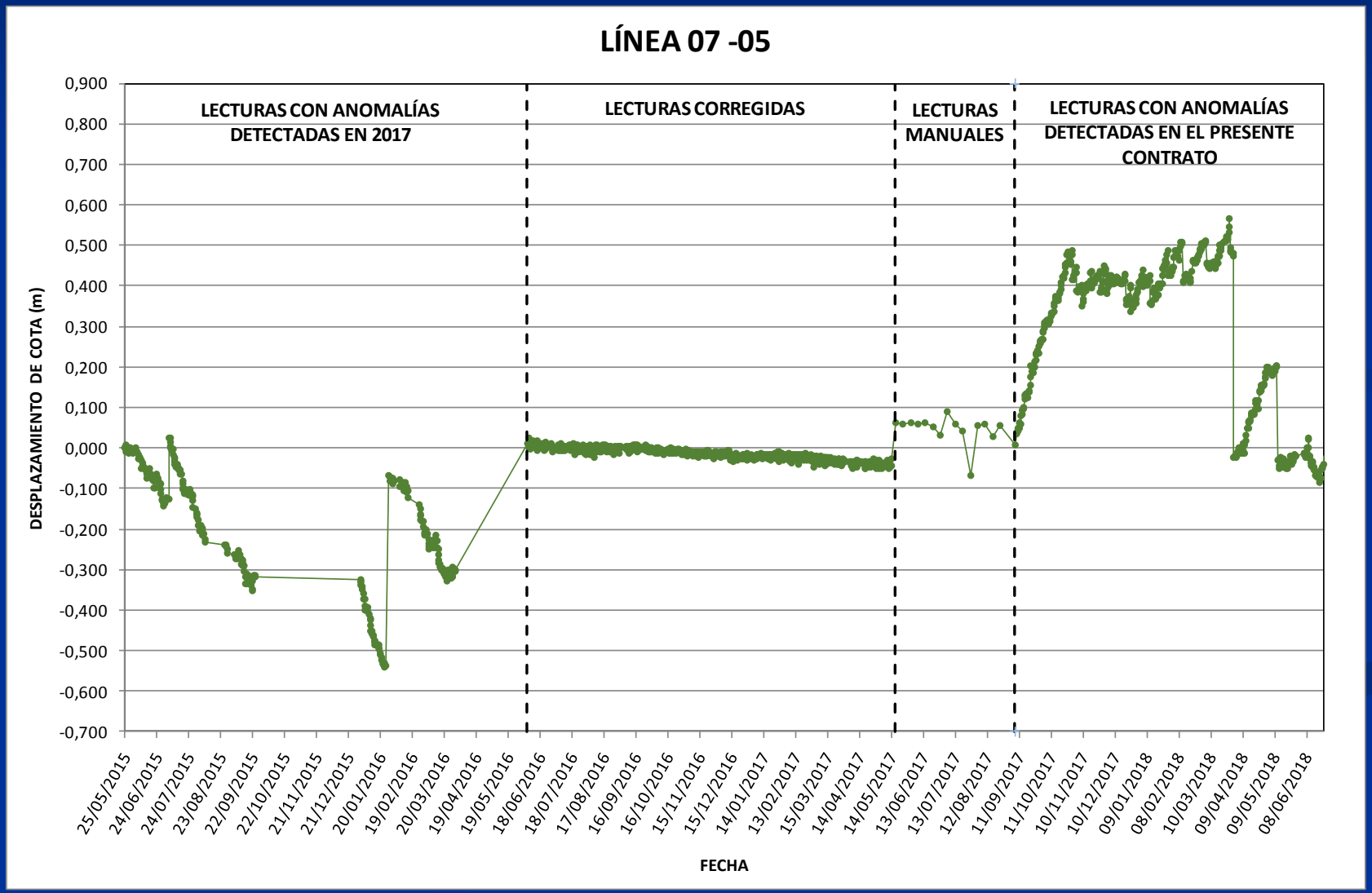


Desplazamiento de prisma 07-05 (25/05/2015 – 24/06/2018) (Fuente: elaborado por IATASA con información de Minera Alumbrera provista por la DiPGAM).

COTA PRISMA 2335 METROS

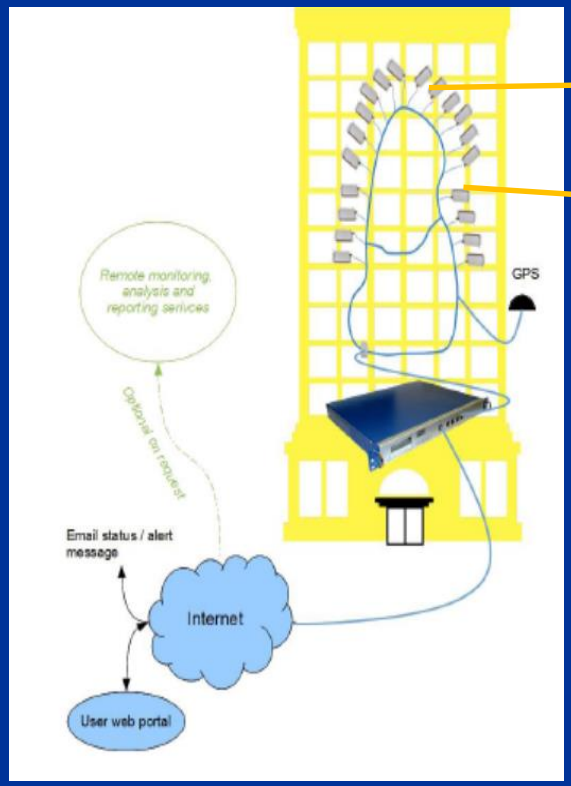
SE APRECIAN LECTURAS ANÓMALAS.

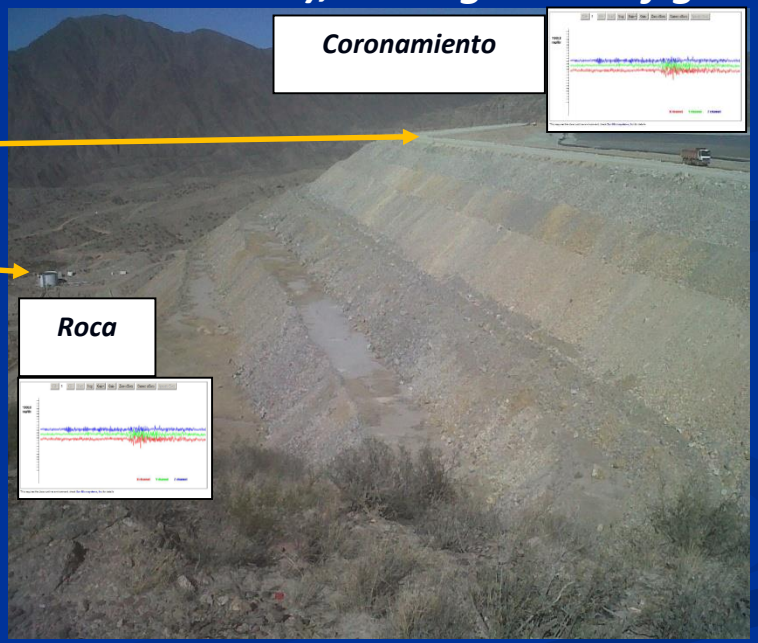
SE RECOMIENDA CORREGIR ESTA SITUACIÓN



ANÁLISIS DE DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTAL Y DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN CORONAMIENTO Y FUNDACIÓN DE LA PRESA

***Recomendación: colocar dos acelerógrafos** con sensores remotos uno en el pie de presa (apoyado en roca) y otro en el coronamiento de la presa (en la sección de mayor altura), también se debería contar con una central que registre los datos medidos con todos los accesorios necesarios para poder acoplarlos a un **Sistema de Auscultación Automático** (con acceso a un sitio Web para poder evaluar los datos medidos en línea desde Catamarca y establecer la alertas), ver siguientes figuras como ejemplo:*





Monitoreo de presa de relaves
Iatasa - Recomendaciones:

1) ***Realizar relevamiento topográficos de verificación del estado actual***

2) ***Instalar puntos fijos distribuidos a lo largo de todo el coronamiento y el talud aguas abajo de la presa. Corregir funcionamiento de las mediciones sobre los puntos fijos existentes.***

3) ***Monitorear el asentamiento de las colas***

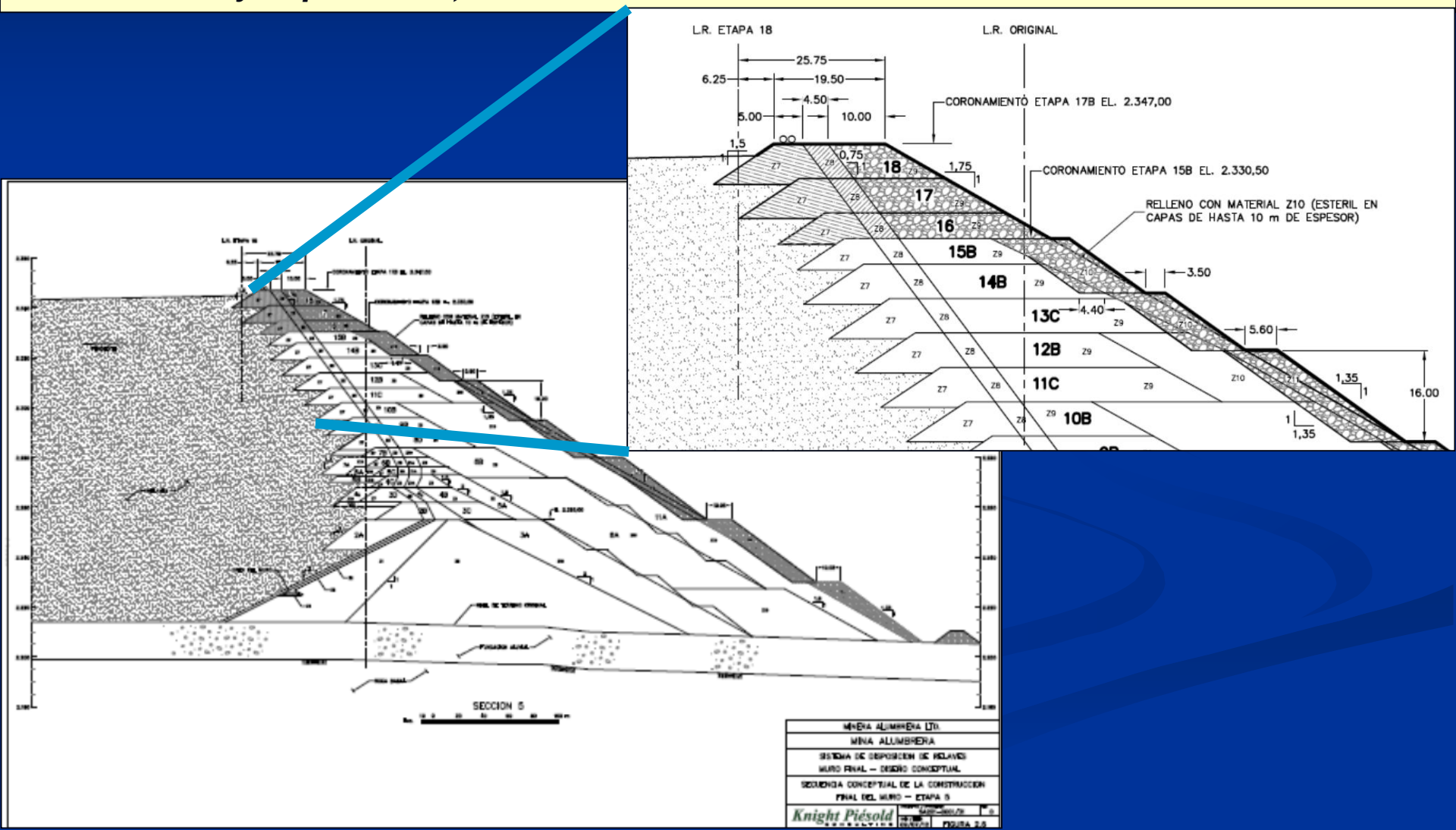
4) ***Instalar 9 piezómetros Casagrande. Restan 3 y profundizar los existentes en relaves.***

5) ***Incluir Plan de acción durante emergencias (PADE)***

6) ***Incluir sistema automático de auscultación***

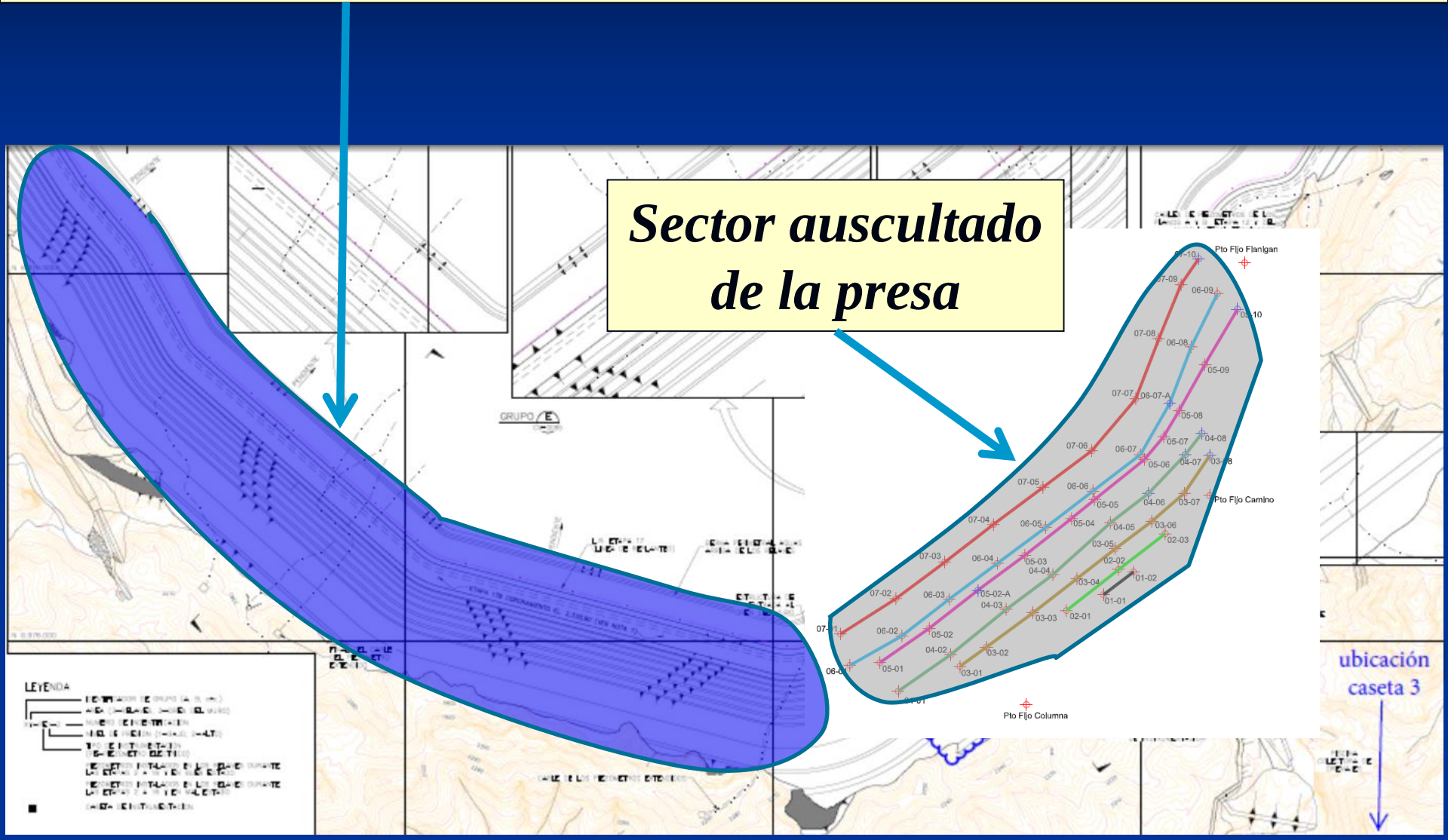
Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

1) ***Realizar relevamiento de verificación (situación actual) y elaboración de planos de toda la presa (planialtimetría y perfiles transversales), incluyendo relaves, coronamiento y espaldón de aguas abajo y la zona de pie de presa (con zonificación interior de materiales utilizados y la fundación). Se deberá indicar la cobertura.***



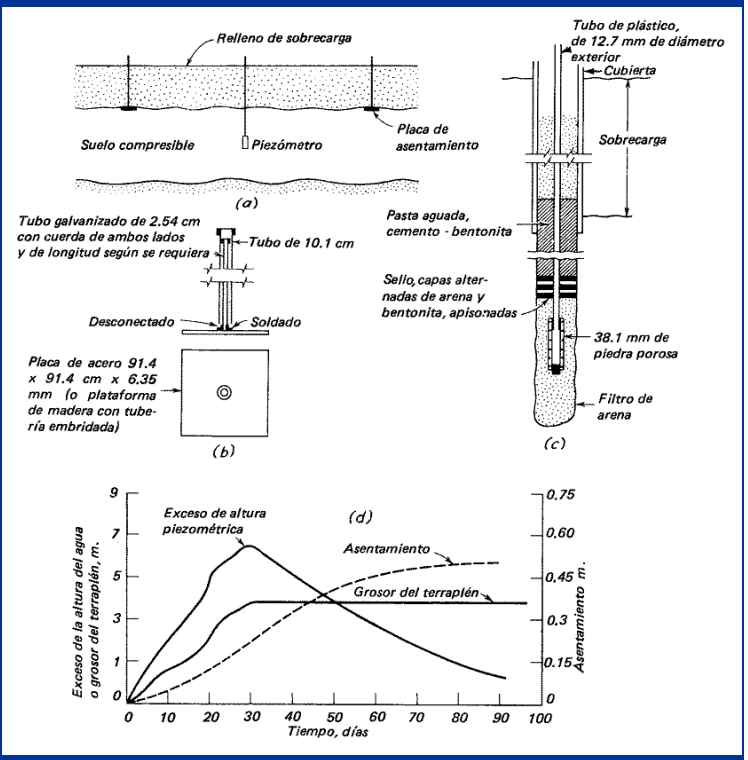
Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

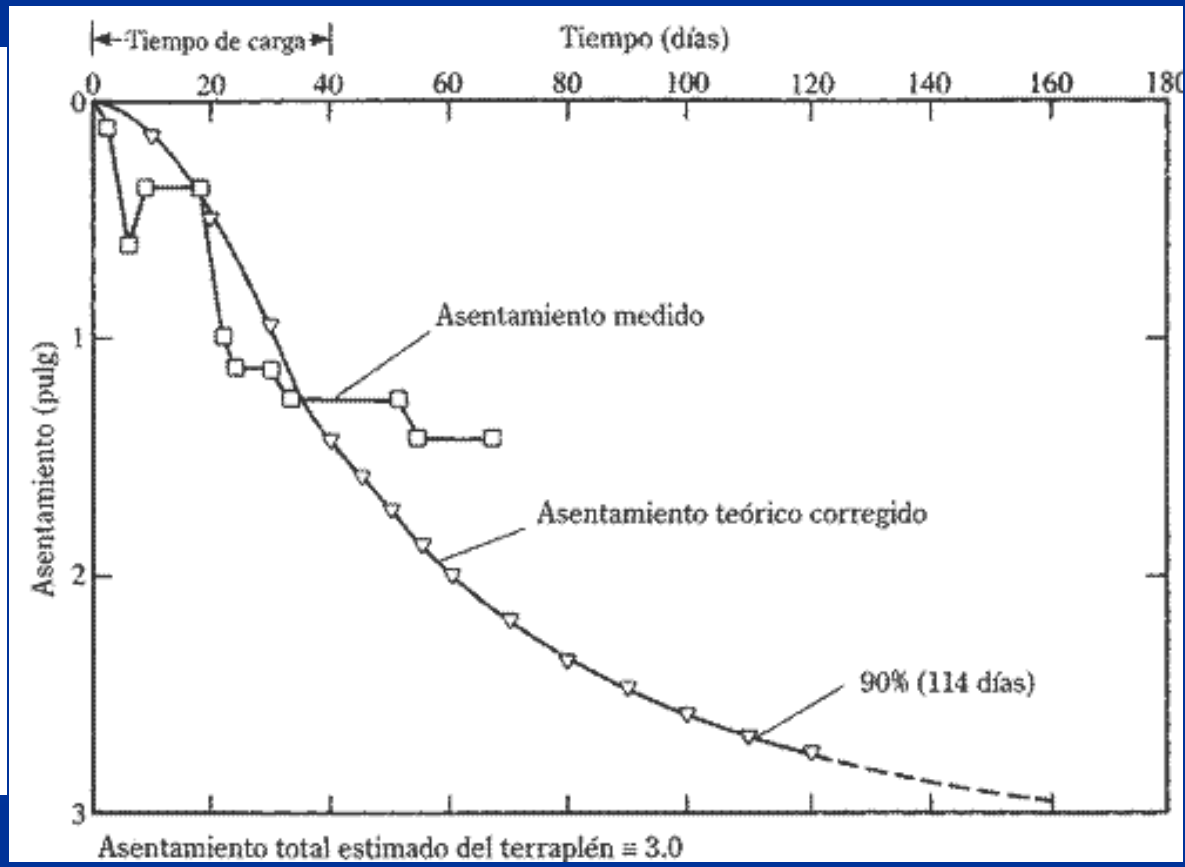
2) Instalar puntos fijos distribuidos a lo largo de todo el coronamiento y el talud aguas abajo de la presa (no solamente en el sector de mayor altura de presa).



Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

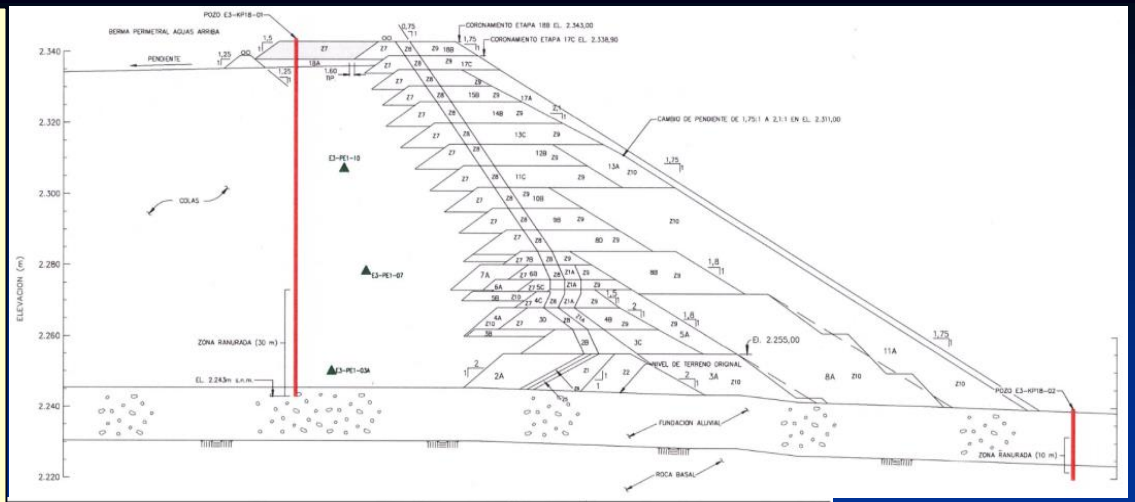
3) ***Monitorear el asentamiento de las colas, mediciones periódicas para verificar asentamiento teórico, comprobar comportamiento asintótico de la curva de consolidación. Se deberá garantizar un correcto funcionamiento del sistema de desagüe y de cobertura.***

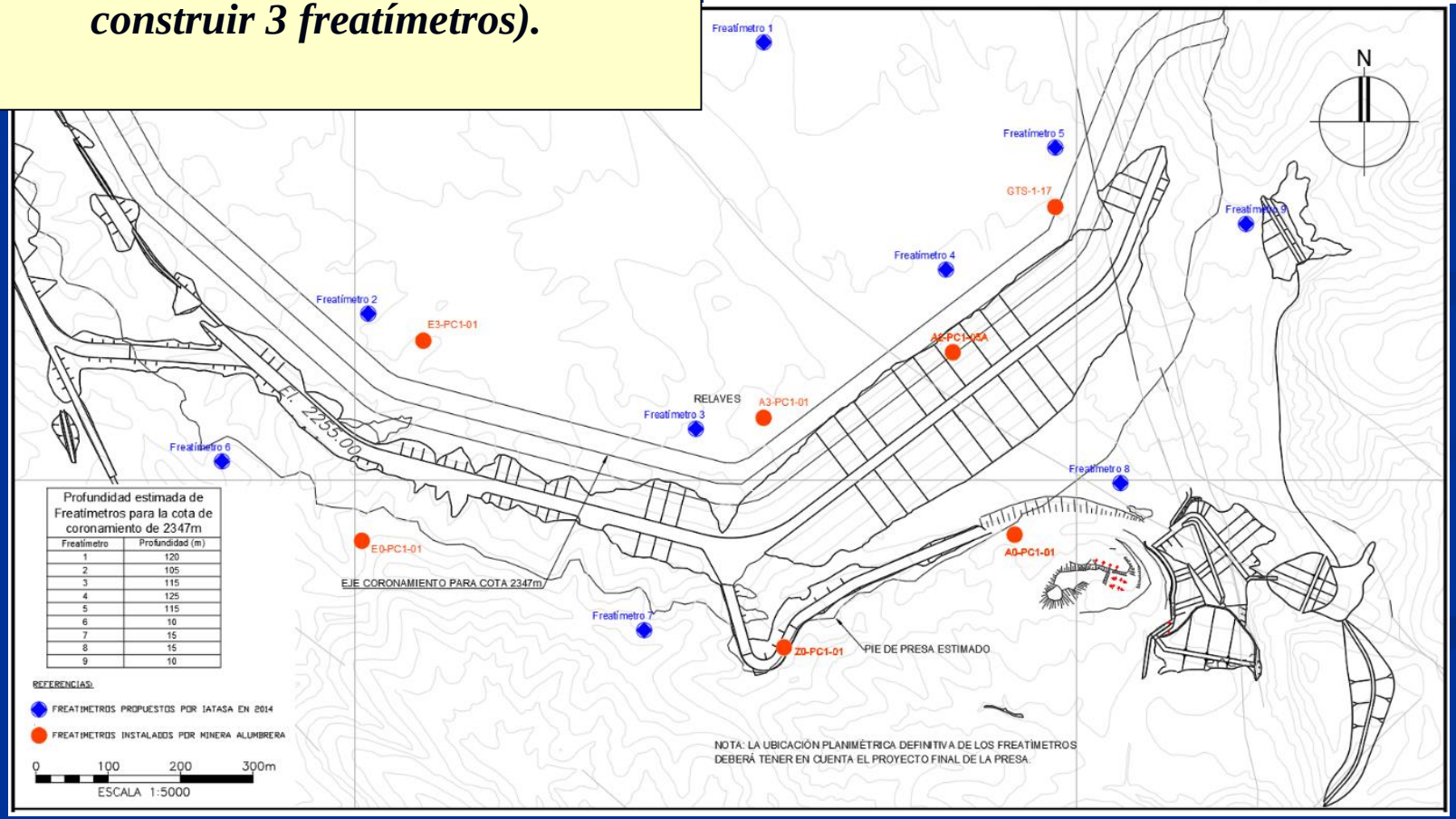




Monitoreo presa relaves - Recomendaciones:

4) Instalar 9 piezómetros Casagrande (6 ejecutados, deberán profundizarse 3 freatímetros según lo indicado en tabla hasta 120m, restan construir 3 freatímetros).

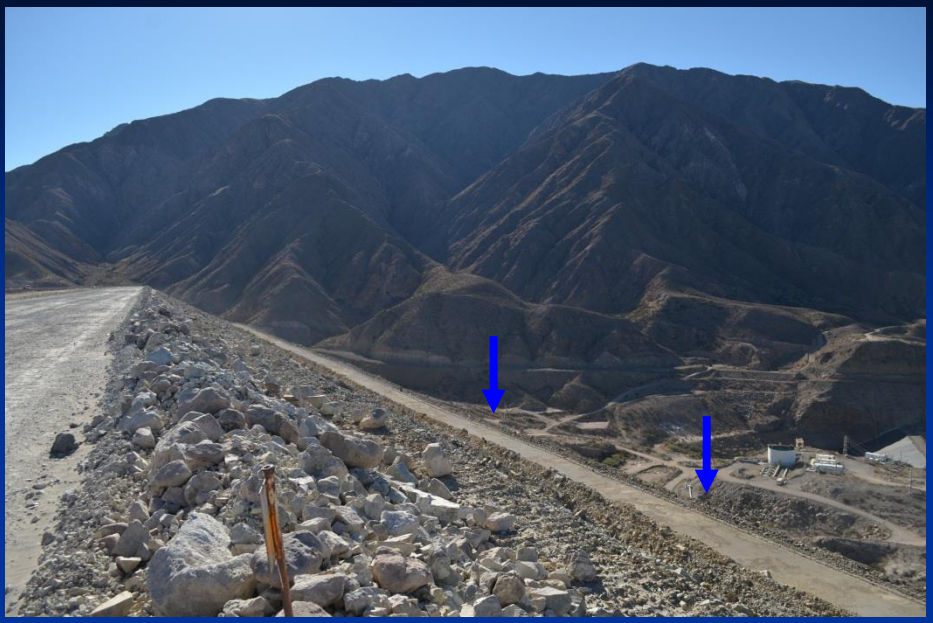




Profundidad estimada de Freatímetros para la cota de coronamiento de 2347m

Freatímetro	Profundidad (m)
1	120
2	105
3	115
4	125
5	115
6	10
7	15
8	15
9	10

Ubicación de Freatímetros - Fotos



Monitoreo presa relaves - Recomendaciones:

4) Instalación 9 piezómetros Casagrande (Ver tabla)

FREATÍMETROS PROPUESTOS IATASA	PROFUNDIDAD (m)	FREATÍMETROS INSTALADOS MA	PROFUNDIDAD (m)	RECOMENDACIONES
1	120	-	-	Ejecutar Freatímetro
2	105	E3-PC1-01	65,0	Alcanzar profundidad indicada por IATASA
3	115	A3-PC1-01	72,0	Alcanzar profundidad indicada por IATASA
4	125	-	-	Ejecutar Freatímetro
5	115	GTS-1-17	67,5	Alcanzar Profundidad indicada por IATASA
6	10	E0-PC1-01	19,0	------
7	15	Z0-PC1-01	23,8	------
8	15	A0-PC1-01	24,4	------
9	10	-	-	Ejecutar Freatímetro
No Indicado	------	A2-PC1-05ª	72 (inclinado 56º hacia aguas abajo)	------

Monitoreo de presa de relaves - Recomendaciones:

5) ***Incluir en el Plan de Cierre de la Mina, un plan de acción durante emergencias (PADE), con los procedimientos y acciones que el operador de una presa debe seguir en caso de una emergencia, estableciendo posibles acciones a seguir. La información permitirá a las dependencias gubernamentales y de servicios planificar y coordinar esfuerzos.***

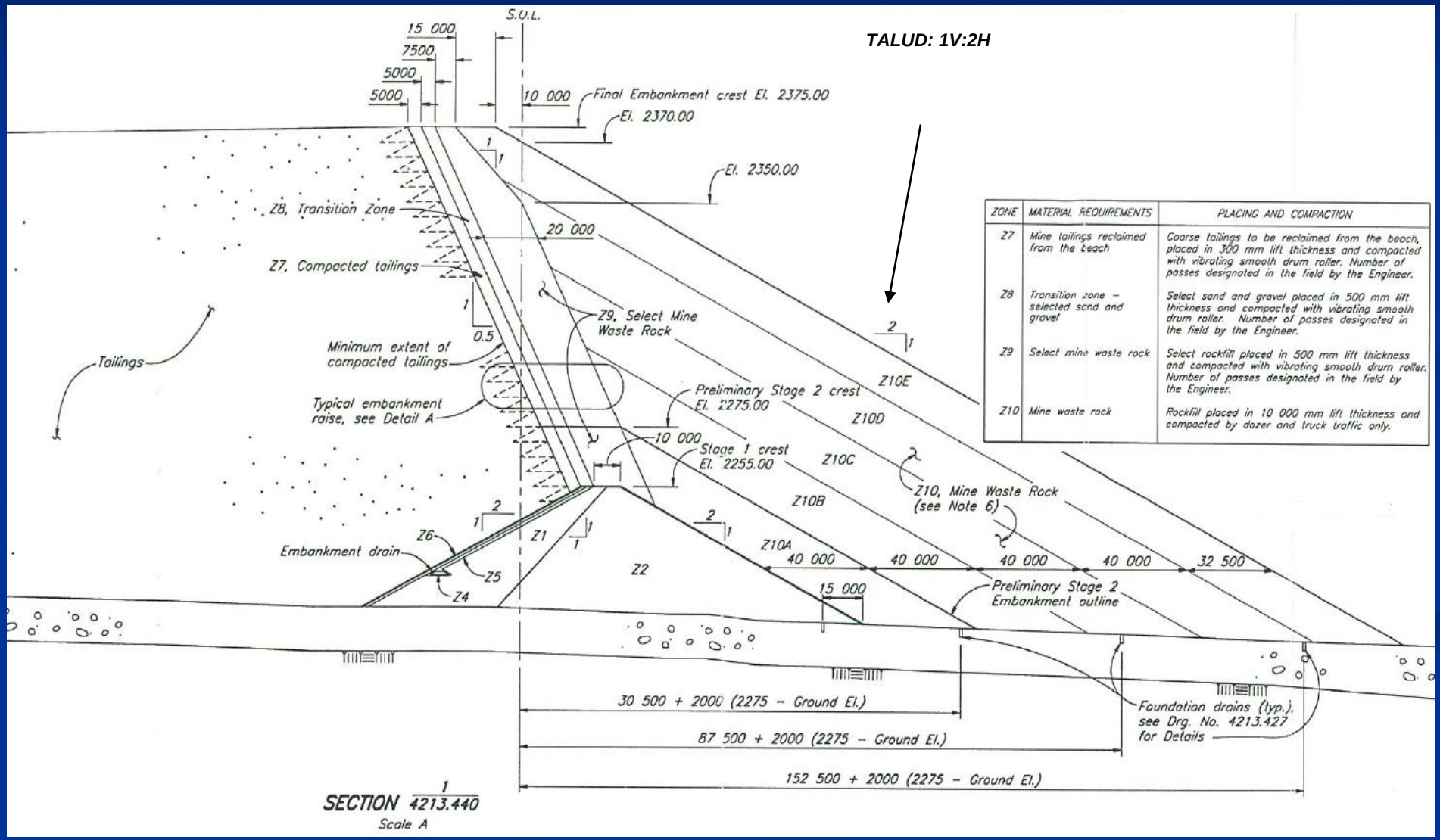
6) ***Implementar un Sistema de Auscultación Automático en la presa incorporando las variables medidas:***

- ***Piezómetros eléctricos y de medición directa***
- ***Caudales en vertederos***
- ***Monolitos topográficos***
- ***Acelerógrafos***
- ***Placas asentimétricas en las colas***
- ***Otro instrumental necesario desde el punto de vista químico podría ser integrado de manera tal que forme parte del monitoreo periódico***

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES

Sección transversal proyectada en 1996



ZONE	MATERIAL REQUIREMENTS	PLACING AND COMPACTION
Z7	Mine tailings reclaimed from the beach	Coarse tailings to be reclaimed from the beach, placed in 300 mm lift thickness and compacted with vibrating smooth drum roller. Number of passes designated in the field by the Engineer.
Z8	Transition zone – selected sand and gravel	Select sand and gravel placed in 500 mm lift thickness and compacted with vibrating smooth drum roller. Number of passes designated in the field by the Engineer.
Z9	Select mine waste rock	Select rockfill placed in 500 mm lift thickness and compacted with vibrating smooth drum roller. Number of passes designated in the field by the Engineer.
Z10	Mine waste rock	Rockfill placed in 10 000 mm lift thickness and compacted by dozer and truck traffic only.

LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD CONSISTE EN CALCULAR EL COCIENTE DE RESISTENCIA Á ROTURA O ÚLTIMA Y LA DESARROLLADA PARA DISTINTAS SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO BUSCANDO AQUELLA EN LA QUE EL FACTOR DE SEGURIDAD SEA MÍNIMO

Para la determinación del coeficiente de seguridad entonces se deben probar distintas superficies de potencial deslizamiento hasta obtener la de mínimo FS

Fuente: "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica - Braja M Das. Edit Thomson – Learning - 2001

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \qquad (10.1)$$

donde FS_s = factor de seguridad con respecto a la resistencia
τ_f = resistencia cortante promedio del suelo
τ_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

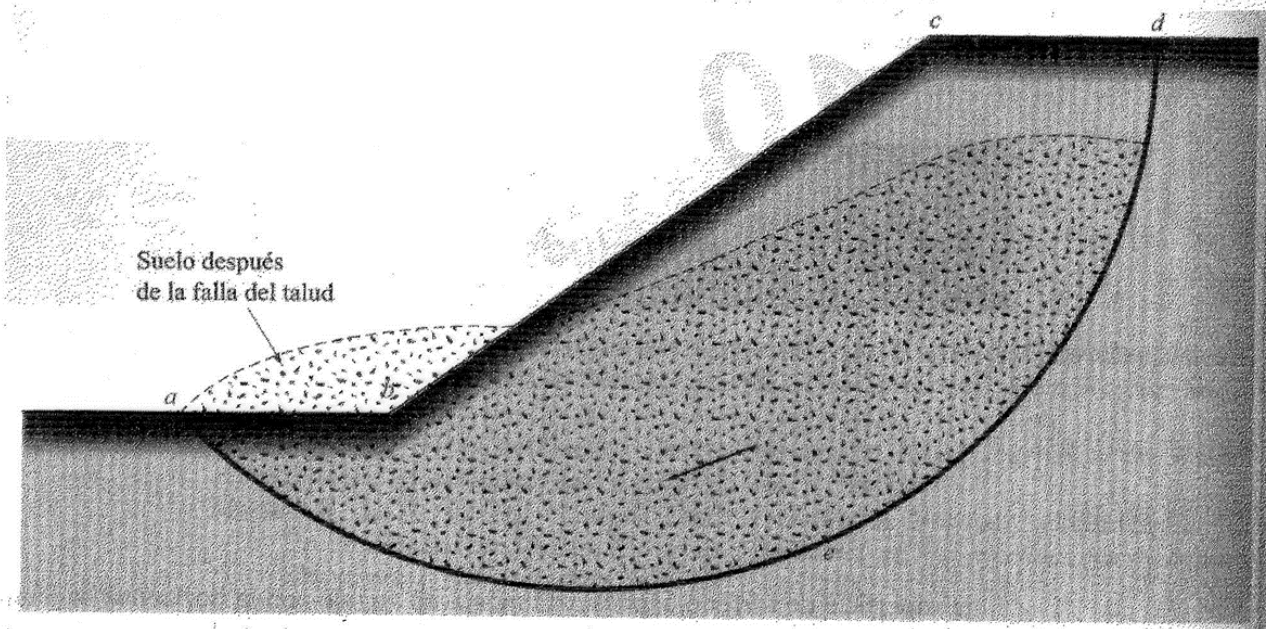
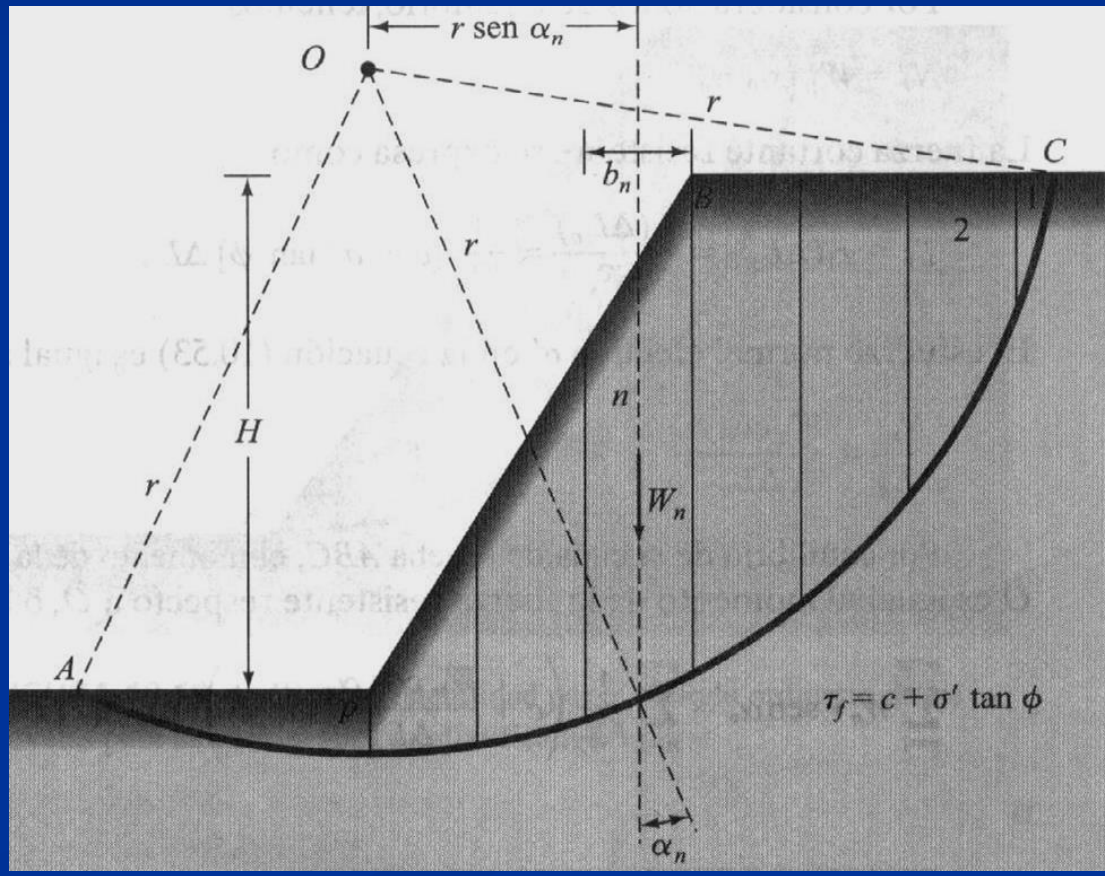


FIGURA 10.1 Falla de un talud.

FALLA CIRCULAR - **Métodos de dovelas**, (Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, etc. Consisten en fragmentar la masa que desliza en dovelas. Entre ellos varían en la forma de considerar la interacción entre dovelas).

Permiten trabajar en taludes heterogéneos (porque en cada dovela se pueden considerar materiales con diferentes características, con condiciones de escurrimiento. La solución se trata de una expresión implícita en la que el FS es una función de un valor adoptado previamente.

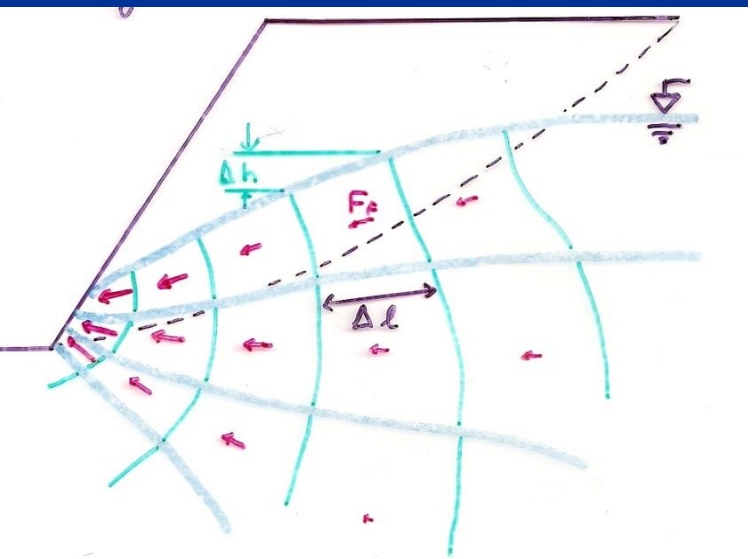
Se resuelve por aproximaciones sucesivas. Se analiza la estabilidad del conjunto como la sumatoria de las fuerzas actuantes sobre cada dovela.



FALLA CIRCULAR

Forma de Considerar el efecto del agua en la masa de suelos o rocas

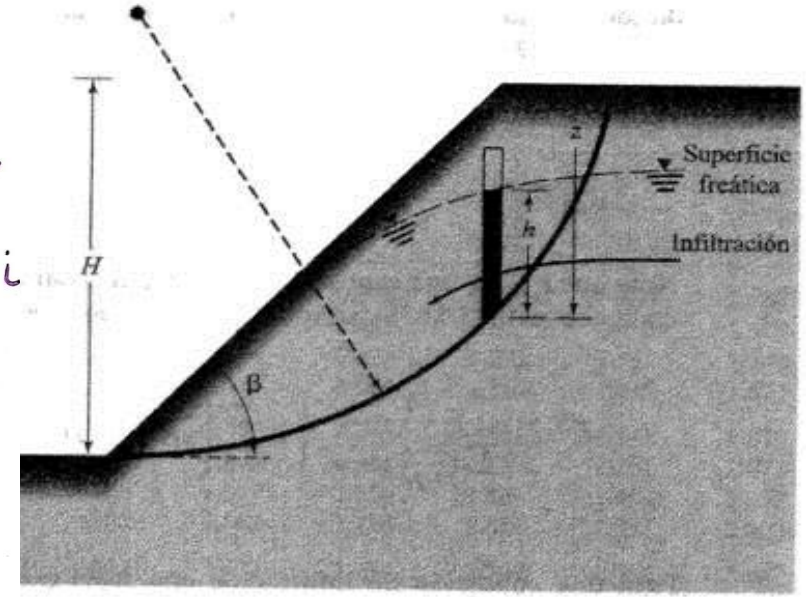
En los métodos se requiere la medición de la presión neutra en la base de la dovela y se la aplica como una subpresión. Se expresa que adoptando como presión la columna de agua hasta la línea de saturación es un criterio conservador porque por la curvatura de las equipotenciales el verdadero valor de la presión neutra es menor.



$F_F = p_F \, V$

$p_F = \gamma_w \, i$

$i = \frac{\Delta h}{\Delta l}$

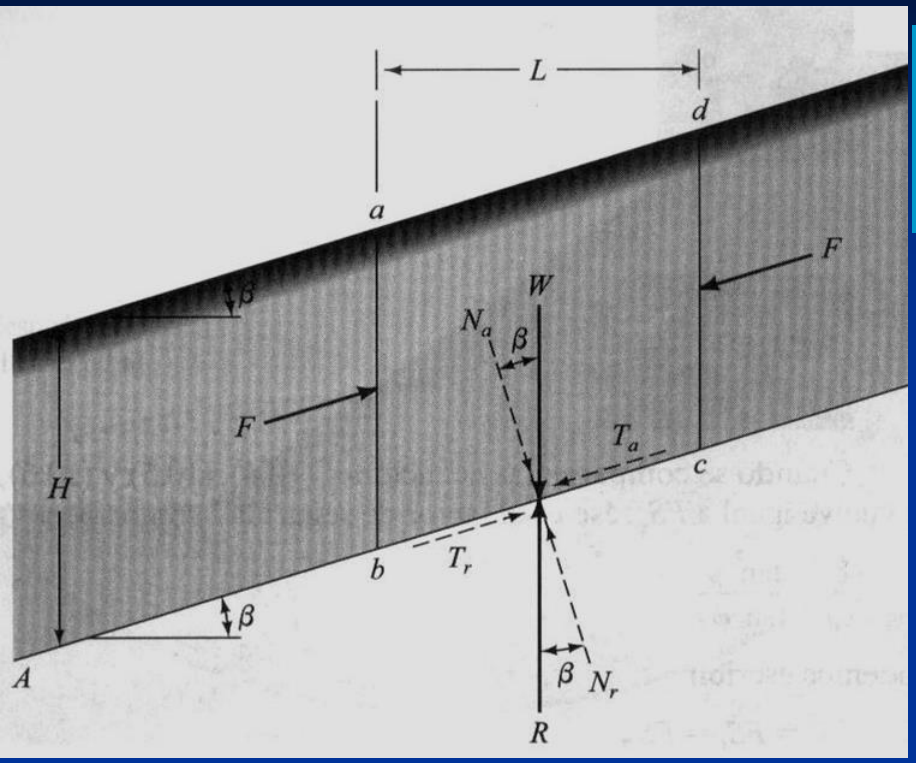


Estabilidad de taludes con infiltración en régimen permanente.

Similarmente, la ecuación (10.61) para el método simplificado modificado de Bishop tomará la forma

$$FS_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [cb_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi] \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \operatorname{sen} \alpha_n} \qquad (10.63)$$

MODELACIÓN – FALLAS DE TALUD INFINITO



$FS = c / (\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\phi / \tan\beta$

En suelos friccionales, en los que c = 0 resulta:

$$FS = \tan\phi / \tan\beta$$

Significa que en un talud en suelos friccionales el FS es independiente de la altura, es estable siempre que $\beta < \phi$. Al ángulo ϕ se lo conoce como ángulo de reposo.

Este tipo de falla es la de menor FS en suelos friccionales (c = 0)

$$FS = \tan\phi / (1/m) = m * \tan\phi$$

Si $m = 1.35$ y $\phi = 37°$ → $FS = 1.35 * \tan 37° = 1.017$

FACTORES DE SEGURIDAD

Estos se definen para tres situaciones con sus respectivos factores de seguridad:

Factor de Seguridad Requerido	Carga	Motivo del Análisis
1,5	Estabilidad Estática	Asegurar la adecuada estabilidad de la presa en condiciones estáticas, incluyendo las condiciones de cierre.
1,3	Estabilidad Estática Post Licuefacción	Asegurar que la presa no falle tras la licuefacción inducida por un terremoto de todas las colas.
1 (se puede menor a 1)	Carga Pseudo Estática	Asegurar el comportamiento aceptable (deformaciones) durante el terremoto de diseño. Se asume que las colas se licuan en toda su profundidad.

Tomado del Informe Detallado de Diseño (Ref. Nº 4213-16). Sección 4.3

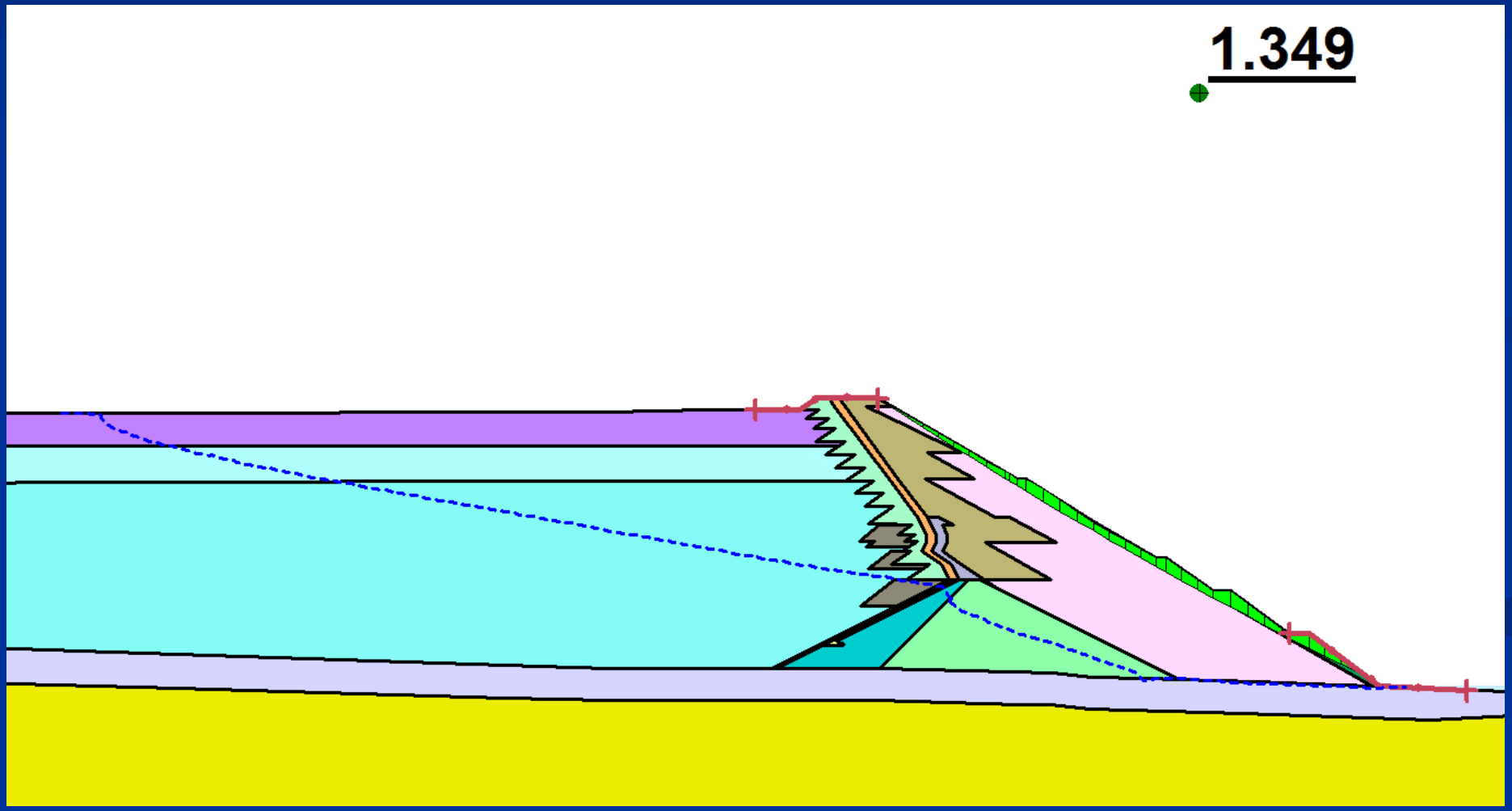
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE DE COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES MINEROS RELACIONADOS A LAS OBRAS MINERAS DE CARÁCTER PERMANENTE DEL PROYECTO (EN ESTE CASO, PRESA DE RELAVES)

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES

Espaldón de aguas abajo. Deslizamientos superficiales en zonas de material arrojado

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

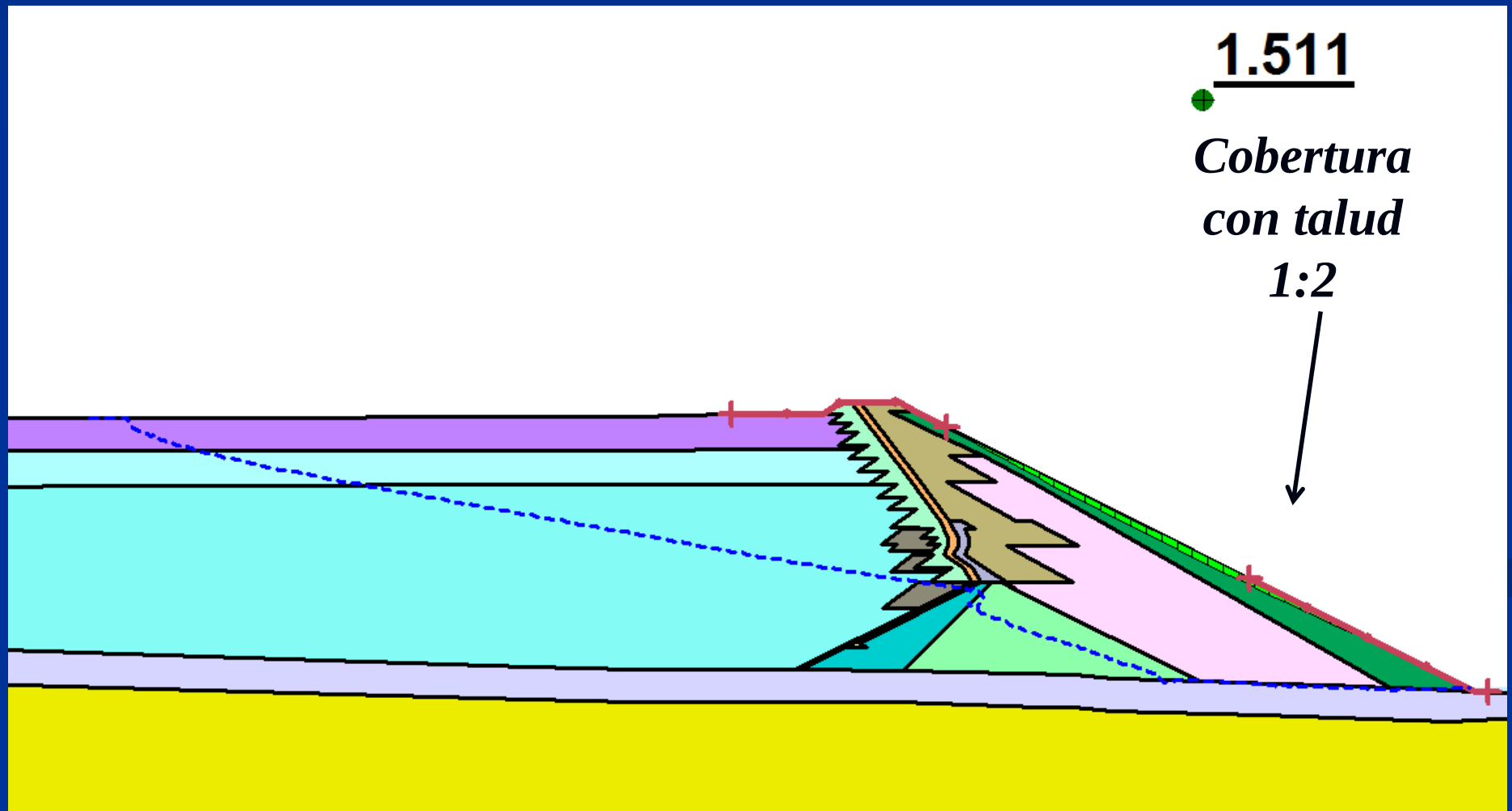
ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES POR EL MÉTODO ESTÁTICO. TALUD 1:1.75



ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

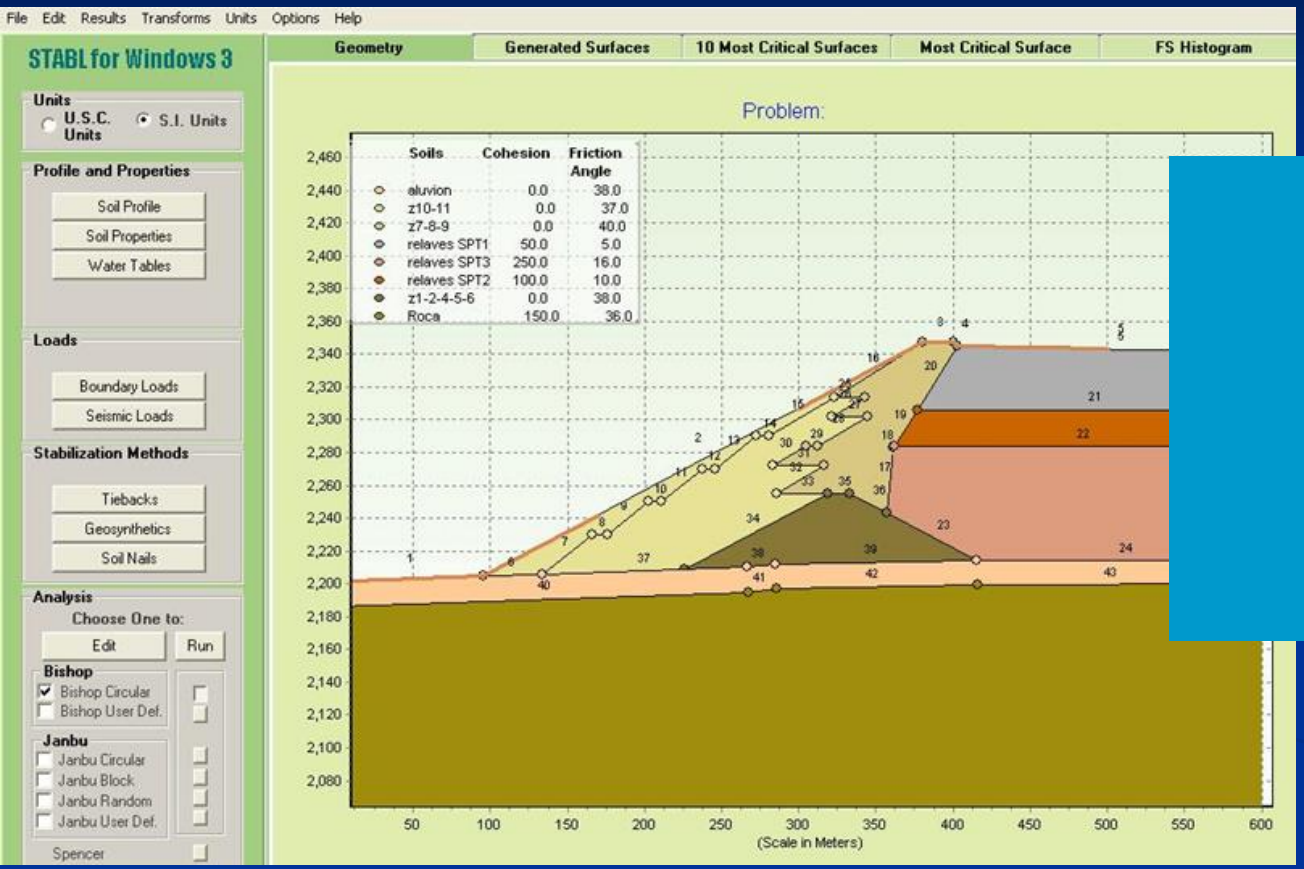
ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES POR EL MÉTODO ESTÁTICO

Talud 1:2 con un Fs >1.5 y con la cobertura sobre el espaldón aguas abajo (la propuesta de IATASA asegura estabilidad física-química).



MODELACIÓN – FS para taludes 1 V : 2 H

(Tal como previsto originalmente en el proyecto)



Si m = 2.0 y ϕ = 37°

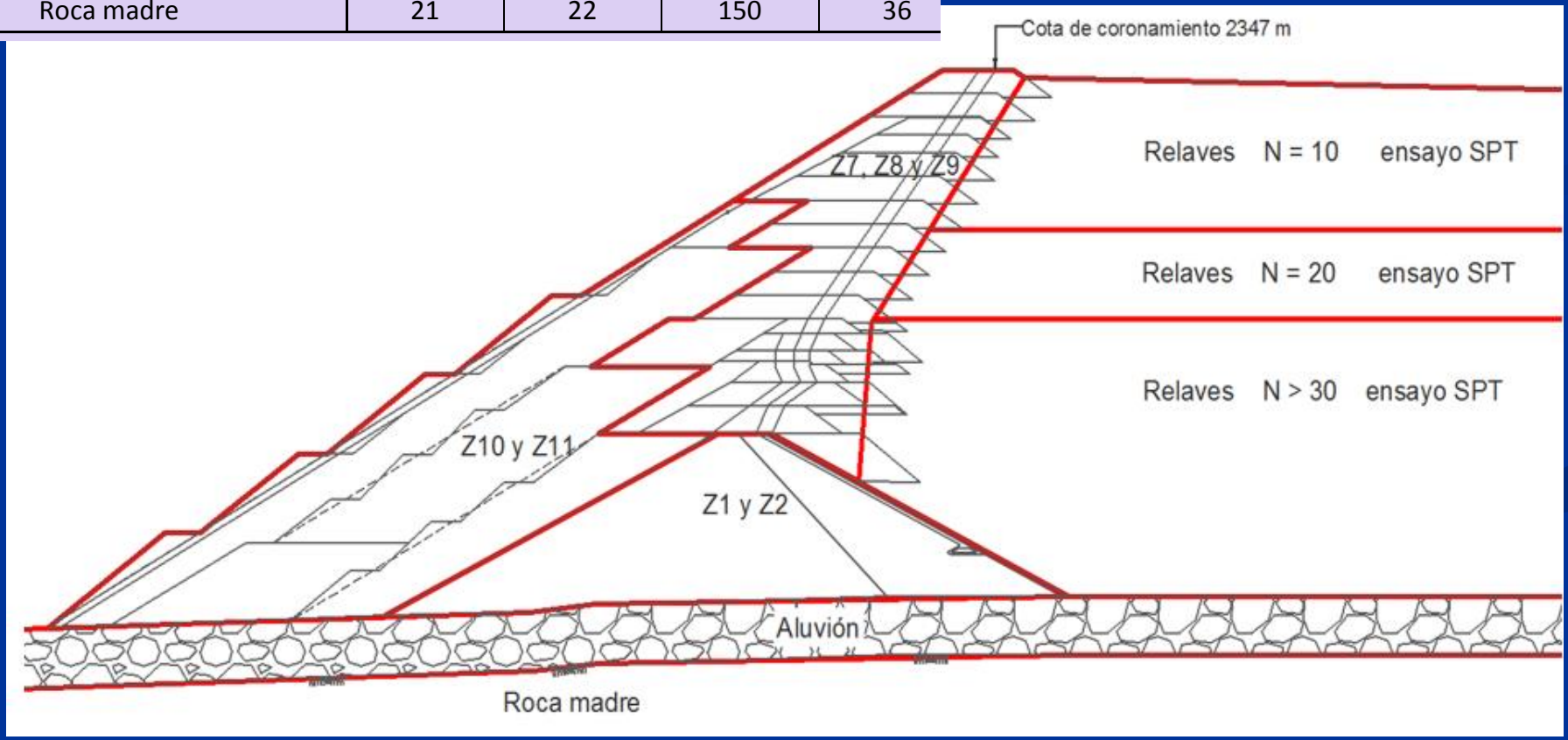
FS = 2.0 * tan 37°

= 1.507

Al material utilizado a este fin se le asignaron los parámetros resistentes del material Z11, asumiendo que su procedimiento constructivo será similar, debiéndose tener en cuenta la cobertura que se prevé por aspectos ambientales. Cabe señalar que este tema está en estudio por la empresa minera y la DiPGAM.

ESTABILIDAD TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES MÉTODO PSEUDO ESTÁTICO

Material		γ_{hum}	γ_{sat}	c	ϕ
		KN/m^3	KN/m^3	KN/m^2	º
Z1, Z2, Z4, Z5, Z6		21	22	0	38
Z7, Z8, Z9		21	22	0	40
Z 10, Z 11		21	22	0	37
relaves	SPT 10	19	20	50	5
	SPT 20	19	20	100	10
	SPT 30	19	20	250	16
Aluvión		21	22	0	38
Roca madre		21	22	150	36



ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES POR EL MÉTODO PSEUDO ESTÁTICO

- El método más simple para calcular el efecto de un sismo en una presa, suponiendo a su efecto como equivalente al de una fuerza másica estática actuando en el centro de gravedad de la presa.
- La magnitud de la aceleración sísmica considerada es igual a $\alpha * g$, donde α es un coeficiente que varía según la intensidad del sismo de diseño.
- En el 2014 se aplicó este método teniendo en cuenta "ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO PARA EL PROYECTO ALUMBRERA" (Ref. No. SA201-00001/22-2) en el cual se indican las aceleraciones de diseño para los terremotos máximo creíble (MCE, por sus siglas en inglés *Maximum Credible Earthquake*) y el de base de operaciones (OBE por sus siglas en inglés, *Operating Basis Earthquake*).

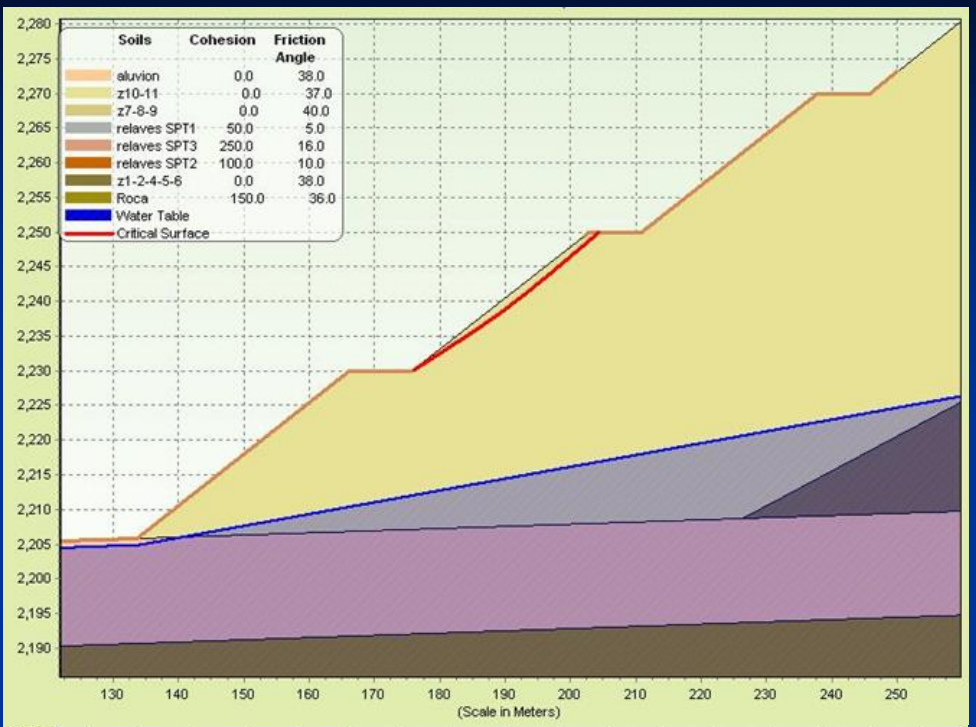
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

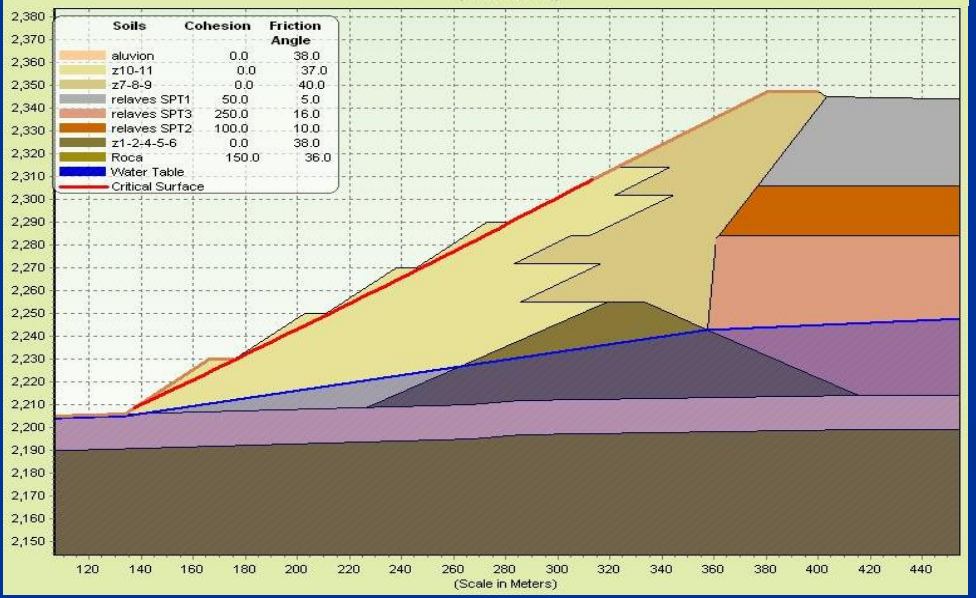
ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES POR EL MÉTODO PSEUDO ESTÁTICO

Según el ICOLD:

- Se define un **terremoto de diseño máximo** (Maximum Design Earthquake, MDE) como igual al terremoto máximo creíble (Maximum Credible Earthquake) o a un terremoto de recurrencia muy alta. No se define exactamente la recurrencia de proyecto, y se requiere que en caso de fallar, la presa mantenga su capacidad de retener el agua.
- Se define también un **terremoto base de operación** (Operating Basis Earthquake, OBE), que se determina a partir de criterios probabilísticos. En este caso un terremoto con 10% de probabilidad de excedencia en un período de vida útil de 50 años (Período de retorno 475 años).

ESTABILIDAD TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES MÉTODO PSEUDO ESTÁTICO





Se realizaron corridas con el programa Stabl para la aceleración correspondiente al sismo de diseño OBE obteniéndose factores de seguridad Fs

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES POR EL MÉTODO PSEUDO ESTÁTICO

Nº corrida	Nivel Freático	Tipo de falla	Factor de Seguridad (método de Bishop)	Factor de Seguridad (método de Jambu)	Factor de Seguridad (método de Spencer)
1	Bajo	Local	0,751	0,898	0,752
2	Bajo	talud infinito	0,928	0,935	0,928
3	Bajo	Global	0,998	0,965	0,998
4	Medio	Global	0,998	0,947	0,998
5	Alto	Global	0,88	0,811	0,968
6	Alto	Global	0,98	0,897	0,998

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DE RELAVES TALUD 1:1.75 POR EL MÉTODO PSEUDO ESTÁTICO

Los factores de seguridad obtenidos por el método pseudo estático en las corridas 3, 4 y 6 son muy cercanos a la unidad, cumplirían con el FS requerido en las condiciones en que el nivel freático es bajo a medio.

Para nivel freático alto (5) y los círculos que presentan pequeñas superficies (1 y 2), no se alcanzó dicho valor unitario requerido.

Este método se utiliza con fines complementarios del análisis de estabilidad dinámico.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE
PRESA DE RELAVES

RECOMENDACIONES

***Relevamiento durante la construcción de toda la presa de relaves**, se deberán presentar los planos correspondientes "conforme a obra".*

*Adoptar un **talud aguas abajo de la presa de relaves de 1(v):2(h)** (igual pendiente a la adoptada al inicio del proyecto), que podría lograrse compatibilizando la metodología constructiva a adoptar en futuras etapas hasta el cierre con ejecución de **cobertura de protección asegurando la estabilidad química**.*

***Instalación de 9 freatímetros (6 ejecutados: de los cuales 3 deberán alcanzar las profundidades indicadas por IATASA)**, restan instalar 3 freatímetros. También permitirían tomar muestras para análisis químicos de agua.*

*Incluir Plan de acción durante emergencias (**PADE**)*

*Implementar un **Sistema de Auscultación Automático** en la presa incorporando todas las variables medidas y sus alertas correspondientes*

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

RECOMENDACIONES

Dado que está en consideración, la extensión del plazo de explotación en 10 años, se recomienda avanzar con el PROYECTO de la presa con cota de coronamiento 2352 m y, luego con la construcción de la adecuación de la obra ejecutada, de manera de lograr alcanzar el coeficiente de seguridad 1,5 (con el talud de aguas abajo 1V:2H).

Teniendo en cuenta que, si bien se trata de una obra en construcción, dada la extensión del plazo considerada se recomienda que se construya como una obra permanente.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

RECOMENDACIONES

Los tiempos necesarios de Proyecto y su revisión, continuando con el proceso de licitación, adjudicación y finalmente el de construcción y auditoría de las obras serán significativos, por lo que se recomienda que se compatibilicen estos tiempos con la fecha de cierre de mina.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS FINALES DE CIERRE PRESA DE RELAVES

RECOMENDACIONES

Alcanzar nivel de Proyecto Ejecutivo de las obras necesarias (por ejemplo: diseño final de la presa de relaves, atenuación de crecidas, canales perimetrales e internos de la superficie final de las colas y vertedero de emergencia – incluyendo aducción, disipador y canal evacuador) para el cierre de mina.

Documentación: memoria descriptiva, memoria de cálculo, planos, cómputos, precios unitarios, presupuesto y especificaciones técnicas generales y particulares de cada ítem de las obras de cierre.

Estabilidad química relacionada a la presa de relaves

2018

Dr. Juan Manuel García

Temario

- **Antecedentes previos a la explotación de la mina Bajo de la Alumbrera**
- **Caracterización geoquímica y estadística de la cuenca del río Vís-Vís – Amanao**
- **Propuesta de nuevos valores de alerta y máximos y mínimos no superables para los puntos de muestreo DS1, DS5, DS6 y DS8 y desafectación de pozos del sistema de retrobombeo**
- **Propuesta sobre modificación de los puntos de monitoreo**
- **Comparación de valores de laboratorio de DiPGAM con los de MAA**

Antecedentes previos a la explotación de la mina Bajo de la Alumbrera

IIA de MAA año 1995

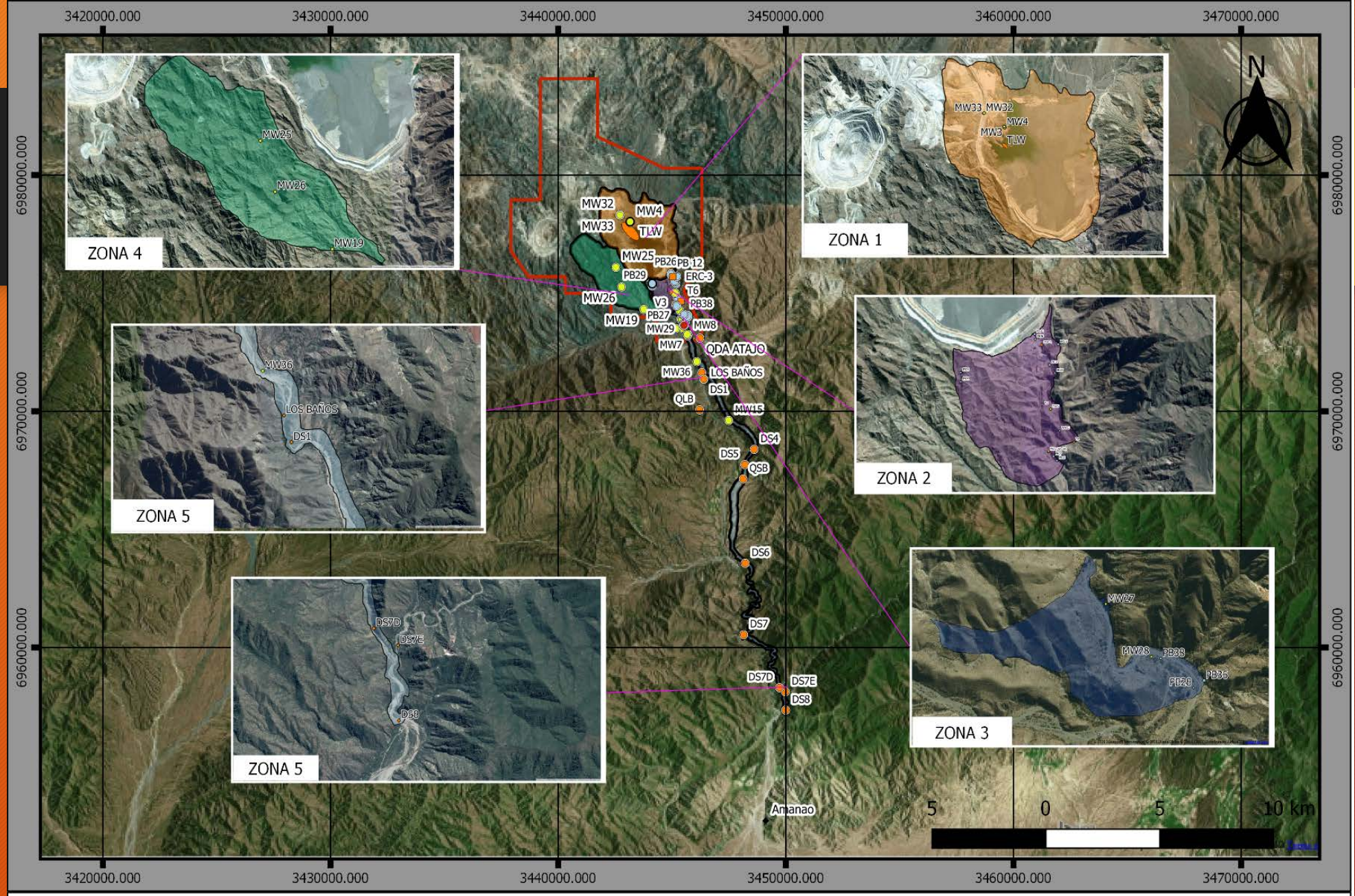
Algunos datos…

- Sulfato 441 a 580 mg/L
- Cloruro 114 a 152 mg/L
- Conductividad 1570 a 1900 µS/cm
- pH 5,5 a 8,5
- Alto contenido en fluoruros, nitratos, Mn, Cu, As y Al

Parámetros	Unidad	Muestras de Knight Piesold 8/92			Muestras de Environment S.A. 2/93								
Ubicación		32-4 9 km al N de Amanao	32-3 6,5 km al N de Amanao	32-1 1,5 km al norte de Amanao	E1 17 km al N de Amanao (DS1?)	E2 13 km al N de Amanao (DS5?)	E3 6 km al N de Amanao (DS7?)	Niv Guia Agua p/Irrigación Ley 24.585	Niv. Guía Agua p/Bebida humana Ley 24.585	Niv. Guía Vida Acuatica (agua salobre) Ley 24.585	Niv. Guía Vida Acuatica (agua salada) Ley 24.585	Niv. Guía Vida Acuatica (agua dulce) Ley 24.585	Niv. Guia Agua p/ganado. Ley 24.585
Parámetros de campo													
Hora		13:22 pm	12.28 pm	9:20 p. m.									
Caudal	m^3/seg	0,001	0,05	0,03									
Caudal	gpm	20	700	400									
Temperatura	Celsius	14,6	13,3	8,5									
pH	Unid. Std	5,5	6	5,5	7,65	8,35	8,41	**6,5 <8,5**	**6,5 <8,5**	**6,5 <8,5**	**6,5 <8,5**	**6,5 <9,0**	**6,5 <8,5**
Conductividad	umhos	1720	1900	1630	1580	1760	1570						
Solidos Totales en suspensión	mg/l	1190	1320	1100									
Parámetros de laboratorio													
pH	Unid. Std	7,7	8,3	6,1									
Total sólidos disueltos	µg/l	639000	1180000	864000	1264000	1362000	1230000	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
al sólidos en suspensión	µg/l	<1000	<1000	<1000		140000	1328000						
Sulfatos	mg/l	441	536	437	531,1	579,9	540,7		500	(dato recomendado por la OMS)			
Cloruros	mg/l	121	127	114	148,7	152,2	138,1						
Fluoruros	mg/l	2,86	2,9	2,7	2,5	1,7	2,2		1,50	1,40	1,40		
Bicarbonatos	mg/ $CaCO_3$/l	260	134	181	353,8	309,4	307,4						
Alcanilidad total	mg/ $CaCO_3$/l	222	228	203	290	264	264						
Dureza	mg/l	412	438	368	344,5	443	372						
Nitratos y nitritos	µg/l	1700	2800	2700									
Nitratos	µg/l				24100	13500	16400		10000				
Nitritos	µg/l				<10	<10	<10		1000				
Cianuro Total	µg/l	<100	<100	<100	<20	<20	<20						
Amoníaco	µg/l	<50	<50	<50	<10	<10	<10						
Ca	µg/l	109000	121000	103000	96900	96900	96900						
Mg	µg/l	34000	39000	42000	25000	49000	31700						
Na	µg/l	215000	250000	295000	268600	251500	248400						
K	µg/l	17000	16000	13000	17700	19300	15900						
Fe	µg/l	150	150	250	100	1400	1300		300 - 3000 (según OMS)				
Mn	µg/l	<20	<20	<20	10	100	600	500 (según OMS)				400,00	
Cu	µg/l	<20	<20	<20	6	7	20	200,00	1000,00	50,00	4,00	2,00	1000,00
Zn	µg/l	<10	<10	<10	20	10	30	2000,00	5000,00	170,00	0,20	30,00	50,00
Cd	µg/l	<10	<10	<10	<2	<2	<2	10,00	5,00		5,00	0,20	20,00
Hg	µg/l	<5	<5	<5	<2	<2	<2	2,00	1,00		0,10	0,10	2,00
As	µg/l	<10	<10	<10	100	50	50	100,00	50,00		0,50	16,00	500,00
Ni	µg/l	<40	<40	<40	<10	<10	<10	200,00	25,00	100,00	7,10	25,00	1000,00
Co	µg/l	<50	<50	<50	<10	<10	<10	50,00					1000,00
Cr	µg/l	<50	<50	<50	<10	<10	<10	100,00	50,00	50,00	18,00	2,00	1000,00
Pb	µg/l	<60	<60	<60	<10	<10	<10	200,00	50,00	10,00	10,00	1,00	100,00
Al	µg/l	<500	<500	<500	500	1400	1900	5000,00	200,00		1500,00		5000,00
Se	µg/l							20,00	10,00		10,00		50,00
Mo	µg/l							10,00	70 (OMS)				500,00
Ba	µg/l								1000,00		1000,00		
Carbonato	µg/l					3200	3600						

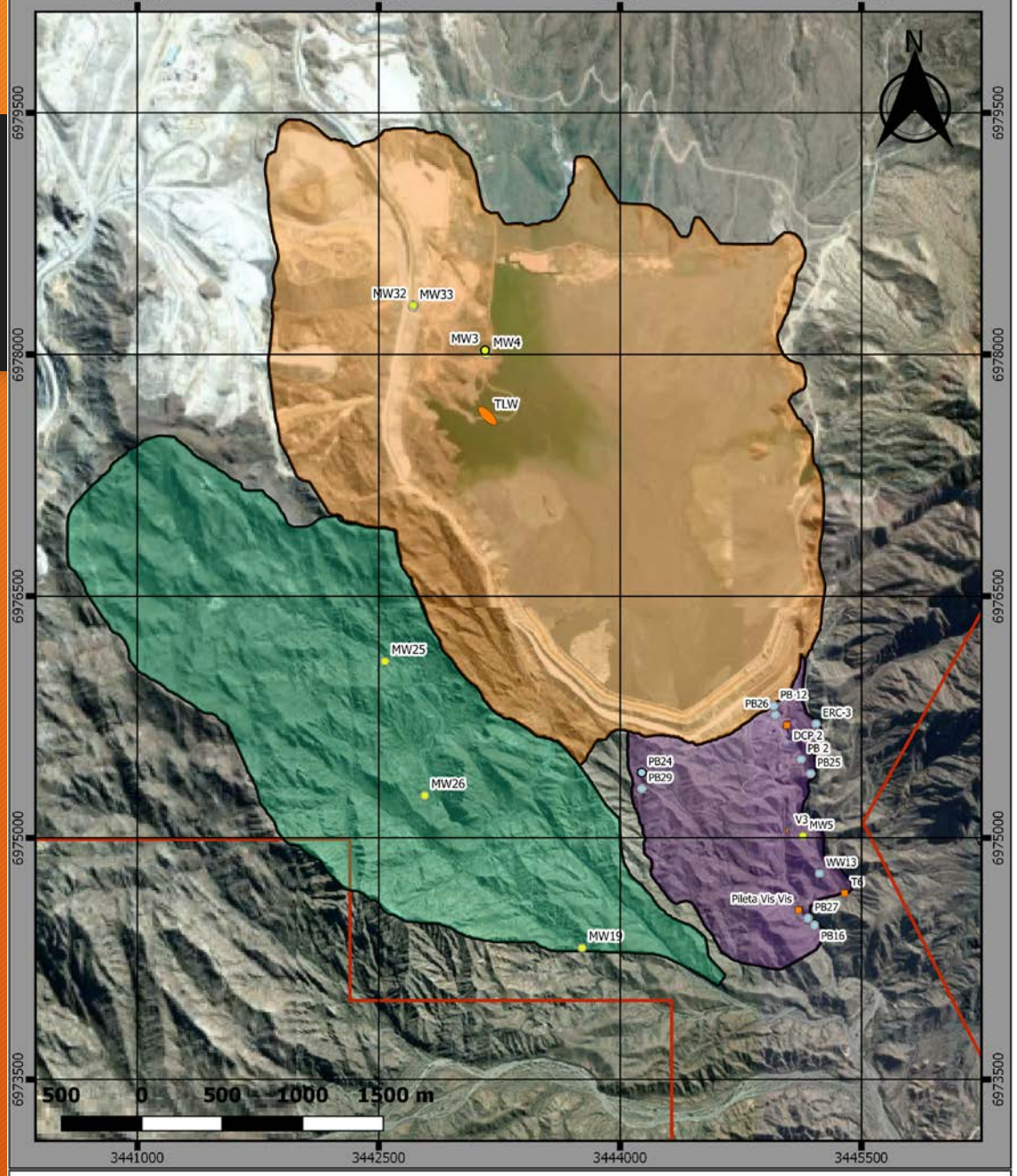
Caracterización geoquímica y estadística de la cuenca del río Vis-vis – Amanao

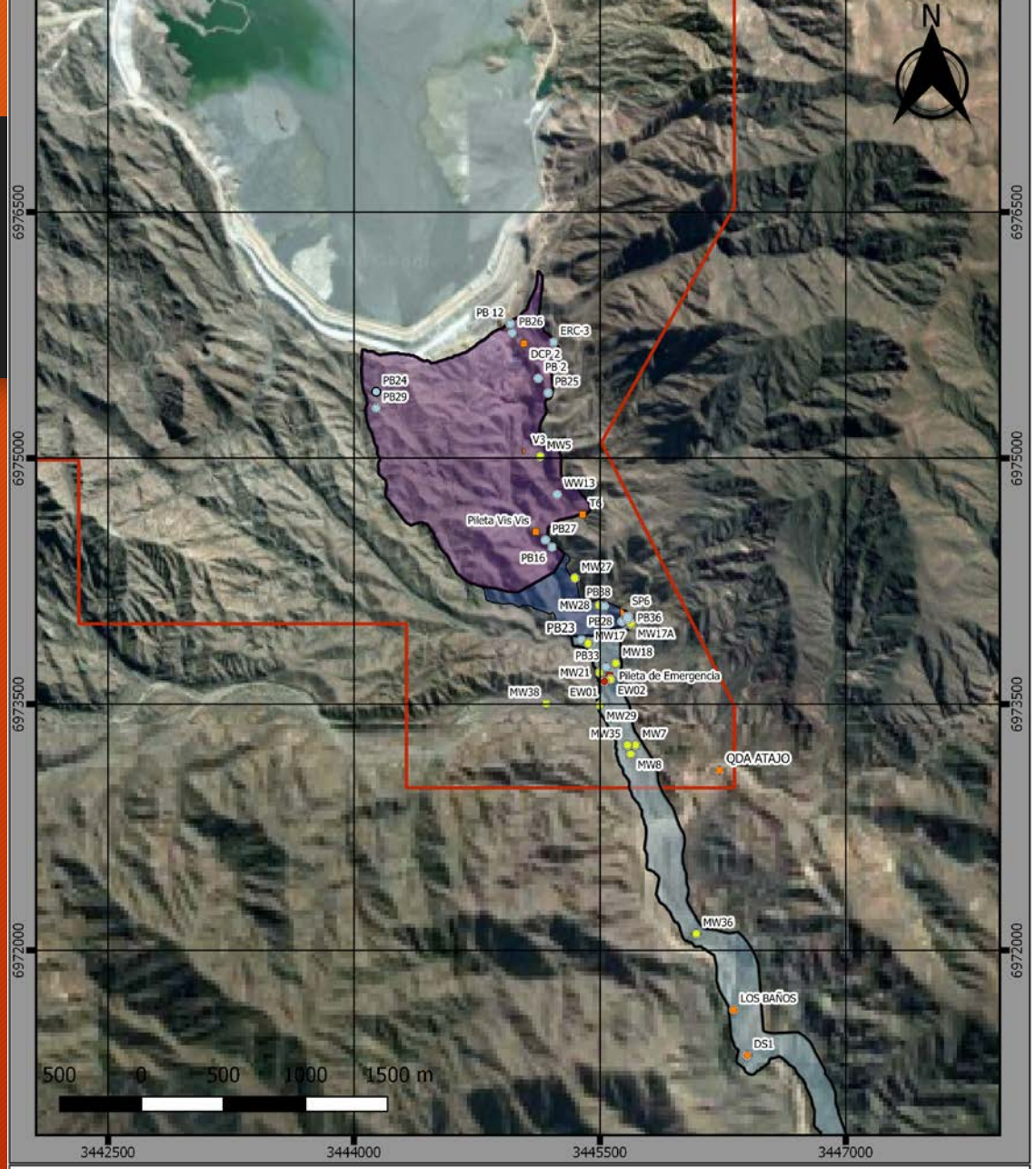
- ZONA 1: Dique de colas (laguna sobrenadante).
- ZONA 2: Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas (incluye antiguos pozos que fueron sepultados por el avance del dique).
- ZONA 3: Área de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural.
- ZONA 4: Área al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el *Open-pit*.
- ZONA 5: Puntos de monitoreo aguas debajo de la zona afectada por la pluma de proceso y traza del río Vis-Vis-Amanao y sus afluentes.



REFERENCIAS

Pozo de Retrobombeo · Pozo de Monitoreo · Pozo de Emergencia · Laguna · Pileta · Muestreo Superficial · Vertiente · Límite de Concesión





REFERENCIAS

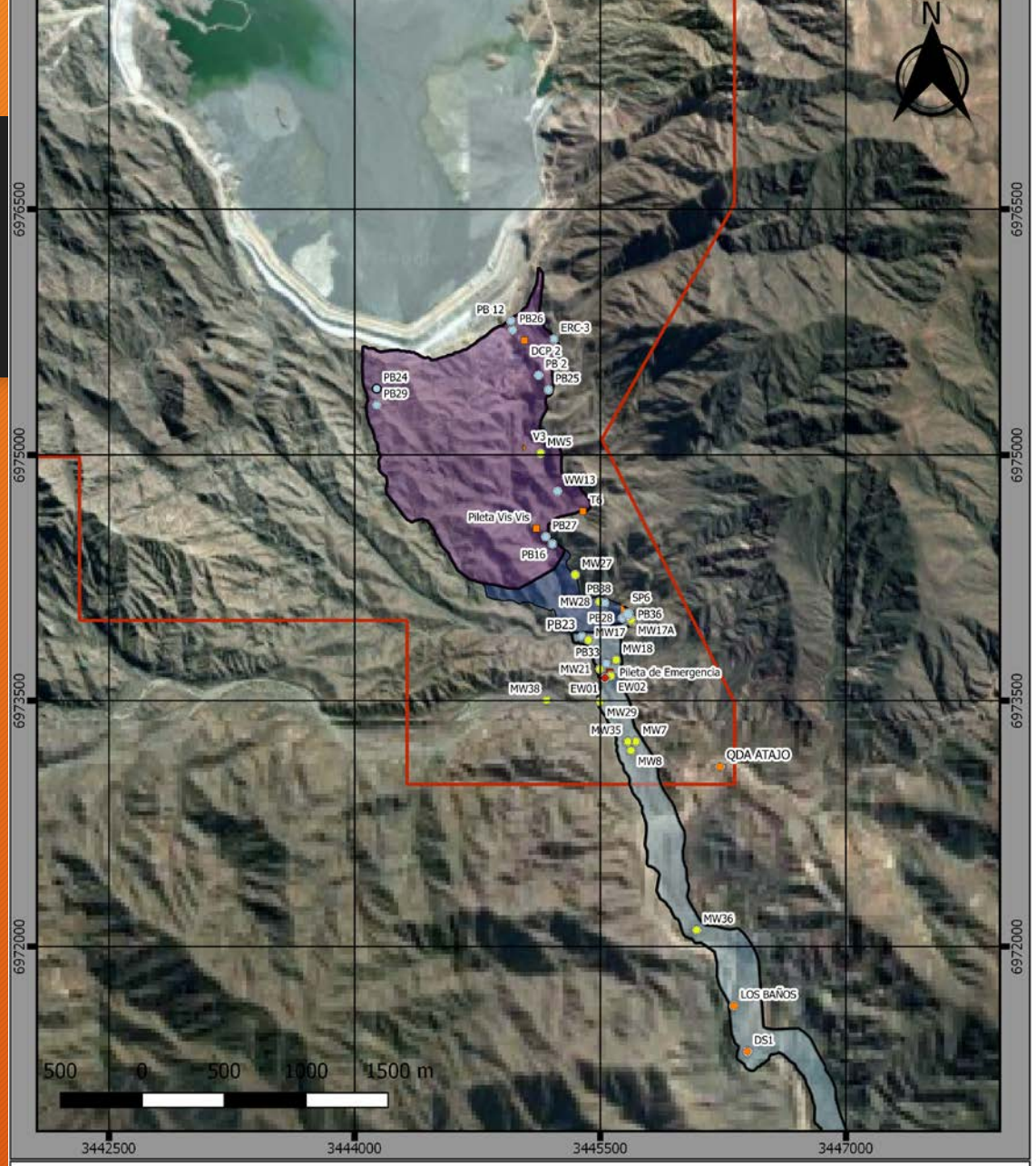
Zona 1 | Zona 2 | Zona 4

Pozo de Retrobombeo | Pozo de Monitoreo | Vertiente | Pileta | Laguna | Límite de Concesión

REFERENCIAS

Zona 2 | Zona 3 | Zona 5

Pozo de Retrobombeo | Pozo de Monitoreo | Pozo de Emergencia | Muestreo Superficial | Vertiente | Pileta | Límite de Concesión



REFERENCIAS

Zona 2
Zona 3
Zona 5
Pozo de Retrobombeo
Pozo de Monitoreo
Pozo de Emergencia
Muestreo Superficial
Vertiente
Pileta
Límite de Concesión

REFERENCIAS

Zona 5
Pozo de Retrobombeo
Pozo de Monitoreo
Muestreo Superficial
Limite de Concesiòn

Parámetros utilizados para la caracterización

- -Cloruros
- -Sulfatos
- -Conductividad medida en laboratorio a 25° C
- -pH medido en laboratorio
- -Manganeso disuelto (Mn)
- -Zinc disuelto (Zn)
- -Estroncio disuelto (Sr)
- -Molibdeno disuelto (Mo)
- -Isótopos en agua $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$ y en sulfato $\delta^{34}S$ y $\delta^{18}O$

Alcalinidad Total

La alcalinidad total es la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas.

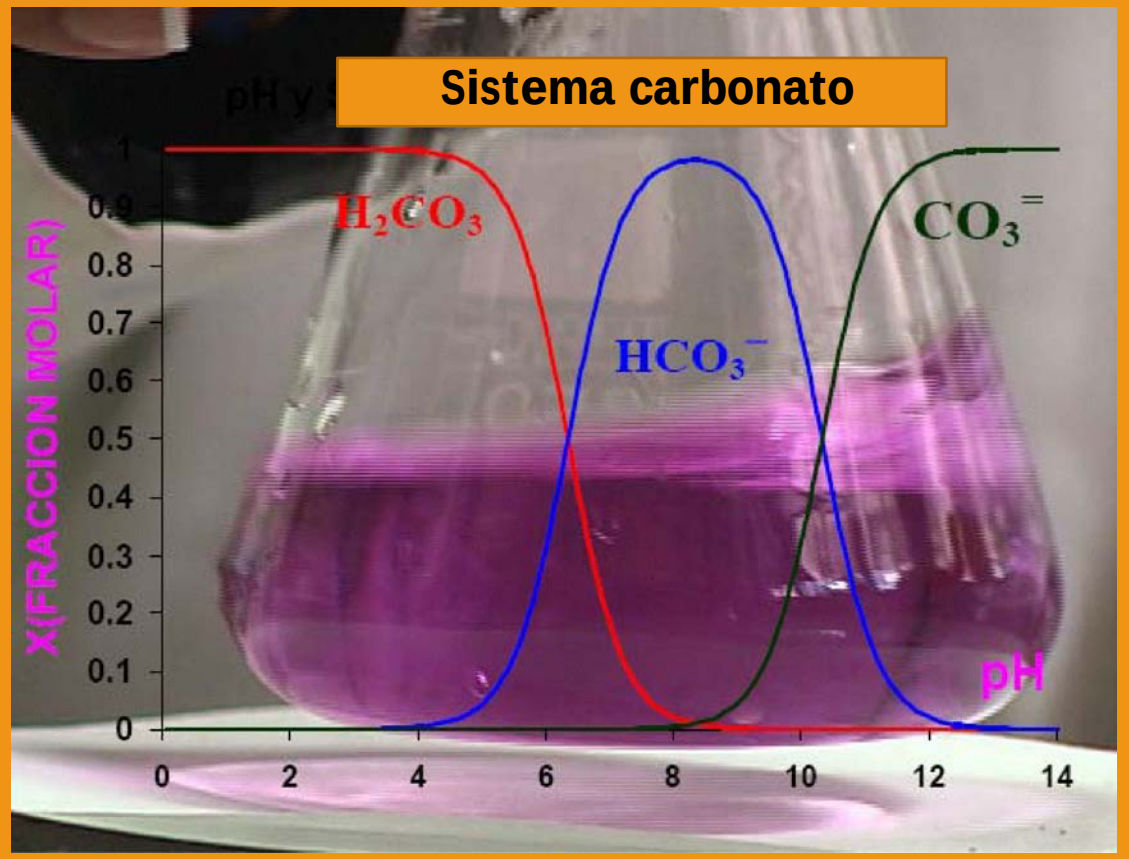
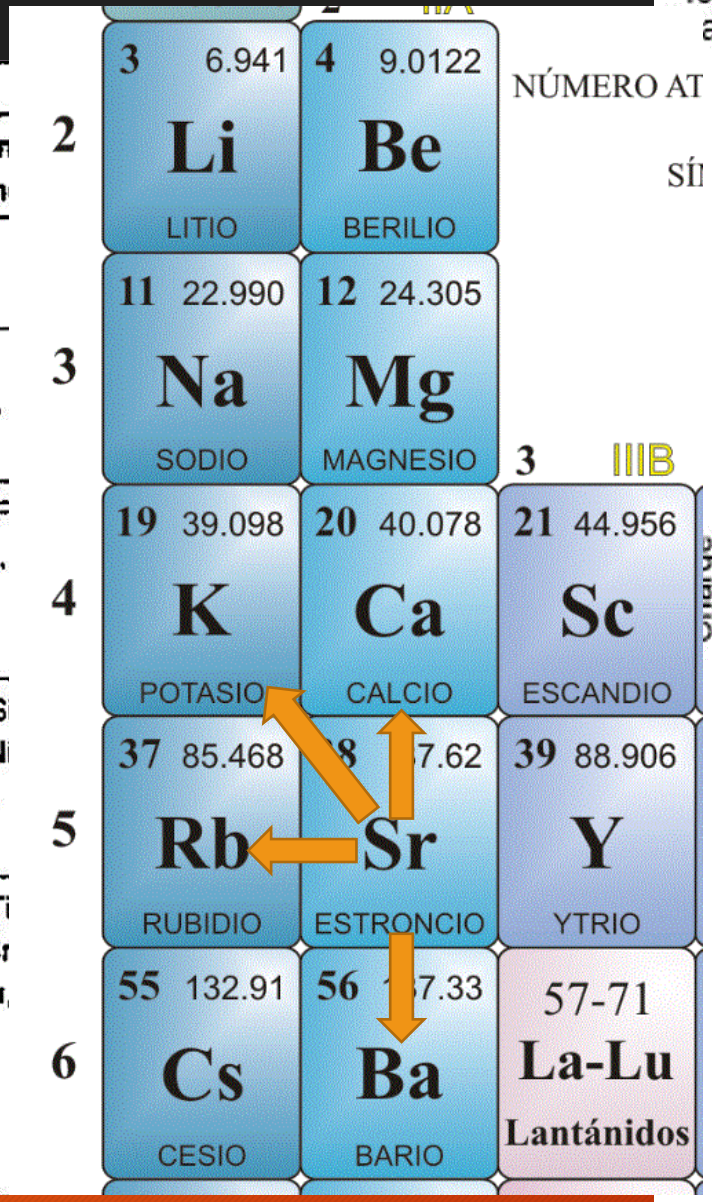


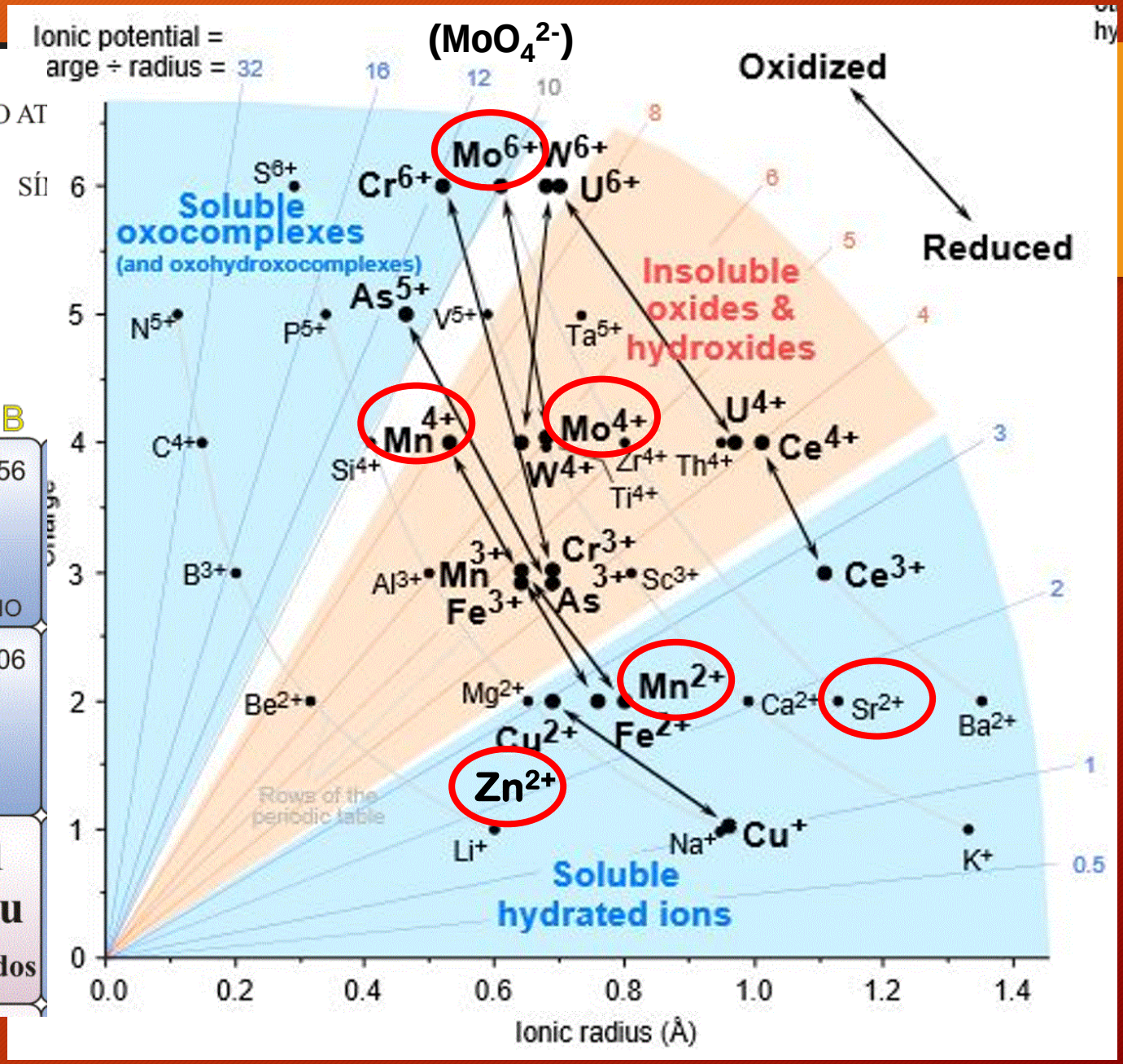
Tabla 1.- Clasificación de los cuerpos de agua según su alcalinidad total

Descriptor	Alcalinidad (mg/L)
Mínimo aceptable	20
Pobremente amortiguadas	<25
Moderadamente amortiguadas	25-75
Muy amortiguadas	>75

Movilidades de elemen
(de Perel'man, 1967, m

Movilidad Relativa	Oxidante (pH 5-8)
Muy movil (K >10)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, (Se, Te, Re?)
Moderadamente móvil (K = 1 - 10)	Ca, Na, Mg, Li, F Zn, Ag, U, V, As, (Sr, Hg, Sb?)
Ligeramente móvil (K = 0,1 - 1)	K, Rb, Ba, Mn, S Ge, P, Pb, Cu, Ni Co, (Cd, Be, Rn, In, W?)
Inmóvil (K < 0,1)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti Zr, Hf, Th, Pa, Sr TR, grupo Pt, Au, (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs)

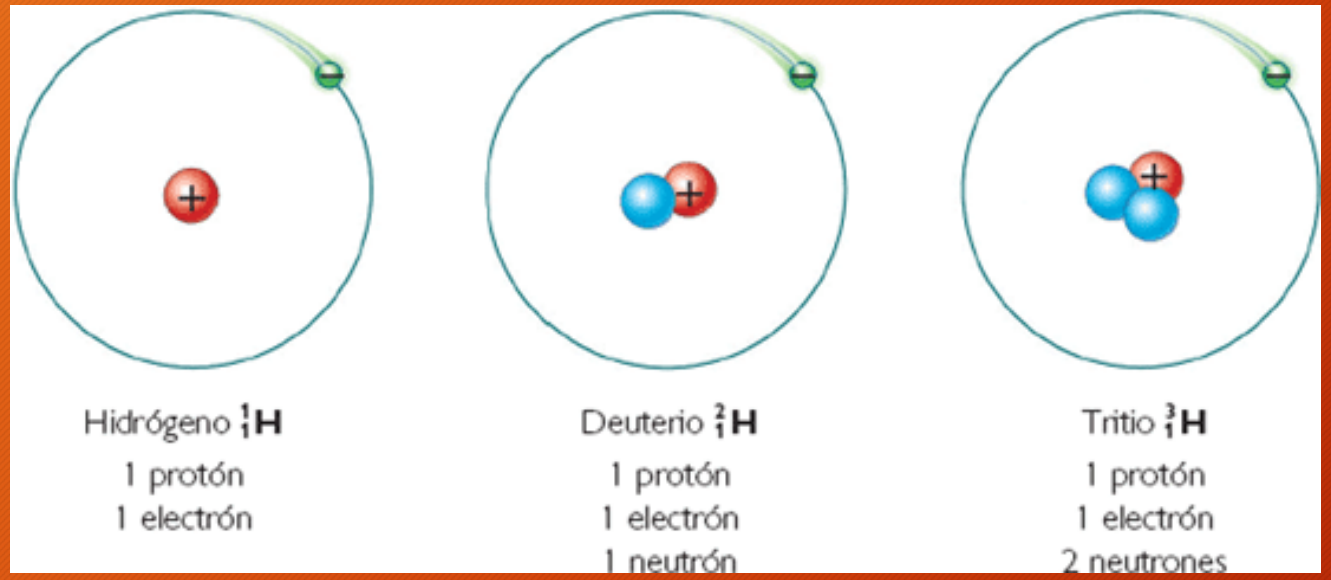


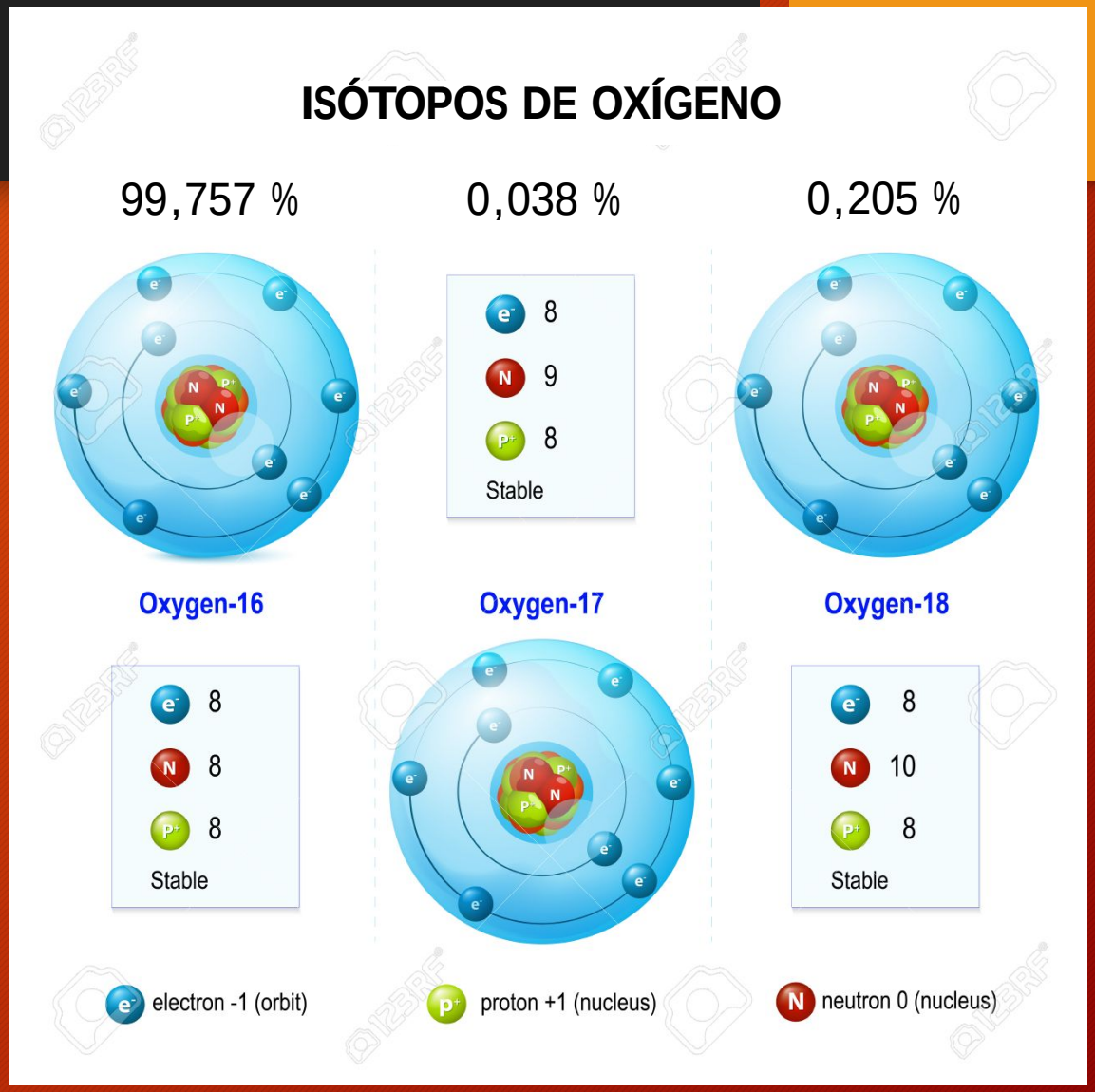


Isótopos

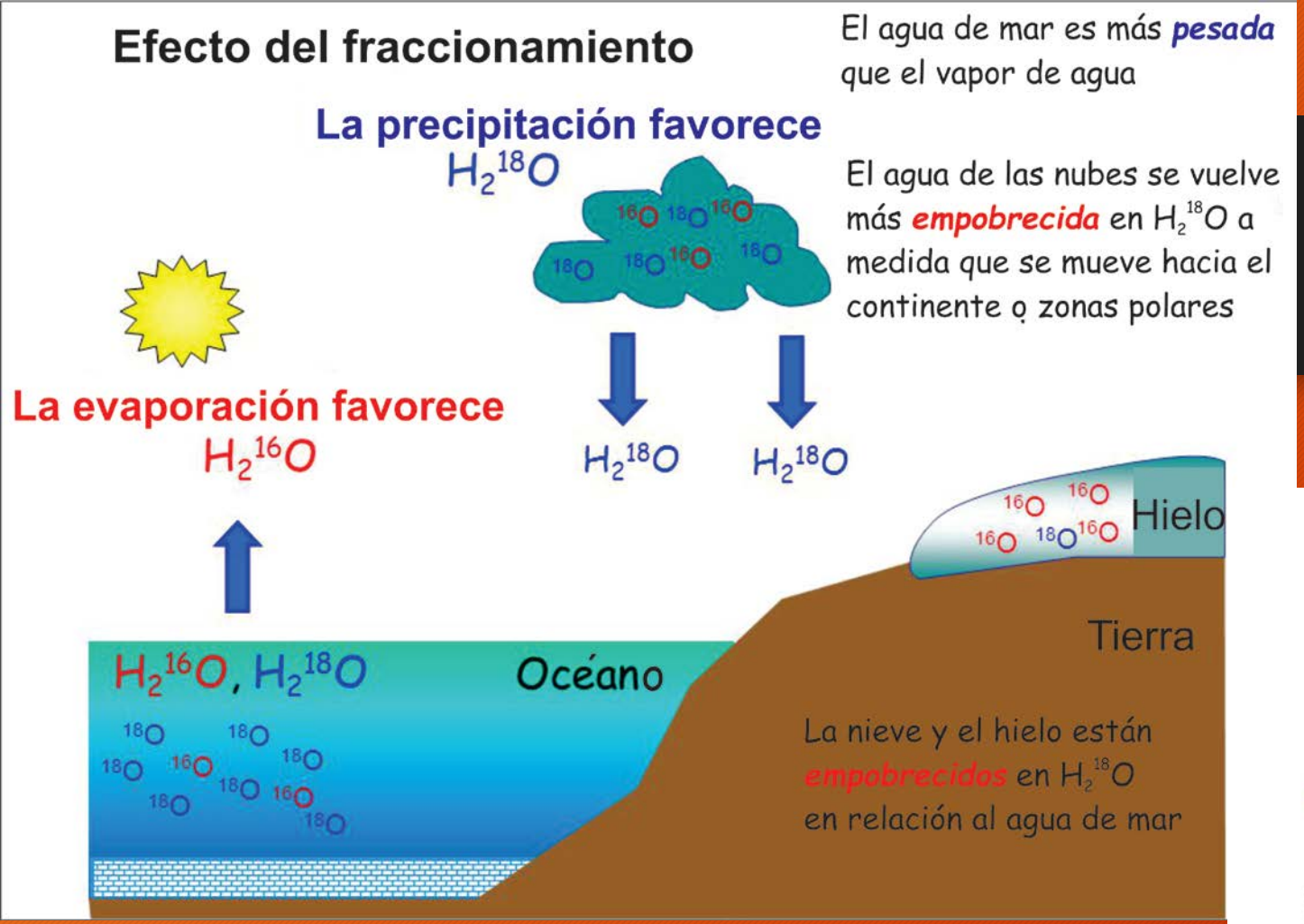
Los átomos que son isótopos entre sí son los que tienen igual número atómico (número de protones en el núcleo), pero diferente número másico (suma del número de neutrones y el de protones en el núcleo). Los distintos isótopos de un elemento difieren en el número de neutrones.

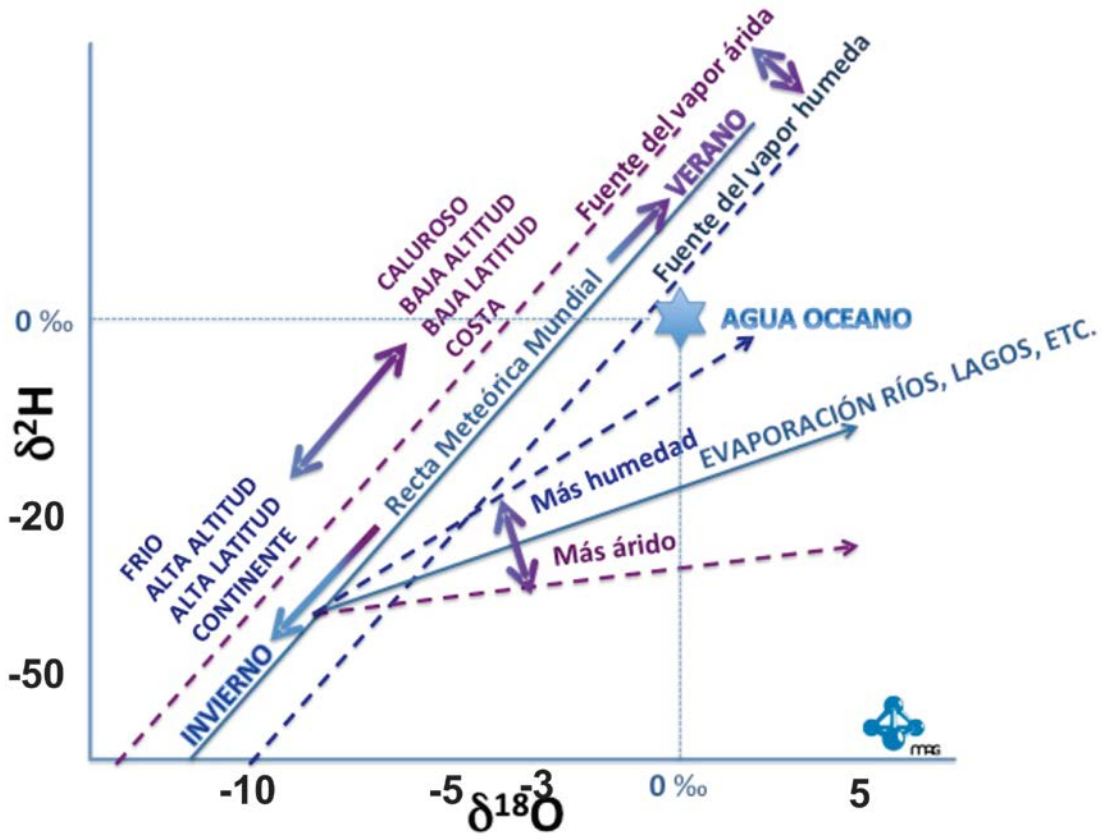
ISÓTOPOS DE HIDRÓGENO



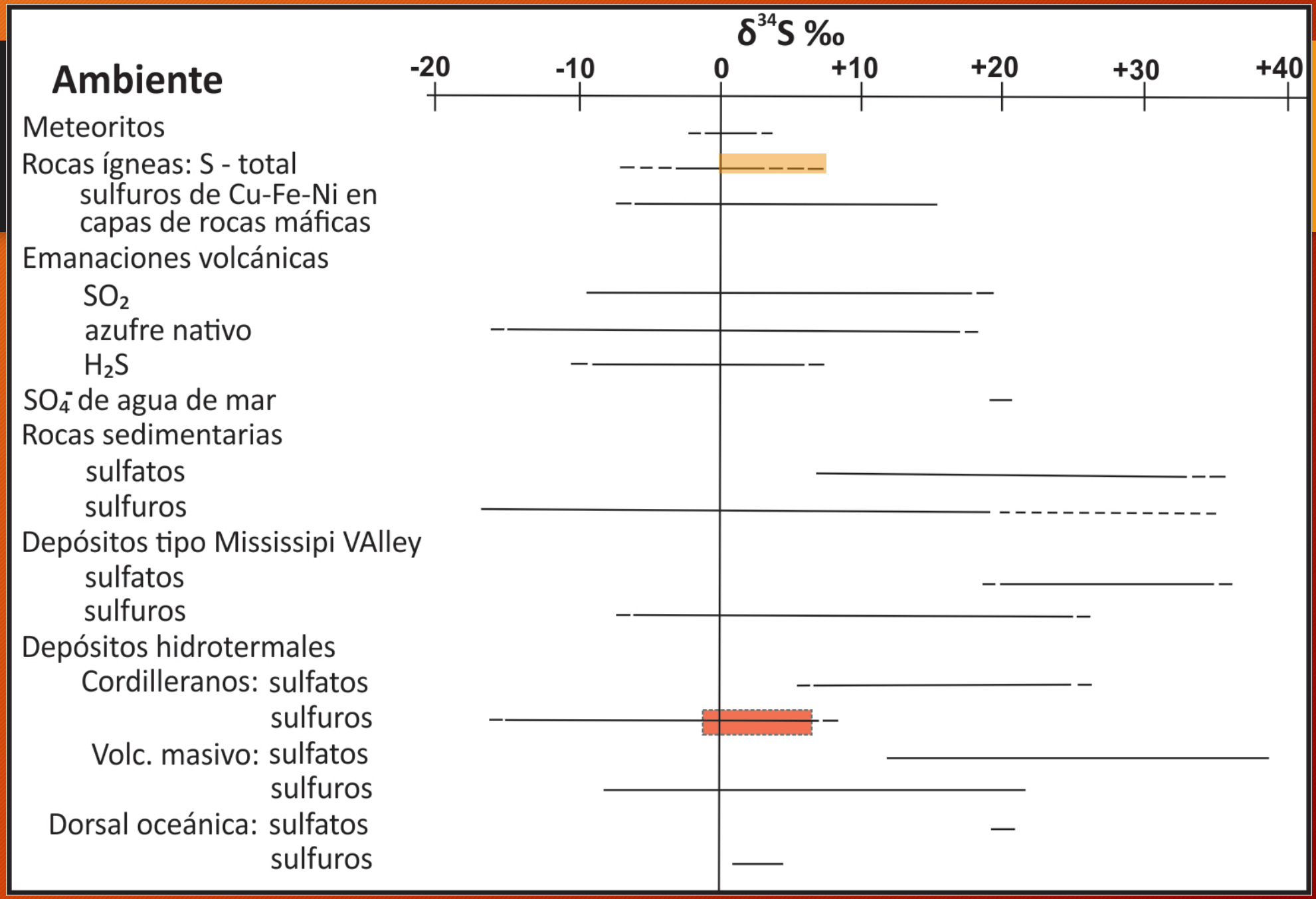


Isótopos en agua

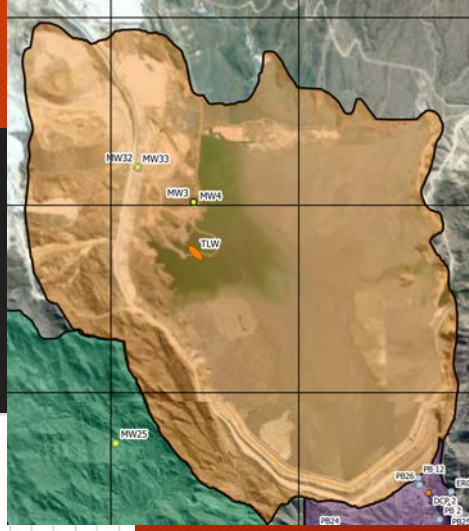


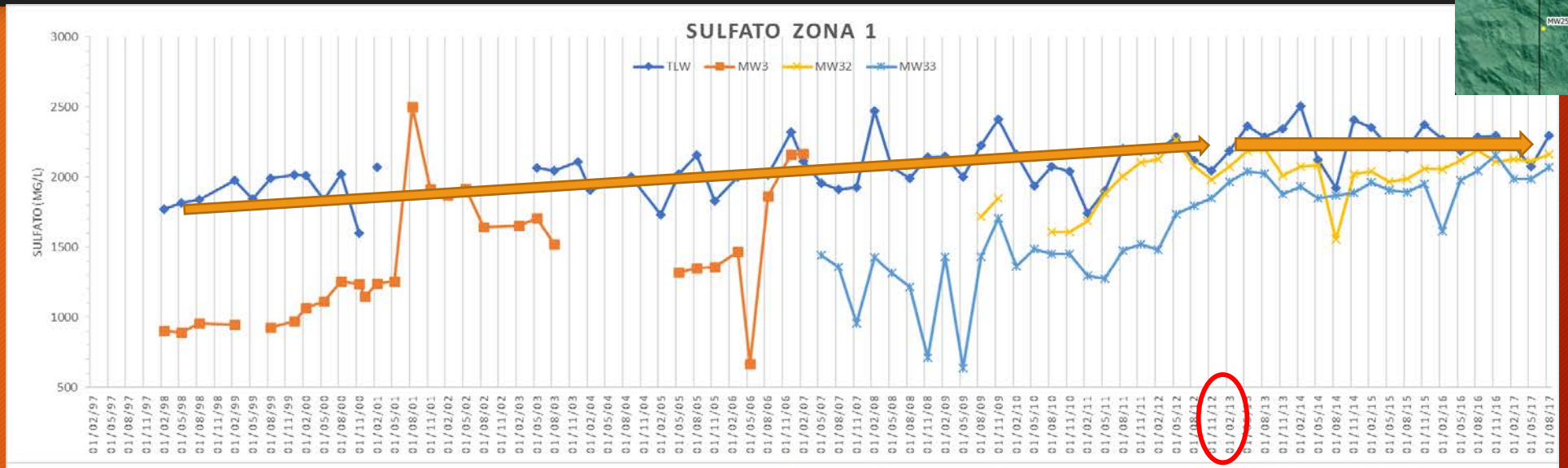


Isótopos de S



Zona 1 – Área de dique de colas

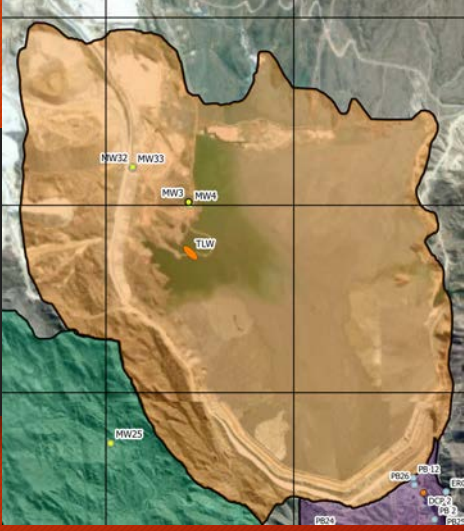




2300 mg/L

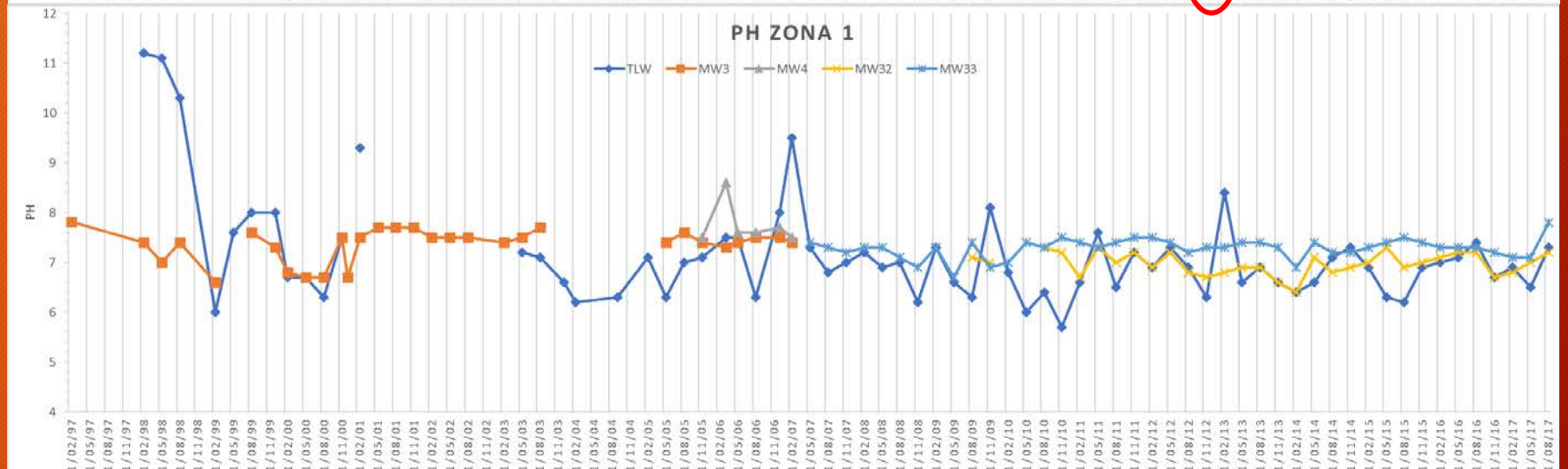
252 mg/L

Zona 1 – Área de dique de colas

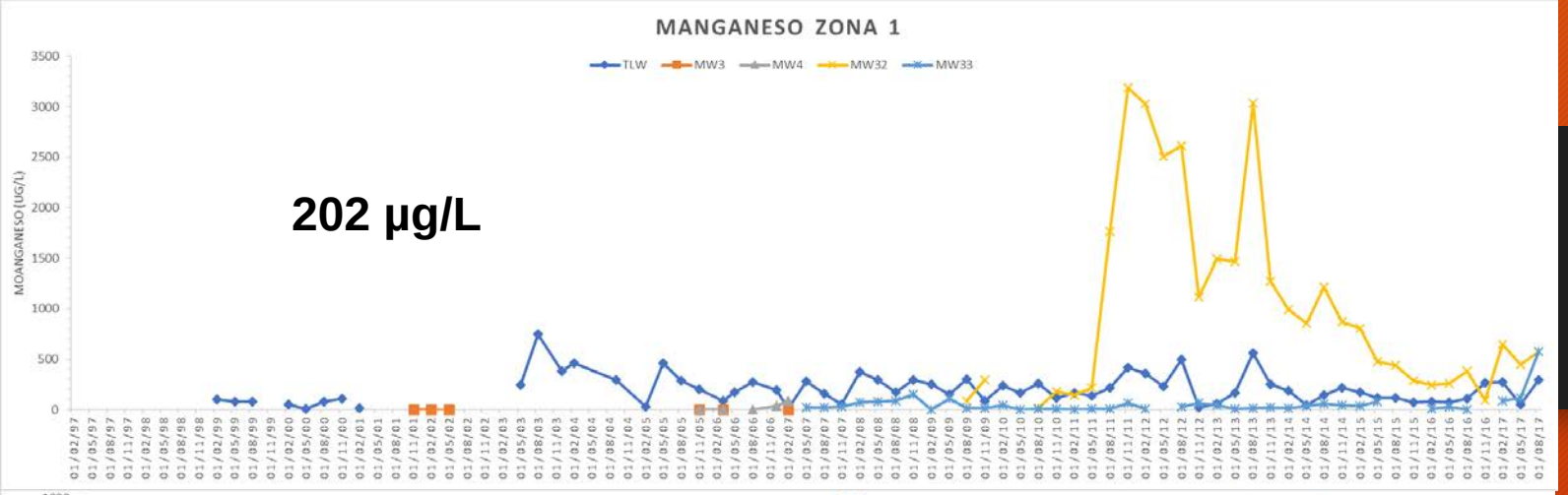


5500 µS/cm

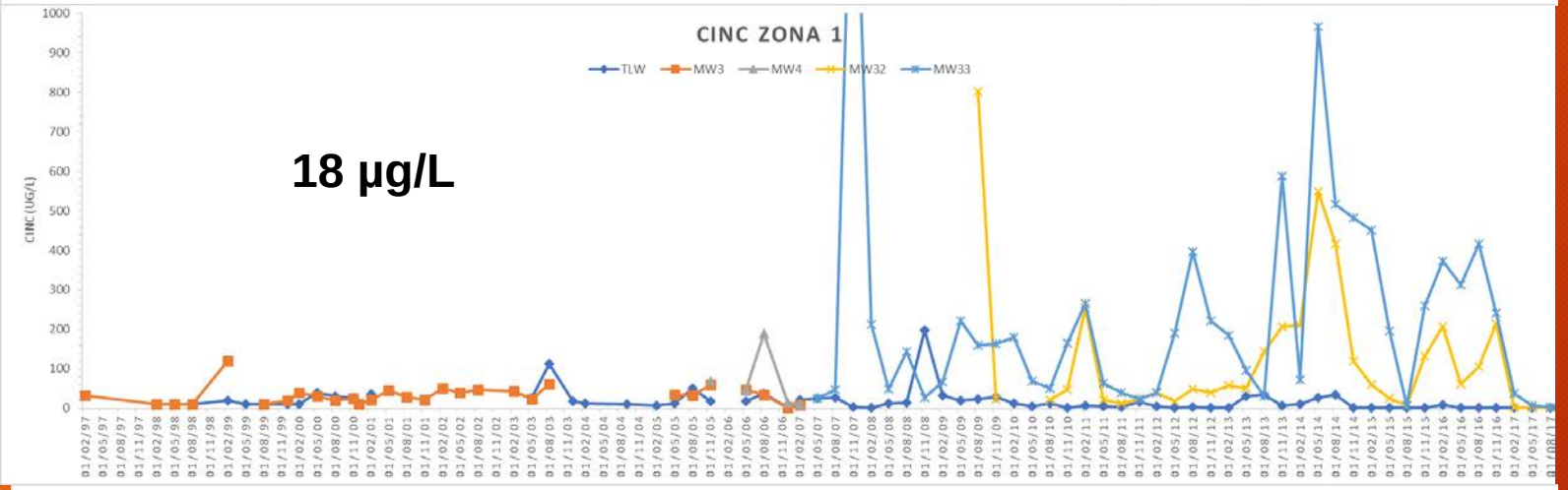
3000 µS/cm



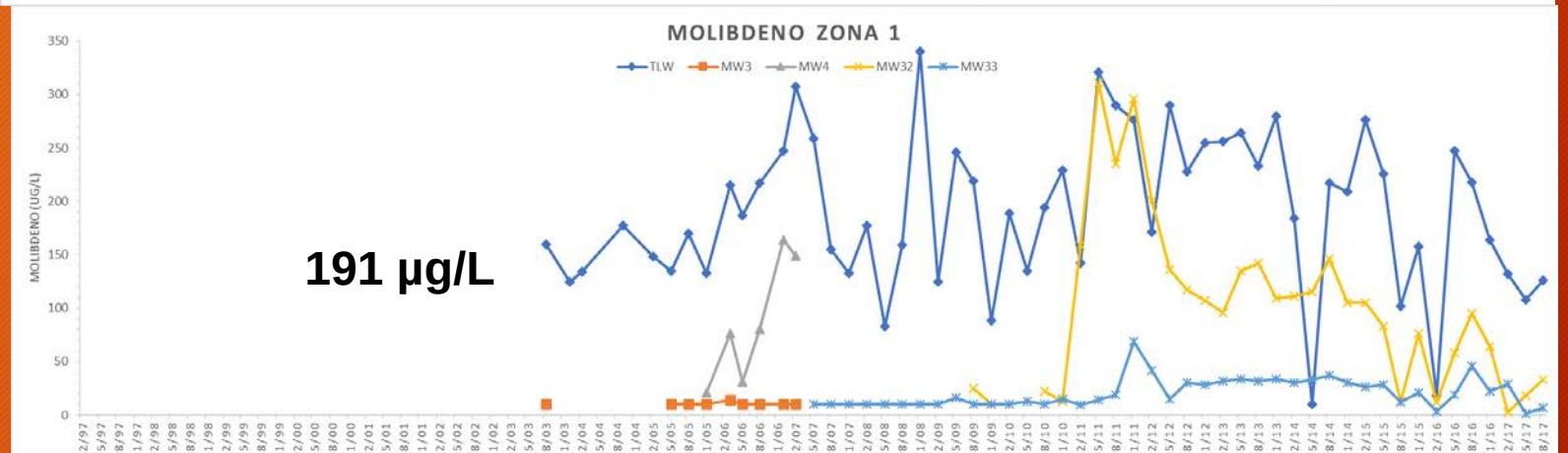
7,21 ± 0,70



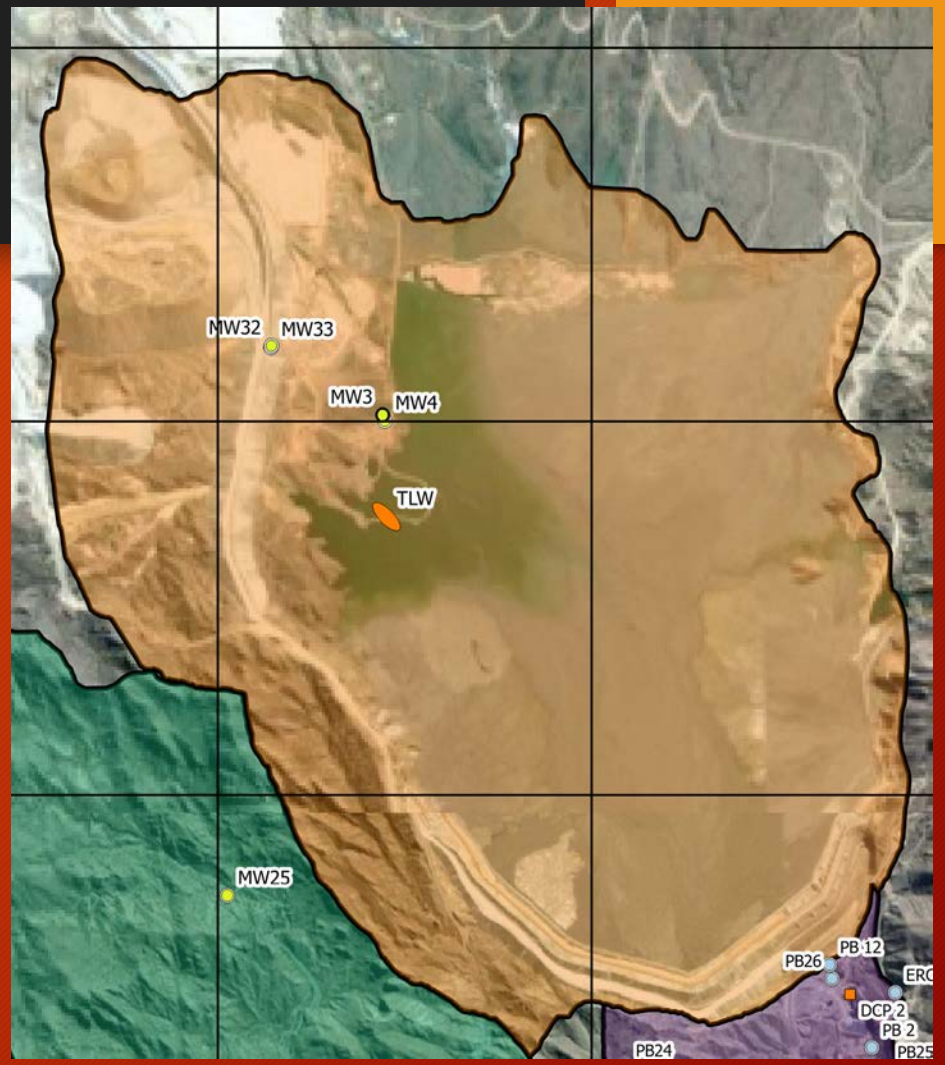
202 µg/L

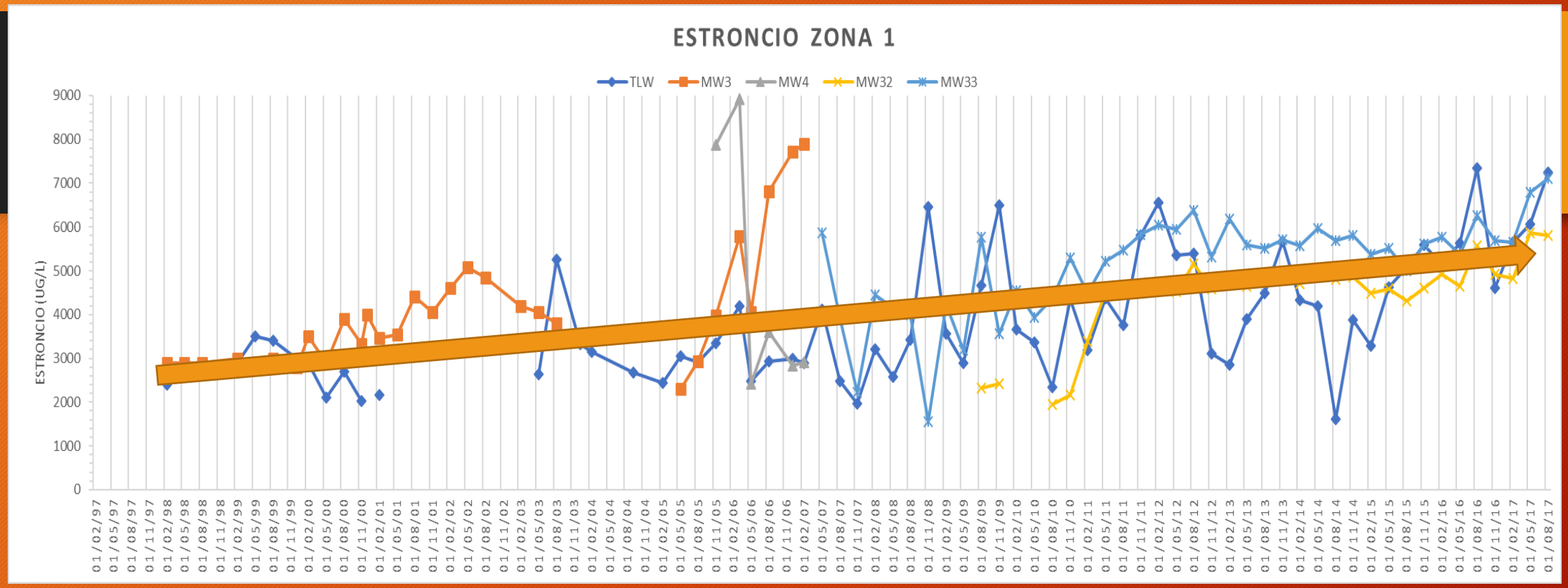


18 µg/L



191 µg/L



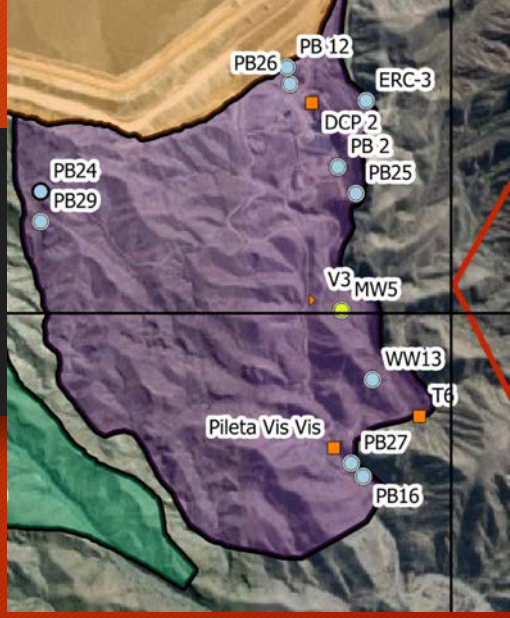


5500 µg/L

Agua $\delta^{18}O$ -3,62
$\delta^{2}H$ -21,23

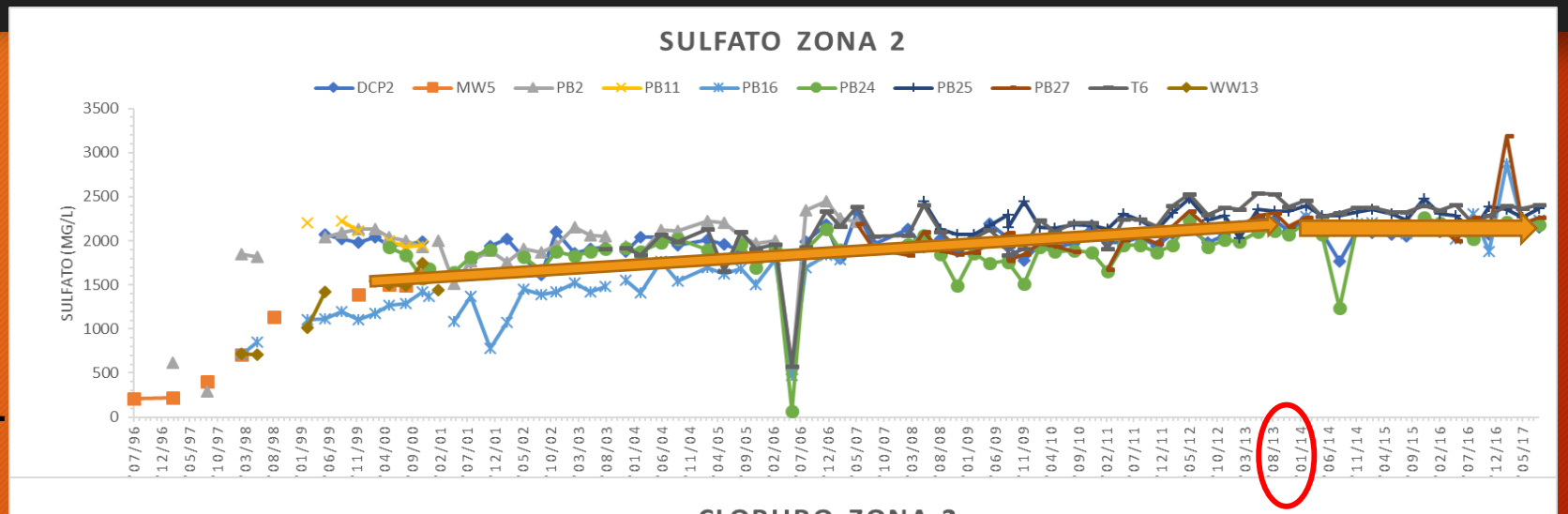
Sulfato $\delta^{34}S$ 8,06
$\delta^{18}O$ 3,70

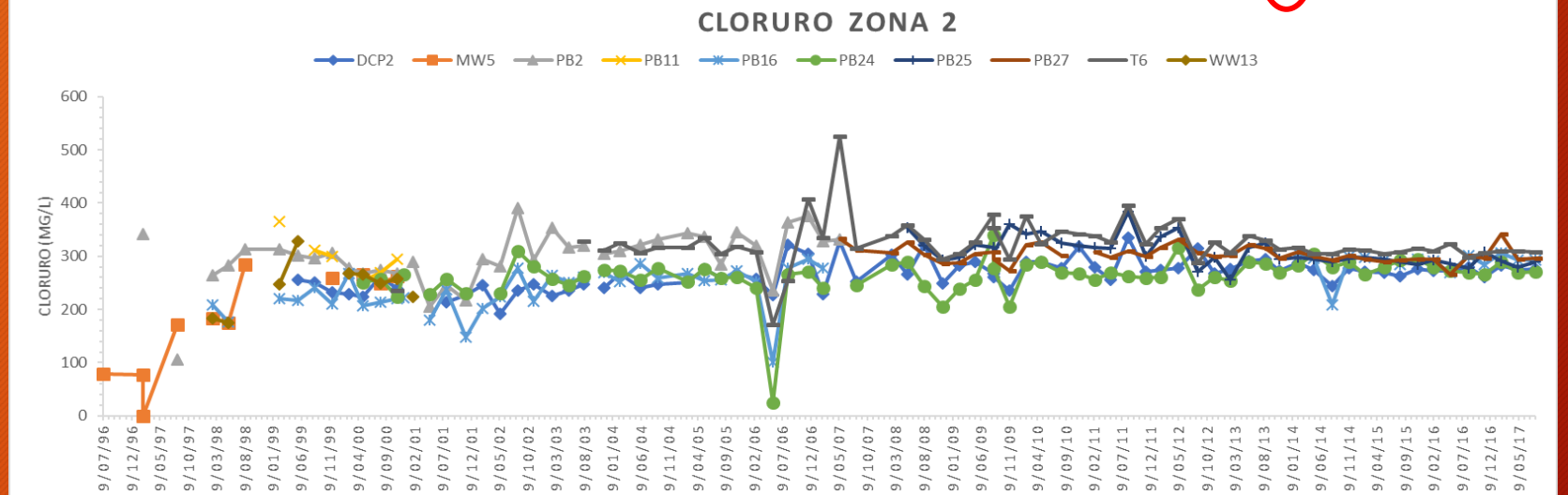
Zona 2 - Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas



2000 mg/L
(similar zona 1)

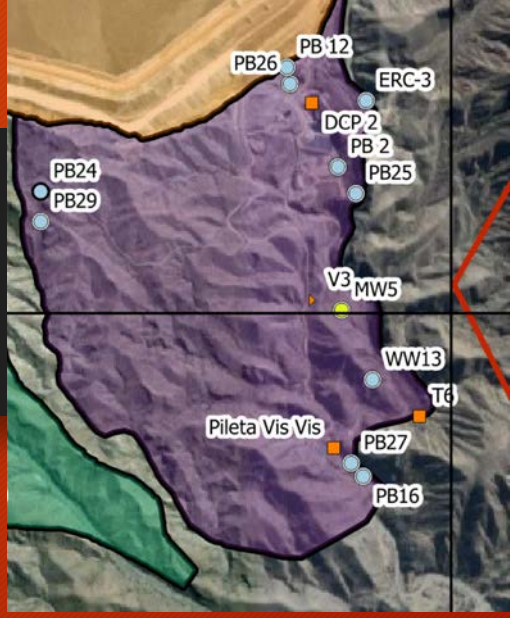
500 mg/L



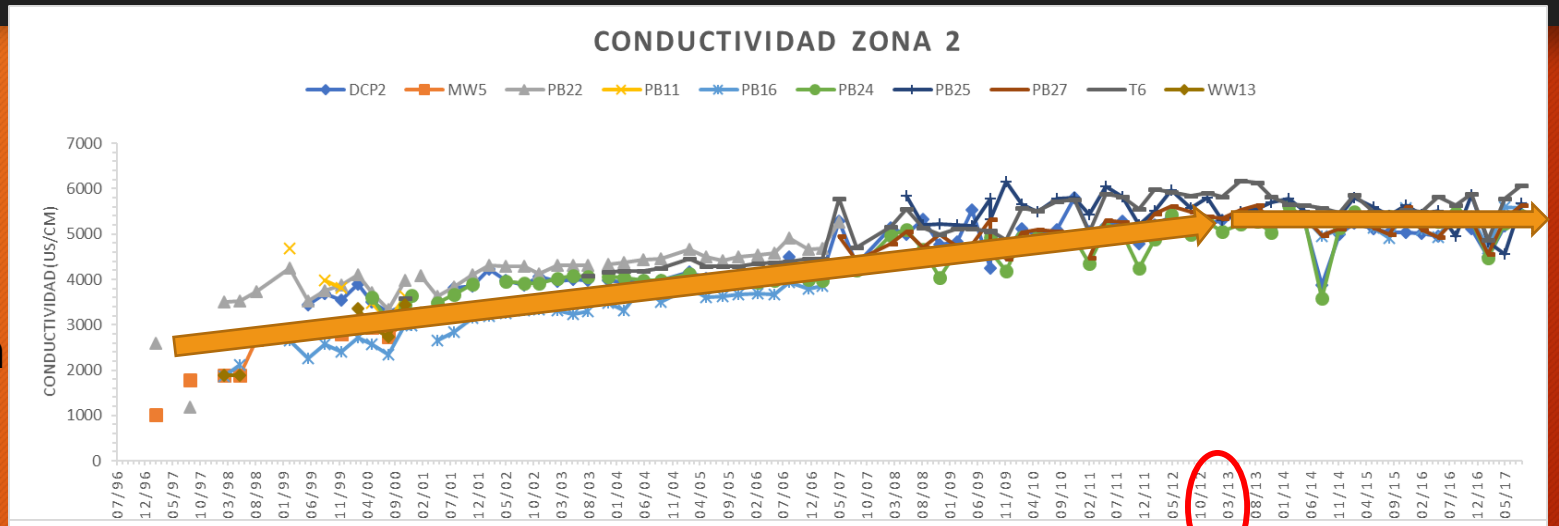


280 mg/L
(similar zona 1)

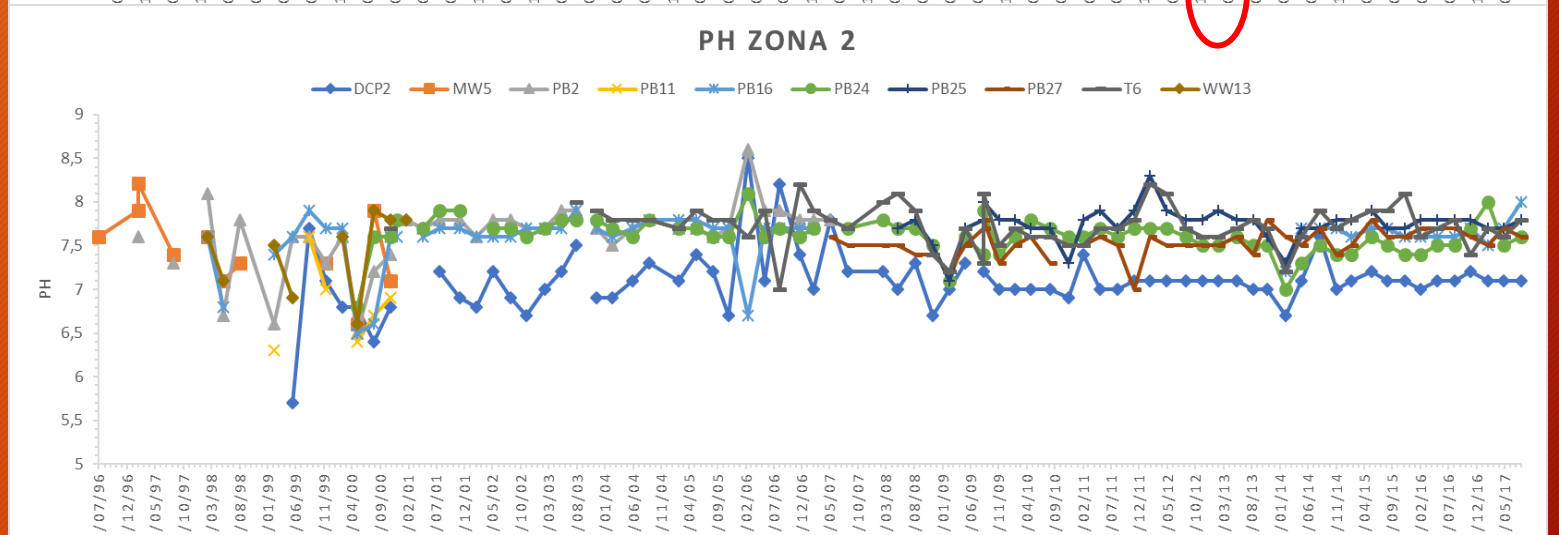
Zona 2 - Pluma de dispersión aguas abajo del dique de colas



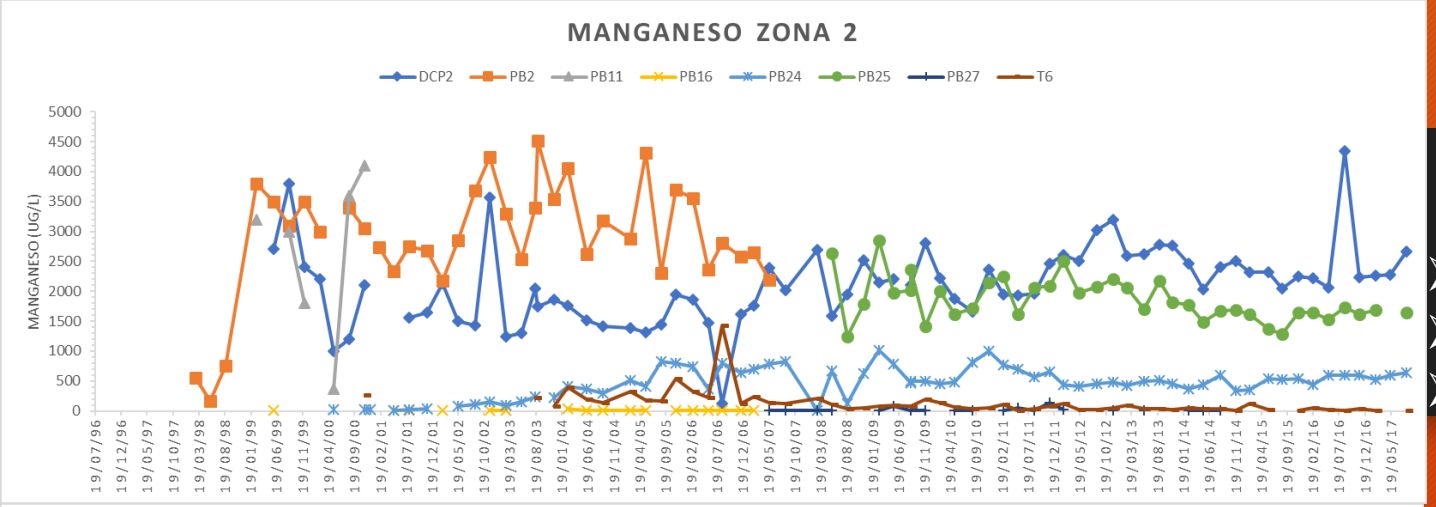
2000 µS/cm



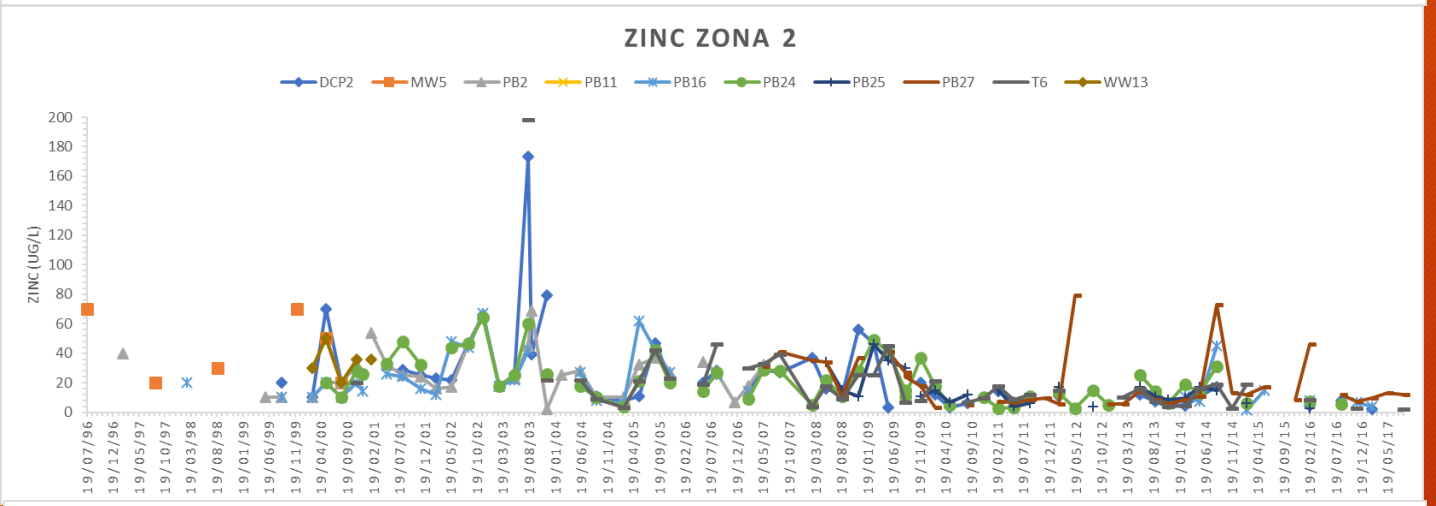
5500 µS/cm PB25
(igual zona 1)
5100 µS/cm PB27



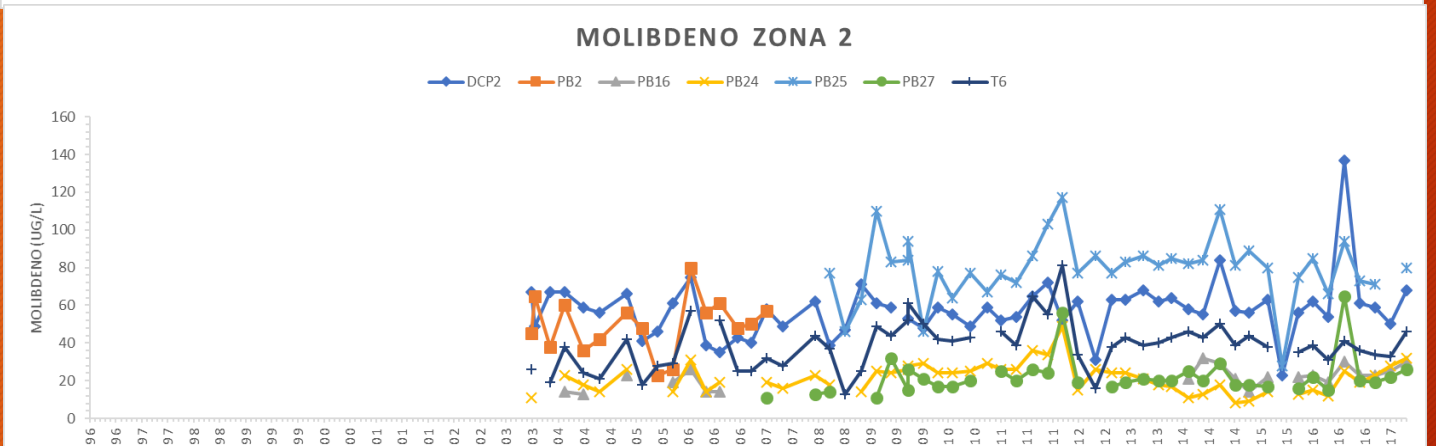
7,10 ± 0,36
(similar zona 1)



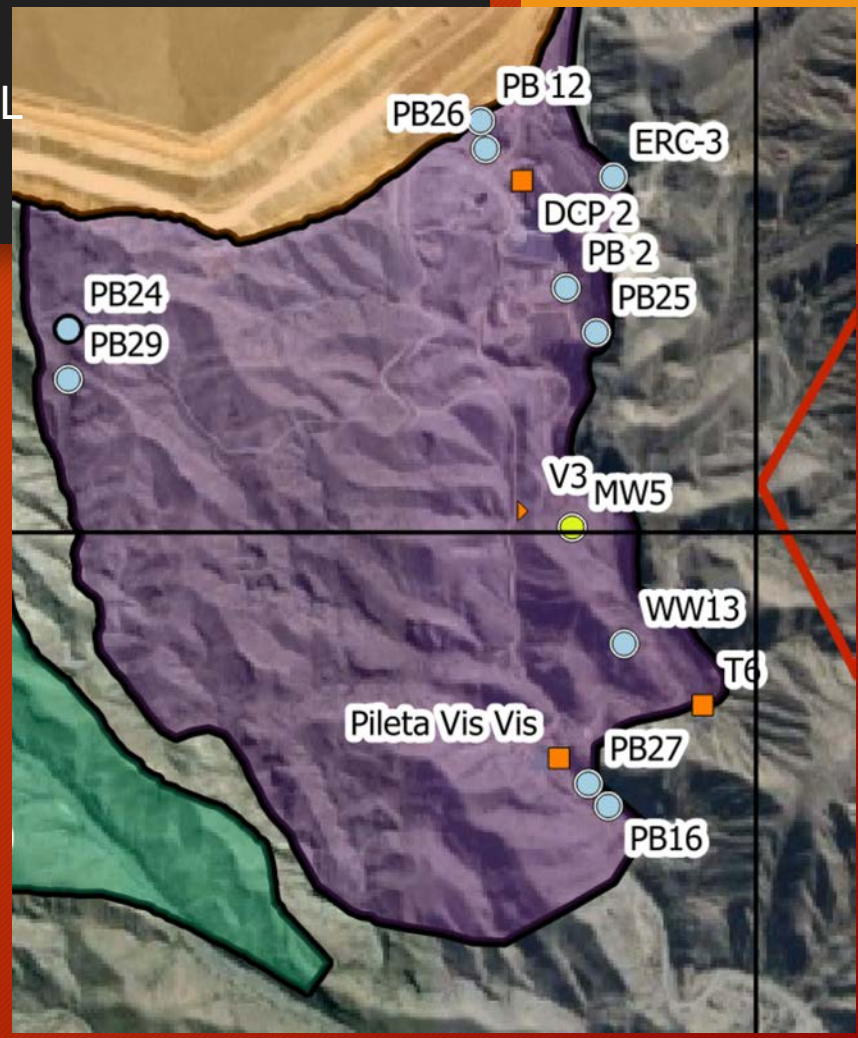
- >2000 µg/L
- 450 µg/L
- 20 µg/L

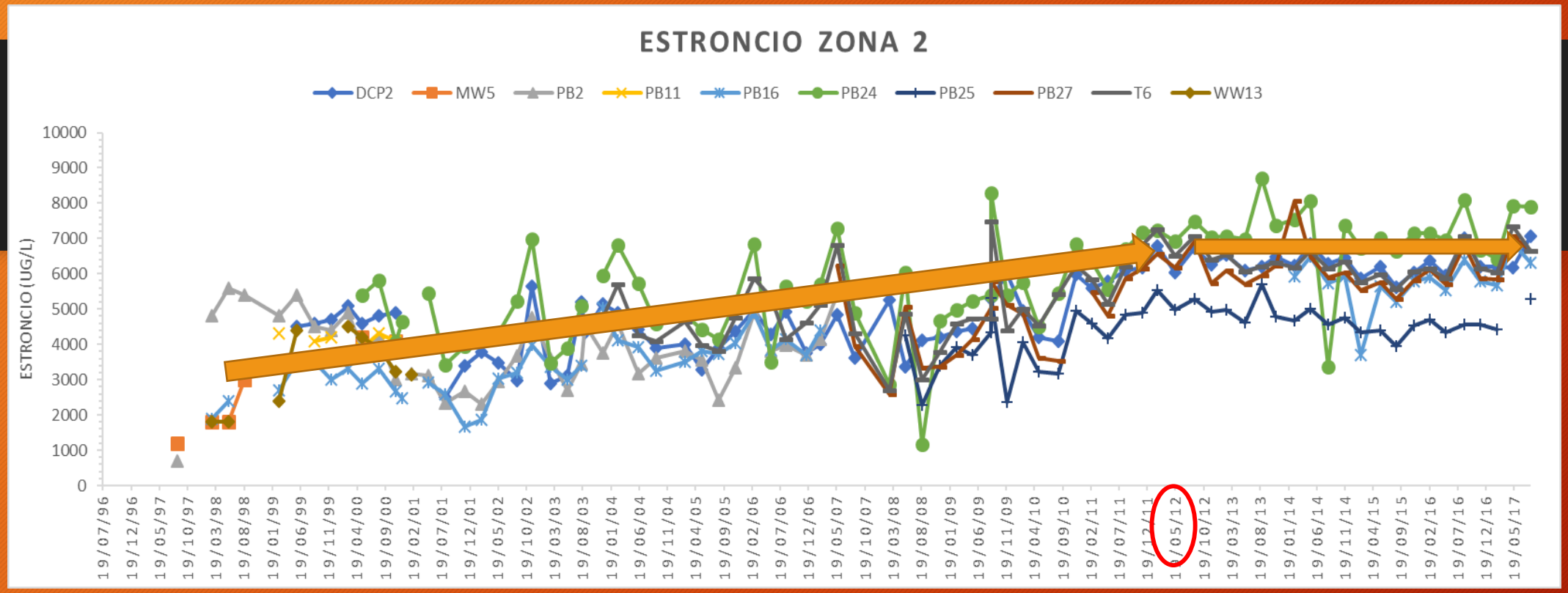


- <80 µg/L



- ~70 µg/L
- ~20 µg/L





7000 µg/L

(mayor a zona 1)

Agua

$\delta^{18}O$ -3,69 ± 0,40

$\delta^{2}H$ -20,74 ± 2,87

Valores isotópicos muy semejantes al agua del dique

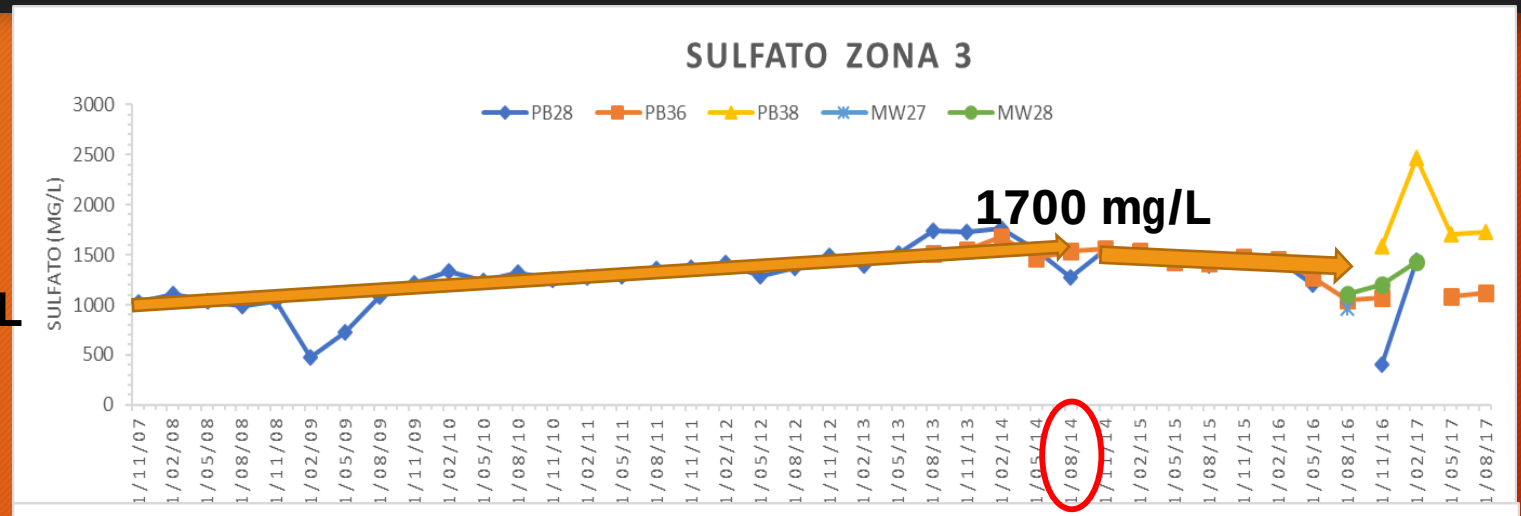
Sulfato

$\delta^{34}S$ 9,41± 0,72

$\delta^{18}O$ 4,34 ± 0,94

Zona 3 - Zona de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural

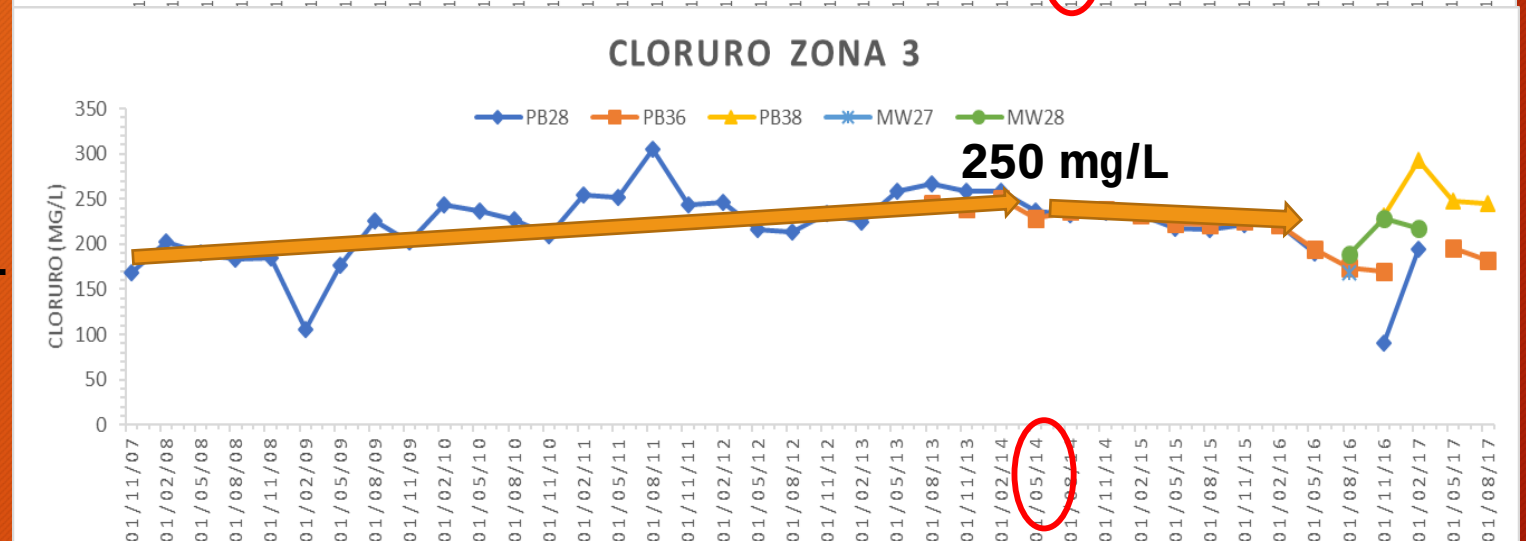
1000 mg/L



1100 mg/L

(mitad que zona 2)

170 mg/L

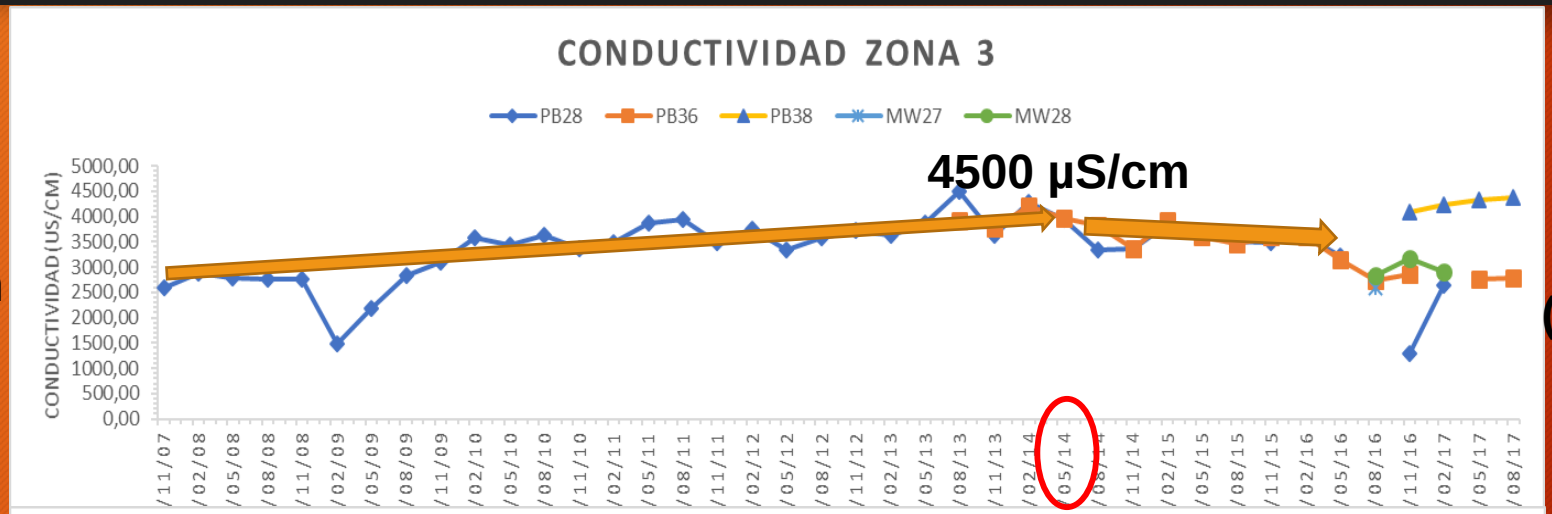


170 mg/L

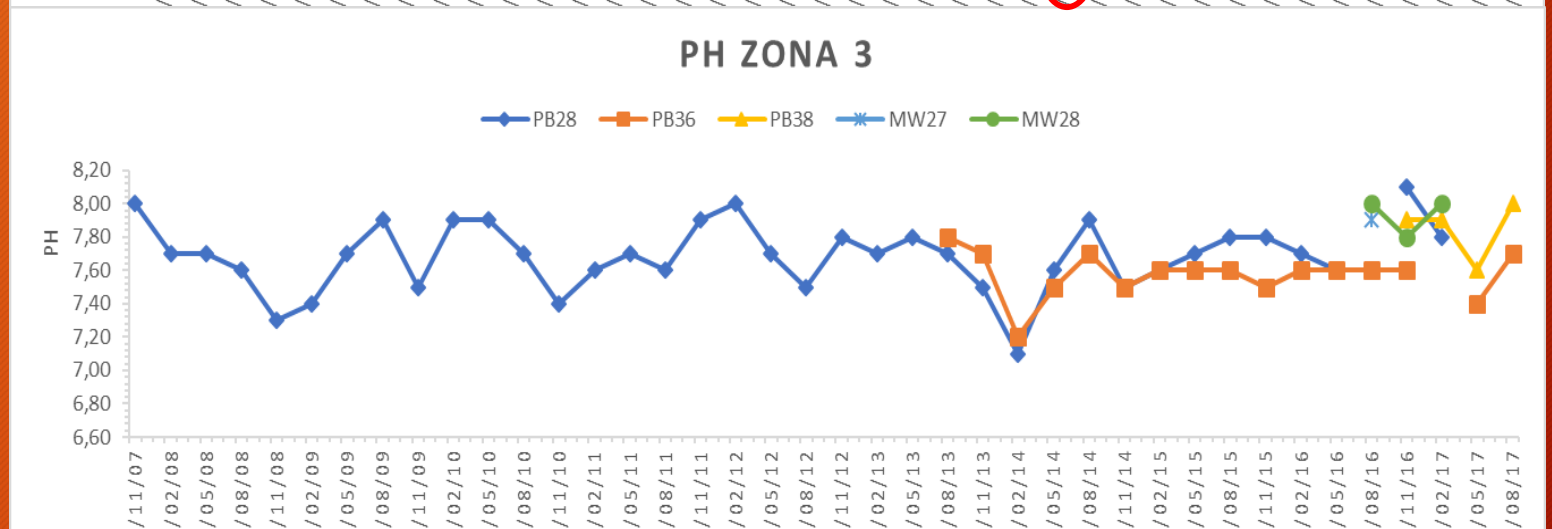
(inferior a zona 2 280mg/L

Zona 3 - Zona de mezcla entre el agua de procesos de la pluma y el aporte hídrico natural

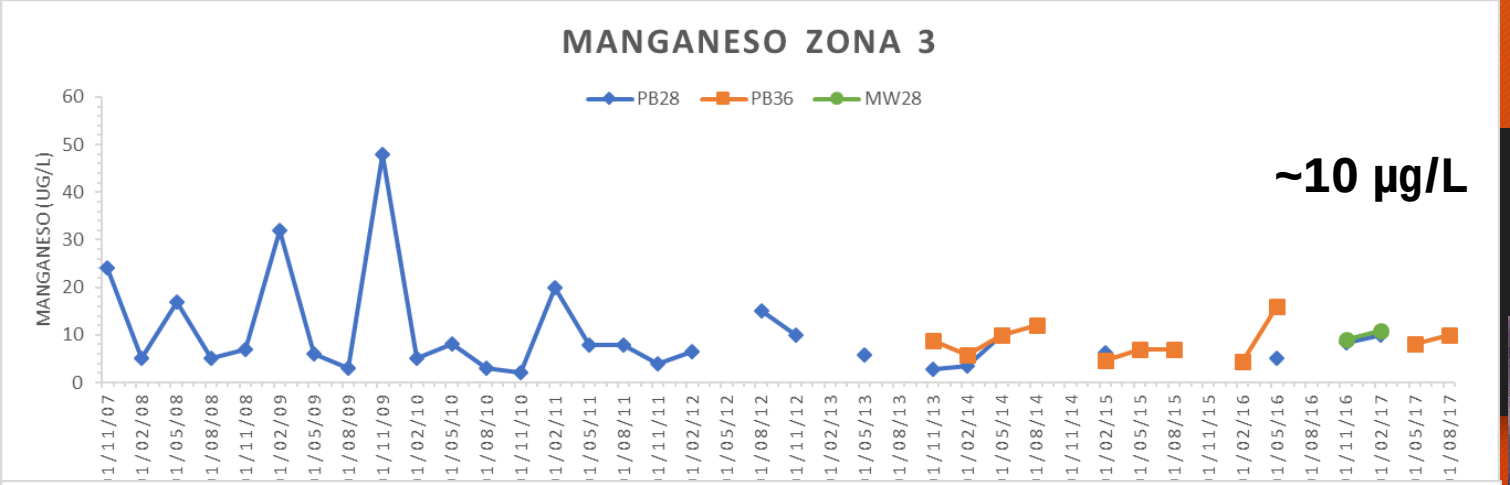
2500 µS/cm



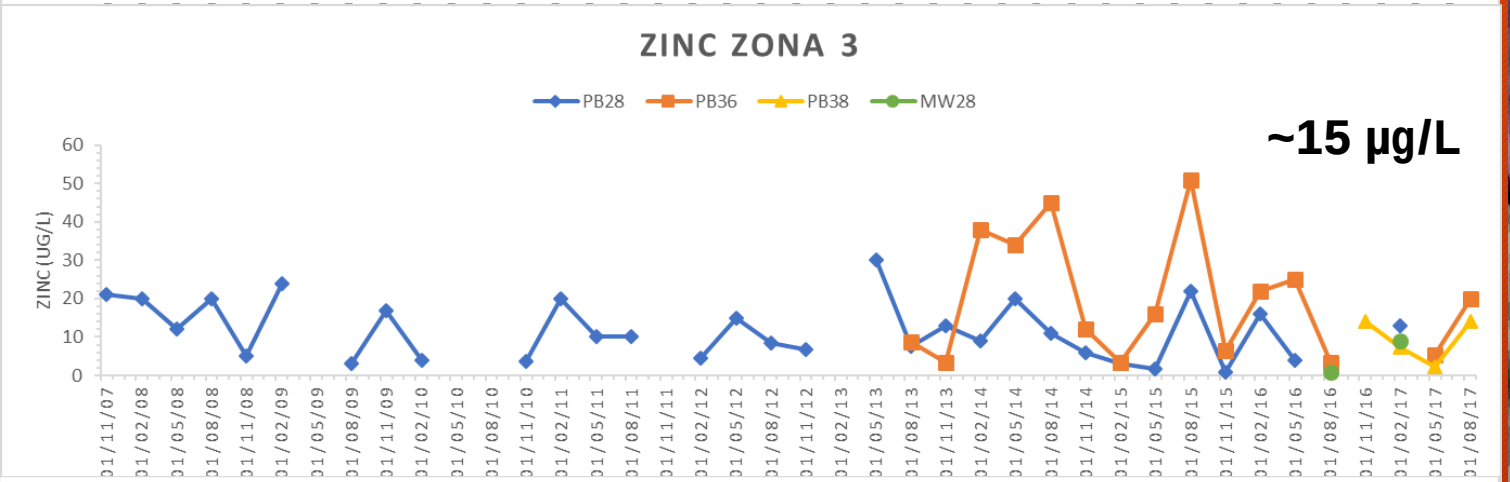
2750 µS/cm
(mitad de zona 2)



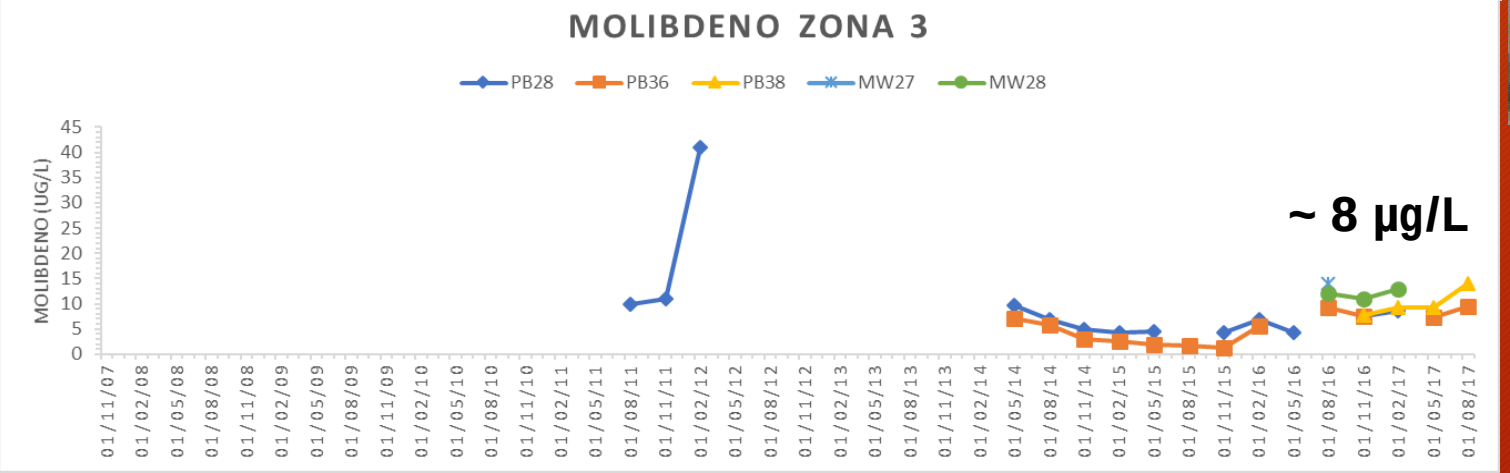
7,68 ± 0,20
(a penas más alcalino que zona 2)



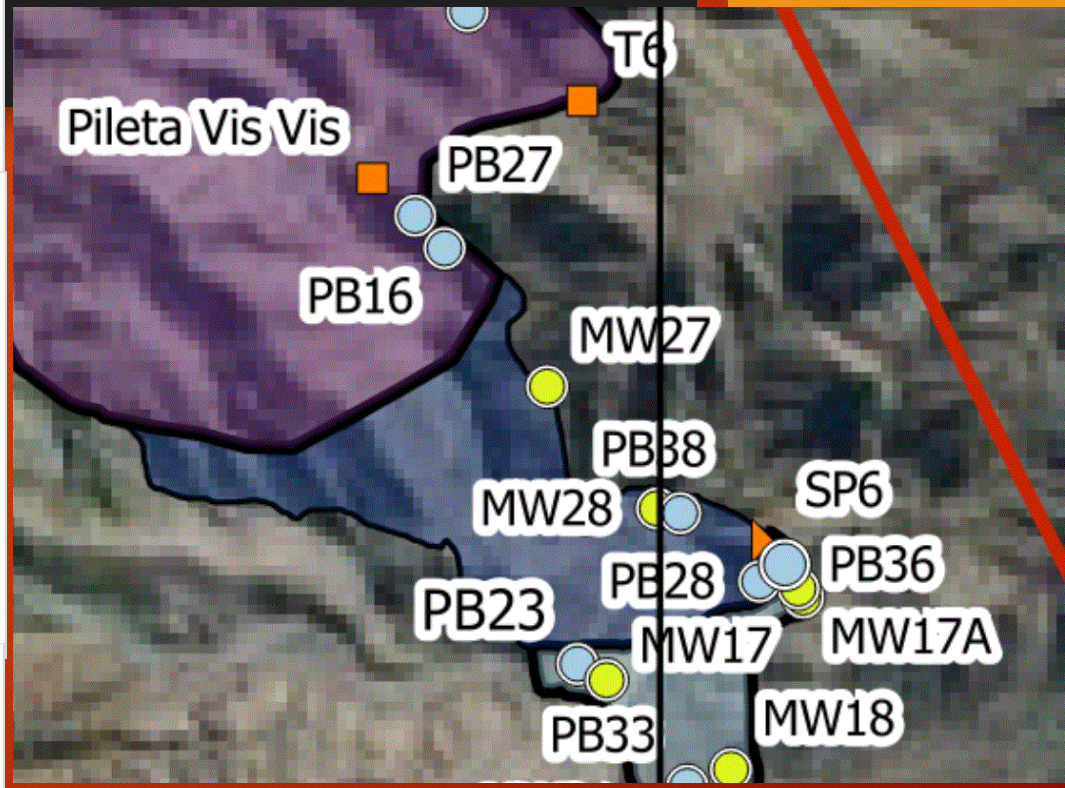
~10 µg/L



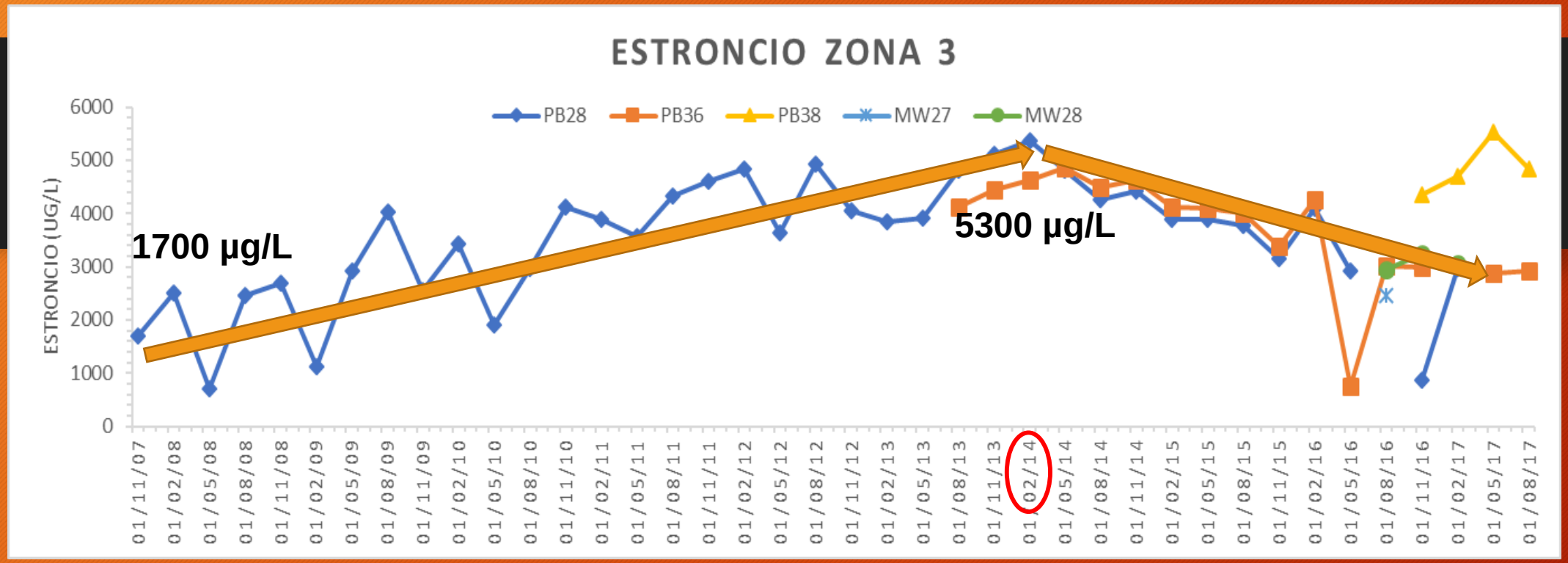
~15 µg/L



~ 8 µg/L



Valores significativamente inferiores a zona 2



(Mucho menor a zona 2)

Agua

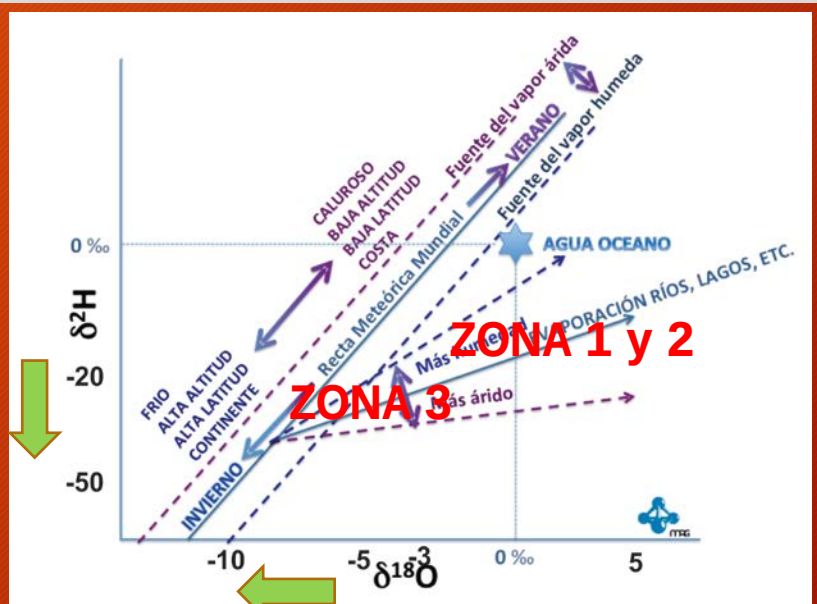
$\delta^{18}O$ -5,28 ± 0,37

$\delta^{2}H$ -30,40 ± 2,50

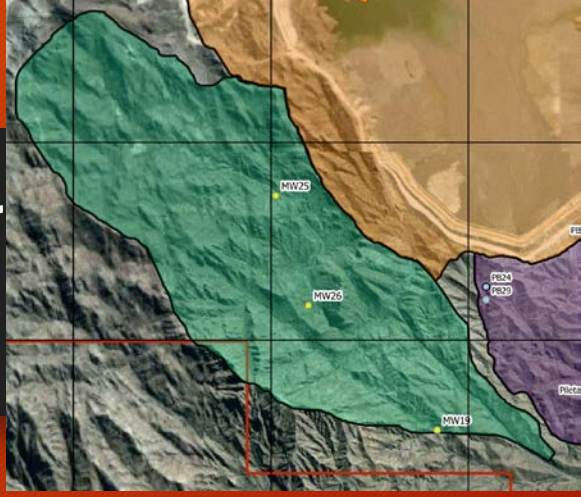
Sulfato

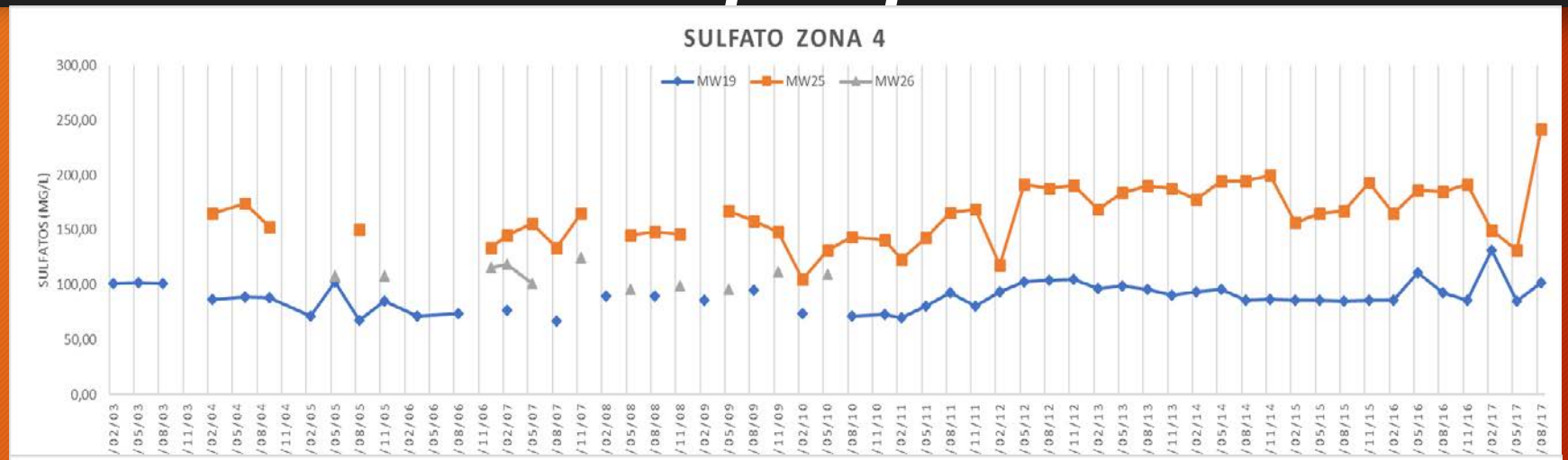
$\delta^{34}S$ 8,52 ± 0,63

$\delta^{18}O$ 4,84 ± 0,71



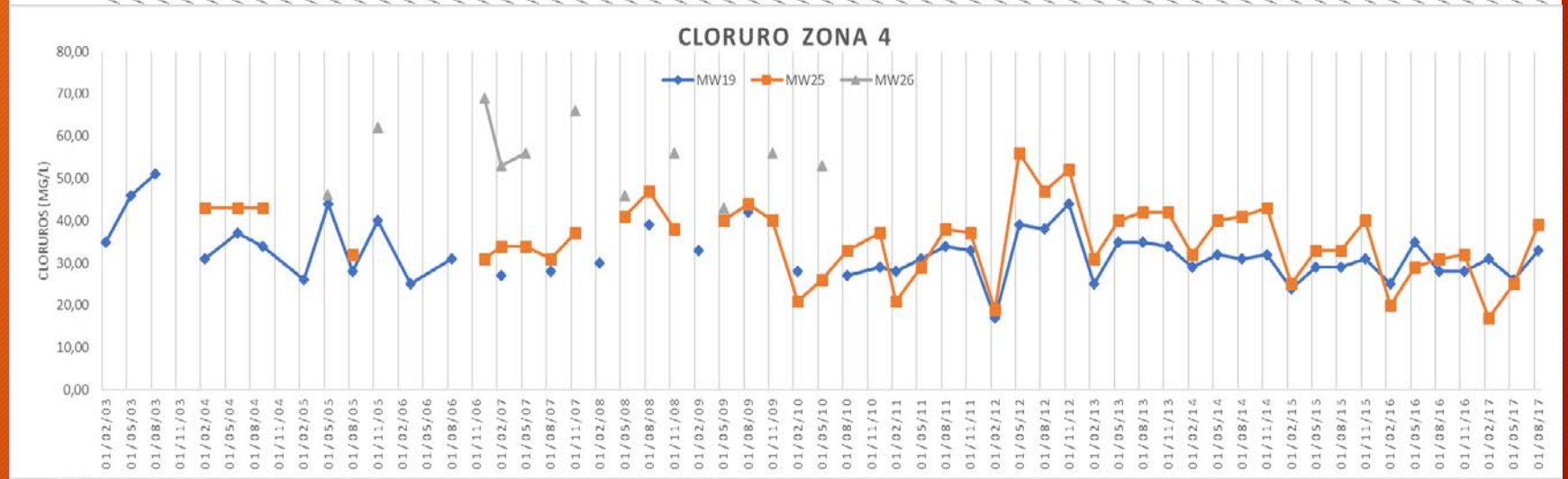
Zona 4 - Zona al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el *Open-pit*.





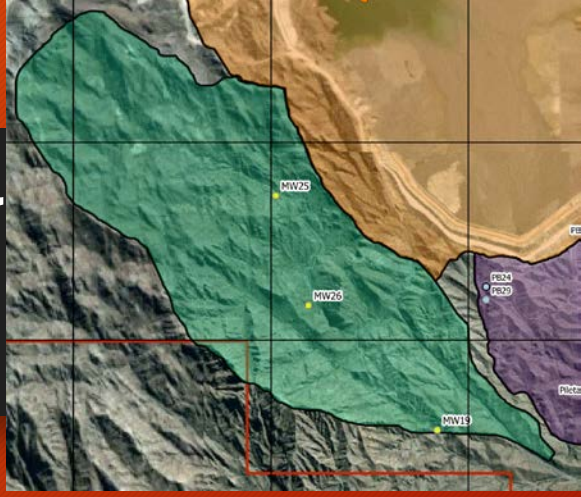
~165 mg/L

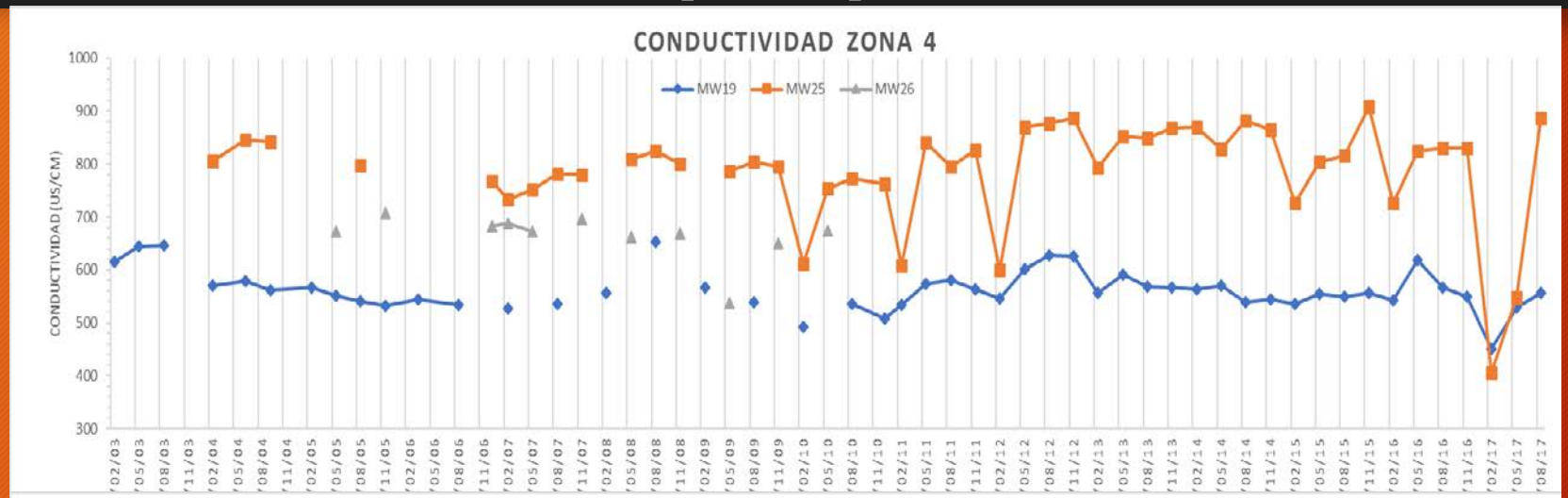
~ 90 mg/L



~ 36 mg/L

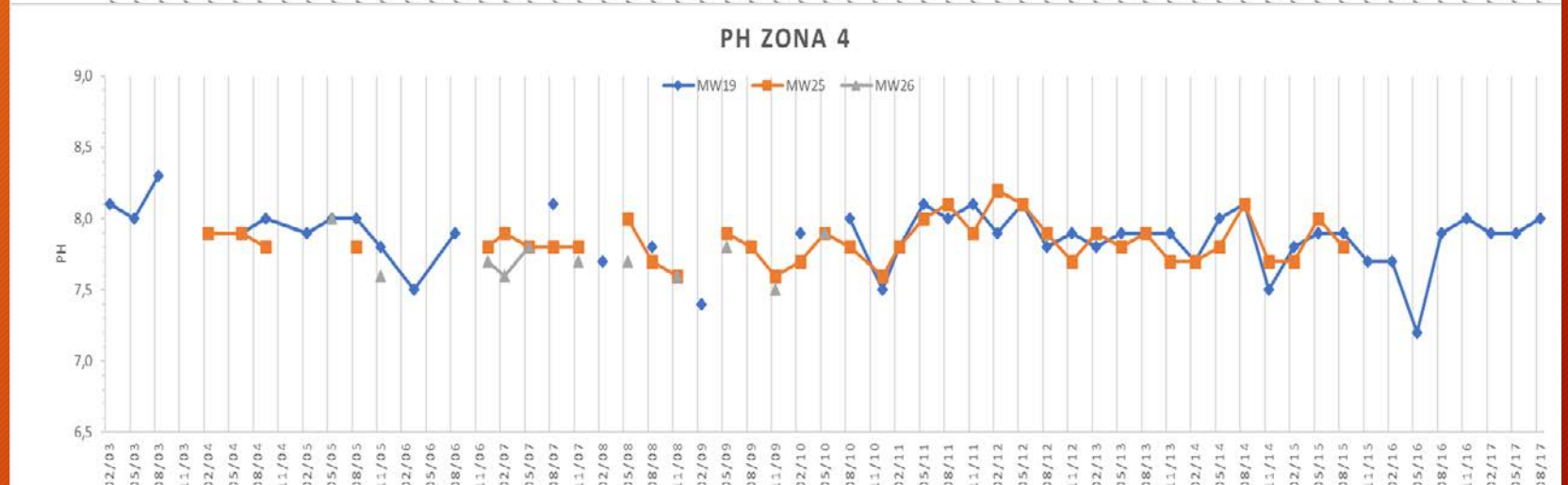
Zona 4 - Zona al oeste del dique de colas y pluma de dispersión, pero estructuralmente vinculada con el *Open-pit*.





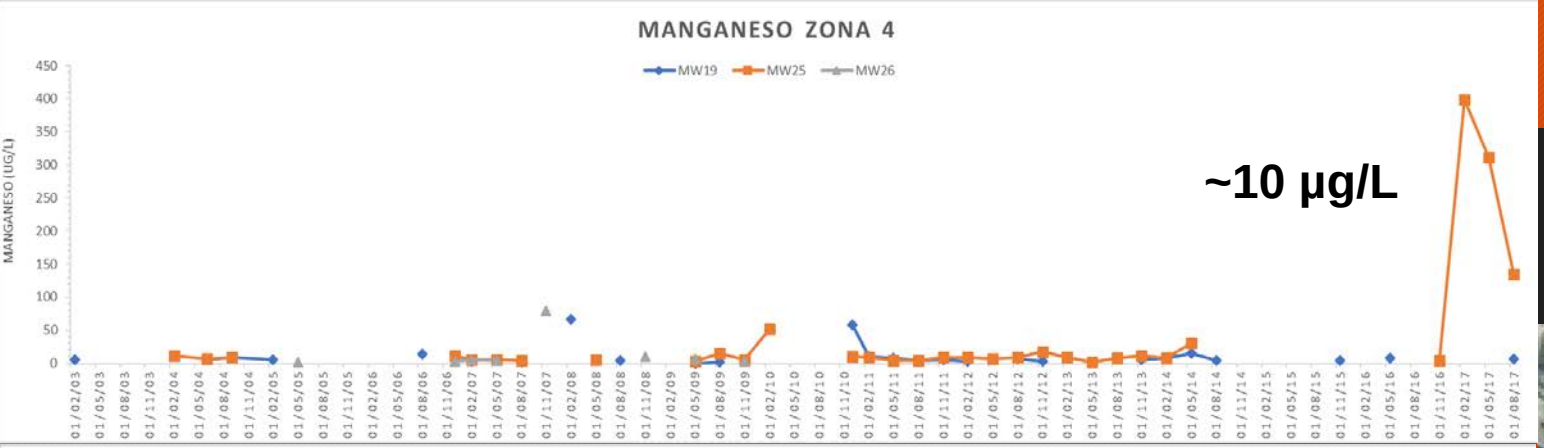
790 µS/cm

560 µS/cm

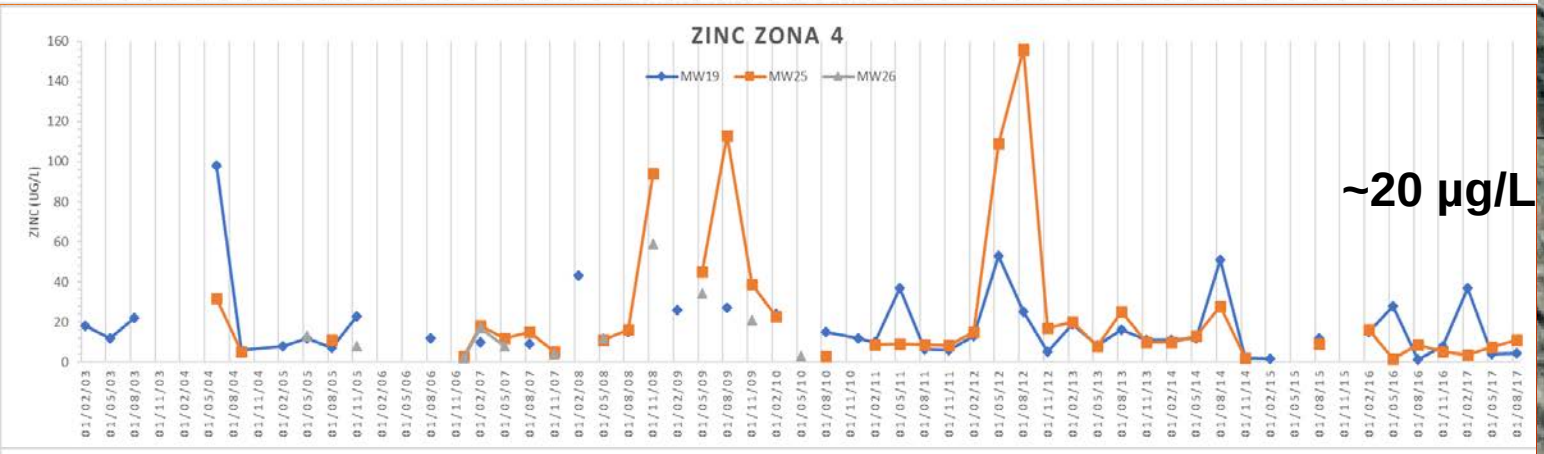


7,83 ± 0,19

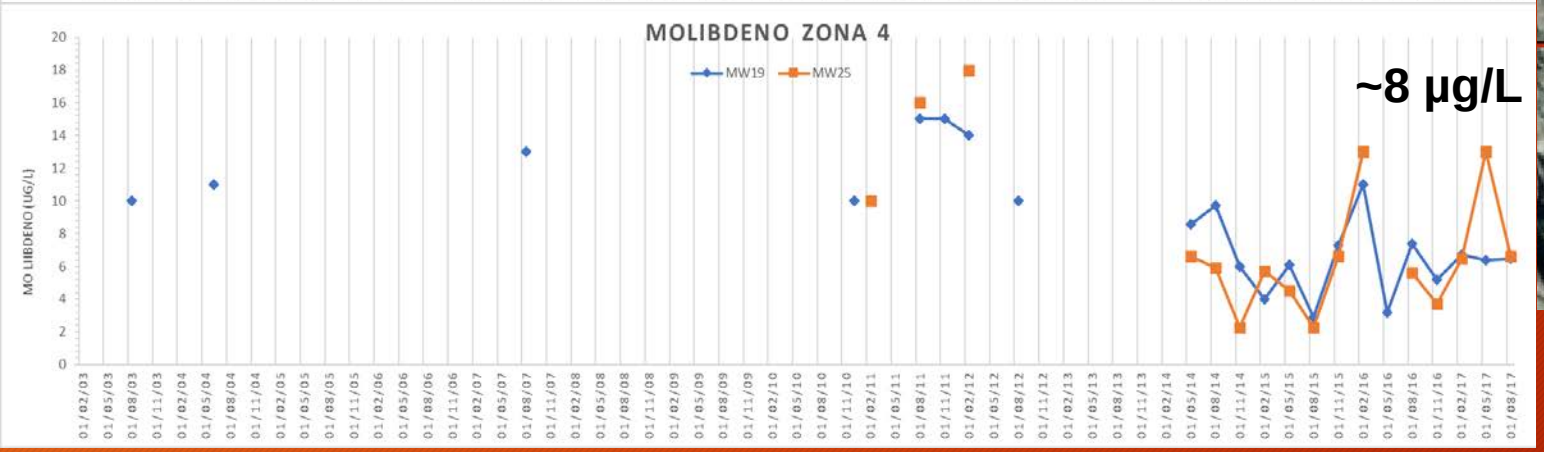
(a penas más alcalino que zona 3)



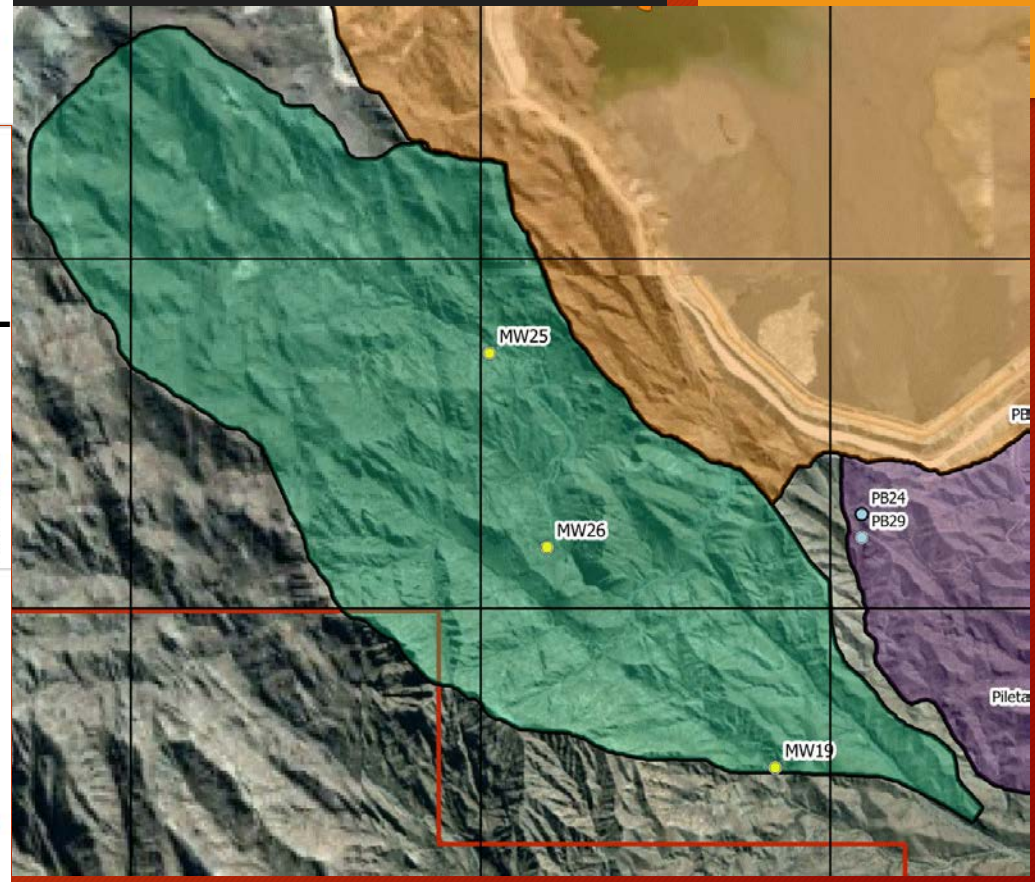
~10 µg/L

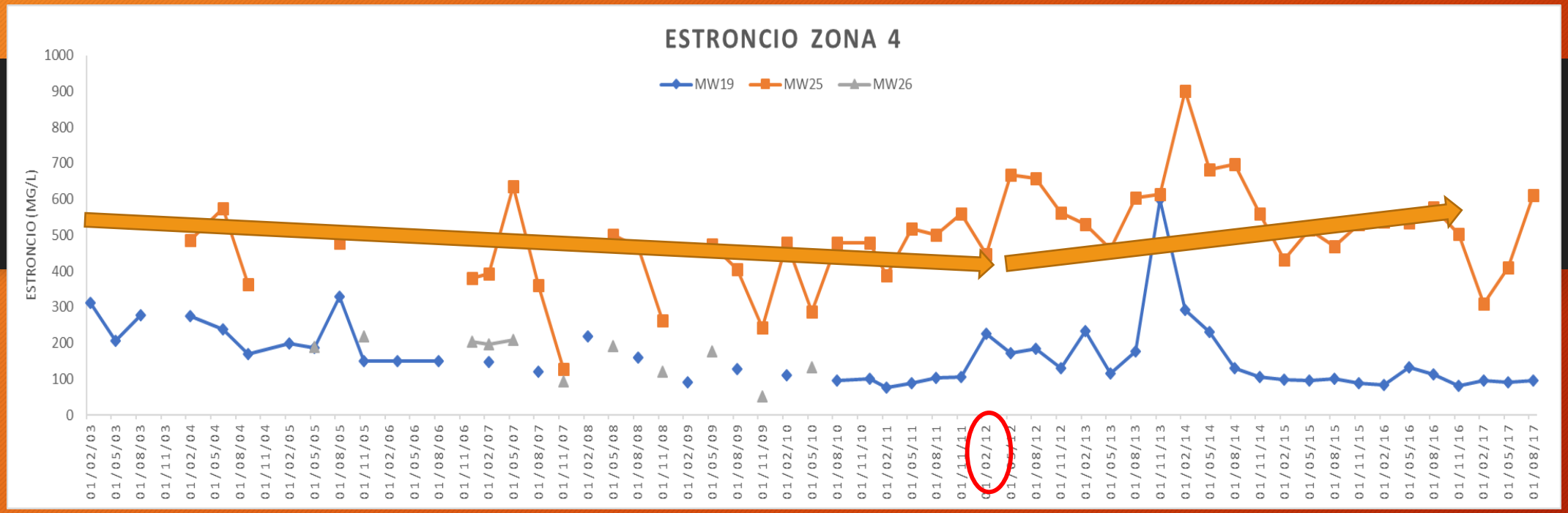


~20 µg/L



~8 µg/L





~500 µg/L

~165 µg/L

Agua

$\delta^{18}O$ -4,92 ± 0,96

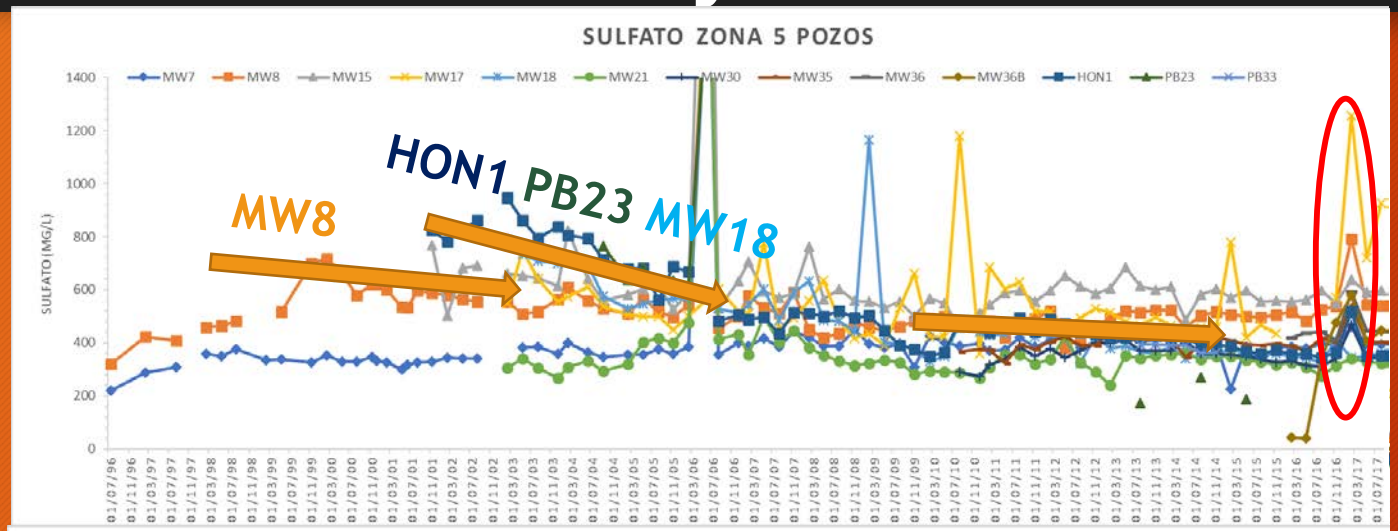
$\delta^{2}H$ -27,80 ± 5,66

Sulfato

$\delta^{34}S$ 6,66 ± 0,23

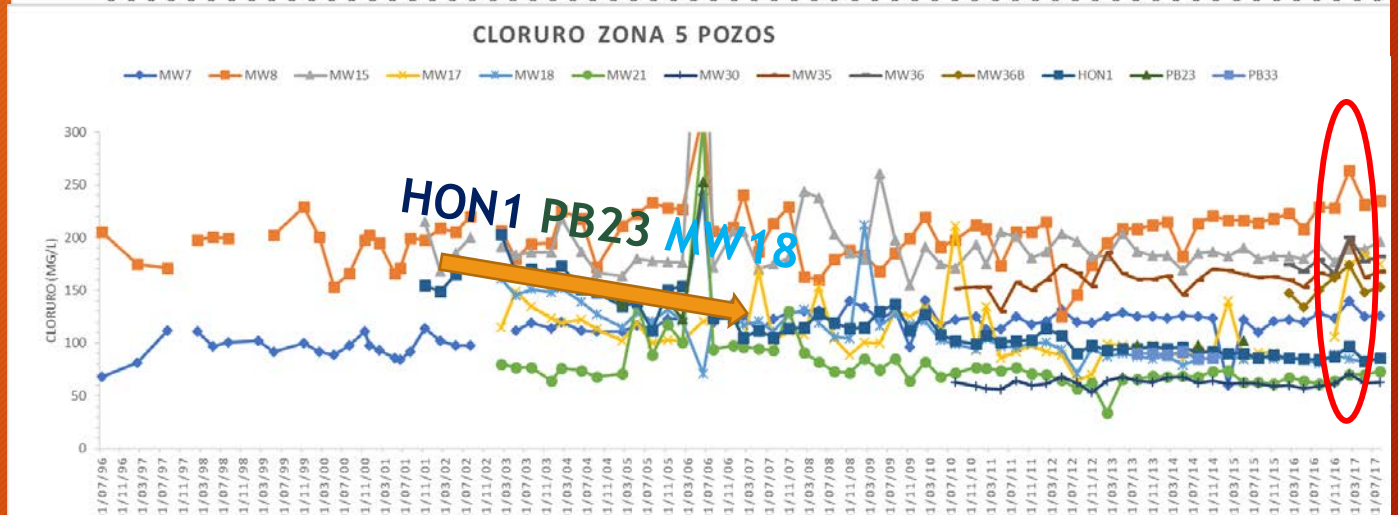
$\delta^{18}O$ 6,91 ± 1,92

Zona 5 - Puntos de monitoreo aguas abajo d zona afectada por la pluma de proceso y tra del río Vis-Vis-Amanao y sus afluentes



480 mg/L

No registrado por MAA



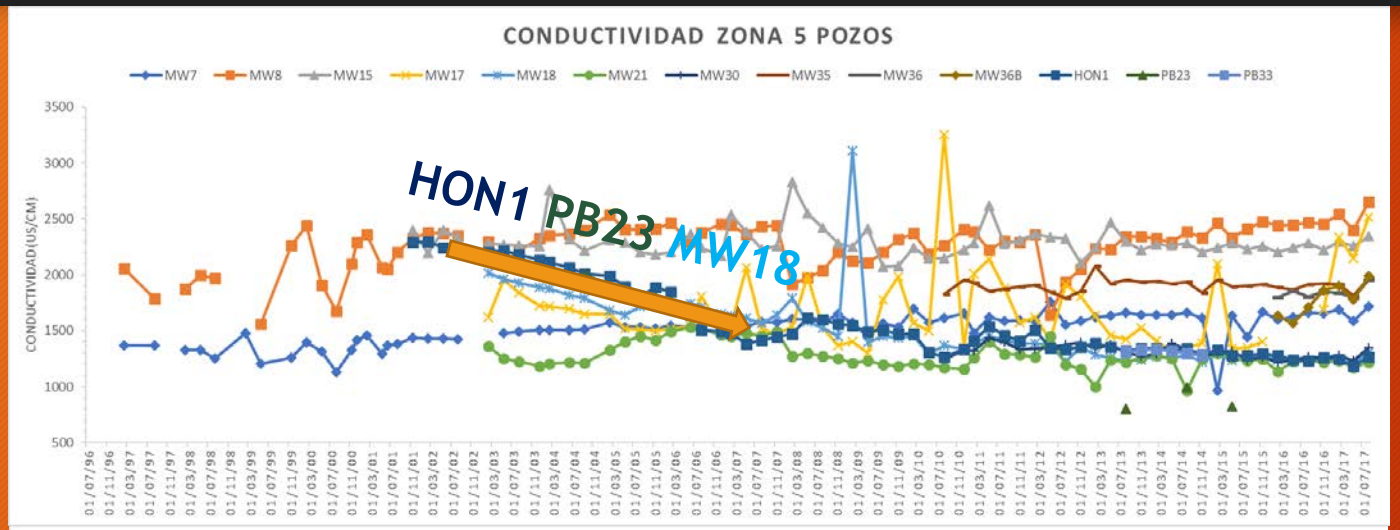
135 mg/L

No registrado por MAA

Pozos de monitoreo y retrobombeo

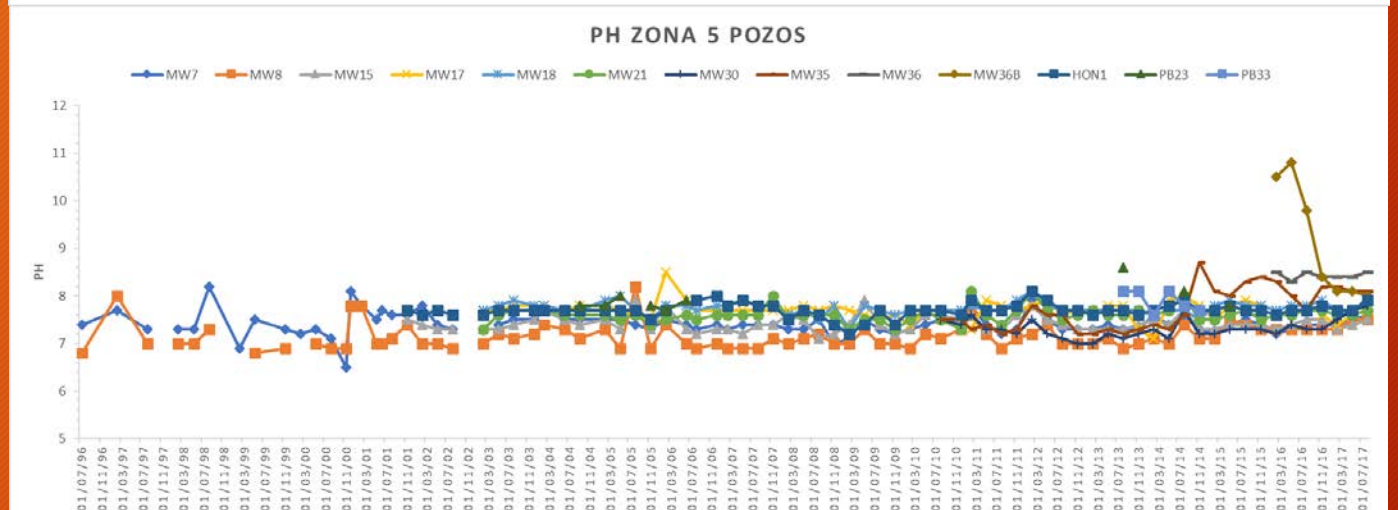
MW8 > MW35

Zona 5 - Puntos de monitoreo aguas abajo de la zona afectada por la pluma de proceso y traza del río Vis-Vis-Amanao y sus afluentes



2500 µS/cm

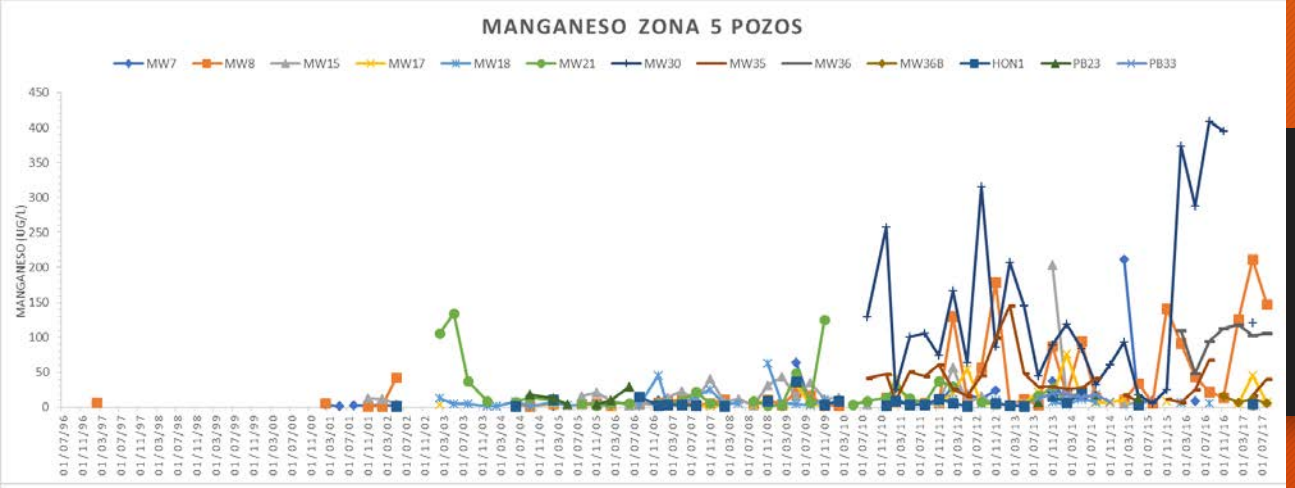
1150 µS/cm



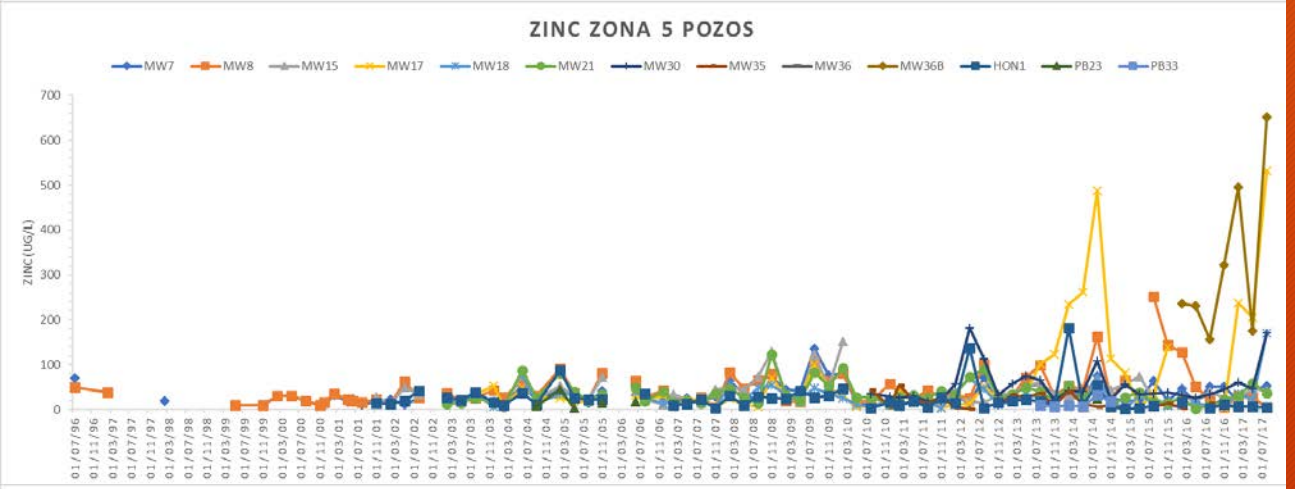
7,56 ± 0,39

MW8 → 7,16
MW35 → 7,72

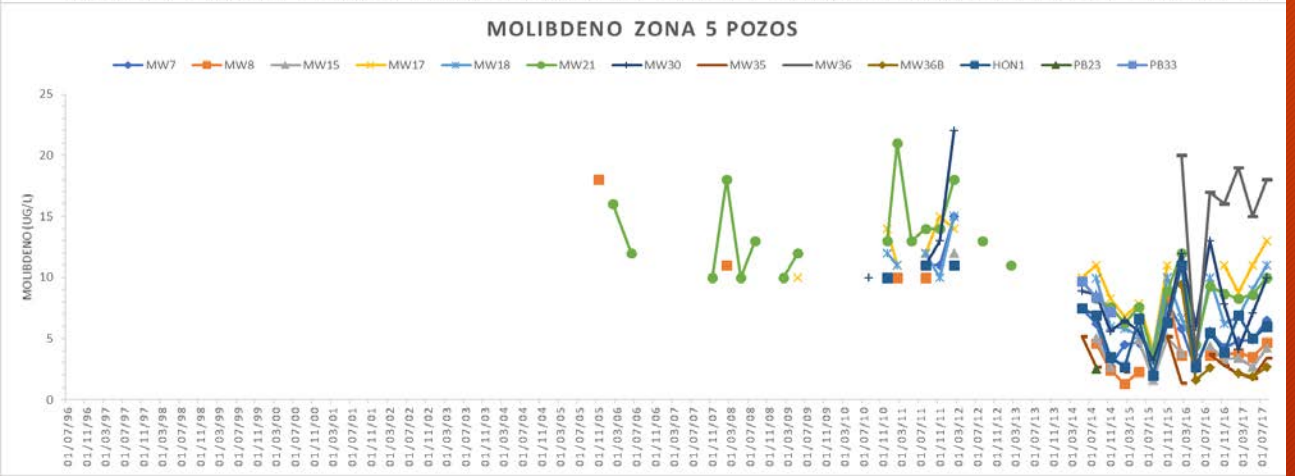
Significativamente inferiores a zona 3 (2750 µS/cm en la actualidad)



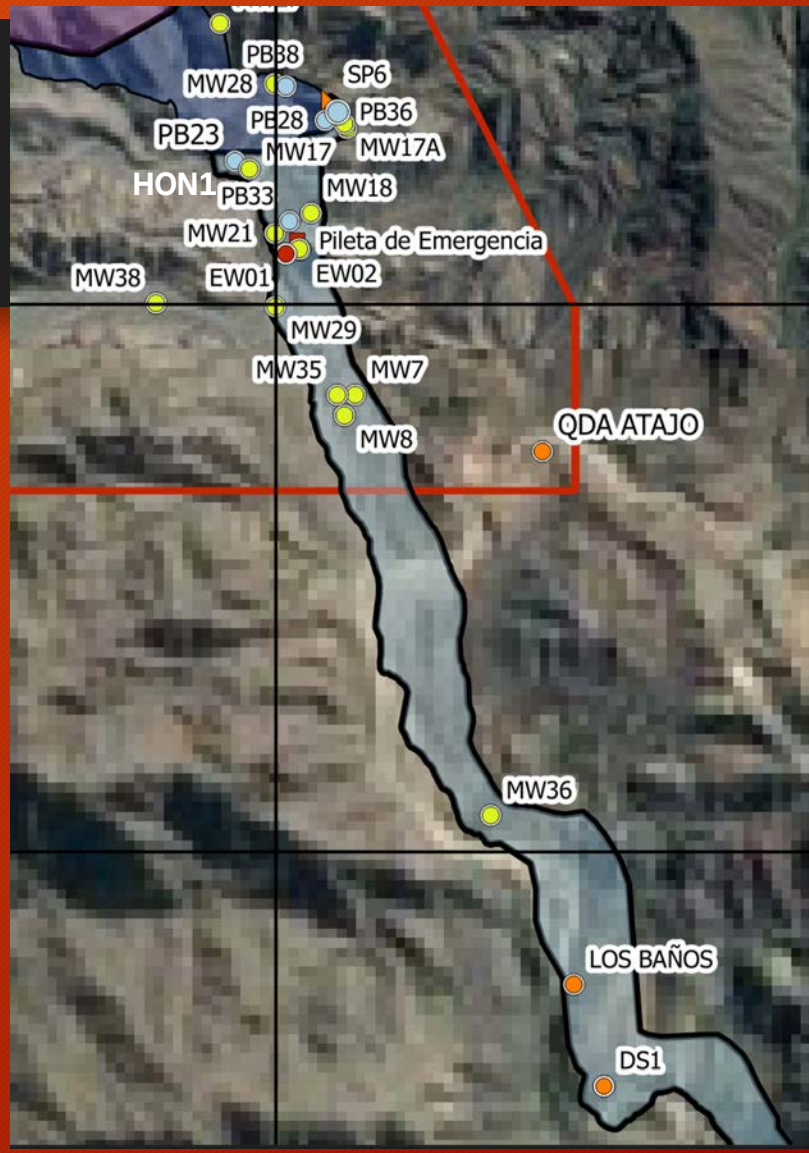
15 µg/L

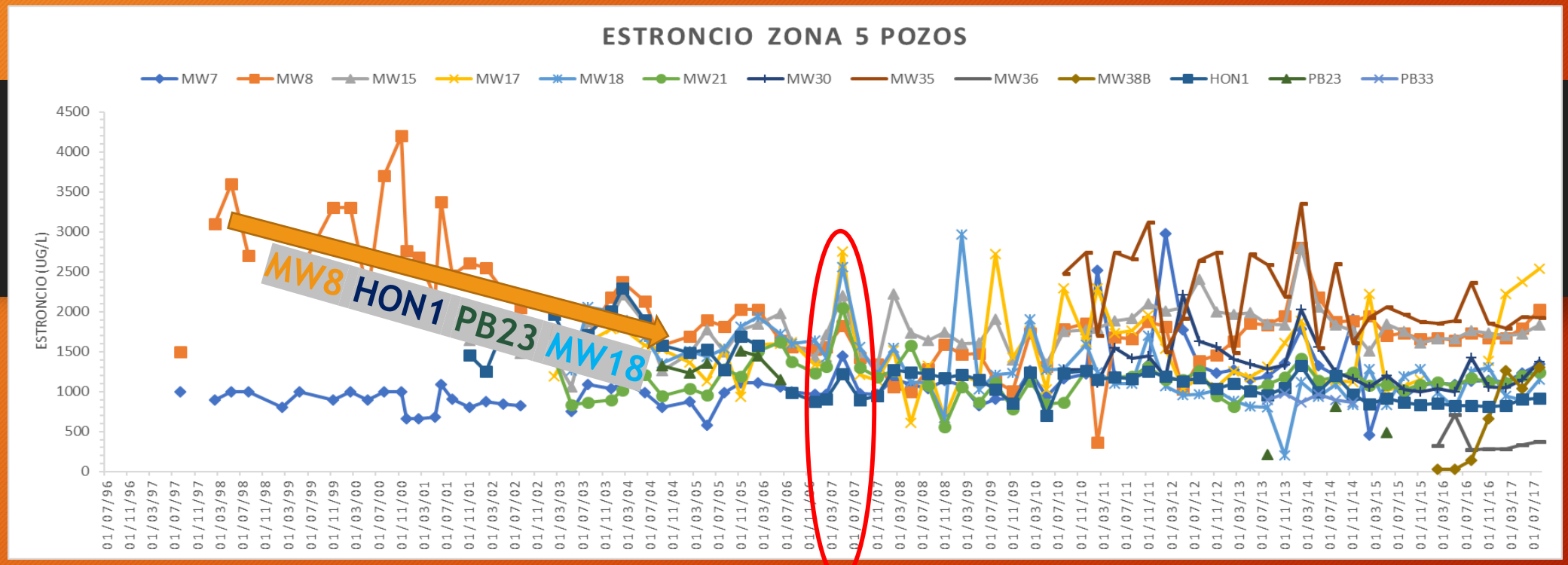


42 µg/L



~8 µg/L



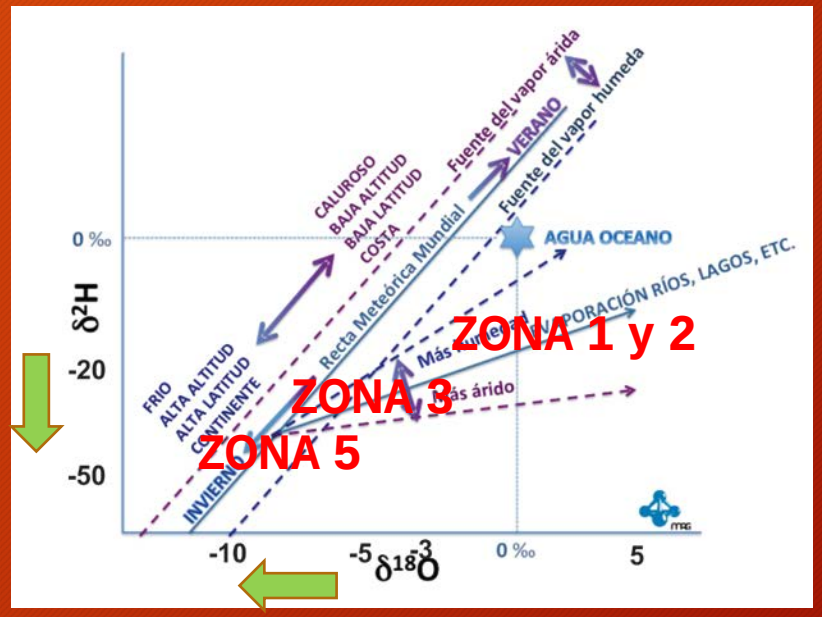


2000 µg/L

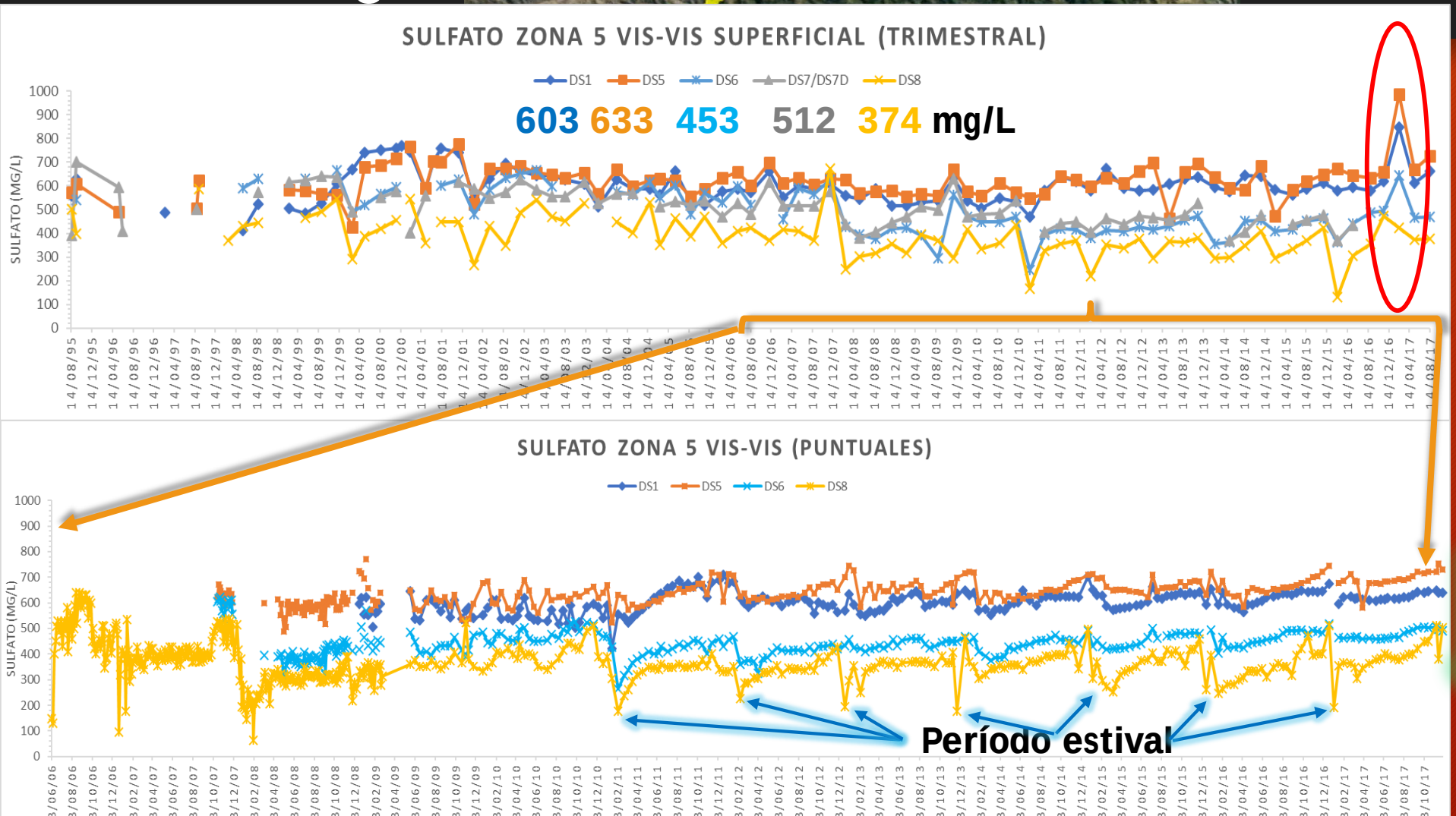
1000 µg/L

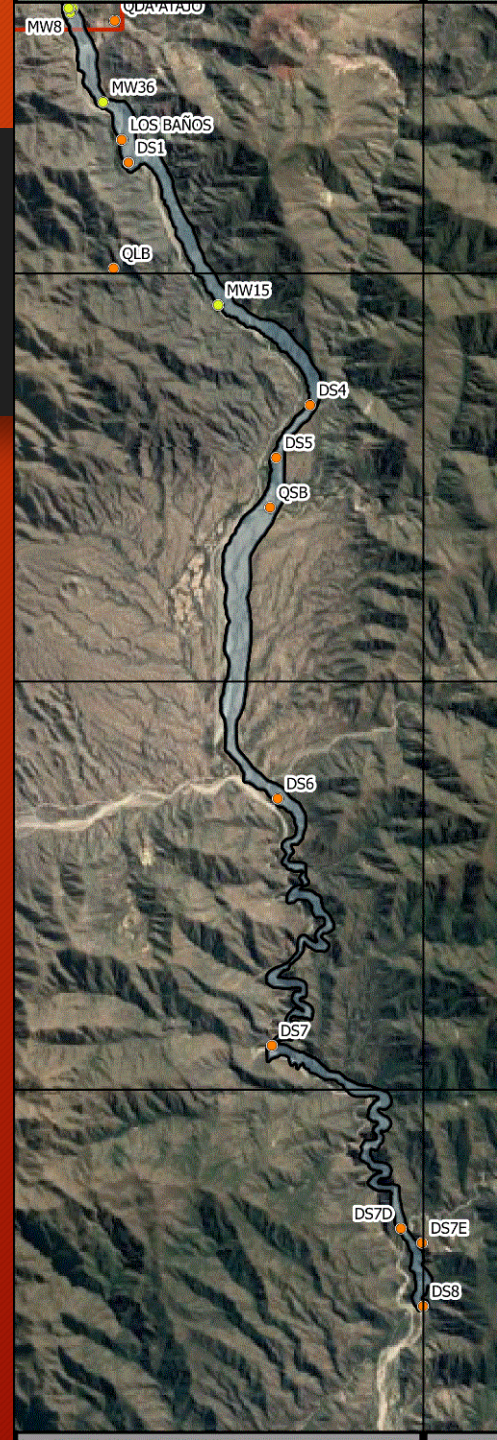
Agua $\delta^{18}O$ -6,00± 0,51
$\delta^{2}H$ -34,69 ± 3,07

Sulfato $\delta^{34}S$ 8,21 ± 2,26
$\delta^{18}O$ 6,12 ± 1,16

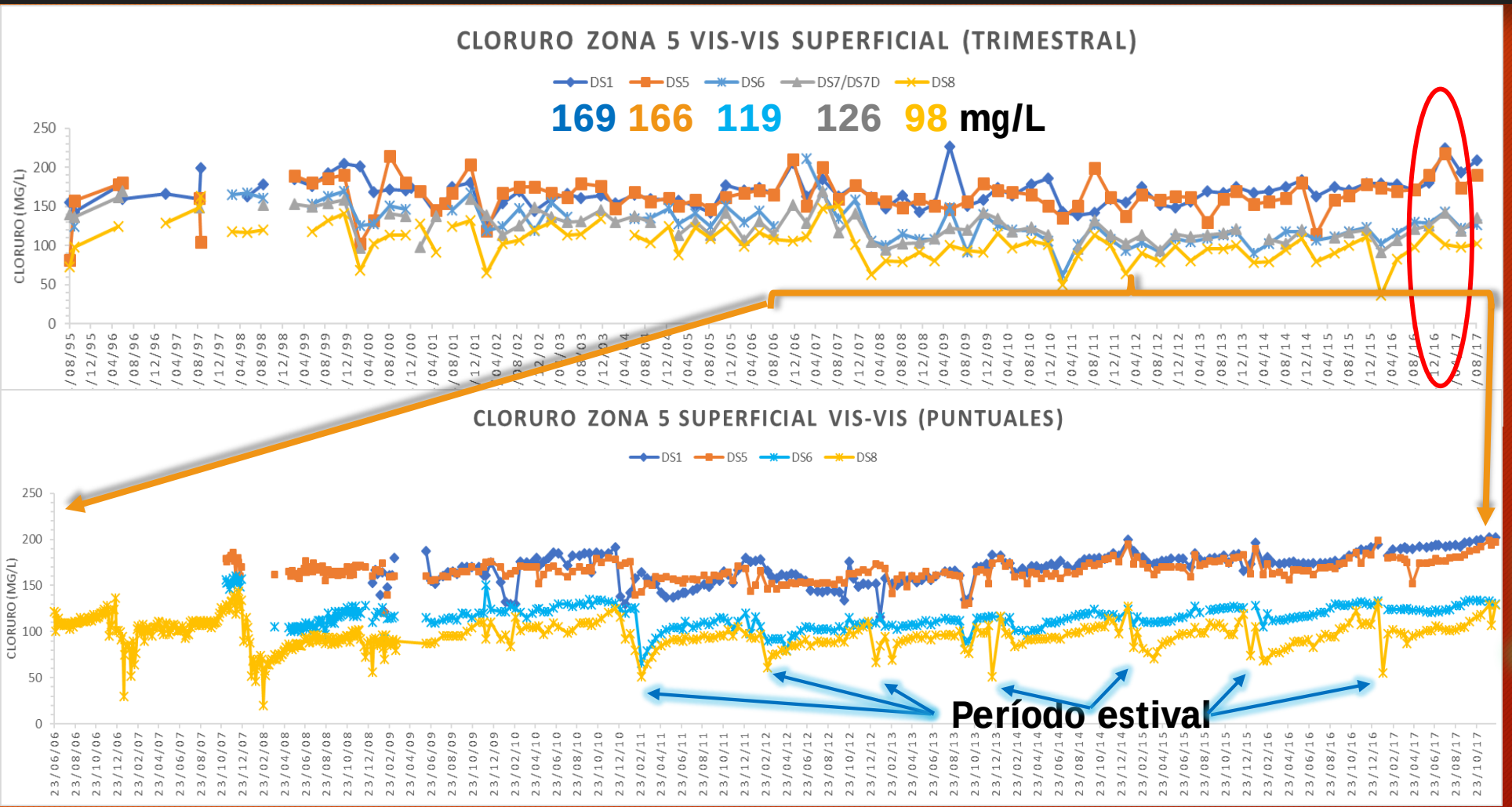


Zona 5 -Pun os a lo largo d s

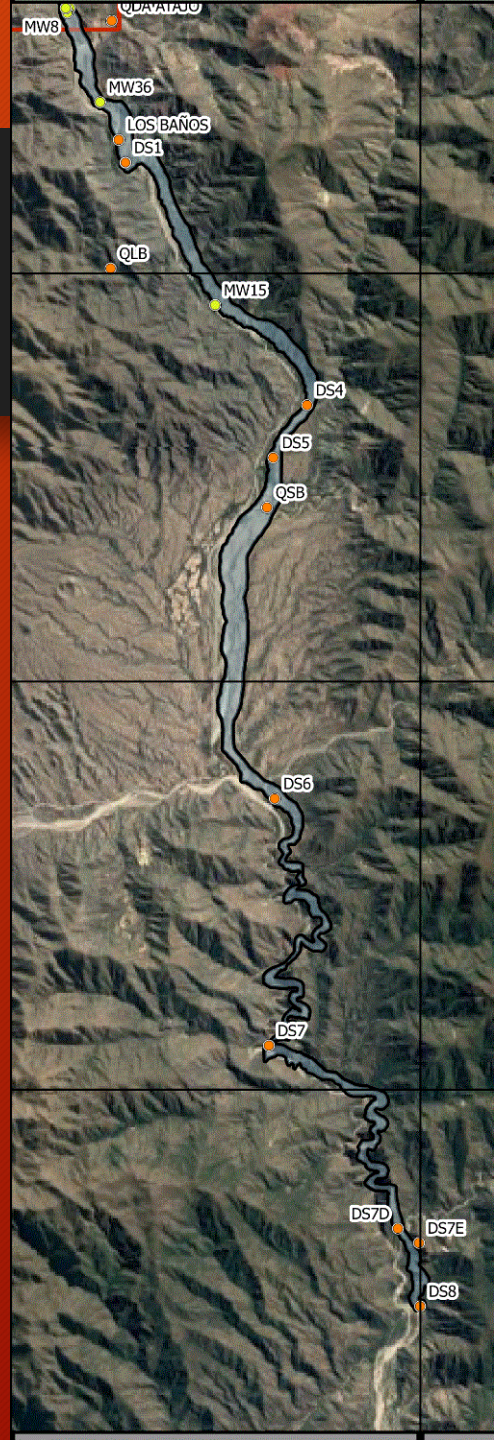




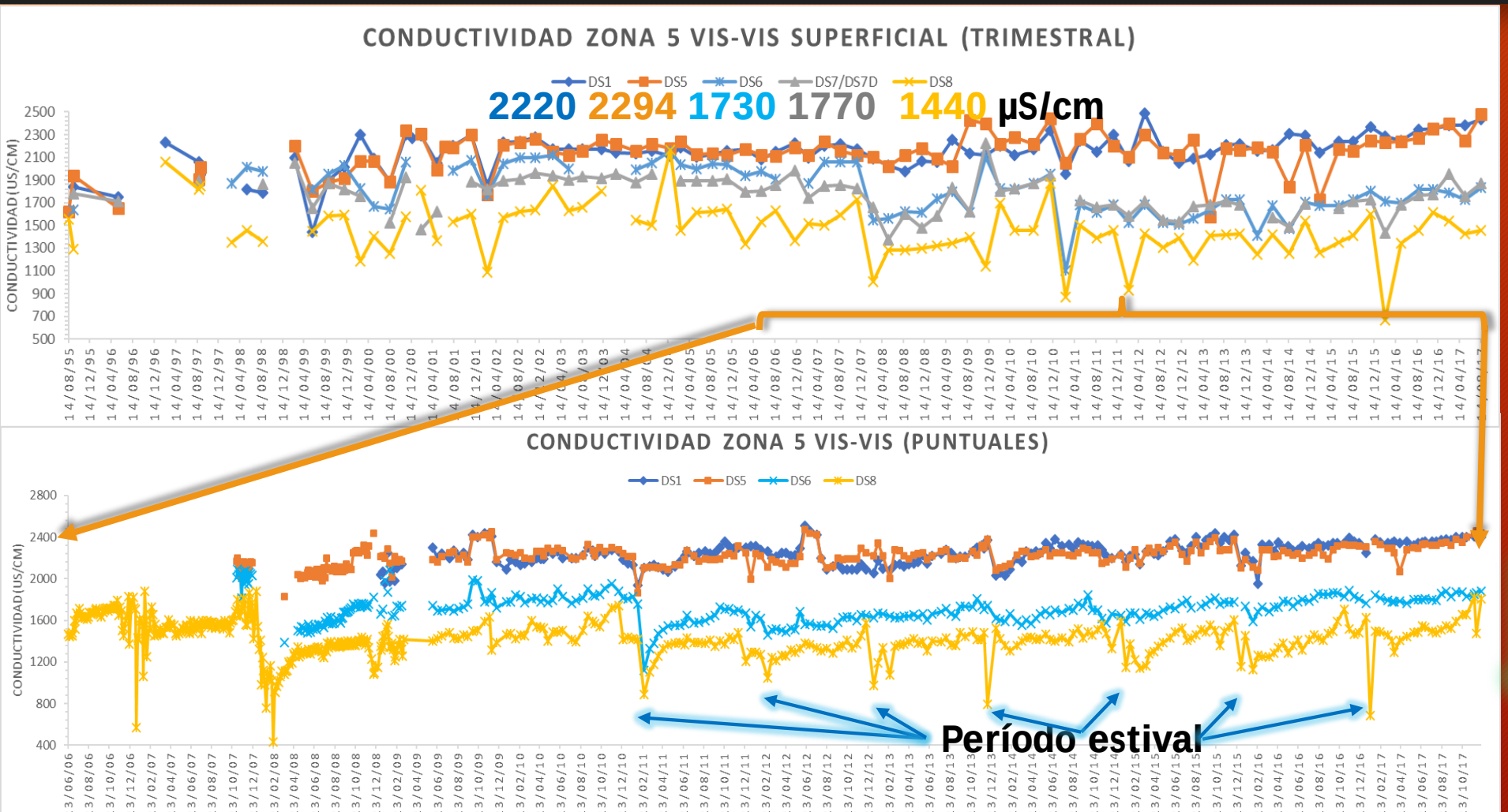
Zona 5 -Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís



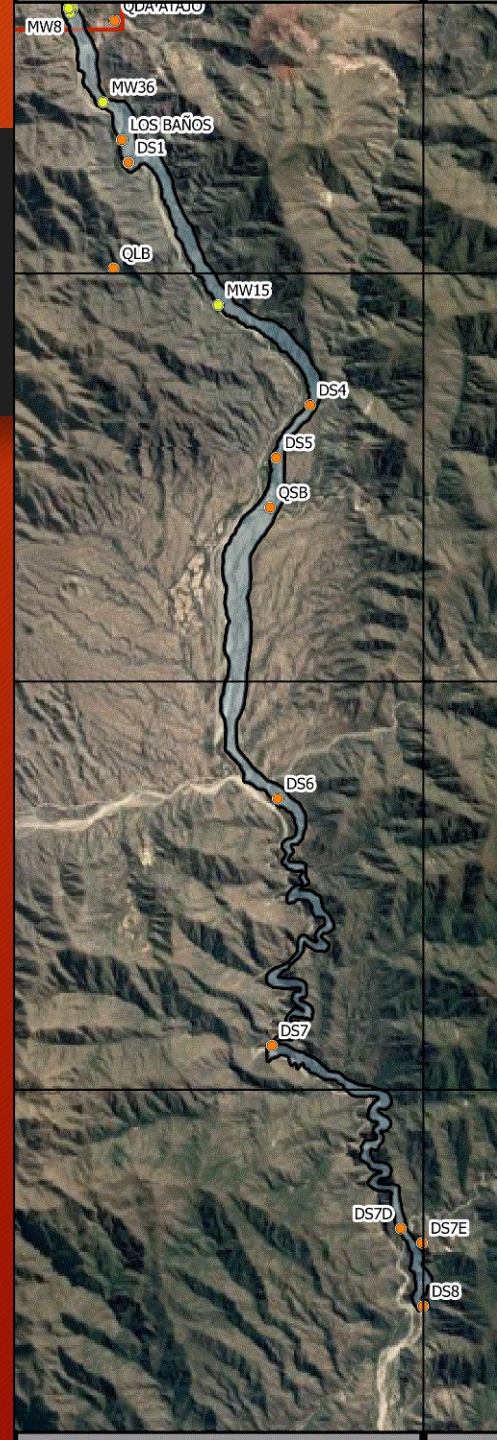
Dilución



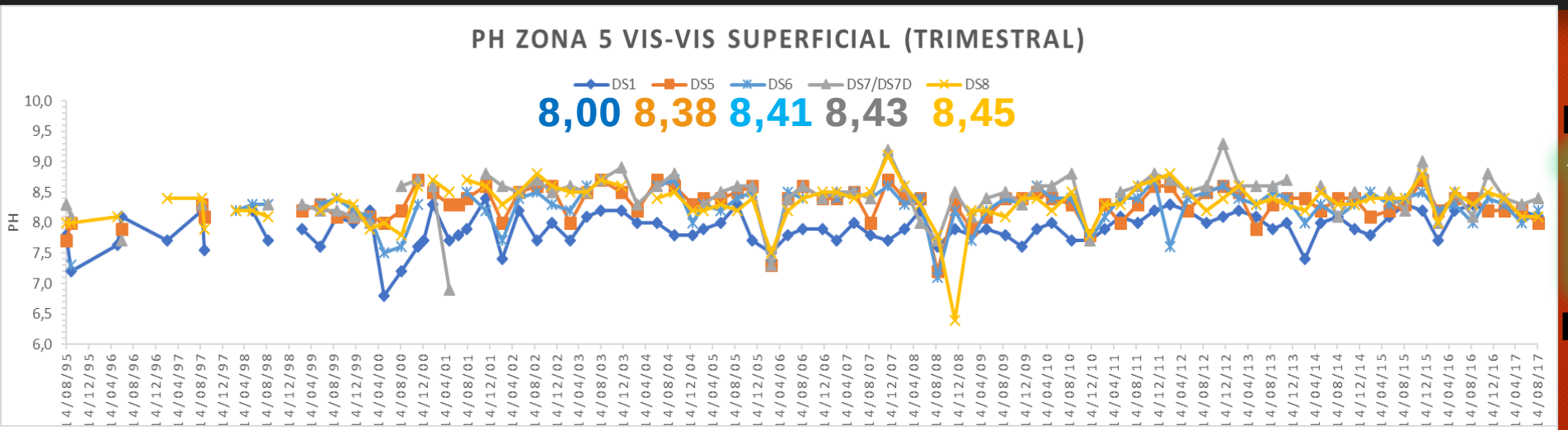
Zona 5 -Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís

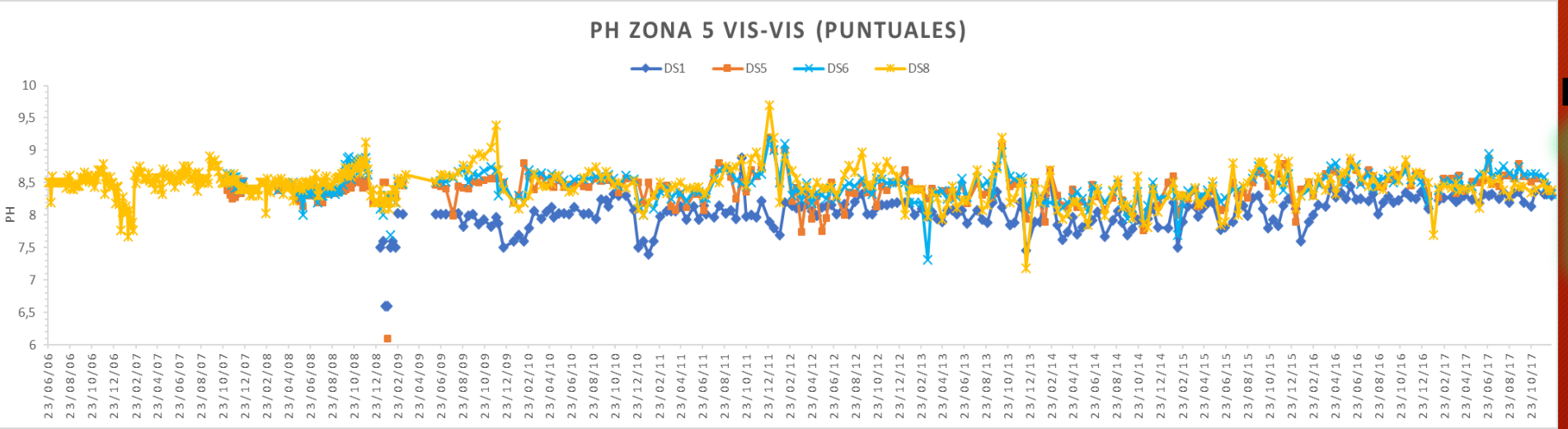


Dilución



Zona 5 -Puntos superficiales tomados a lo largo de la traza del río Vís-Vís





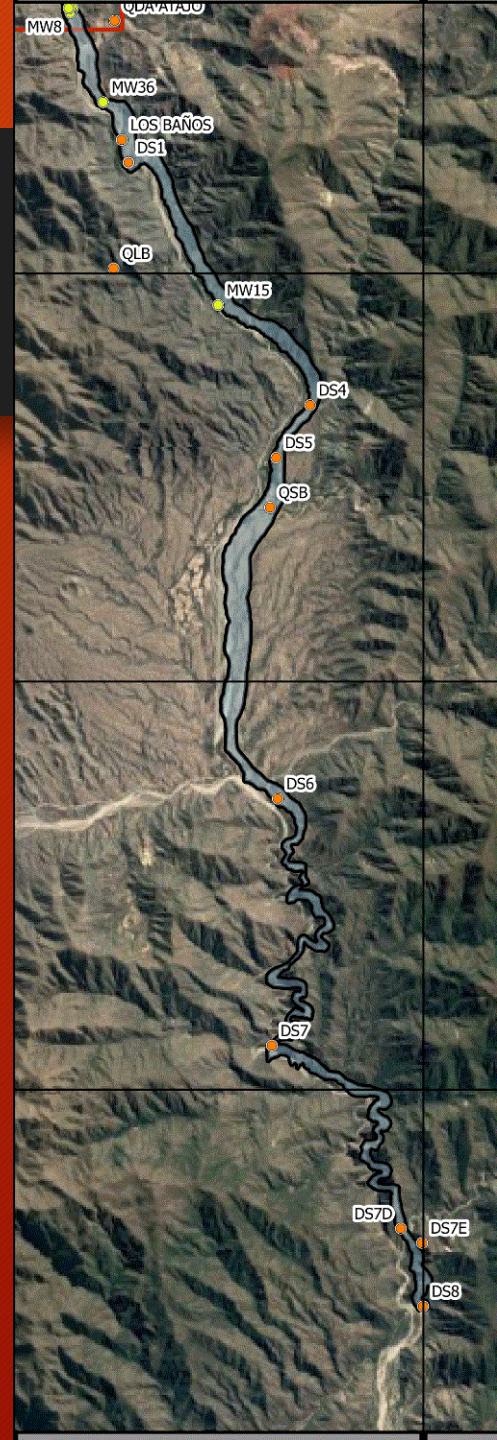
DS8

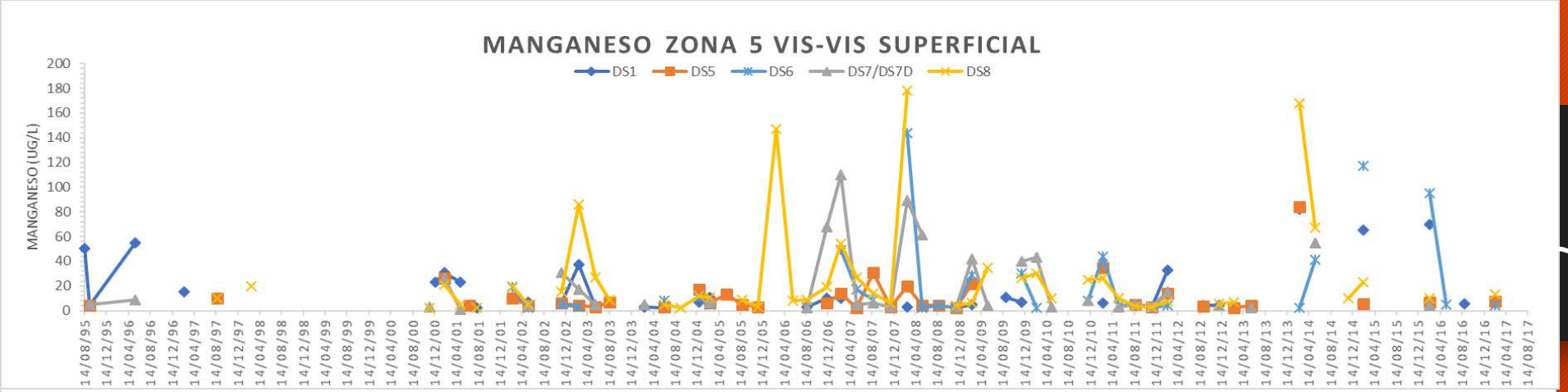
DS1

Mas Básico

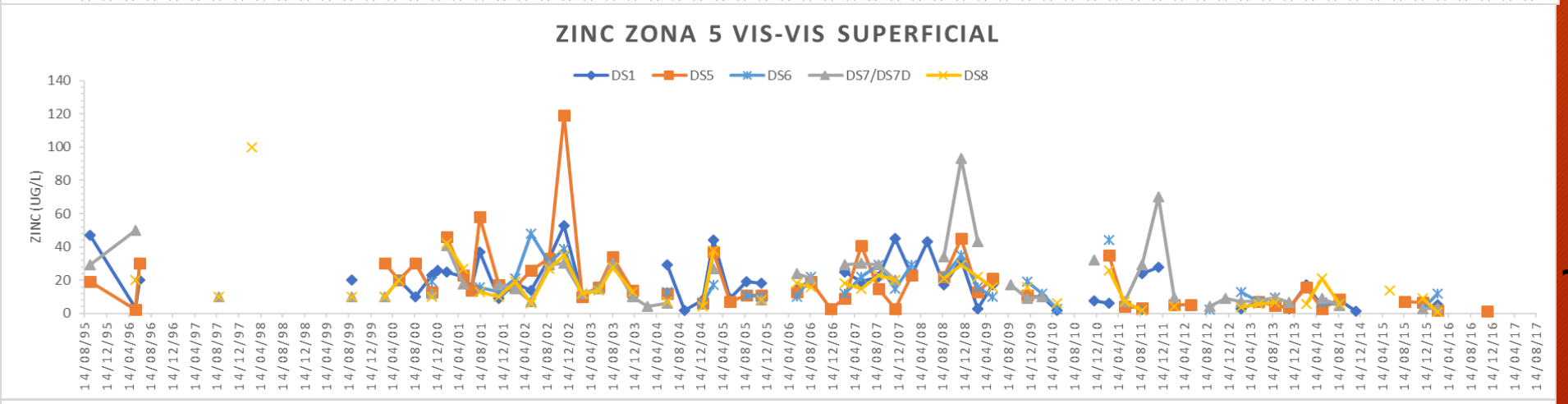
DS8

DS1

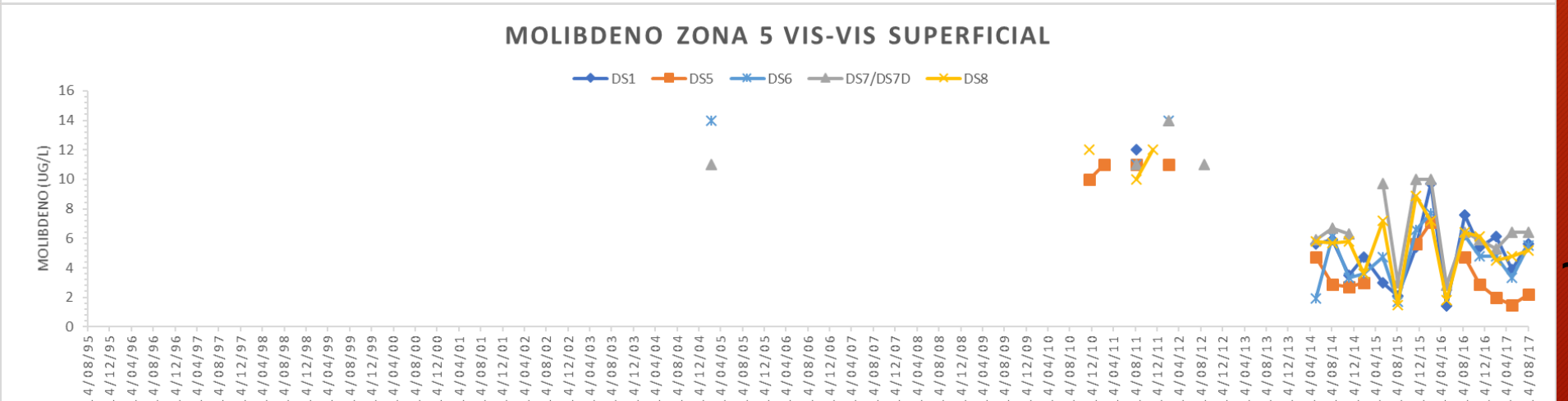




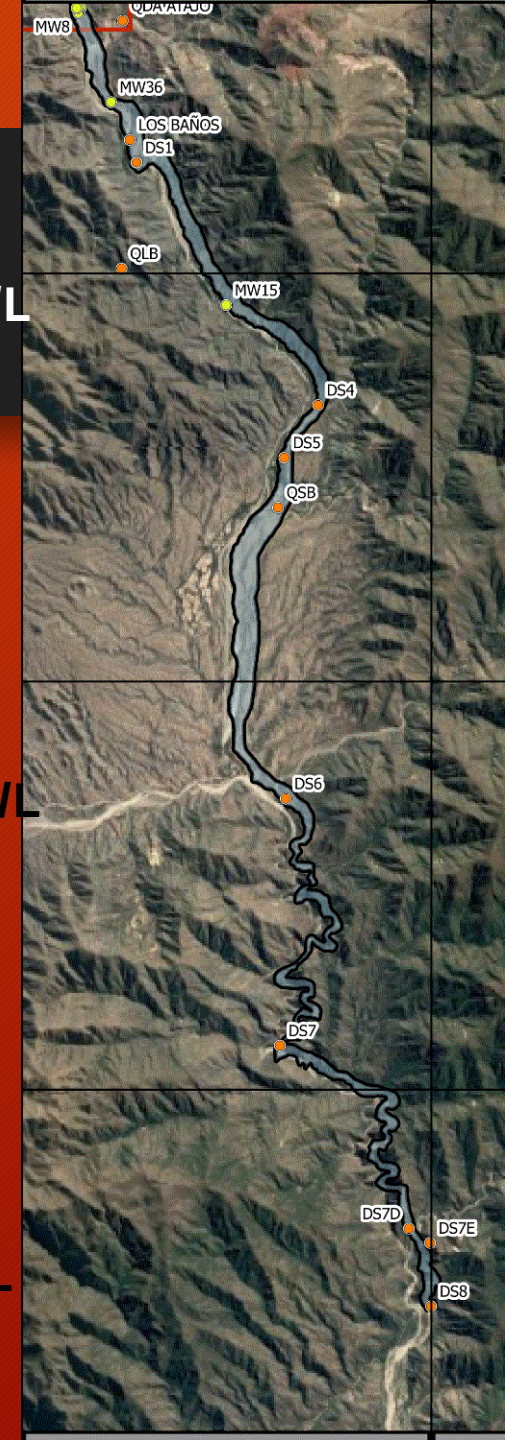
~26 µg/L

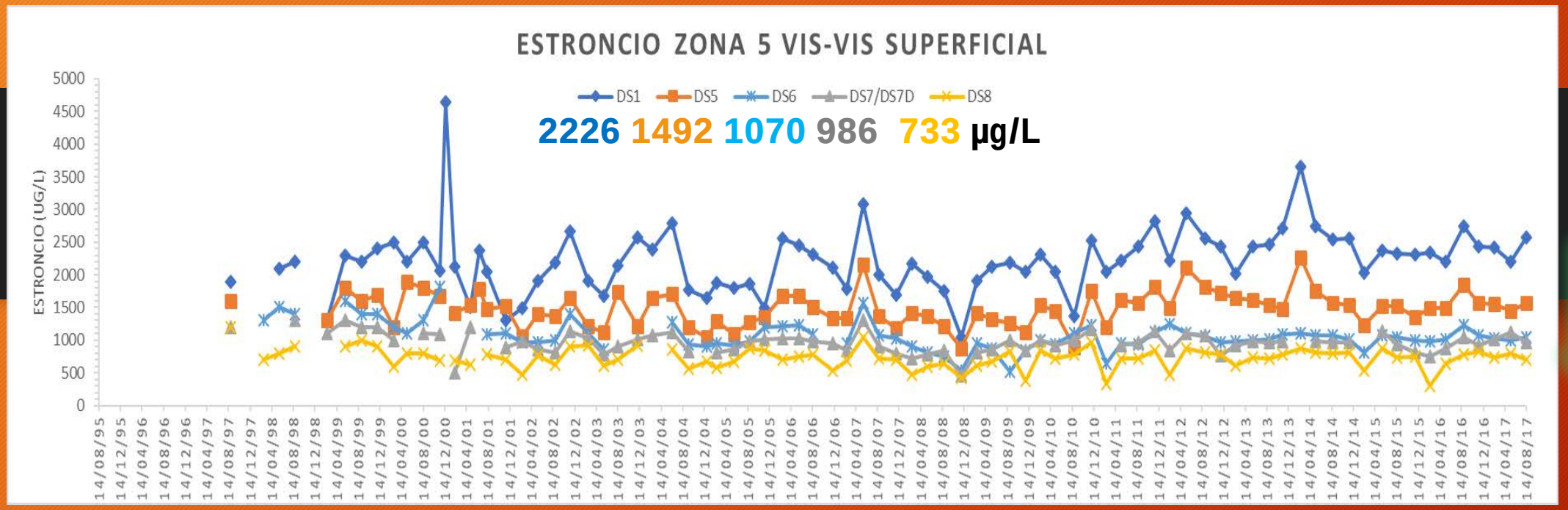


~20 µg/L



~8 µg/L





Dilución

DS1) -6,24 $\delta^{18}O$ y -36,55 $\delta^{2}H$ y en sulfato 7,39 $\delta^{34}S$ y 5,47 $\delta^{18}O$

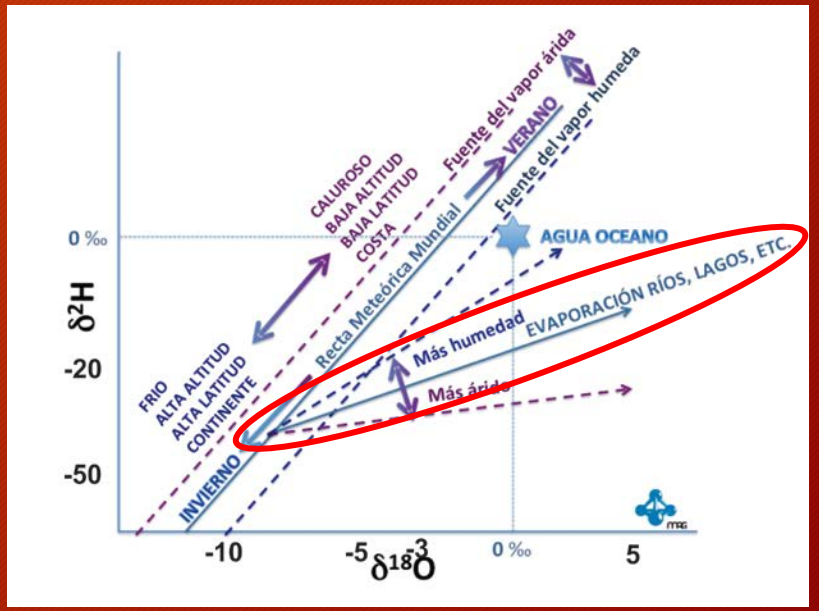
DS5) -5,69 $\delta^{18}O$ y -32,35 $\delta^{2}H$ y en sulfato 6,79 $\delta^{34}S$ y 5,14 $\delta^{18}O$

DS6) -5,41 $\delta^{18}O$ y -30,30 $\delta^{2}H$ y en sulfato 6,90 $\delta^{34}S$ y 6,82 $\delta^{18}O$

DS8) -5,15 $\delta^{18}O$ y -28,89 $\delta^{2}H$ y en sulfato 6,53 $\delta^{34}S$ y 5,98 $\delta^{18}O$

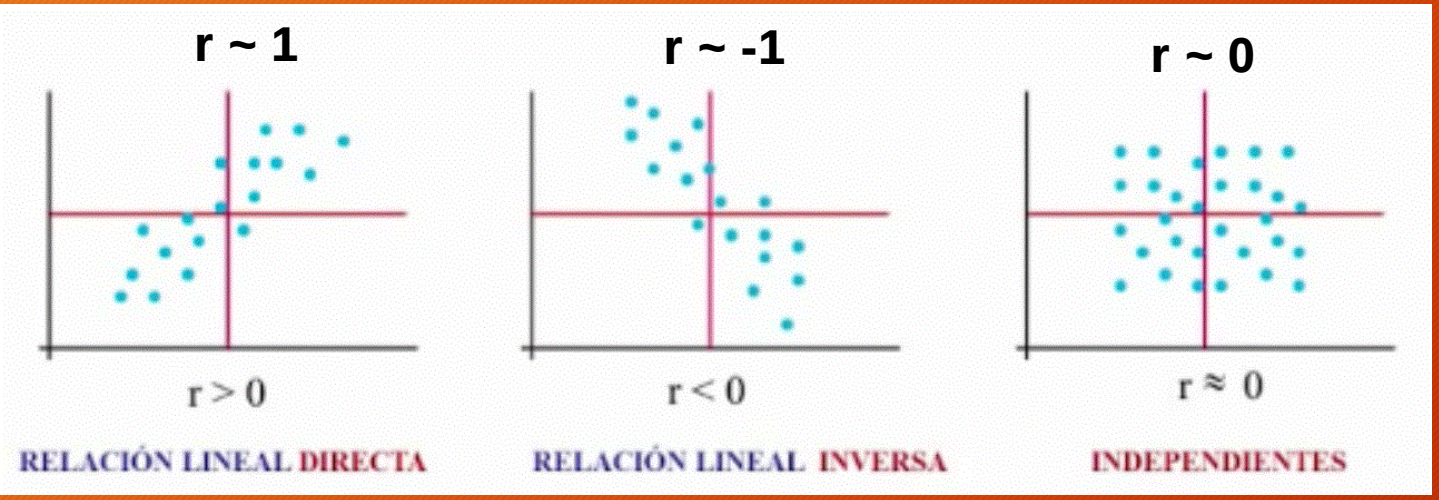
Enriquecimiento en $\delta^{18}O$ y en $\delta^{2}H$ por evaporación

DS1 VALORES SIMILARES A VERTIENTE LOS BAÑOS Y MW8

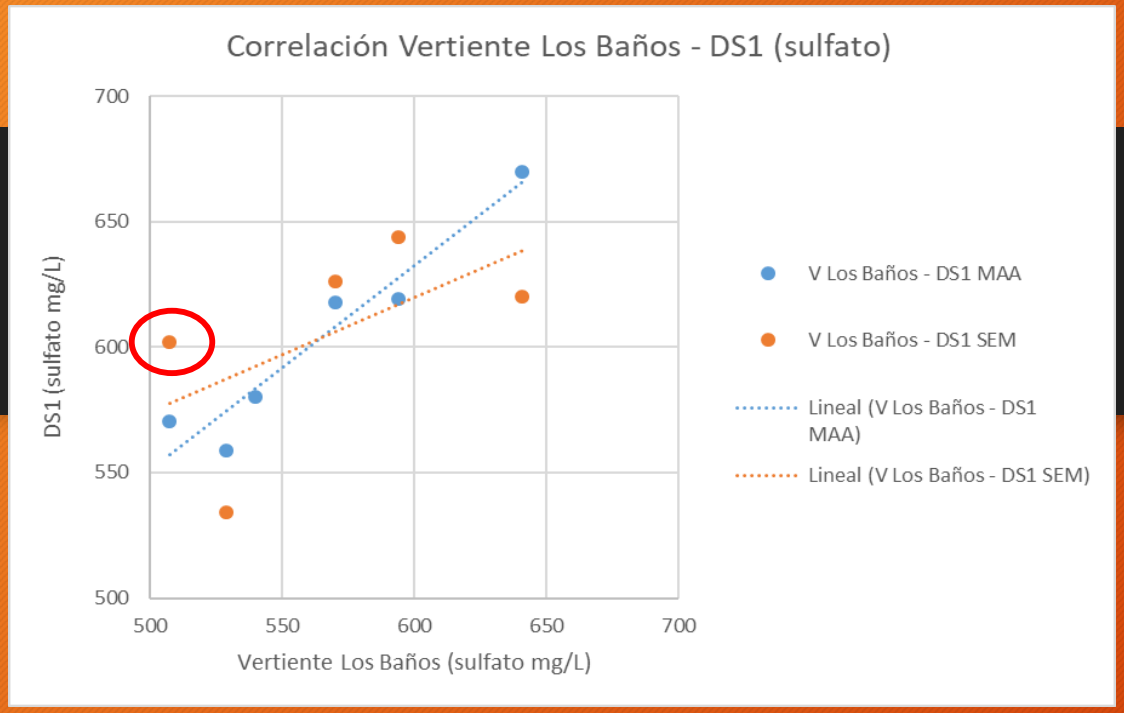


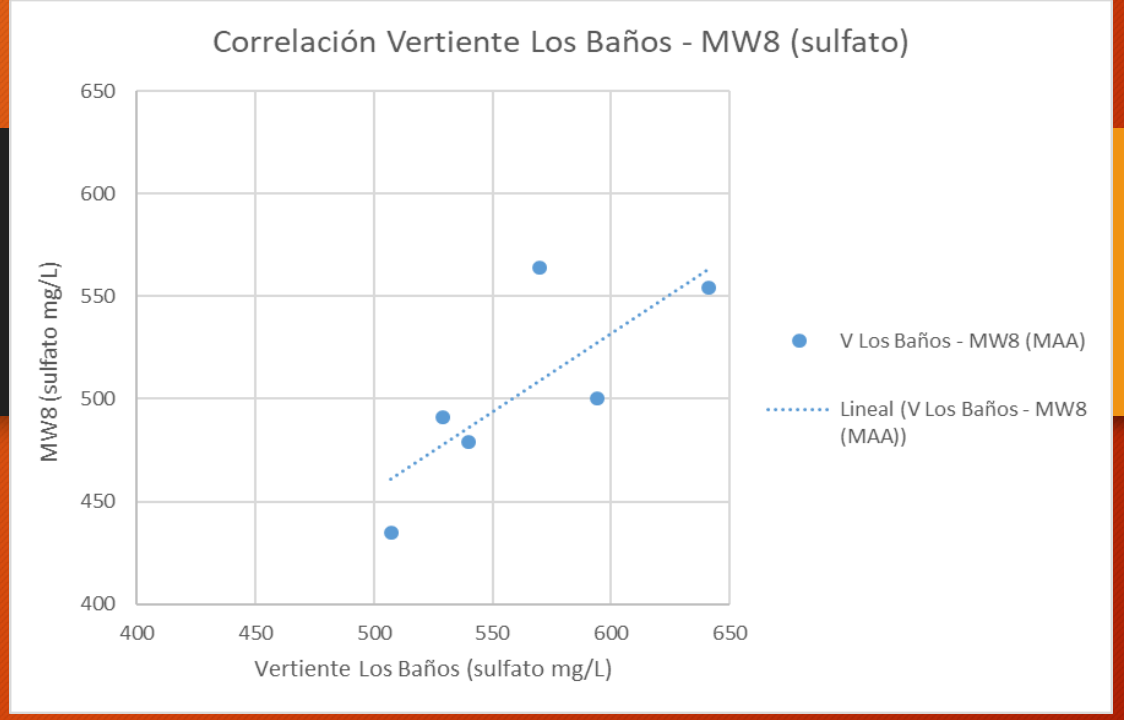
Coeficiente de correlación de Pearson

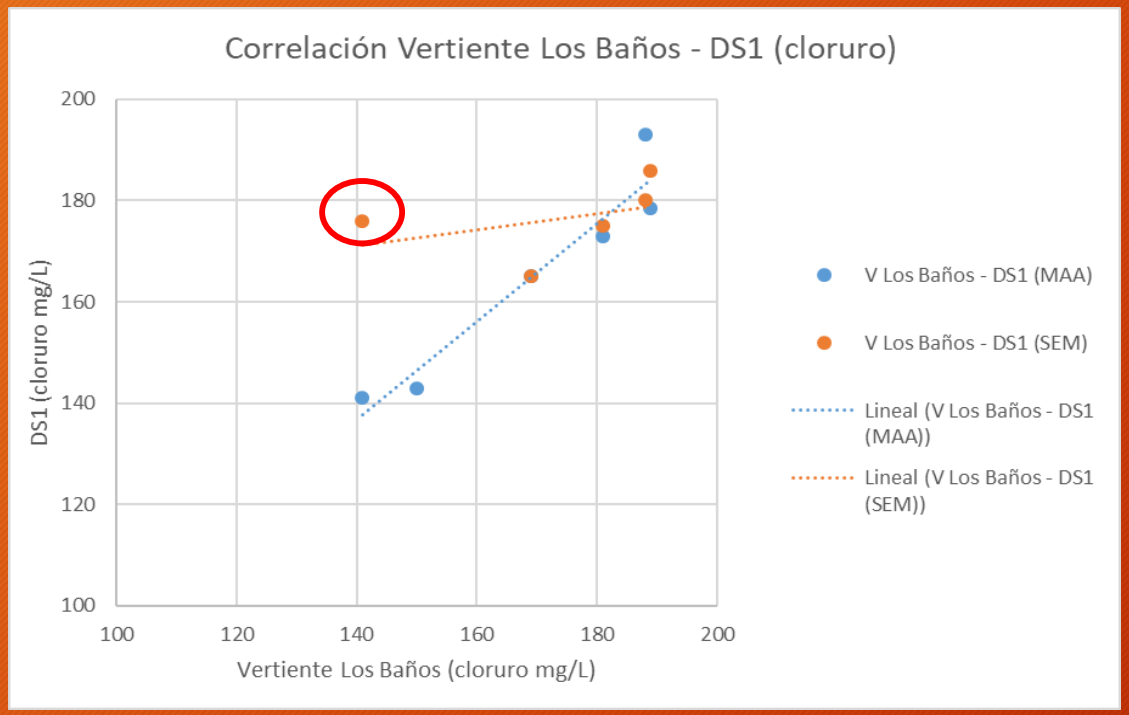
$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

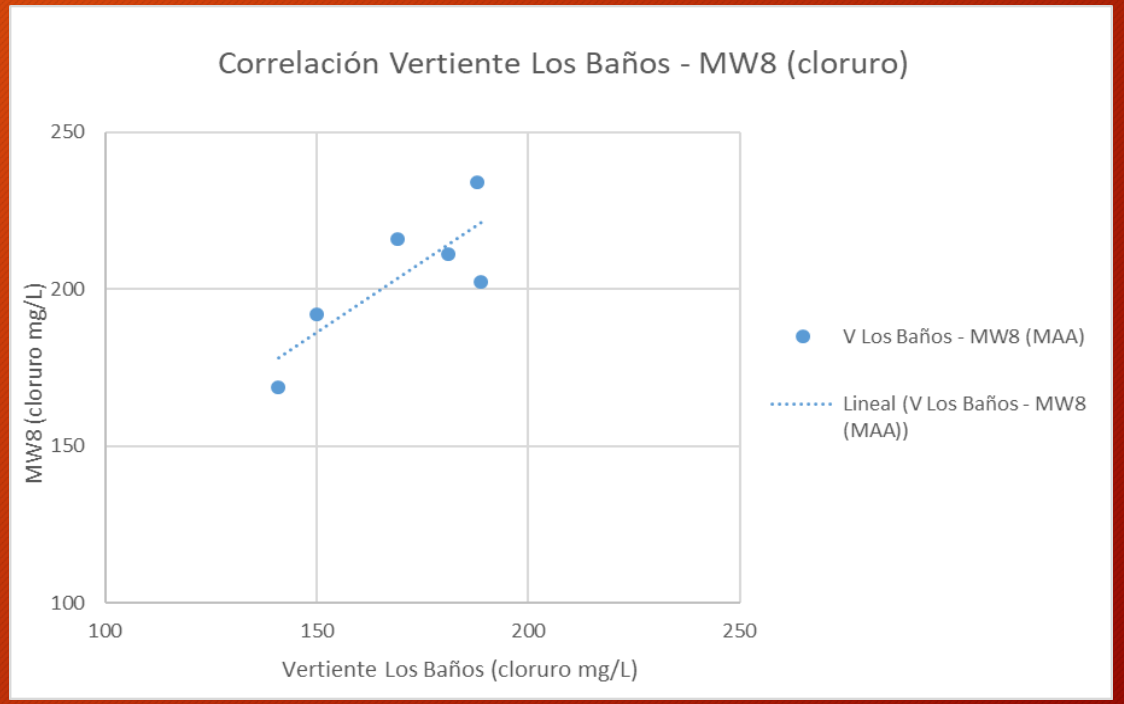


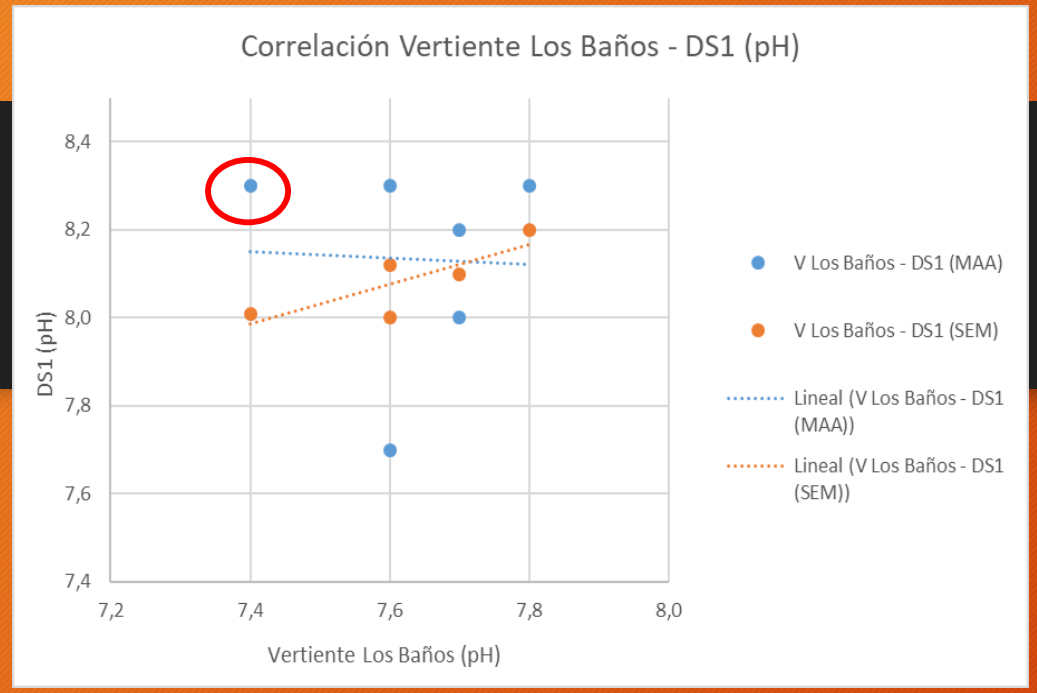
Estaciones	Parámetro	*r*
V Los Baños - DS1 MAA	Sulfato	0,96
V Los Baños - DS1 SEM	Sulfato	0,57
V Los Baños - MW8 MAA	Sulfato	0,77
V Los Baños - DS1 MAA	Cloruro	0,96
V Los Baños - DS1 SEM	Cloruro	0,41
V Los Baños - MW8 MAA	Cloruro	0,82
V Los Baños - DS1 MAA	pH	-0,04
V Los Baños - DS1 SEM	pH	0,80
V Los Baños - MW8 MAA	pH	0,14
V Los Baños - DS1 MAA	Conductividad	0,98
V Los Baños - DS1 SEM	Conductividad	0,95
V Los Baños - MW8 MAA	Conductividad	0,93
V Los Baños - DS1 MAA	Estroncio	0,93
V Los Baños - MW8 MAA	Estroncio	0,68

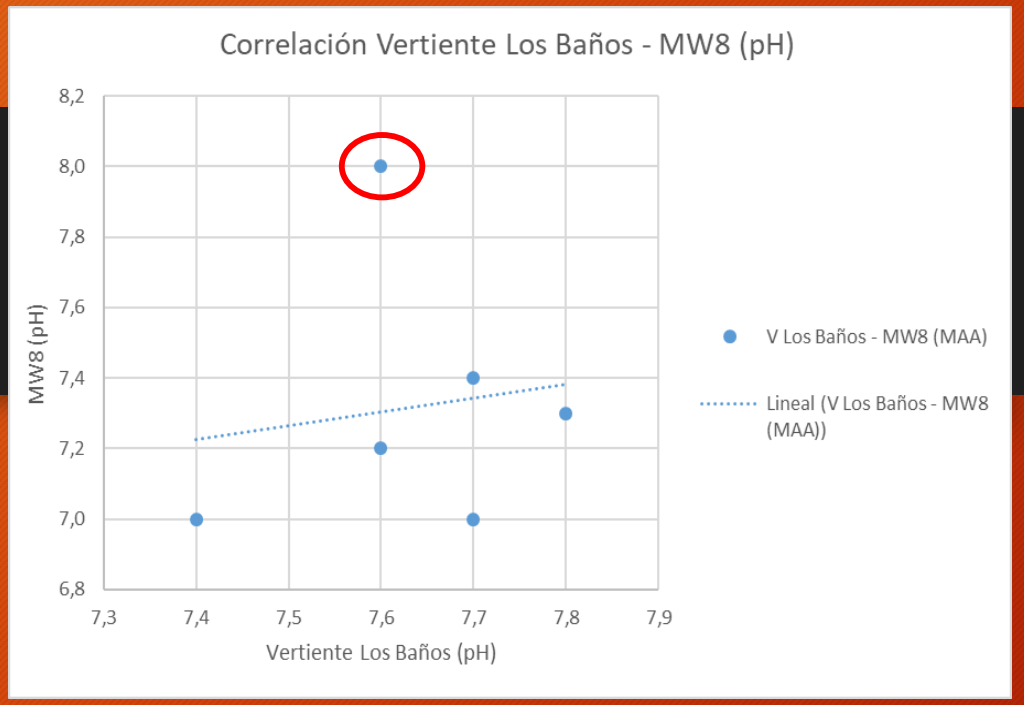

Correlación Vertiente Los Baños - DS1 (sulfato)
DS1 (sulfato mg/L)
Vertiente Los Baños (sulfato mg/L)
V Los Baños - DS1 MAA
V Los Baños - DS1 SEM
Lineal (V Los Baños - DS1 MAA)
Lineal (V Los Baños - DS1 SEM)

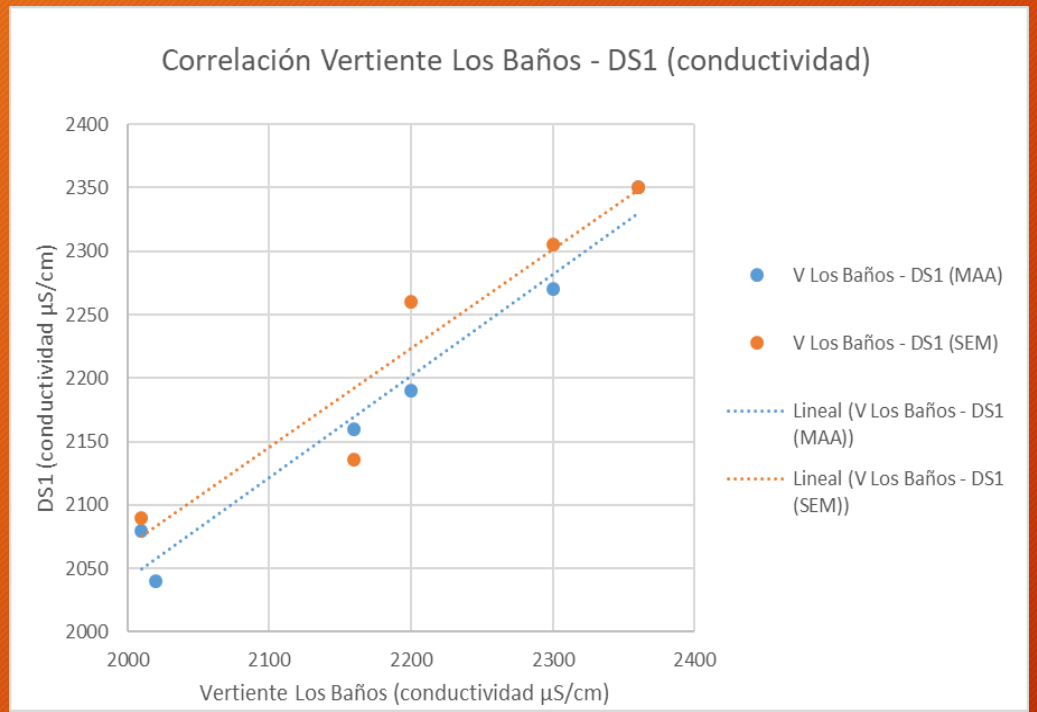

Correlación Vertiente Los Baños - MW8 (sulfato)
MW8 (sulfato mg/L)
Vertiente Los Baños (sulfato mg/L)
V Los Baños - MW8 (MAA)
Lineal (V Los Baños - MW8 (MAA))

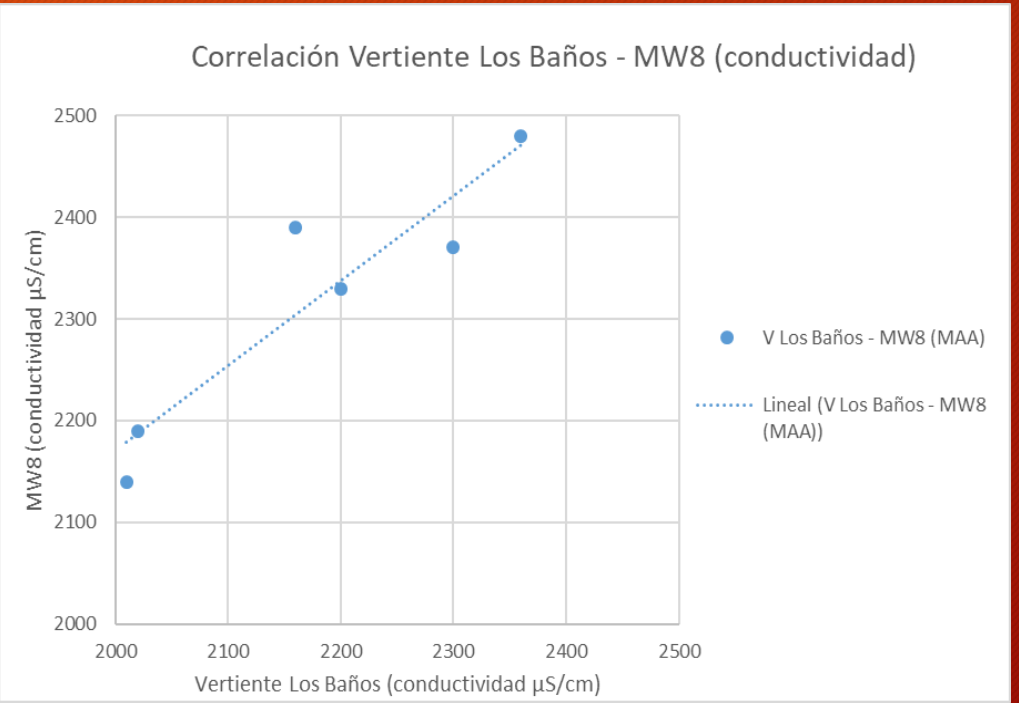

Correlación Vertiente Los Baños - DS1 (cloruro)
DS1 (cloruro mg/L)
Vertiente Los Baños (cloruro mg/L)
V Los Baños - DS1 (MAA)
V Los Baños - DS1 (SEM)
Lineal (V Los Baños - DS1 (MAA))
Lineal (V Los Baños - DS1 (SEM))


Correlación Vertiente Los Baños - MW8 (cloruro)
MW8 (cloruro mg/L)
Vertiente Los Baños (cloruro mg/L)
V Los Baños - MW8 (MAA)
Lineal (V Los Baños - MW8 (MAA))

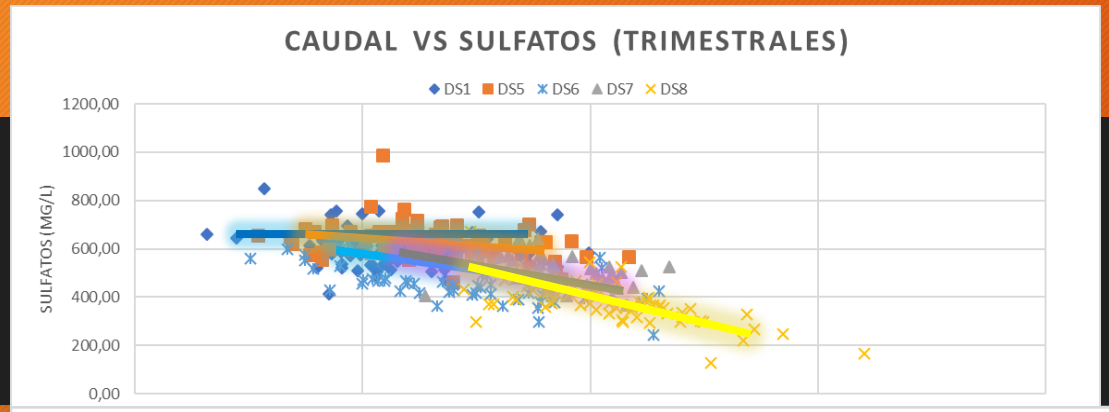

Correlación Vertiente Los Baños - DS1 (pH)
8,4
8,2
8,0
7,8
7,6
7,4
DS1 (pH)
7,2
7,4
7,6
7,8
8,0
Vertiente Los Baños (pH)
V Los Baños - DS1 (MAA)
V Los Baños - DS1 (SEM)
Lineal (V Los Baños - DS1 (MAA))
Lineal (V Los Baños - DS1 (SEM))

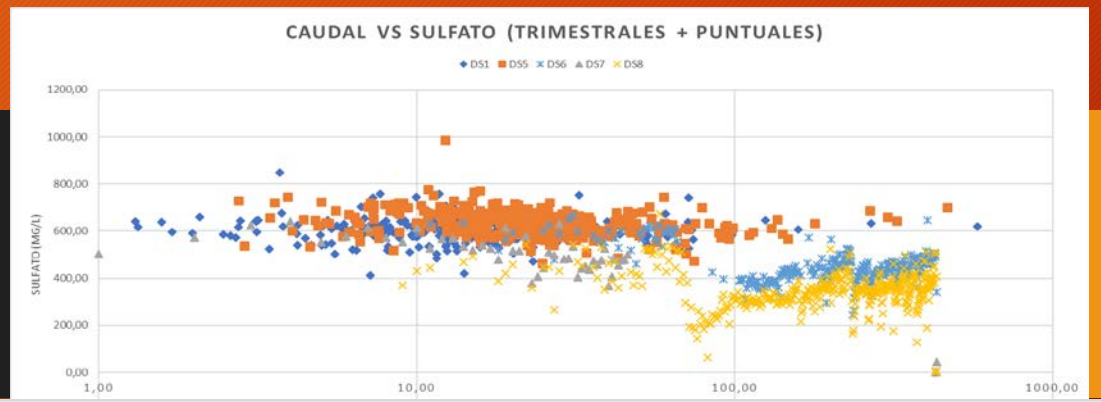

Correlación Vertiente Los Baños - MW8 (pH)
8,2
8,0
7,8
7,6
7,4
7,2
7,0
6,8
MW8 (pH)
7,3
7,4
7,5
7,6
7,7
7,8
7,9
Vertiente Los Baños (pH)
V Los Baños - MW8 (MAA)
Lineal (V Los Baños - MW8 (MAA))

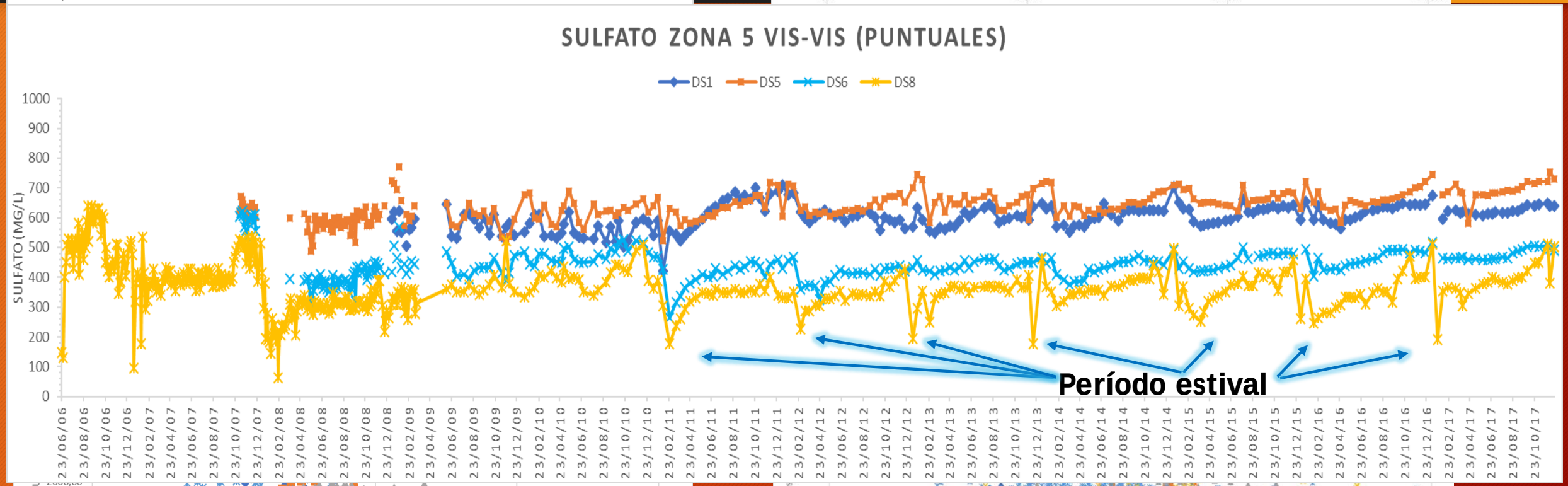

Correlación Vertiente Los Baños - DS1 (conductividad)
2400
2350
2300
2250
2200
2150
2100
2050
2000
DS1 (conductividad µS/cm)
2000
2100
2200
2300
2400
Vertiente Los Baños (conductividad µS/cm)
V Los Baños - DS1 (MAA)
V Los Baños - DS1 (SEM)
Lineal (V Los Baños - DS1 (MAA))
Lineal (V Los Baños - DS1 (SEM))

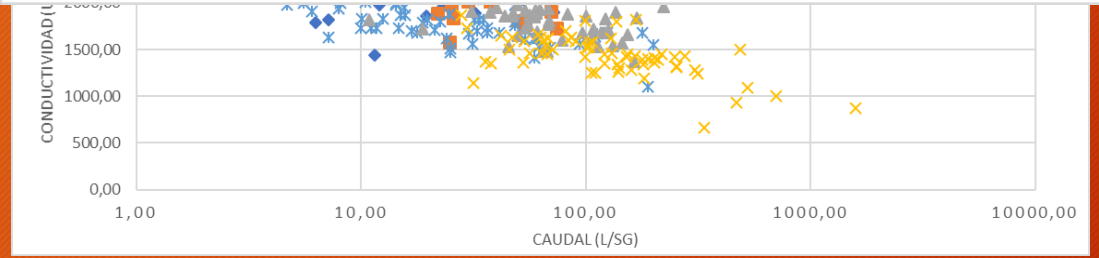

Correlación Vertiente Los Baños - MW8 (conductividad)
2500
2400
2300
2200
2100
2000
MW8 (conductividad µS/cm)
2000
2100
2200
2300
2400
2500
Vertiente Los Baños (conductividad µS/cm)
V Los Baños - MW8 (MAA)
Lineal (V Los Baños - MW8 (MAA))

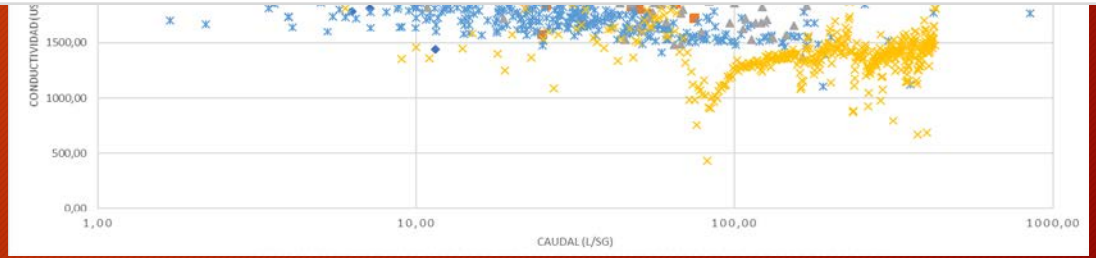
PB23
HON1
PB33
MW18
MW21
MW30
MW38
MW35
MW7
MW8

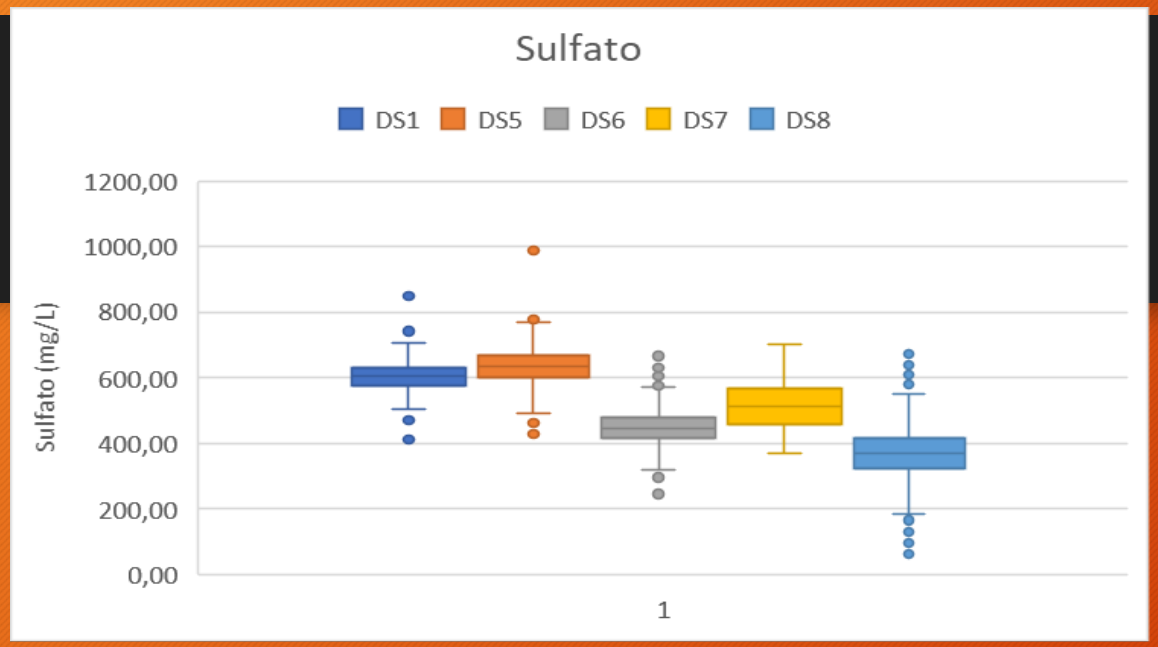

CAUDAL VS SULFATOS (TRIMESTRALES)
DS1 DS5 DS6 DS7 DS8
SULFATOS (MG/L)
1200,00
1000,00
800,00
600,00
400,00
200,00
0,00

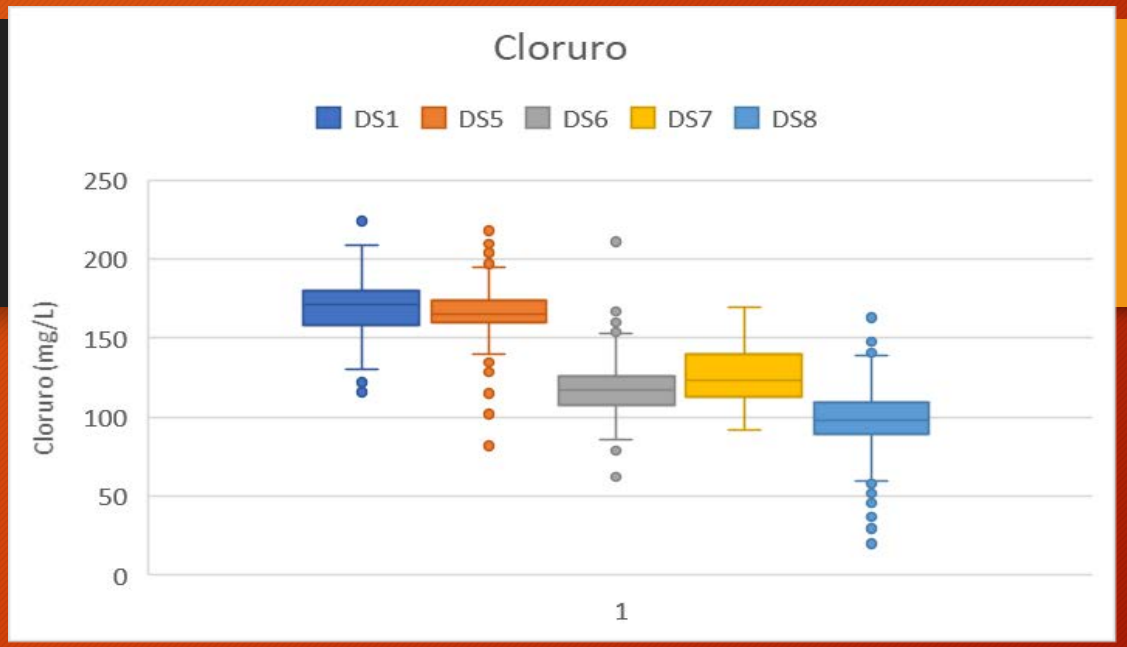

CAUDAL VS SULFATO (TRIMESTRALES + PUNTUALES)
DS1 DS5 DS6 DS7 DS8
SULFATO (MG/L)
1200,00
1000,00
800,00
600,00
400,00
200,00
0,00
1,00
10,00
100,00
1000,00

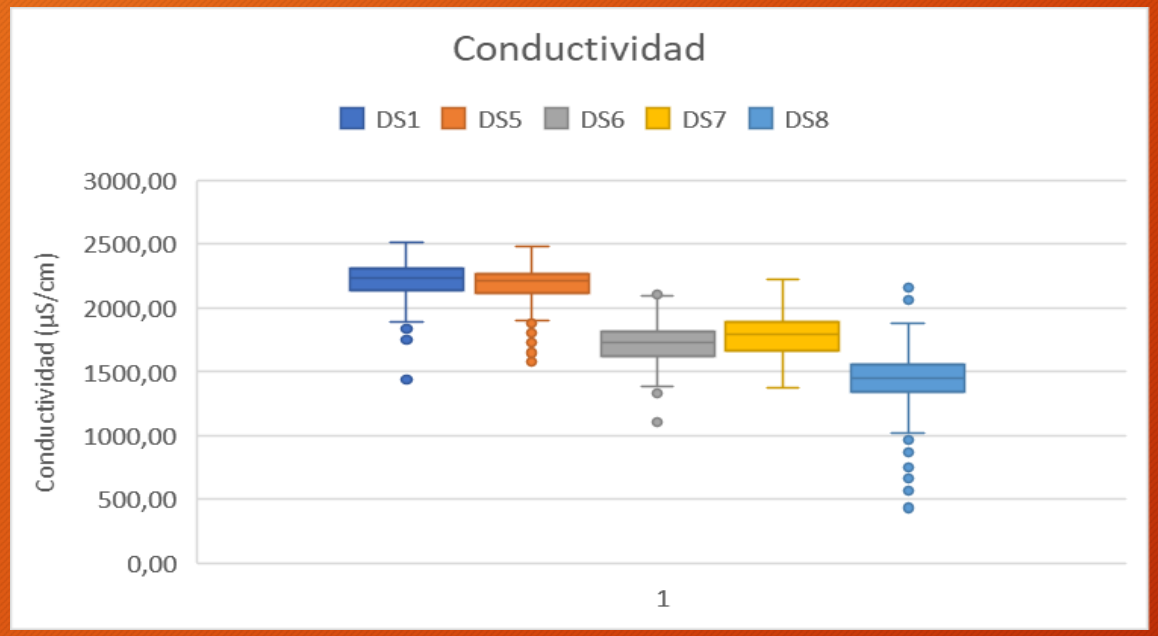

SULFATO ZONA 5 VIS-VIS (PUNTUALES)
DS1 DS5 DS6 DS8
SULFATO (MG/L)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Período estival

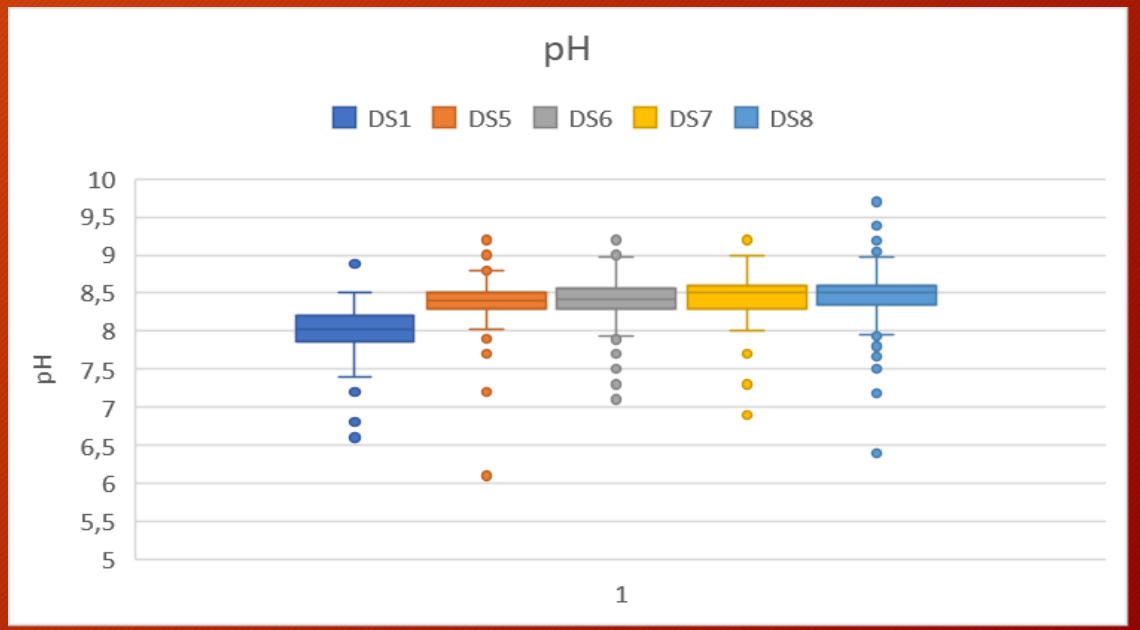

CONDUCTIVIDAD (
1500,00
1000,00
500,00
0,00
1,00
10,00
100,00
1000,00
10000,00
CAUDAL (L/SG)


CONDUCTIVIDAD (US
1500,00
1000,00
500,00
0,00
1,00
10,00
100,00
1000,00
CAUDAL (L/SG)

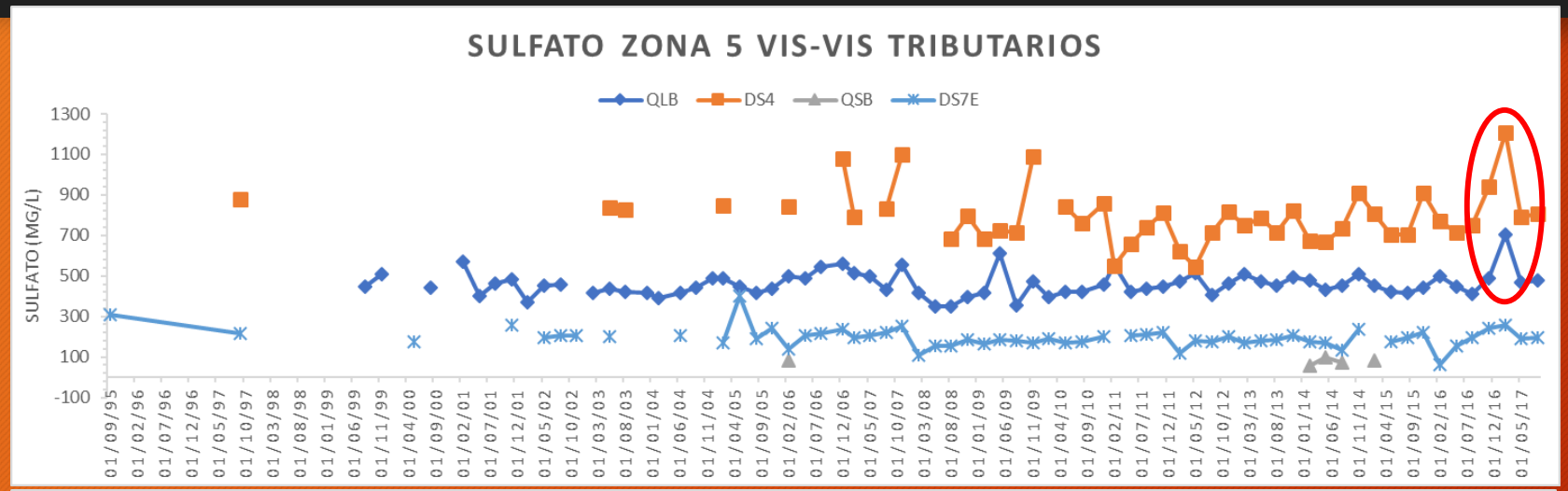

Sulfato
DS1
DS5
DS6
DS7
DS8
1200,00
1000,00
800,00
600,00
400,00
200,00
0,00
Sulfato (mg/L)
1


Cloruro
DS1
DS5
DS6
DS7
DS8
250
200
150
100
50
0
Cloruro (mg/L)
1


Conductividad
DS1
DS5
DS6
DS7
DS8
3000,00
2500,00
2000,00
1500,00
1000,00
500,00
0,00
Conductividad (µS/cm)
1


pH
DS1
DS5
DS6
DS7
DS8
10
9,5
9
8,5
8
7,5
7
6,5
6
5,5
5
pH
1

Zona 5 - Puntos de monitoreo en afluentes del río Vís-Vís

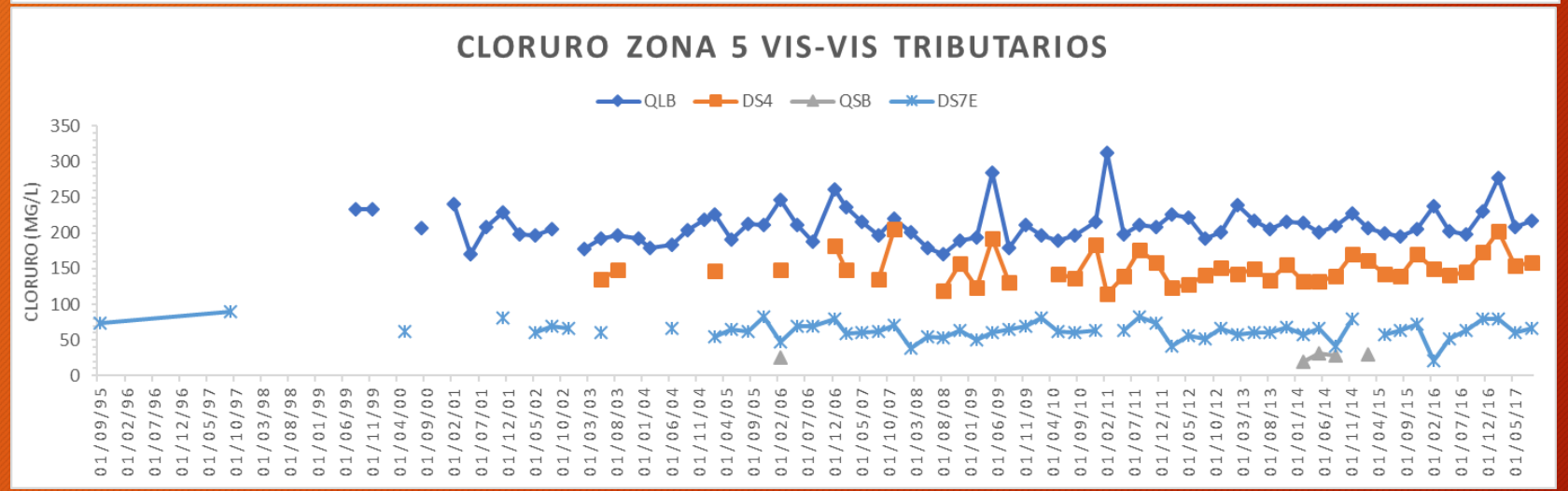


796 mg/L

458 mg/L

195 mg/L

>Q → diluye DS8

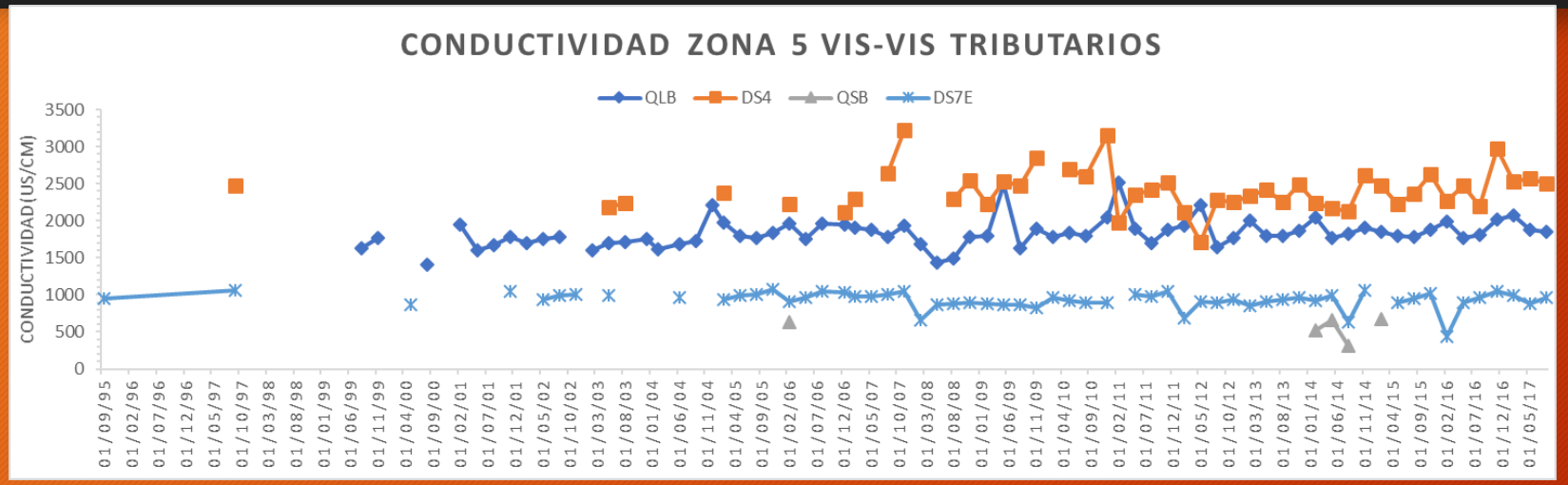


209 mg/L

150 mg/L

63 mg/L

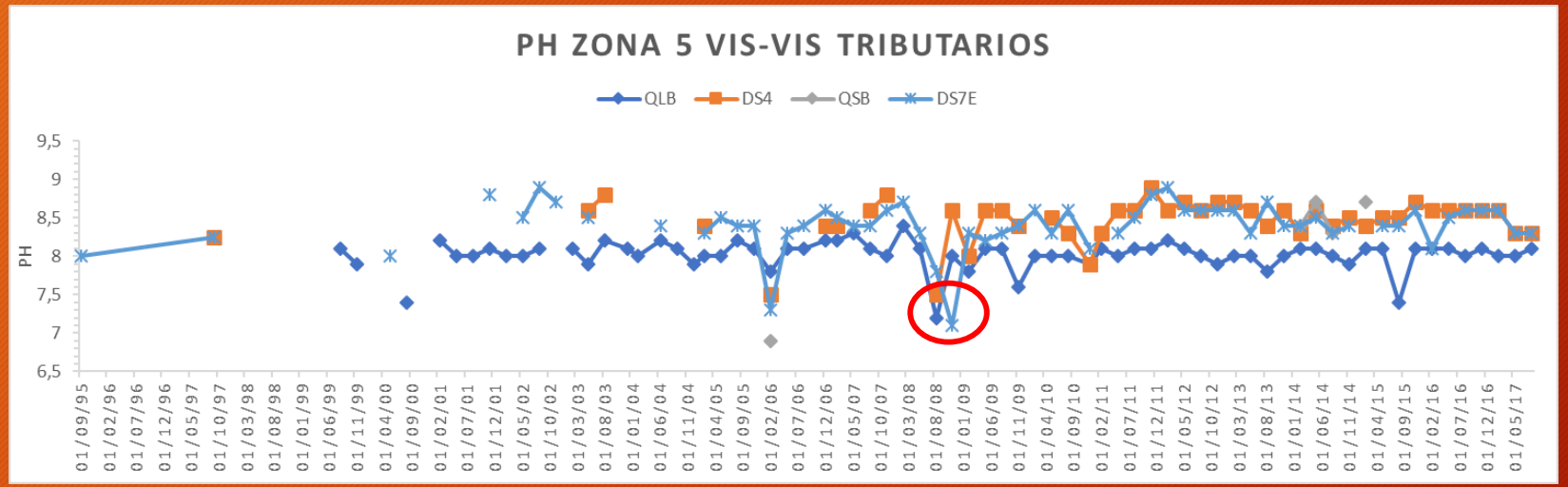
Zona 5 - Puntos de monitoreo en afluentes del río Vís-Vís



2414 µS/cm

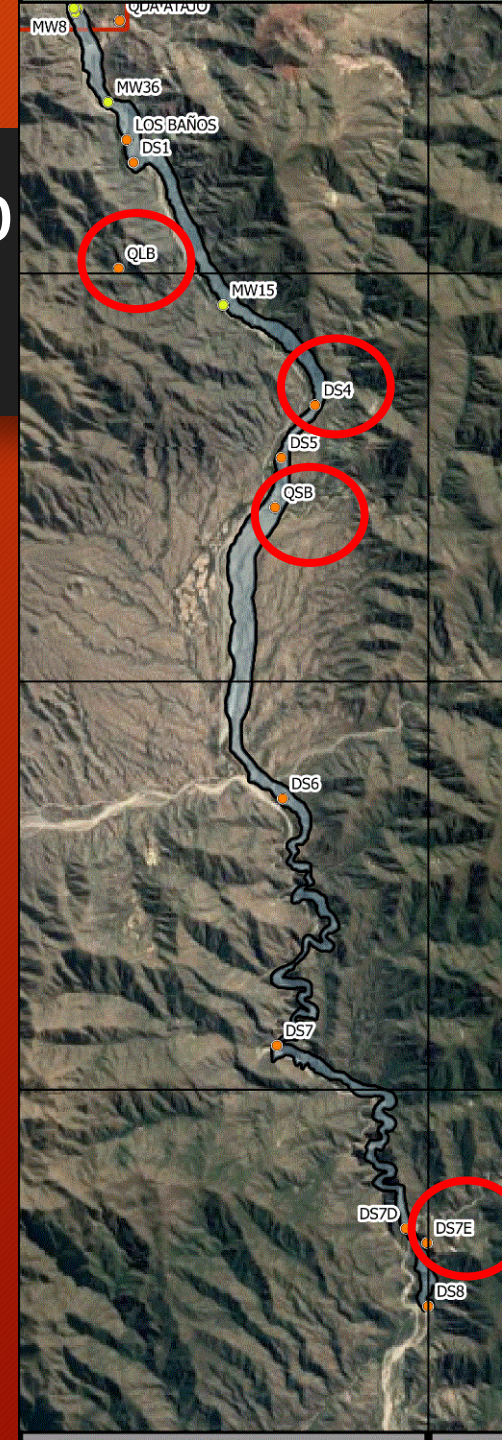
1832 µS/cm

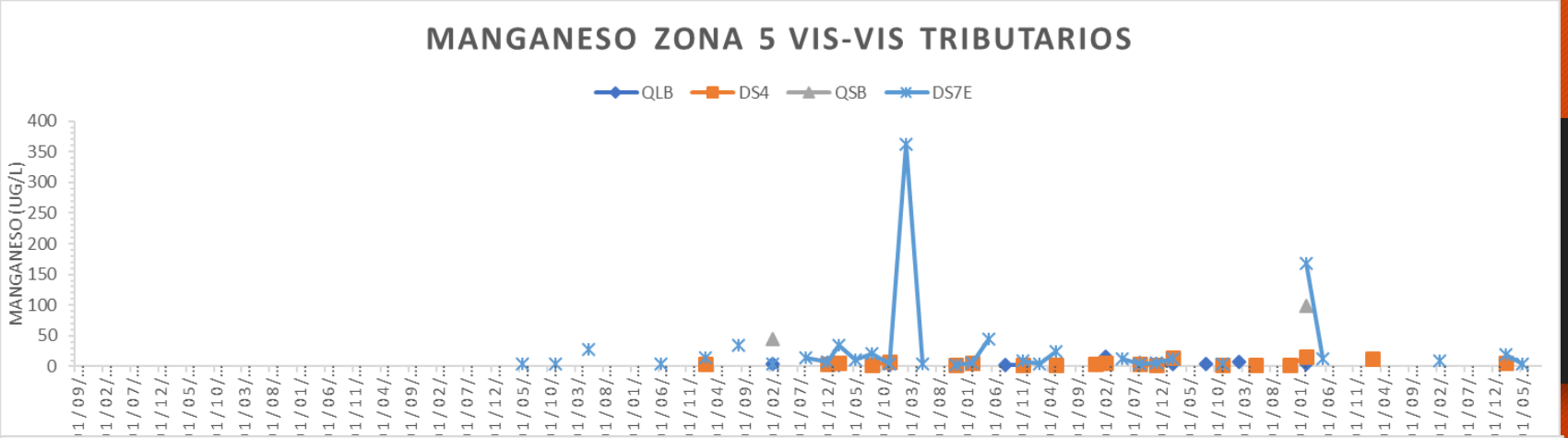
931 µS/cm

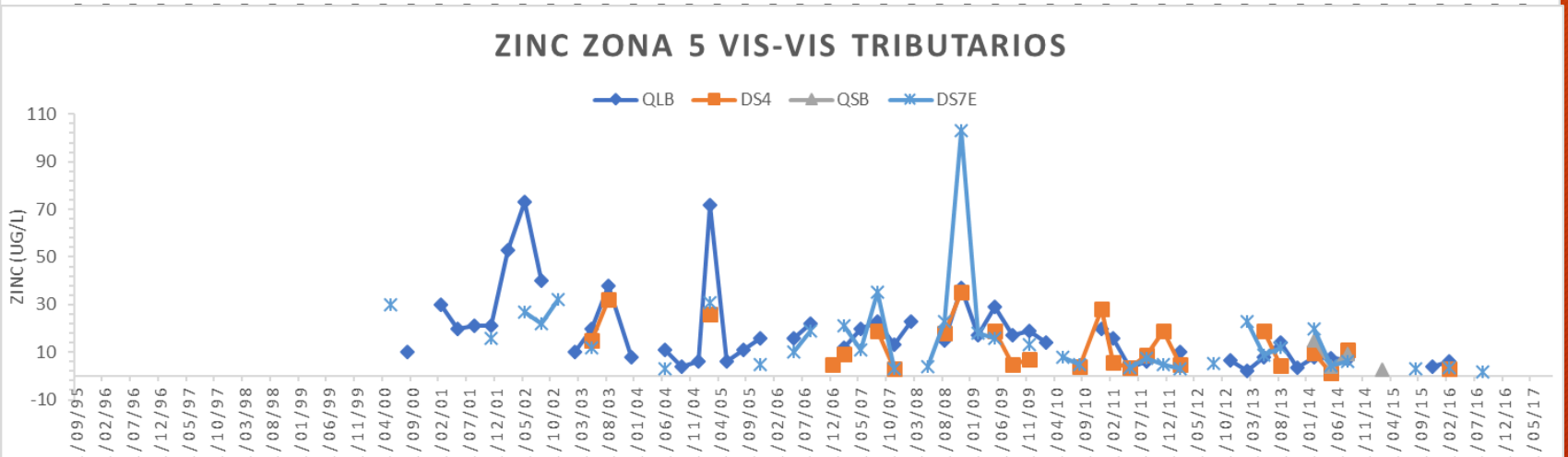


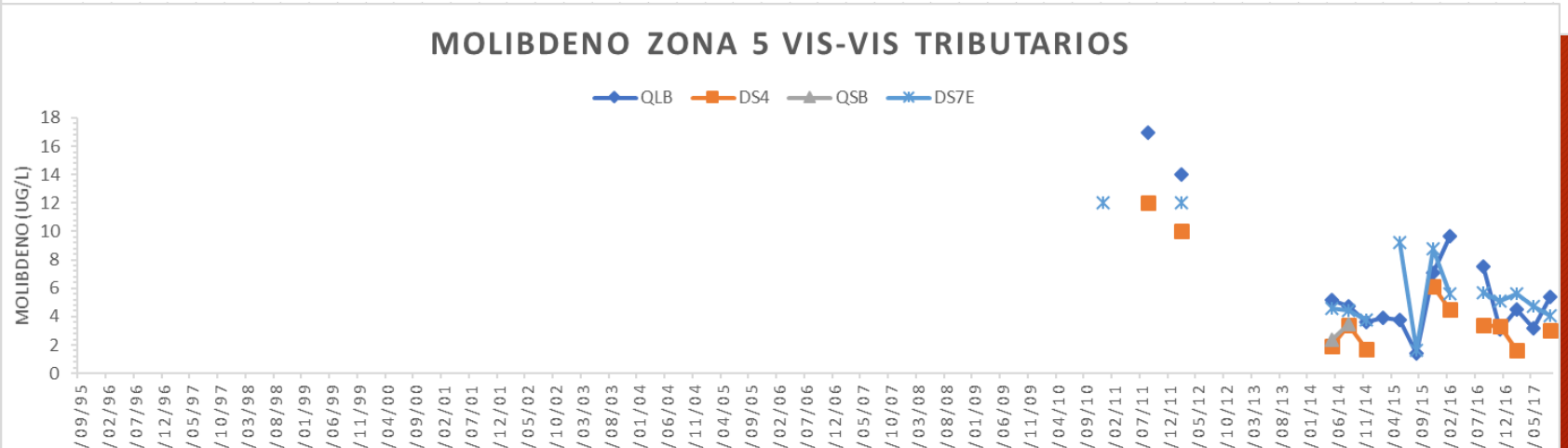
8,4

8,0







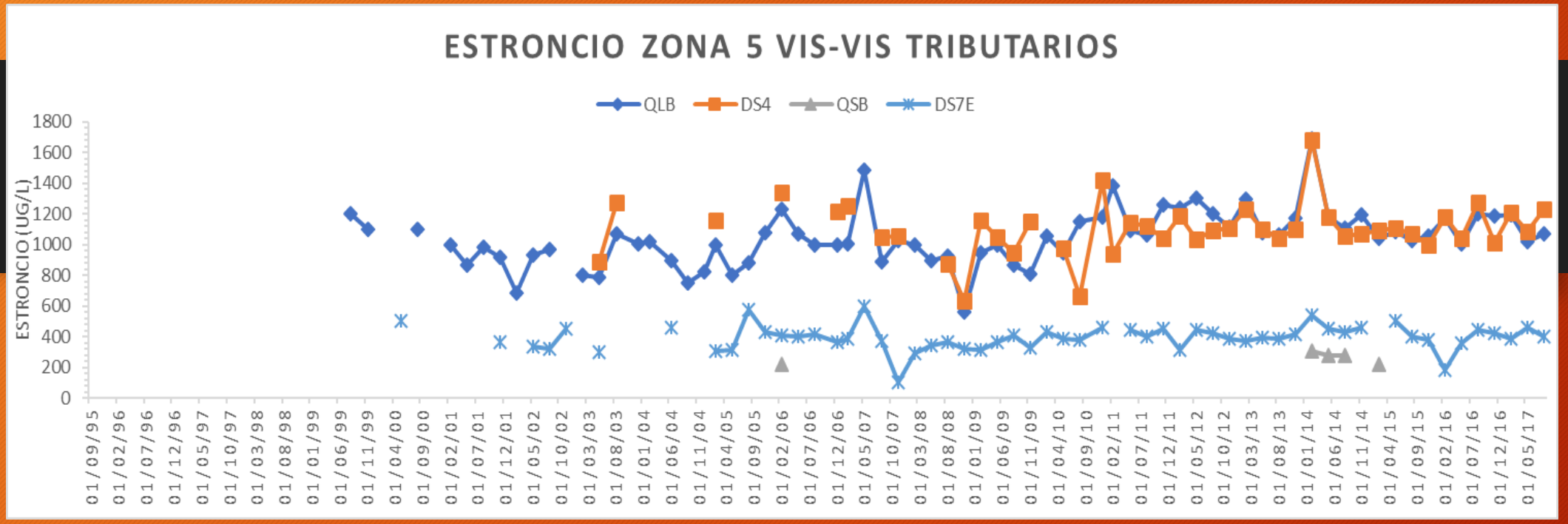


<50 µg/L

<50 µg/L

Promedio entre 7 y 18 µg/L

Promedio entre 2 y 7 µg/L



1100 µg/L

400 µg/L

Agua

DS4/MW Huaico
$\delta^{18}O$ -4,94
$\delta^{2}H$ -26,90

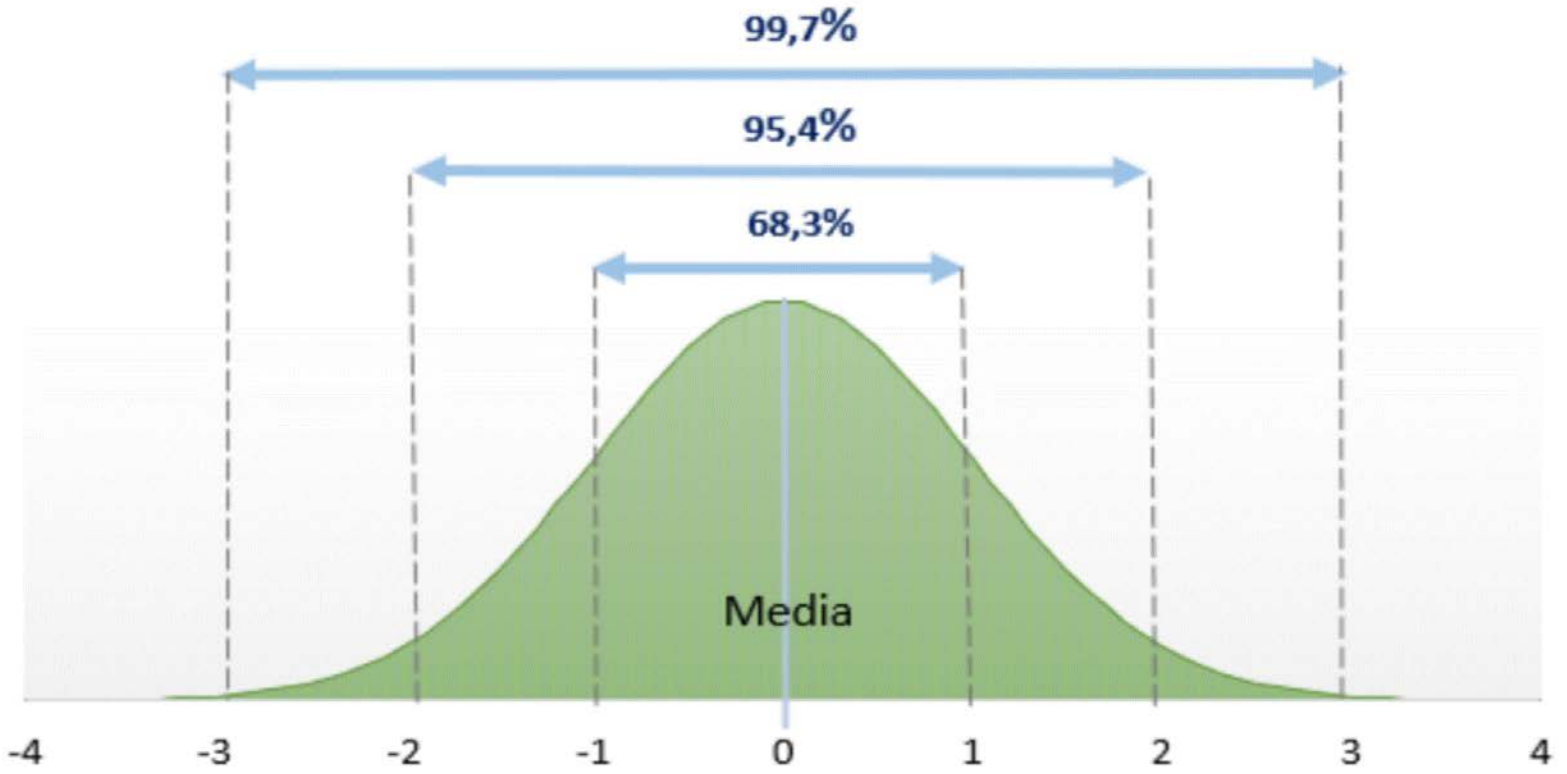
Similares a datos en DS8 – efecto de evaporación

Sulfato

$\delta^{34}S$ 6,01
$\delta^{18}O$ 6,78

Propuesta de nuevos valores de alerta y máximos y mínimos no superables para los puntos de muestreo DS1, DS5, DS6 y DS8 y desafectación de pozos del sistema de retrobombeo

- el 68.3% de los valores se distribuyen dentro de una desviación estándar de la media,
- el 95.4% dentro de dos desviaciones estándar de la media,
- el 99.7% dentro de 3 desviaciones estándar del promedio.



Res SEM 232/09 y 240/09

DS1	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Conductividad a 25°C (µS/cm)
Rango de variablidad histórica	151-186	527-688	1934-2272
Rango de alerta	186-203	688-768	2272-2441
Máximo no superable	220	849	2609
DS5	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Conductividad a 25°C (µS/cm)
Rango de variablidad histórica	139-1		
Rango de alerta	191-2		
Máximo no superable	243		
DS6	Cloruro (		
Rango de variablidad histórica	119-1		
Rango de alerta	168-1		
Máximo no superable	218		
DS8	Cloruro (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Conductividad a 25°C (µS/cm)
Rango de variablidad histórica	92-134	347-512	1315-1725
Rango de alerta	134-155	512-594	1725-1930
Máximo no superable	176	676	2135

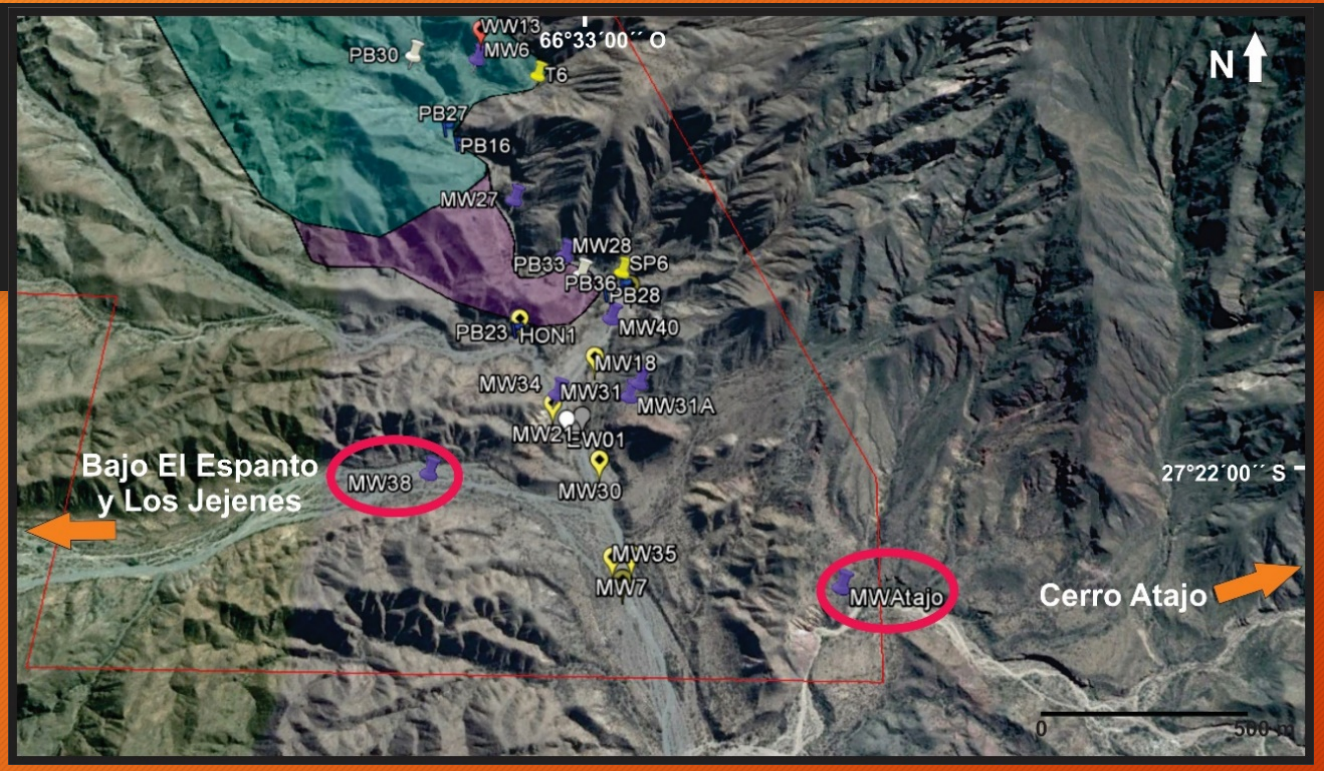
Valores posibles para desafectación de pozos de retrobombeo

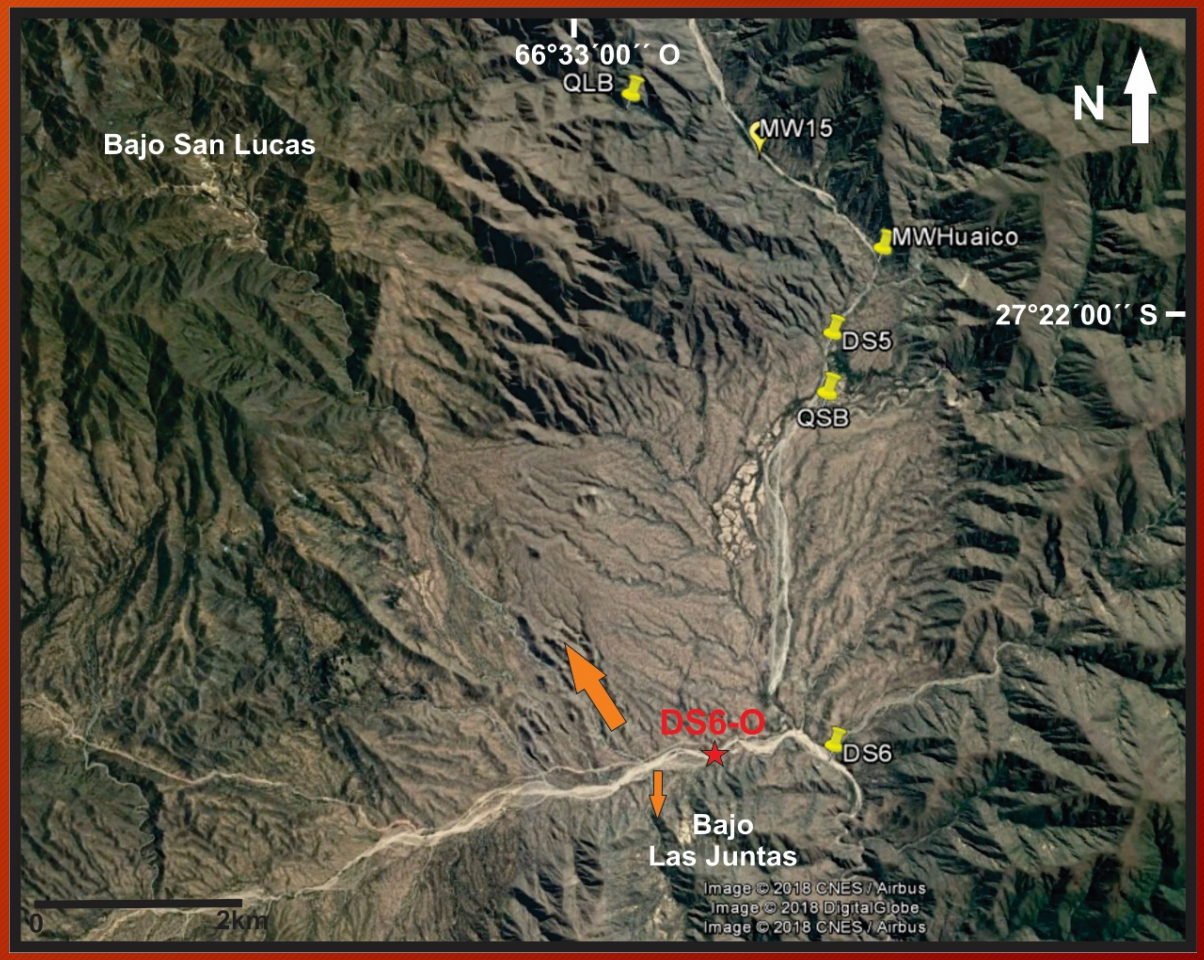
cloruro 221 mg/L, sulfato 762 mg/L, pH 8,83-7,17 y 2622 µS/cm de conductividad

Propuesta IATASA

Estación	Límites guía	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	pH Laboratorio	Conductividad Laboratorio a 25 °C (µS/cm)
DS1	MAX no superable	238	815	9,10	2756
DS1	MAX alerta	221	762	8,83	2622
DS1	MIN alerta	117	444	7,17	1817
DS1	MIN no superable	99	391	6,89	1683
			855	9,41	2707
			800	9,15	2579
			467	7,61	1809
			412	7,35	1681
			726	9,46	2374
			657	9,19	2213
			248	7,63	1246
DS6	MIN		180	7,37	1085
DS8	MAX no superable	169	722	9,51	2237
DS8	MAX alerta	151	635	9,25	2037
DS8	MIN alerta	45	113	7,66	840
DS8	MIN no superable	27	26	7,40	640

Propuesta sobre modificación de los puntos de monitoreo



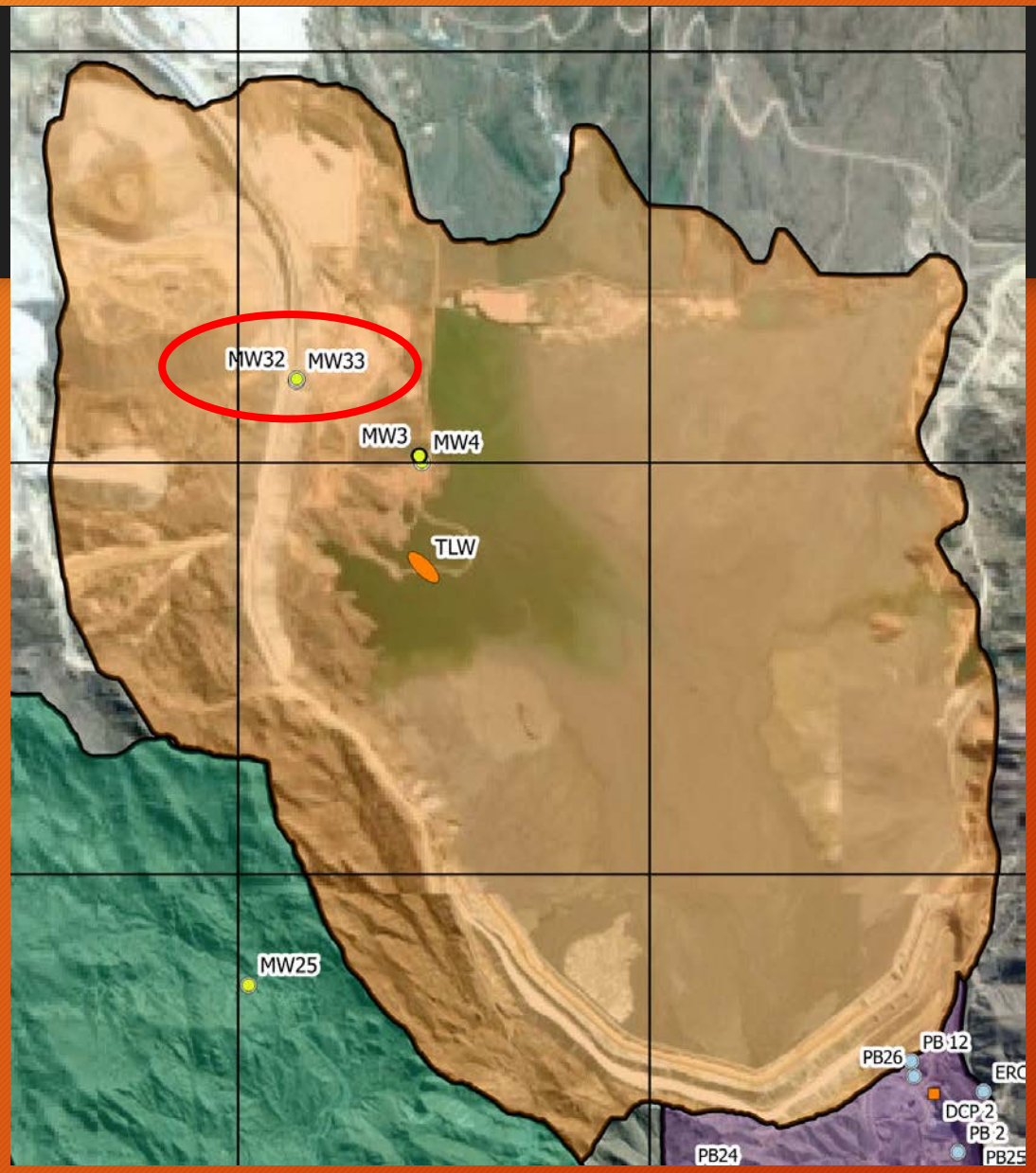


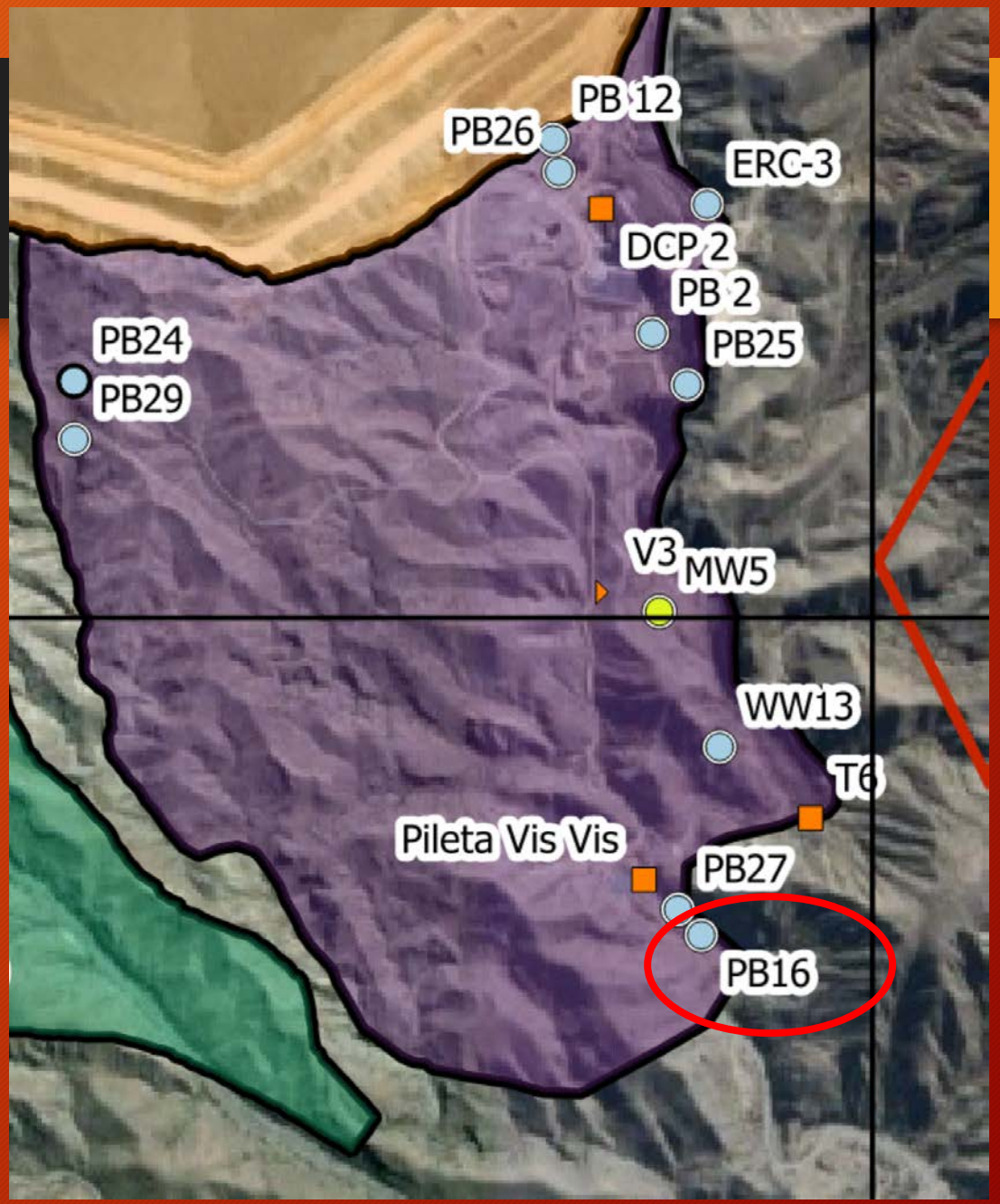
MW Atajo

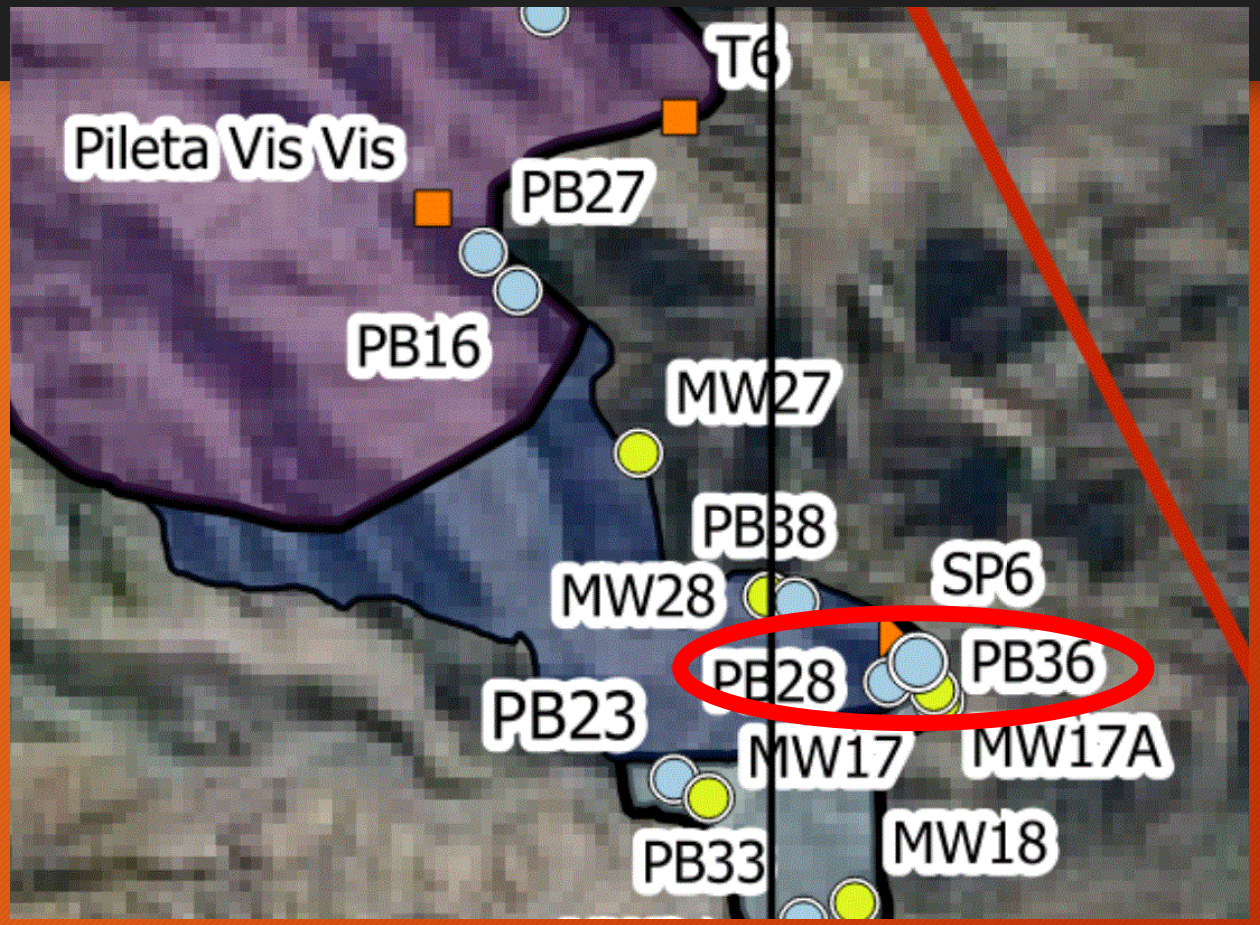
Sulfato 1065 mg/L

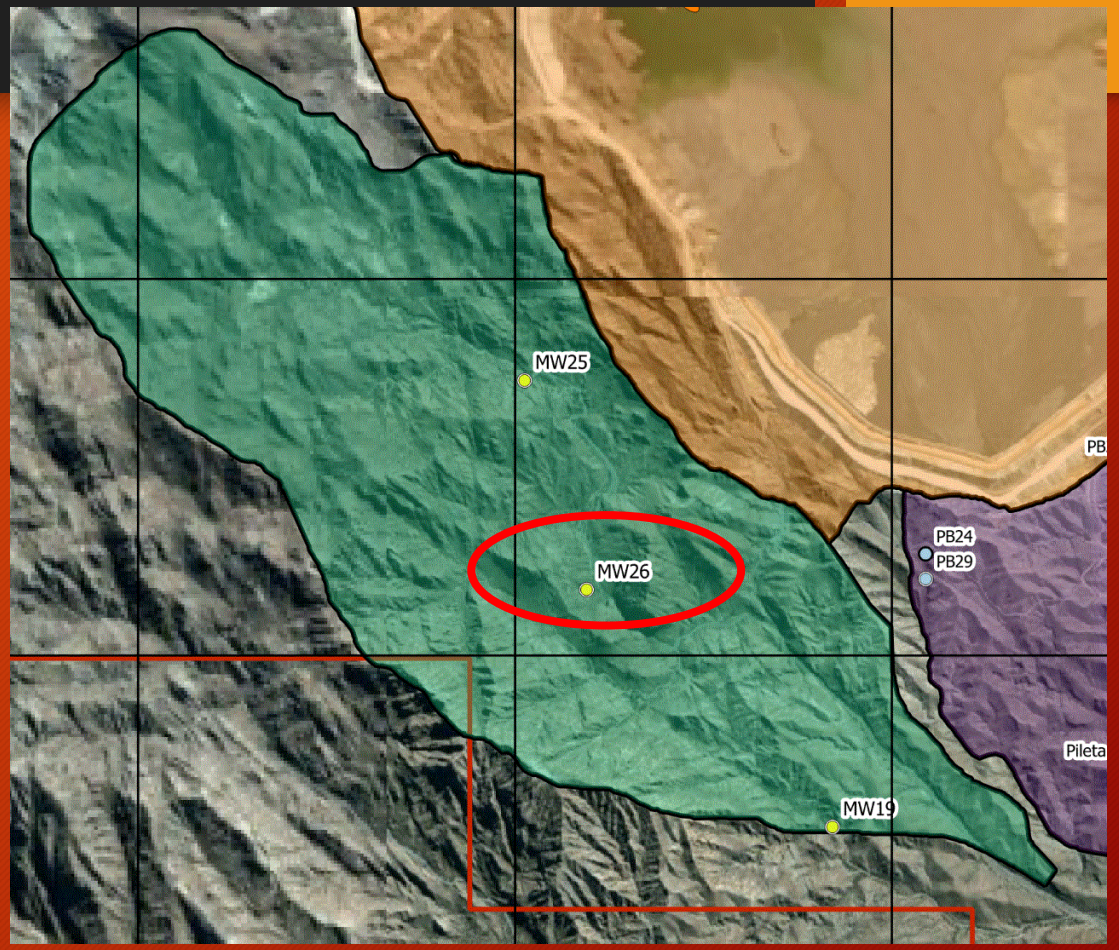
Cloruro 95,8 mg/L

Conductividad 2210 µS/cm

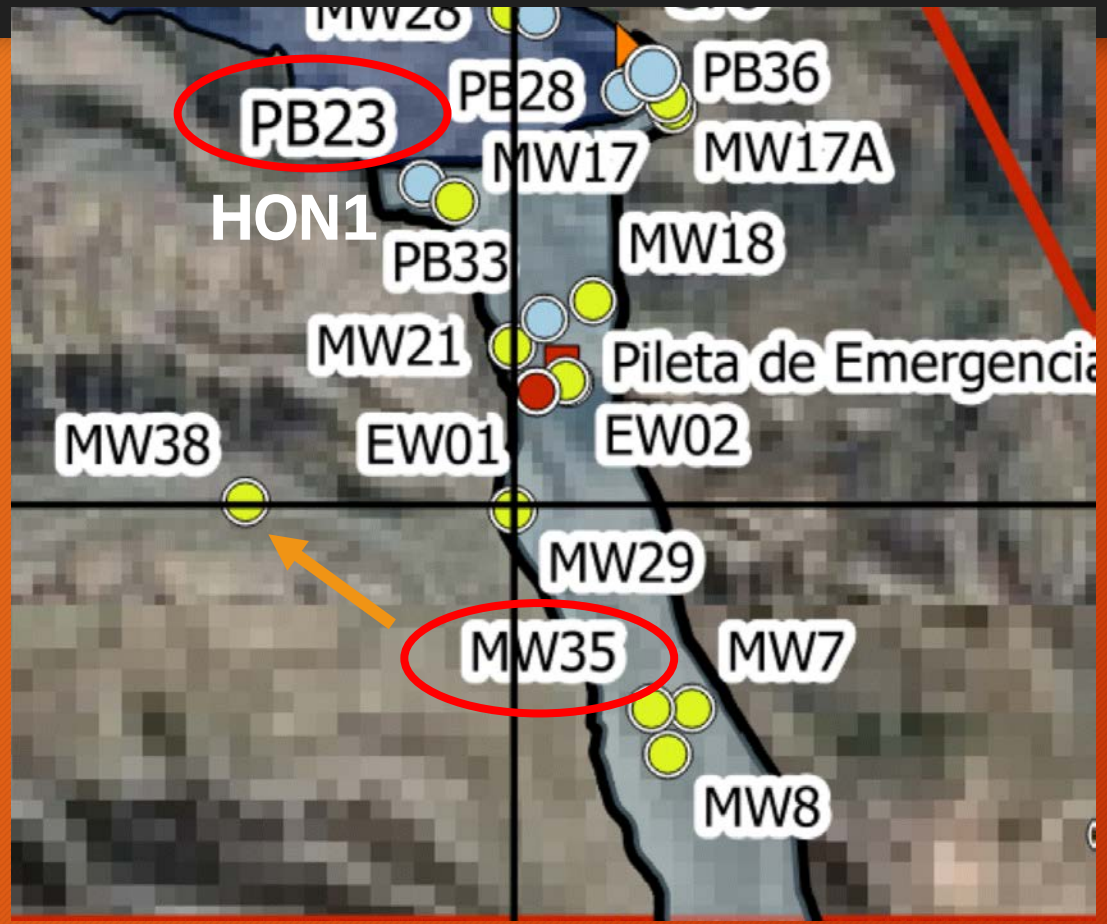

MW32
MW33
MW3
MW4
TLW
MW25
PB26
PB 12
DCP 2
PB 2
PB24

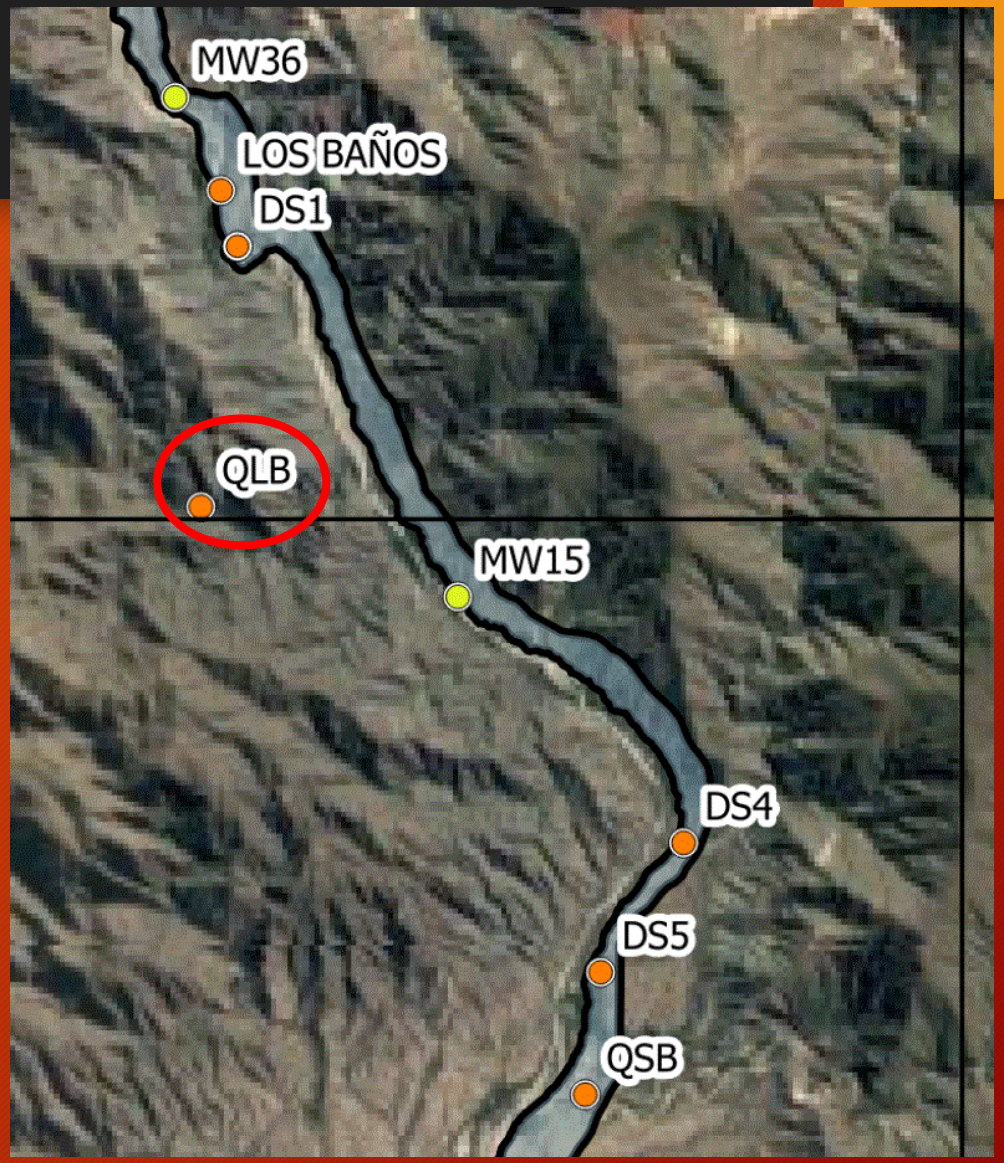

PB 12
PB26
ERC-3
DCP 2
PB 2
PB25
PB24
PB29
V3
MW5
WW13
T6
Pileta Vis Vis
PB27
PB16



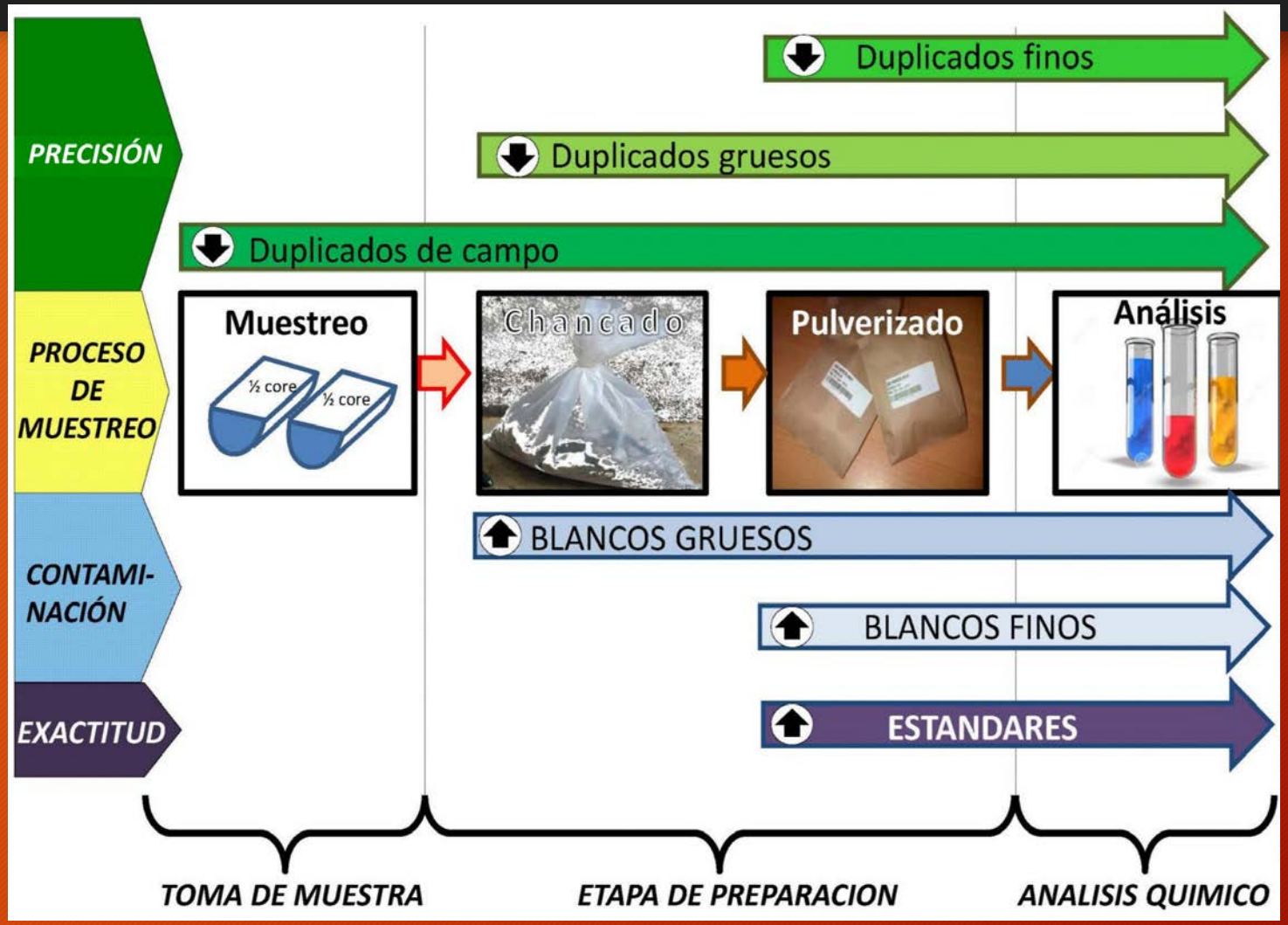


Pozos cercanos con profundidad y química similar

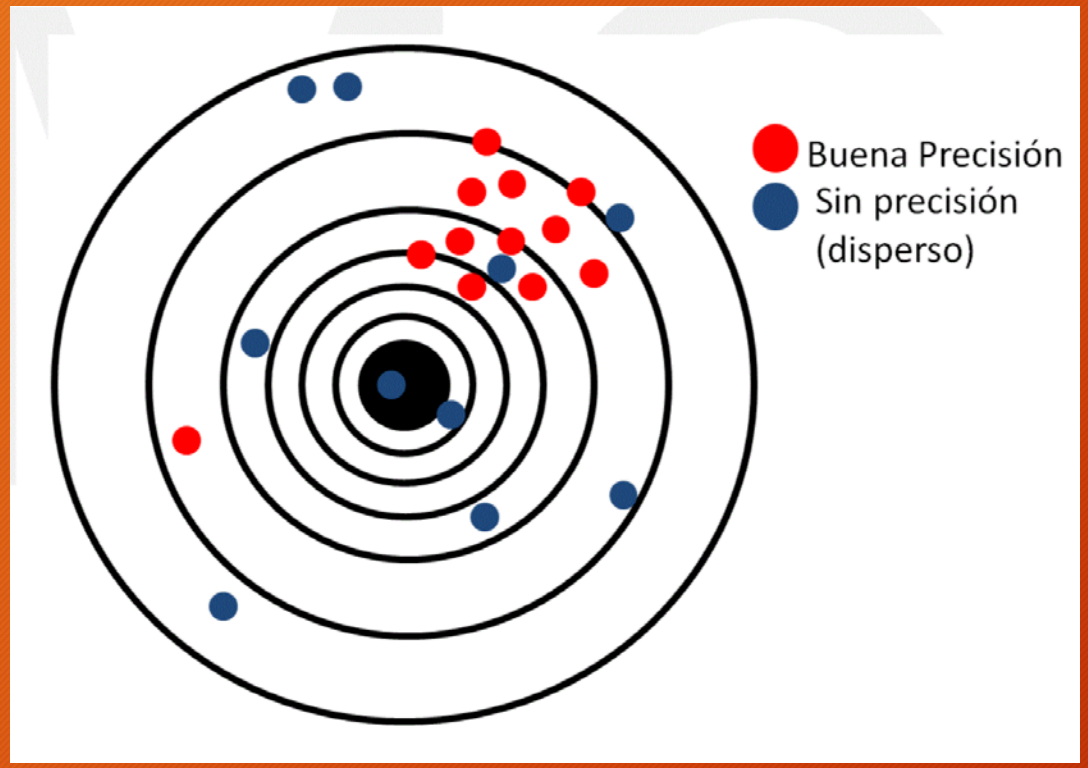

PB23
PB28
PB36
MW17
MW17A
HON1
PB33
MW18
MW21
Pileta de Emergencia
MW38
EW01
EW02
MW29
MW35
MW7
MW8


MW36
LOS BAÑOS
DS1
QLB
MW15
DS4
DS5
QSB

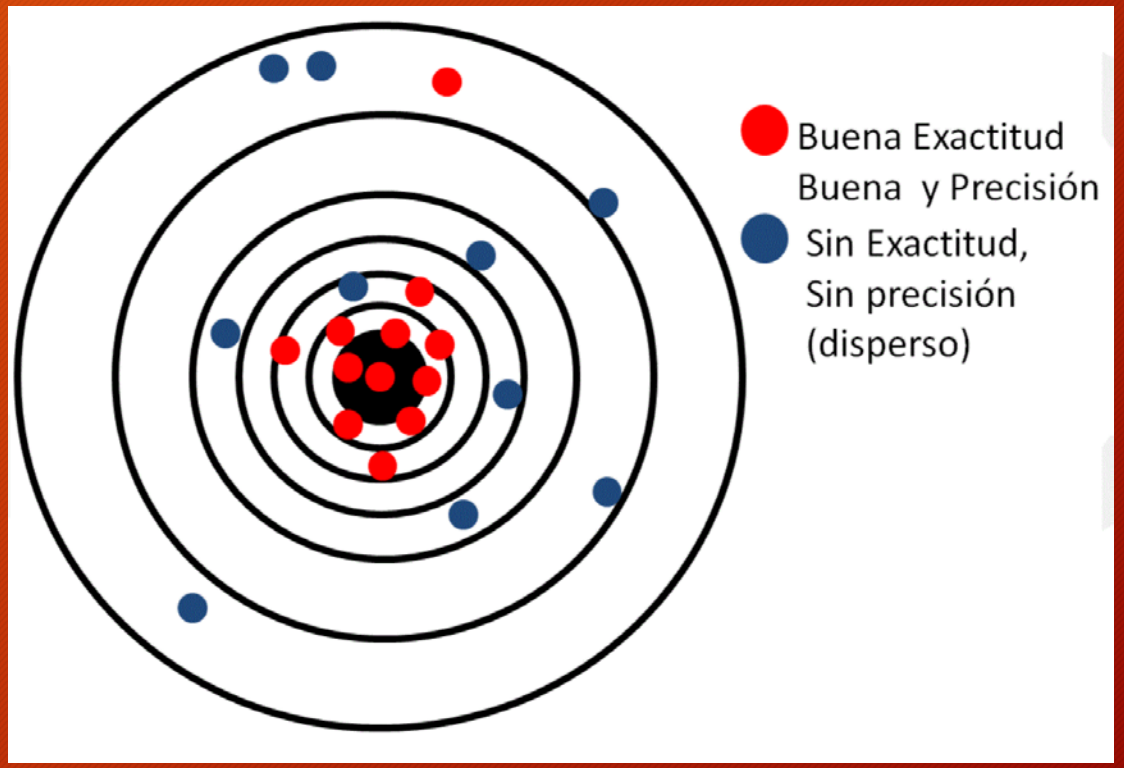
Comparación de valores de laboratorio de DiPGAM con los de MAA



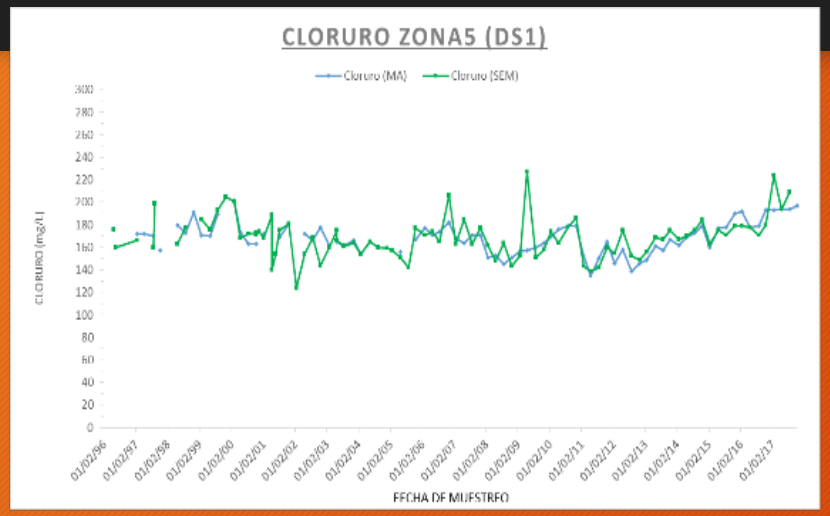
PRECISIÓN

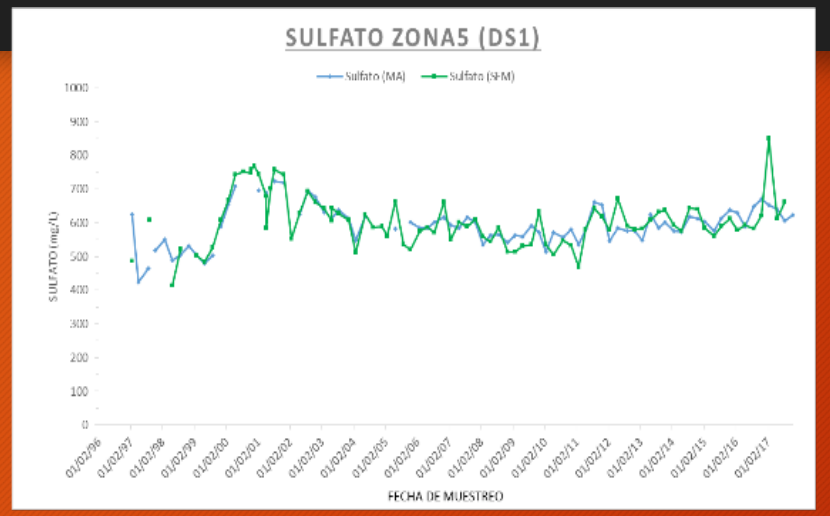


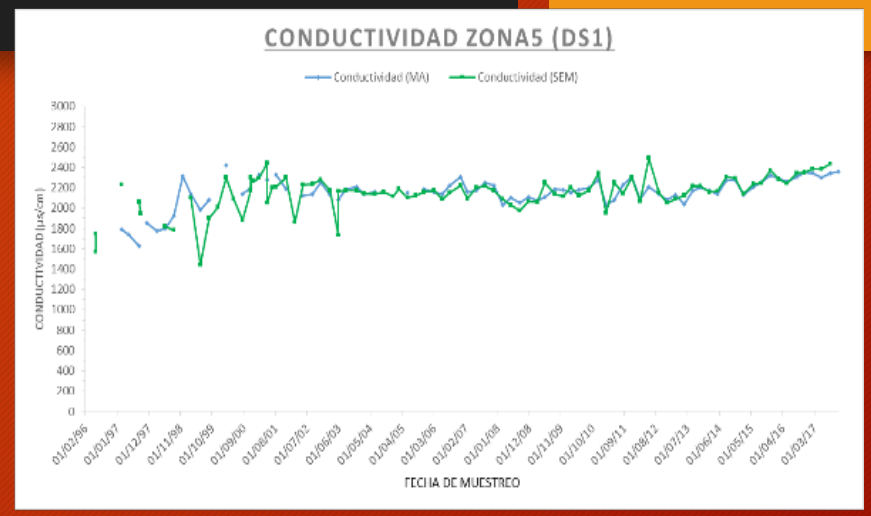
EXACTITUD

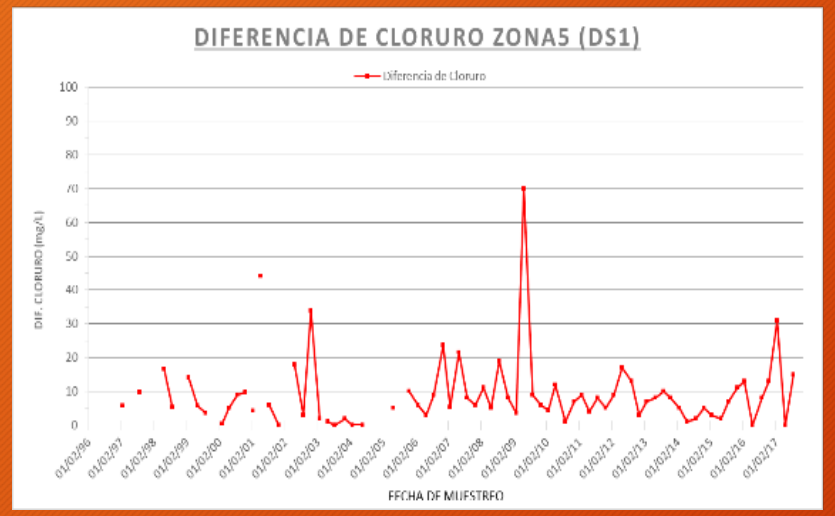


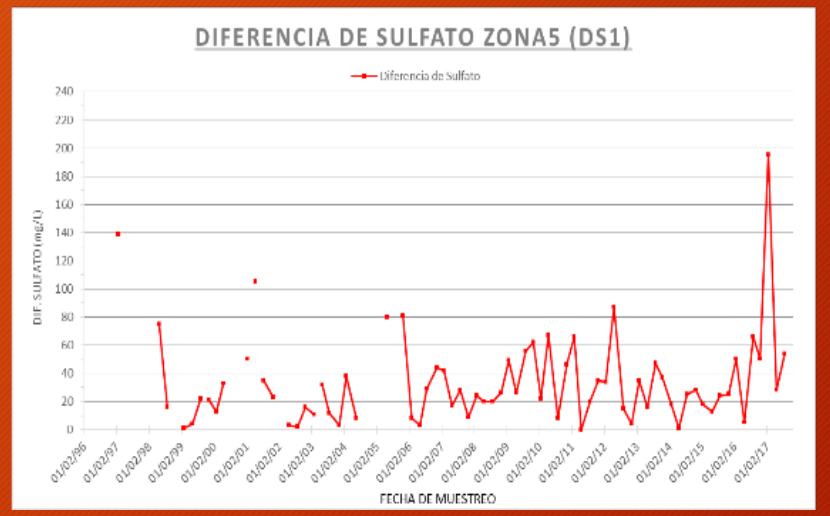
Diferencias entre laboratorio SEM y MAA

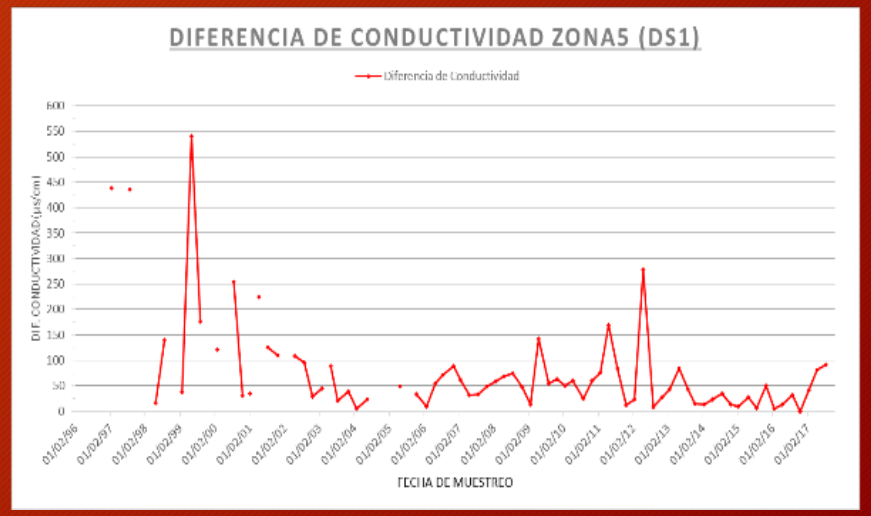












¡GRACIAS!

Septiembre 2018

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA

ANALISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA

HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

PROVINCIA DE CATAMARCA

Informe Final y Capacitación

Image © 2014 CNES / Astrium
© 2014 Cnes/Spot Image

IATASA INGENIERÍA

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO.

2 – VERTEDERO.

3 – MATERIAL DE COBERTURA.

4 – EROSIÓN HÍDRICA.

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO.

6 – SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA.

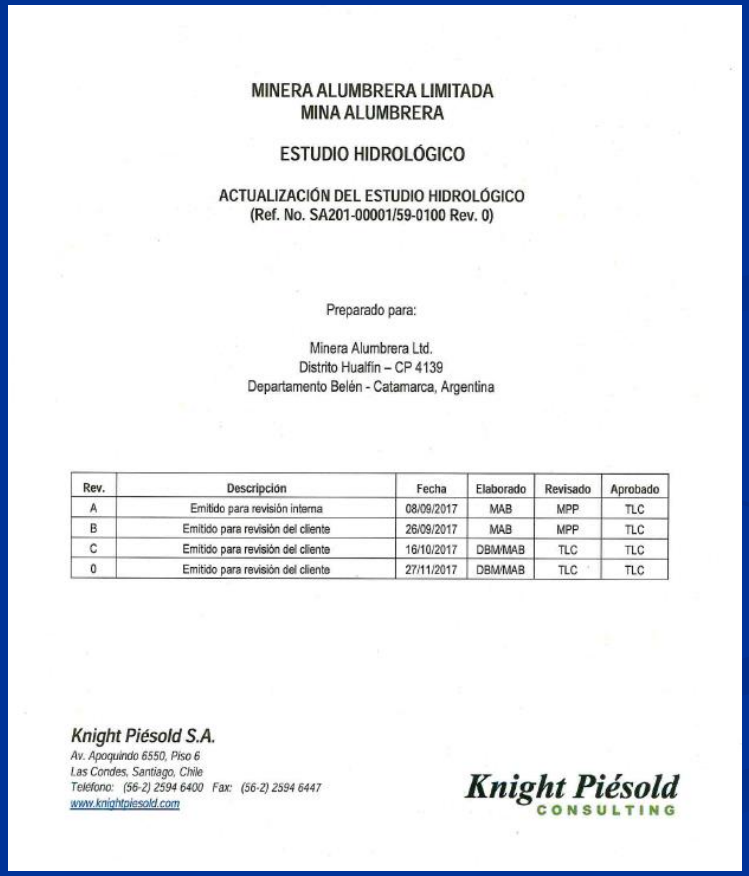
7 – CONCLUSIONES.

IATASA INGENIERÍA

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

Informe SA201-00001/59-0100 – Rev. A de Knight Piésold (Noviembre 2017)



MINERA ALUMBRERA LIMITADA
MINA ALUMBRERA

ESTUDIO HIDROLÓGICO

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO
(Ref. No. SA201-00001/59-0100 Rev. 0)

Preparado para:

Minera Alumbrera Ltd.
Distrito Hualfín – CP 4139
Departamento Belén - Catamarca, Argentina

Rev.	Descripción	Fecha	Elaborado	Revisado	Aprobado
A	Emitido para revisión interna	08/09/2017	MAB	MPP	TLC
B	Emitido para revisión del cliente	26/09/2017	MAB	MPP	TLC
C	Emitido para revisión del cliente	16/10/2017	DBM/MAB	TLC	TLC
0	Emitido para revisión del cliente	27/11/2017	DBM/MAB	TLC	TLC

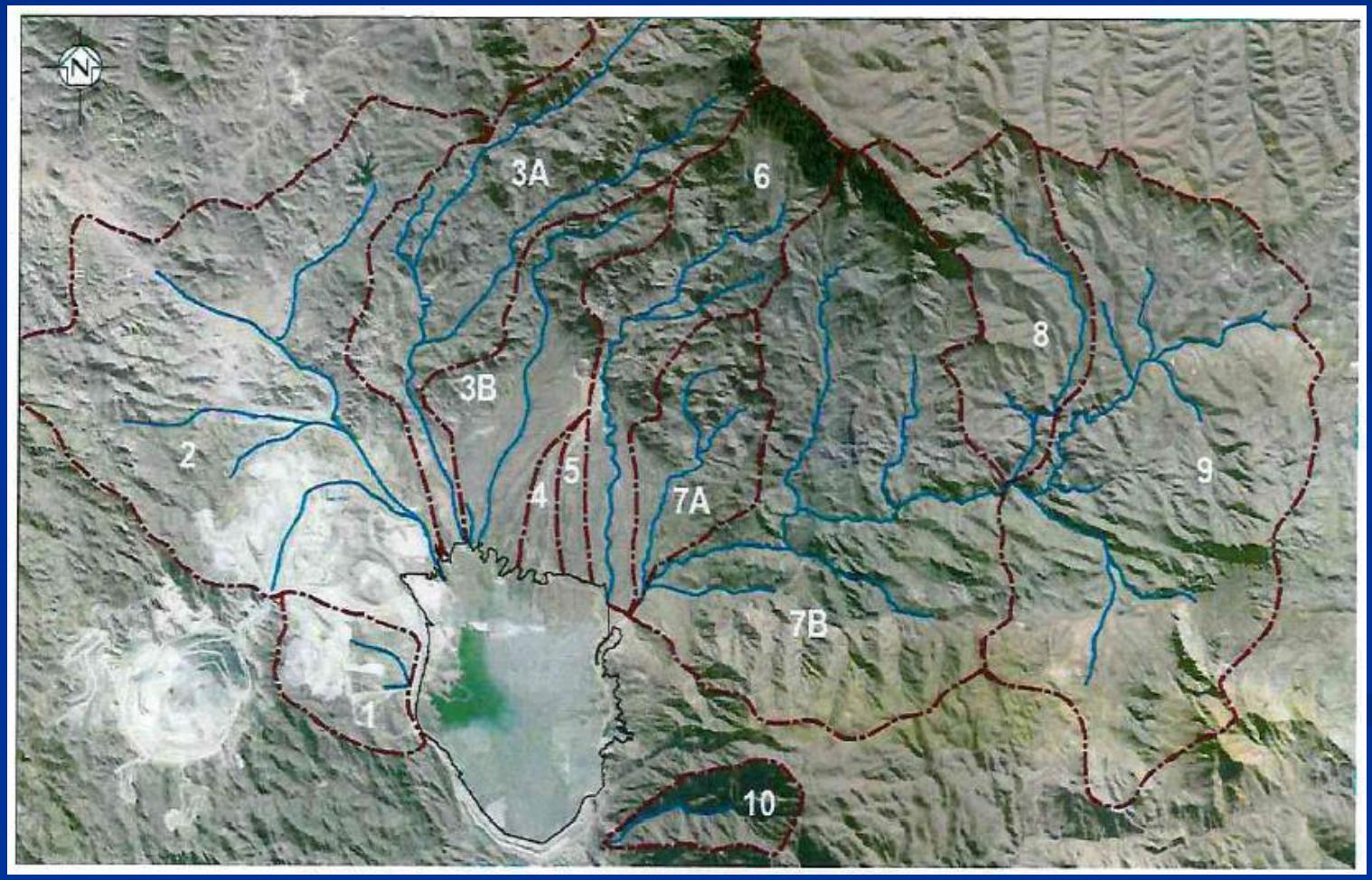
Knight Piésold S.A.
Av. Apoquindo 6550, Piso 6
Las Condes, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 2594 6400 Fax: (56-2) 2594 6447
www.knightpiesold.com

Knight Piésold
CONSULTING

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

Cuencas de Aporte al Dique de Colas.



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

Cuencas de Aporte al Dique de Colas.

Transformación lluvia - caudal

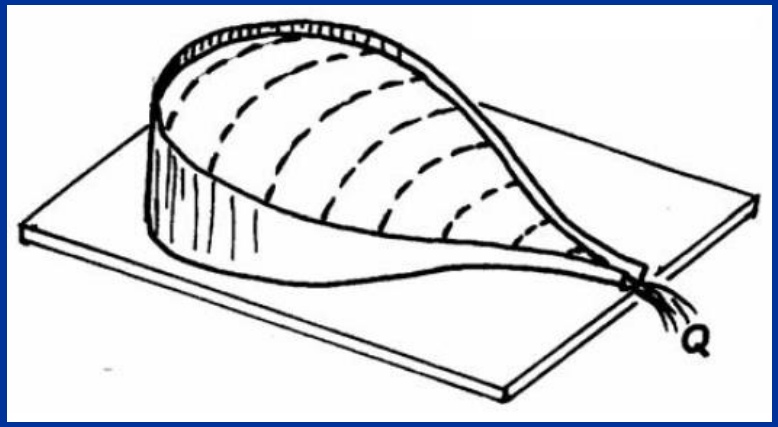
Cuenca	Área Aportante (km^2)	Longitud Cauce Principal (km)	Longitud del centroide de cuenca a salida (km)
1	3,19	1,21	1,55
2	22,51	7,52	4,70
3A	11,37	9,97	5,99
3B	8,00	4,42	3,37
4	1,34	0,17	1,08
5	1,16	0,37	1,51
6	7,80	6,57	4,95
7A	4,20	3,62	2,91
7B	24,31	6,84	3,92
8	6,67	4,59	2,33
9	24,08	5,23	4,52

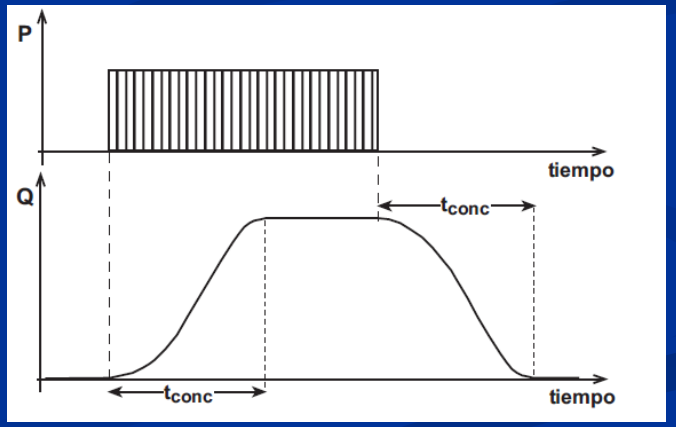
IATASA INGENIERÍA

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Lluvias extremas de corta duración.
- La duración de la Tormenta que genera el Caudal Pico Máximo es la que se asemeja al Tc de la Cuenca.
- Tc de una cuenca se define como el tiempo que tarda en llegar a la sección de control una gota de agua caída en el punto más alejado de la cuenca.





INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

En el punto 5.1.1 del Informe SA201-00001/31 – Rev. 1 de Knight Piésold se indica que para la caracterización de las cuencas en estudio se utilizó información proveniente del informe de actualización de los aspectos hidrológicos realizado por KP en el año 2008.

Cuadro 5.1

Principales Características de Cuencas que Drenan al Dique de Colas[1]

Cuenca	Área Aportante (km²)	Máximo Desnivel (m)	Long. cauce ppal (km)	Pendiente (m/m)	Tiempo de Concentración[2] (hr)
1	3,19	52,0	1,21	0,24	0,443
2	22,51	227,0	7,52	0,15	1,639
3	19,37	558,0	9,97	0,24	1,475
4	1,34	32,0	0,17	0,06	0,587
5	1,16	32,0	0,37	0,06	0,558
6	7,80	490,0	6,57	0,31	1,045
7	28,51	485,0	6,84	0,30	1,067
8	6,67	265,0	4,59	0,25	1,056
9	24,08	214,0	5,23	0,21	1,067

Notas:
(1) Fuente KP (2008).
(2) Calculado con la fórmula del California Culverts Practice.

Si se estima, a partir de los datos de longitud de cauce principal y tiempo de concentración presentados en el cuadro anterior, la velocidad media de traslado, la misma presenta una gran variabilidad, aún para cuencas con pendientes similares.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

Cálculo de Velocidades Media de las diferentes Cuencas

Long Cauce (km)	Tc (hrs)	V (m/s)
1,21	0,443	0,76
7,52	1,639	1,27
9,97	1,475	1,88
0,17	0,587	0,08
0,37	0,558	0,18
6,57	1,045	1,75
6,84	1,067	1,78
4,59	1,056	1,21
5,23	1,067	1,36

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica
1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

• La estimación de los tiempos de concentración en el Informe SA201-00001/31 – Rev. 1 de Knight Piésold, ha sido realizada por medio de la fórmula del California Culverts Practice, pero no se presenta la fórmula utilizada.
Los cálculos realizados con la expresión correspondiente a unidades métricas:

Tc (hrs) = (0.87075 x L (km)^3 / DH (m))^0.385

dan resultados diferentes a los indicados en el Cuadro 5.1.

• Por otra parte, las pendientes presentadas en dicho Cuadro no son las que resultad de dividir el DH por la longitud del cauce. En la Tabla siguiente se resumen los cálculos de verificación realizados. Es posible observar que las velocidades medias se encuentran comprendidas en un rango diferente al del Cuadro anterior (1.30 a 2.38 m/s).

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica
1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

Long Cauce (km)	DH (m)	Tc (hrs)	i (m/m)	V (m/s)
1,21	52	0,26	0,04	1,30
7,52	227	1,21	0,03	1,73
9,97	558	1,18	0,06	2,34
0,17	32	0,03	0,19	1,46
0,37	32	0,08	0,09	1,30
6,57	490	0,77	0,07	2,38
6,84	485	0,81	0,07	2,35
4,59	265	0,64	0,06	1,98
5,23	214	0,81	0,04	1,79

Por lo expuesto se considera necesario rever el método de cálculo utilizado (verificar su aplicabilidad a zonas con las características fisiográficas de las cuencas en estudio) y calcular con otras metodologías a fin de lograr la estimación más representativa.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

Informe SA201-00001/59-0100 – Rev. A de Knight Piésold
(Noviembre 2017)

Debería presentarse la serie de datos que dio origen a la estadística de las precipitaciones de 24 horas de duración.

Precipitaciones máximas en 24 horas anuales en sector Alumbrera

T [año]	PP Alumbrera [mm]
1,1	23,9
2	64,4
25	117,4
50	126,0
100	130,2
200	140,6
500	150,0
1.000	157,1
10.000	176,2
PMP	426,9

Fuente: Elaboración Propia.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Para estimar los valores de Precipitación de 72 horas se utilizaron las expresiones de Bell:

$$P_t^T = (0{,}54 \cdot t^{0{,}25} - 0{,}5) \cdot P_{1\,hora}^T$$

- La expresión de Bell tiene un rango de validez comprendido entre duraciones de 5 a 120 minutos (2 horas), por lo que su uso para establecer los valores atribuidos a 72 horas de duración no parece correcto.

(Bell, F. C. (1969). "Generalized rainfall-duration-frequency relationships" J. Hydraul. Div. Soc. Civ. Eng., 95(1), 311-327)

Precipitaciones Máximas Anuales en Alumbrera para distintas Duraciones (mm)

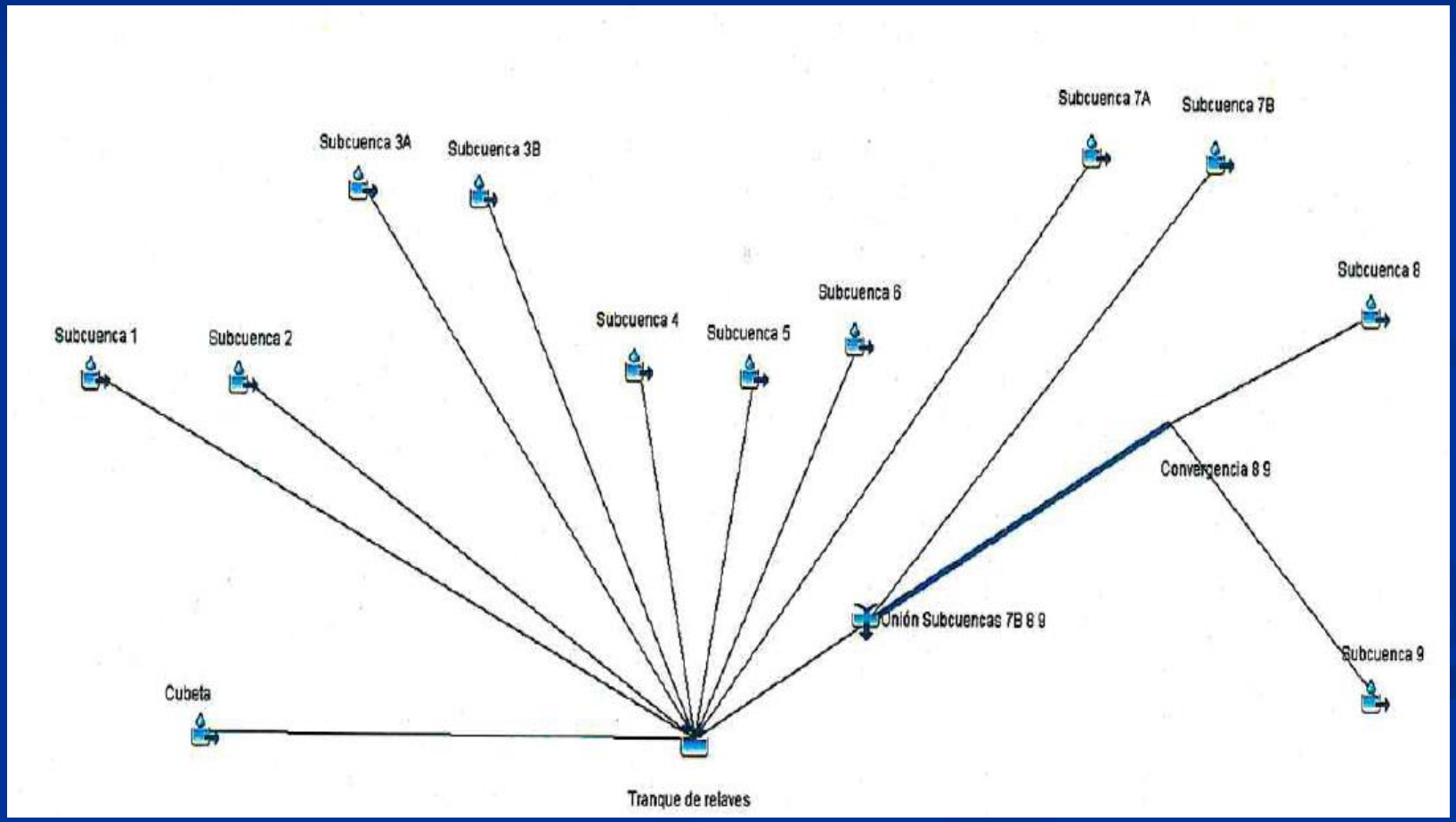
T [año]	24 horas	1 hora	72 horas
1,1	23,9	8,5	32,8
2	64,4	22,8	88,3
25	117,4	41,5	161,0
50	126,0	44,6	172,8
100	130,2	46,1	178,7
200	140,6	49,7	192,9
500	150,0	53,1	205,8
1.000	157,1	55,6	215,6
10.000	176,2	62,3	241,7
PMP	426,9	151,1	585,8

Fuente: Elaboración Propia.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Modelo Matemático Hidrológico Hec-Hms.



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Se debe presentar el Hietograma de Diseño utilizado en la modelación. Se menciona que se aplica el método del Bloque Alterno

- Para obtener las intensidades de precipitación para diferentes duraciones se emplea la Fórmula de Grunsky. Dicha fórmula no se presenta en el Informe y tampoco se explica porque se usa y su validez en la zona de Minera Alumbrera. Dicha fórmula reduce mucho la intensidad.

- Se deberían Presentar las corridas efectuadas con el modelo Hec-Hms.

- En la página 11 del informe SA201-00001/59-0100 – Rev. 0 de Knight Piésold , se indica: “El tranque de relaves fue modelado con la curva de llenado incorporada en el Plan de Cierre”. Se debería presentar la mencionada curva.

- Para el cálculo de la Precipitación Efectiva se utilizó el método del CN del Soil Conservation Service, seleccionado en el modelo Hec-Hms.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Método del CN del Soil Conservation Service, seleccionado en el modelo Hec-Hms.

$$P_{ef} = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

- Consideran como CN = 100, por lo que de la fórmula se desprende que la Precipitación Efectiva es igual a la Precipitación Total, es decir no hay pérdidas.

- El método de transformación Lluvia-Caudal adoptado es el del Hidrograma Unitario de Snyder. Se tomó como valor del coeficiente Cp = 0.40. Se debe justificar dicho valor ya que el mismo parece bajo. Según la bibliografía el valor de Cp está comprendido normalmente entre 0.56 y 0.69 (Ponce 1989), aunque en zonas de montaña con fuertes pendientes puede ser más elevado.

$$Q_p = 2{,}78 \frac{A \cdot C_p}{t_l}$$

$$t_r = \frac{t_l}{5{,}5}$$

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Se menciona la Precipitación Máxima Probable (PMP) y los hidrogramas obtenidos a partir de estos hietogramas, pero no se muestra ni menciona la metodología empleada para determinar la PMP que luego dará origen al Caudal Máximo Probable (CMP). Este último valor será el utilizado para el diseño del Vertedero y de las obras complementarias del mismo como el canal de restitución y el disipador de energía.

- Se debe reemplazar el término “peak” por “pico”

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- CAUDALES PICO Y VOLÚMENES EN EL DIQUE DE COLAS

Cuadro 3.5-2 Caudal Peak y volumen generado afluente al dique para distintos periodos de retorno

Período de Retorno (años)	24 horas			72 horas		
	Q Peak (m^3/s)	Vol (1.000 m^3)	Vol. (Mm^3)	Q Peak (m^3/s)	Vol (1.000 m^3)	Vol. (Mm^3)
1,1	56,8	2.556,1	2,56	47,3	3.688	3,69
2	160,6	7.454,3	7,45	130,1	10.519	10,52
25	295,8	13.905,8	13,91	237,8	19.481	19,48
50	317,5	14.941,1	14,94	255,3	20.933	20,93
100	328,4	15.461,4	15,46	263,9	21.658	21,66
200	354,6	16.714,4	16,71	284,9	23.402	23,40
500	378,6	17.860,4	17,86	304,1	24.998	25,00
1.000	411,4	19.065,4	19,07	318,5	26.206	26,21
10.000	445,1	21.042,6	21,04	357,2	29.423	29,42
CMP	1081,3	51.532,3	51,53	866,0	71.845	71,85

Fuente: Elaboración Propia.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- HIDROGRAMAS DE CRECIDA CMP – 24 HORAS – 1081 m3/s

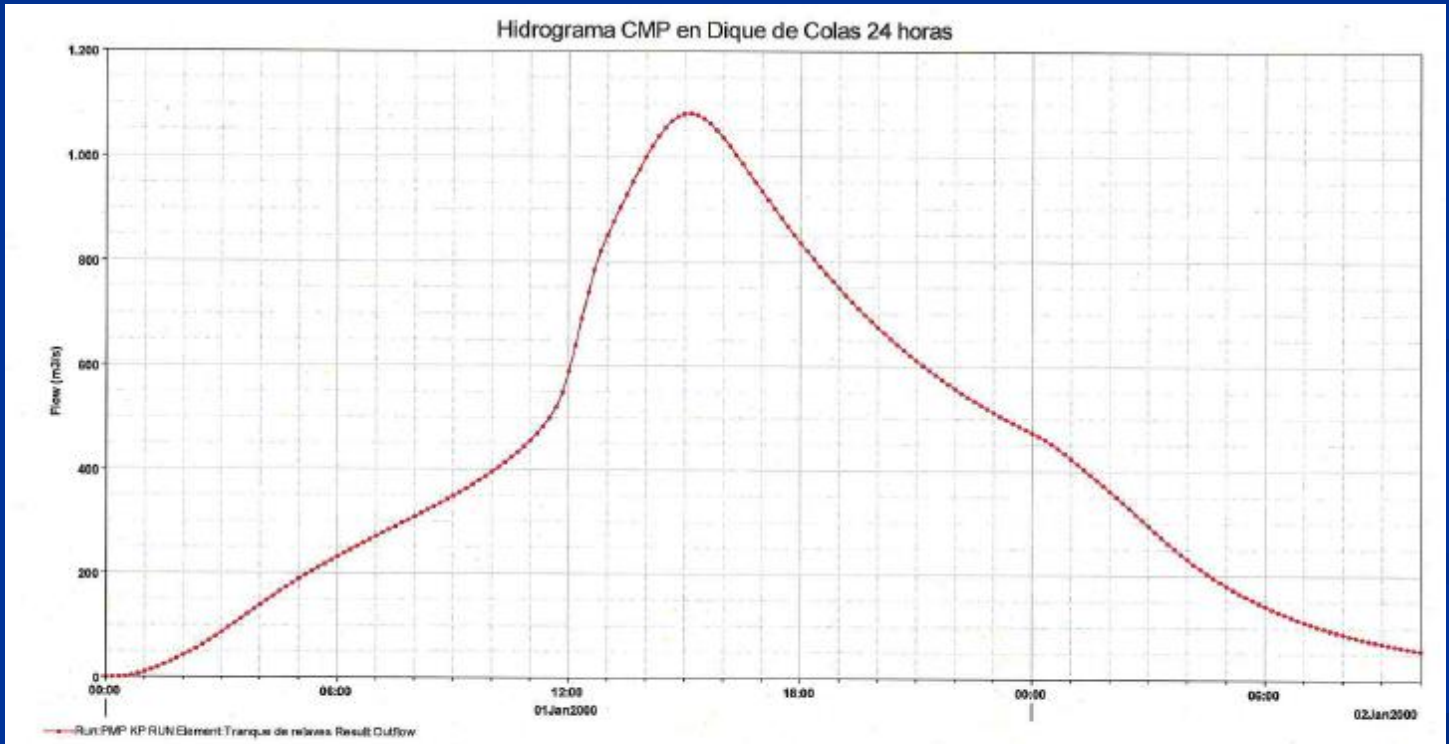


Ilustración 3.5-4 Hidrograma de Crecida para la CMP en el TMS. Duración 24 horas

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- HIDROGRAMAS DE CRECIDA CMP – 72 HORAS – 866 m3/s

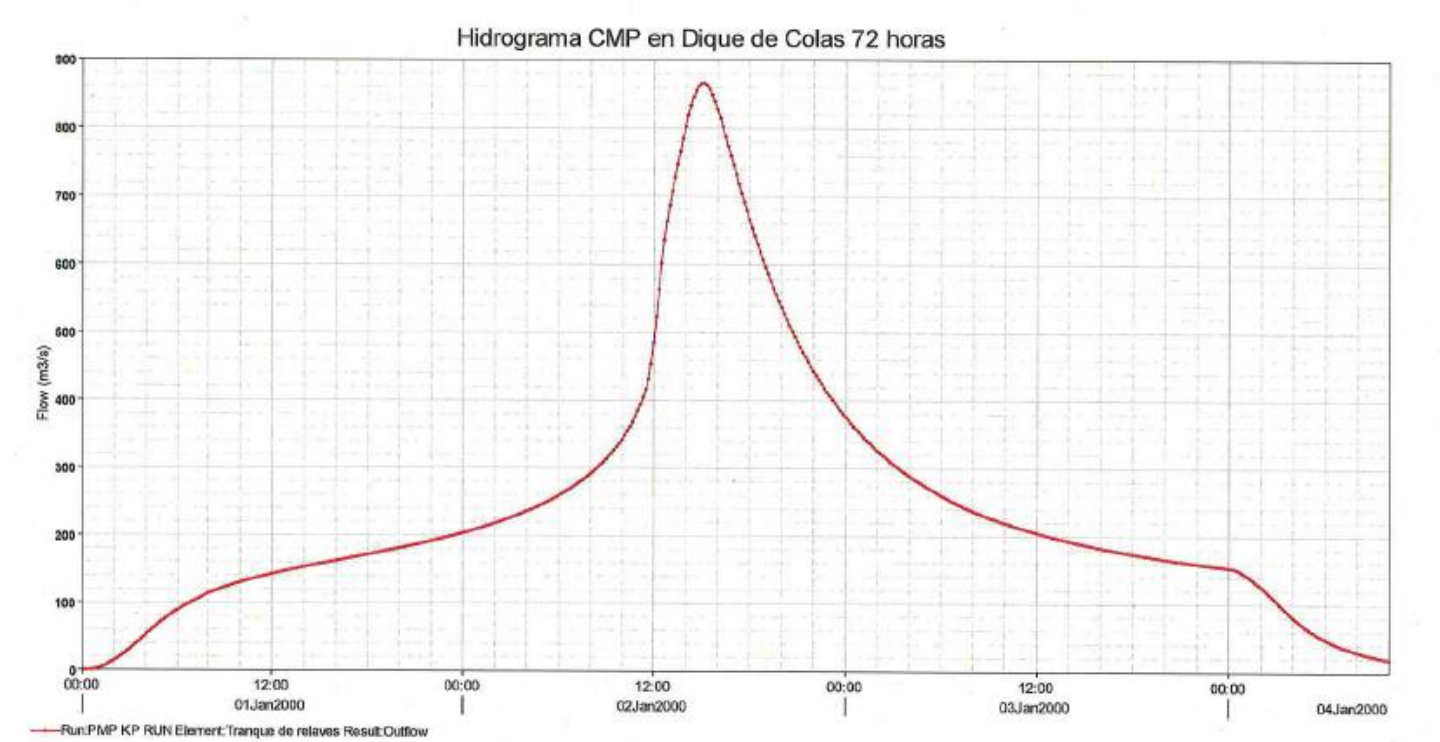
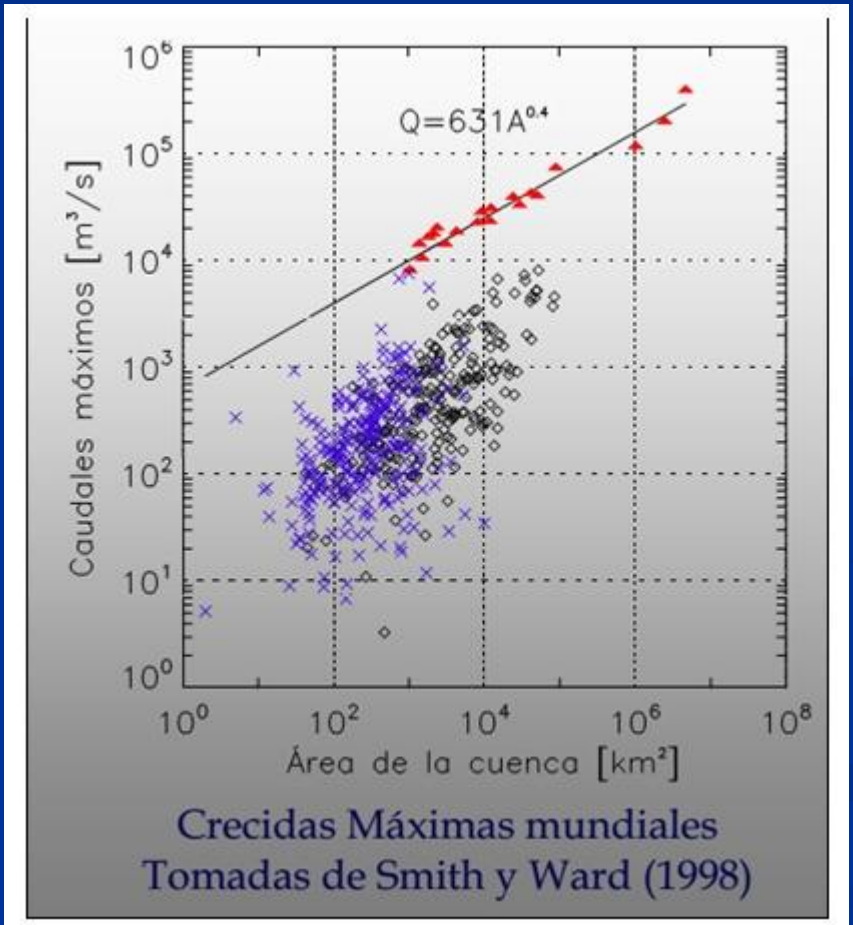


Ilustración 3.5-5 Hidrogramas de Crecida para la CMP en el TMS. Duración 72 horas

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

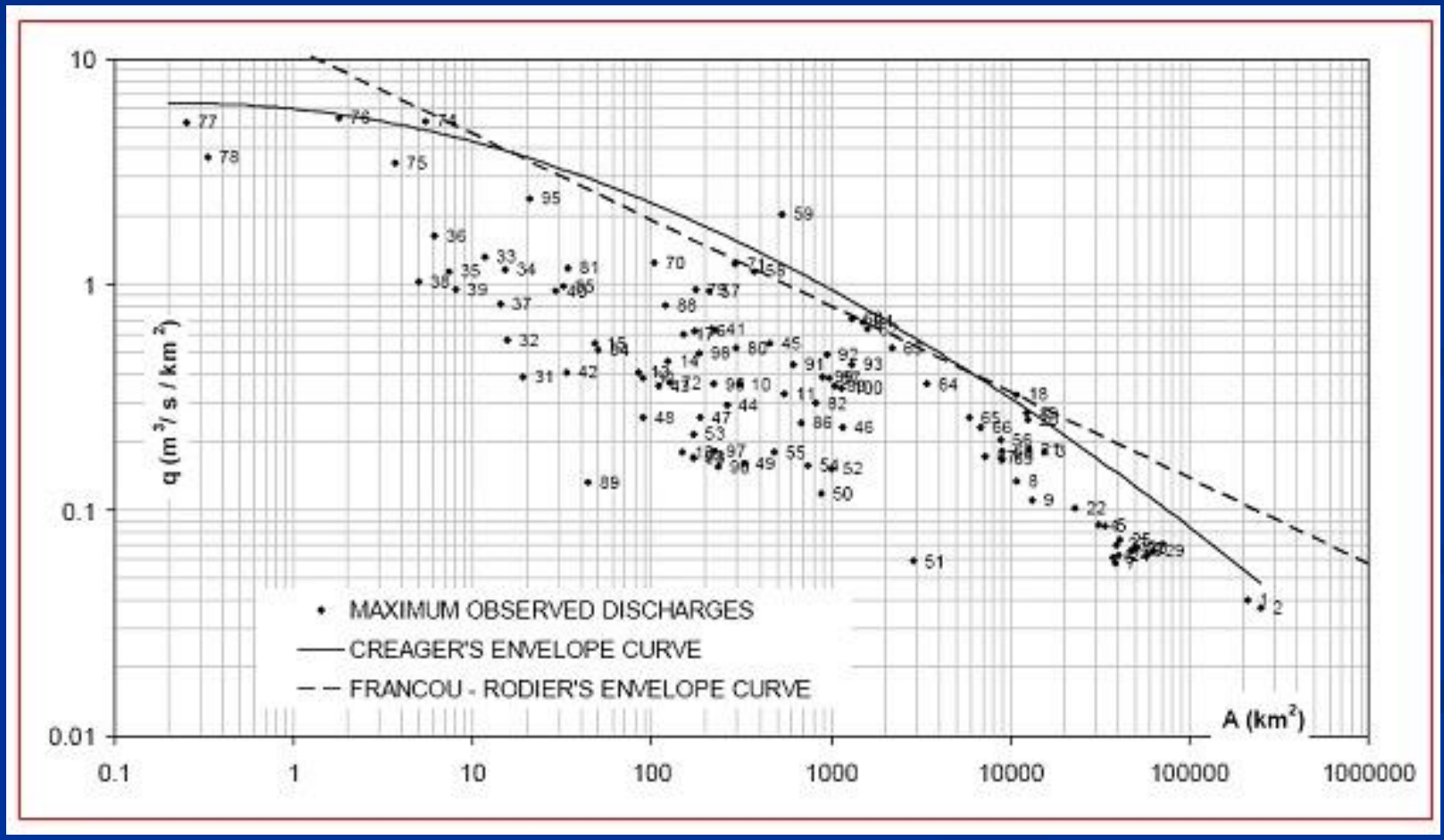
- CRECIDAS MÁXIMAS PROBABLES EN EL MUNDO



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- CRECIDAS MÁXIMAS PROBABLES EN EL MUNDO



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

- VOLÚMEN DE AGUA DE CRECIDA EN EL DIQUE
- CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL DIQUE

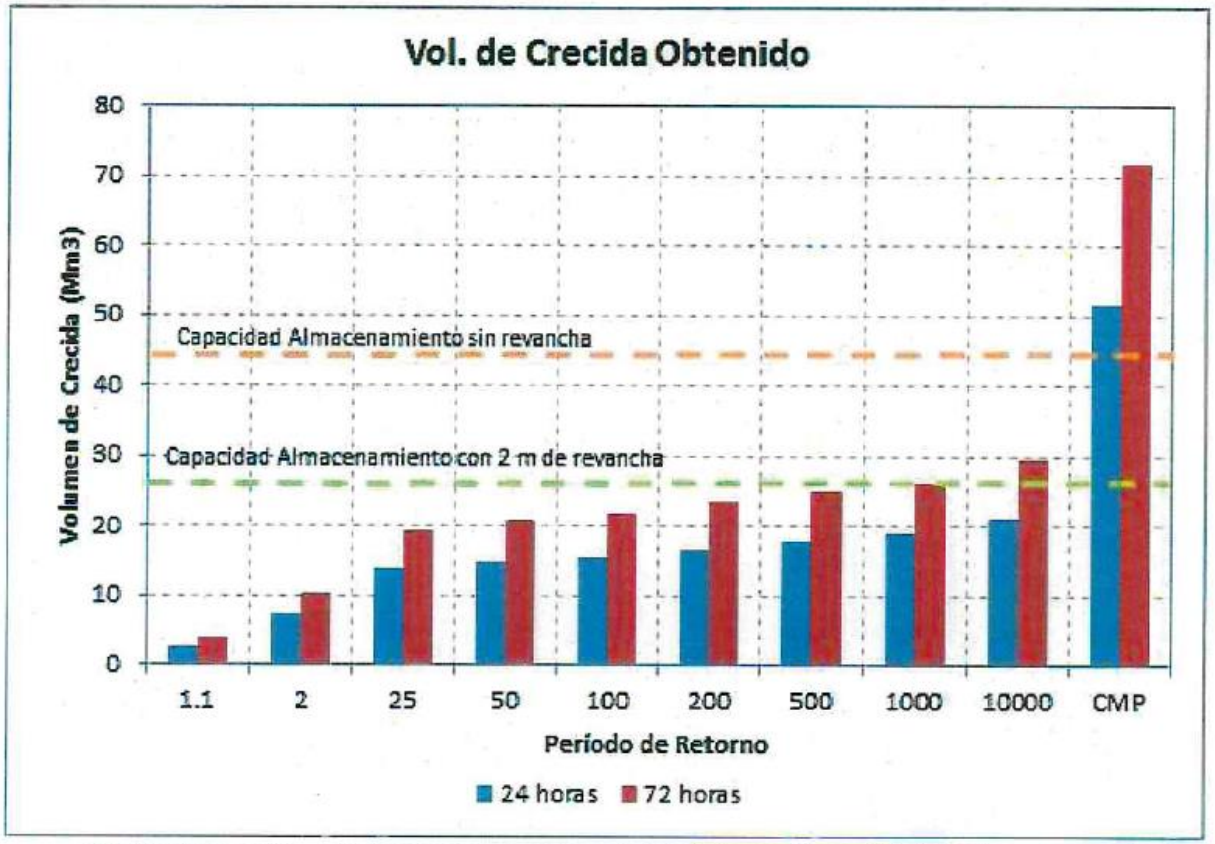
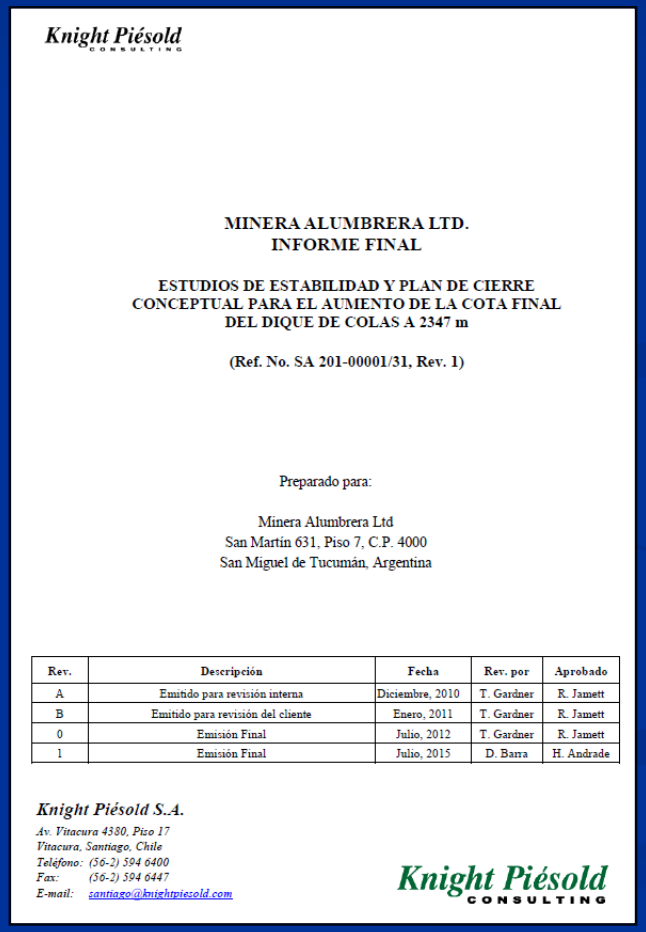


Ilustración 3.6-1 Volumen que ingresa al TMS v/s su Capacidad de Almacenamiento

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO (Informe SA201-00001/31 – Rev. 1 de Knight Piésold - Julio 2015)



Knight Piésold
CONSULTING

MINERA ALUMBRERA LTD.
INFORME FINAL

ESTUDIOS DE ESTABILIDAD Y PLAN DE CIERRE CONCEPTUAL PARA EL AUMENTO DE LA COTA FINAL DEL DIQUE DE COLAS A 2347 m

(Ref. No. SA 201-00001/31, Rev. 1)

Preparado para:

Minera Alumbrera Ltd
San Martín 631, Piso 7, C.P. 4000
San Miguel de Tucumán, Argentina

Rev.	Descripción	Fecha	Rev. por	Aprobado
A	Emitido para revisión interna	Diciembre, 2010	T. Gardner	R. Jamett
B	Emitido para revisión del cliente	Enero, 2011	T. Gardner	R. Jamett
0	Emisión Final	Julio, 2012	T. Gardner	R. Jamett
1	Emisión Final	Julio, 2015	D. Barra	H. Andrade

Knight Piésold S.A.
Av. Vitacura 4380, Piso 17
Vitacura, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 594 6400
Fax: (56-2) 594 6447
E-mail: santiago@knightpiesold.com

Knight Piésold
CONSULTING

2 – VERTEDERO

Ubicación del Vertedero y del Canal de Desvío

Canal de 20 metros de ancho y pendiente del 5 %

2 - VERTEDERO

Fotos de la quebrada donde descargará el Vertedero

Margen Izquierda

Centro de la Quebrada hacia el Sur

Margen Derecha

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

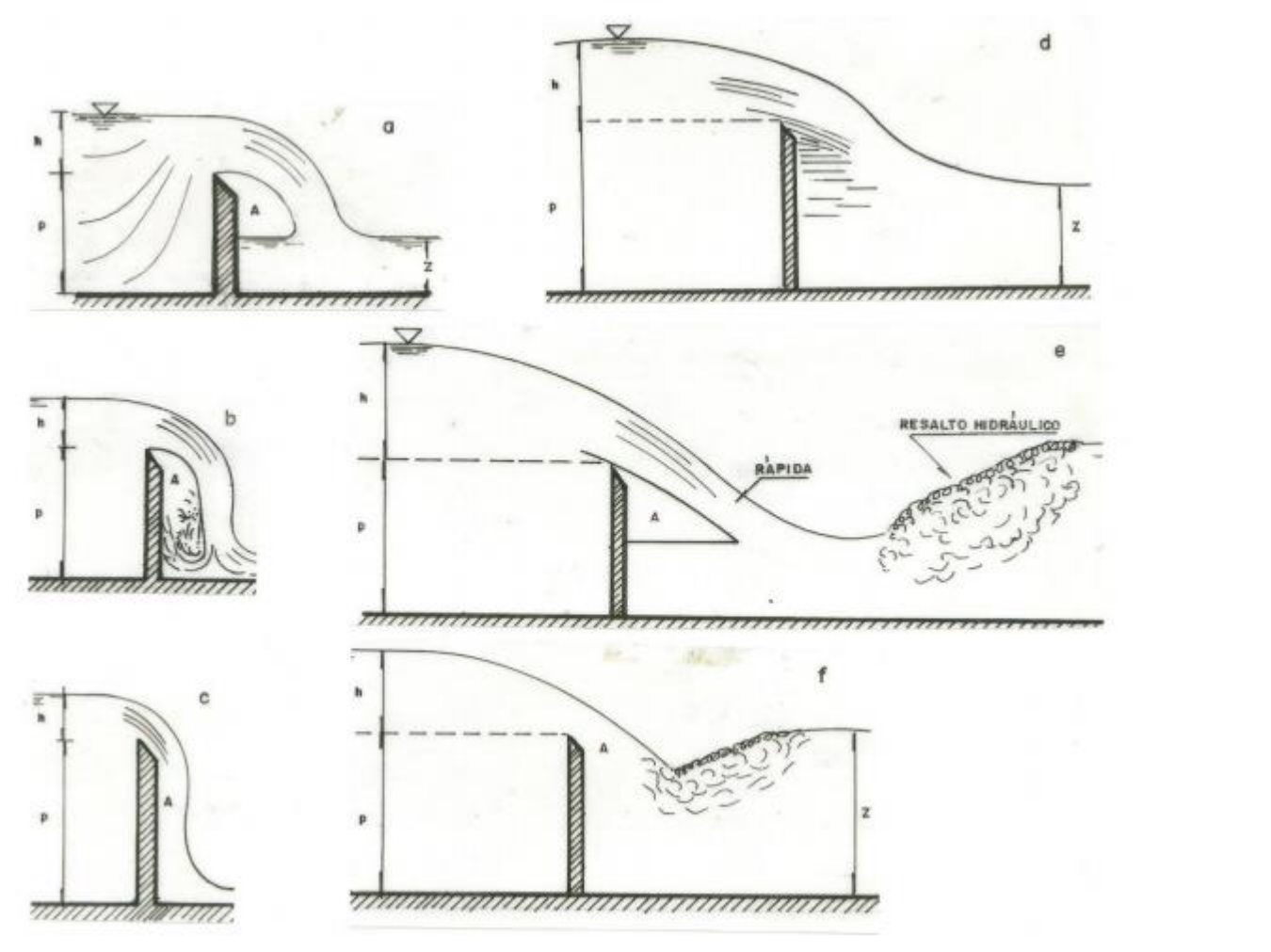
2 – VERTEDERO

• En la determinación del caudal de diseño del vertedero (punto 5.2 Informe) se ha tenido en cuenta el efecto de regulación en el embalse. Se considera que dicho efecto debería ser despreciado por varios motivos; entre otros, es probable que de acuerdo con los procesos de erosión y arrastre de sedimentos que se registran en la zona, se produzca una eventual acumulación de sedimentos a lo largo de los años previos a la aparición de la CMP. Estos aportes le quitarían (o eventualmente agotarían) capacidad de almacenamiento al embalse. Por otra parte, es lógico suponer que la CMP no se producirá en forma “aislada”, es decir que lo hará en un proceso húmedo que sería capaz de proveer volúmenes de agua capaces de colmatar el lago con anterioridad al arribo del pico de crecida.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

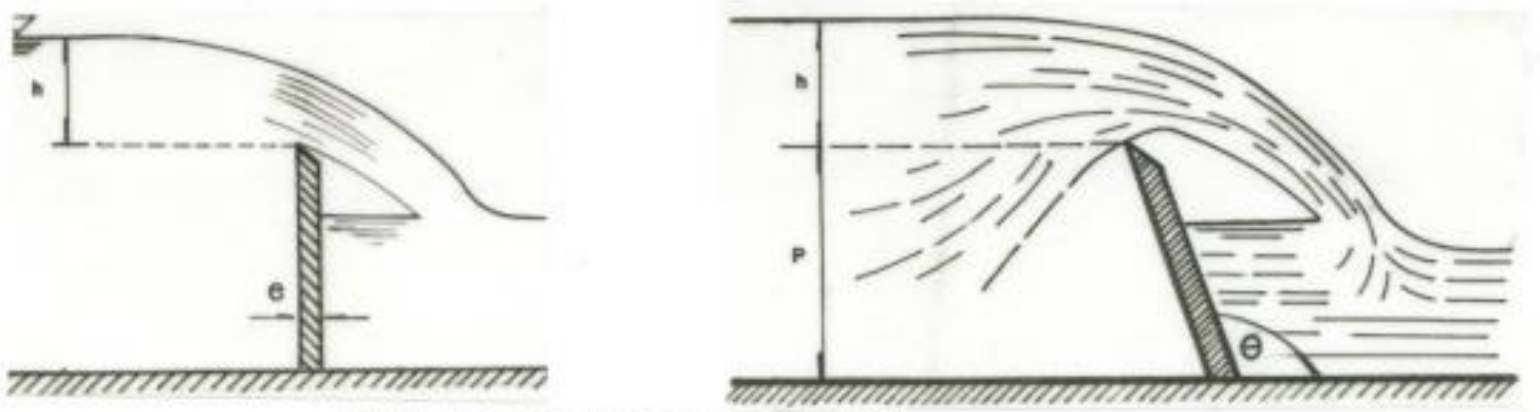
- Tipos de Vertederos



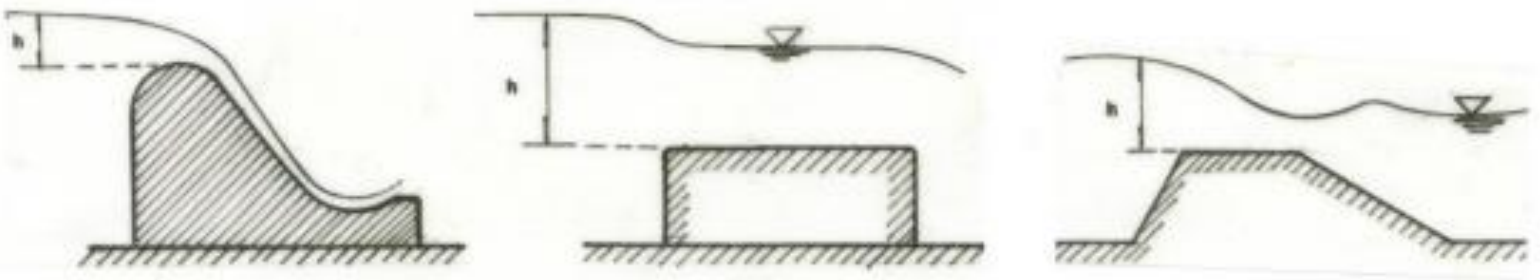
INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

- Tipos de Vertederos



a. Vertederos de pared delgada



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

- Ecuación de Caudal sobre un Vertedero

$$Q = C_d\, b \int_0^h \left(\sqrt{2gy + v_0^{\,2}} \right) dy$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d\, b \sqrt{2g}\, h^{3/2}$$

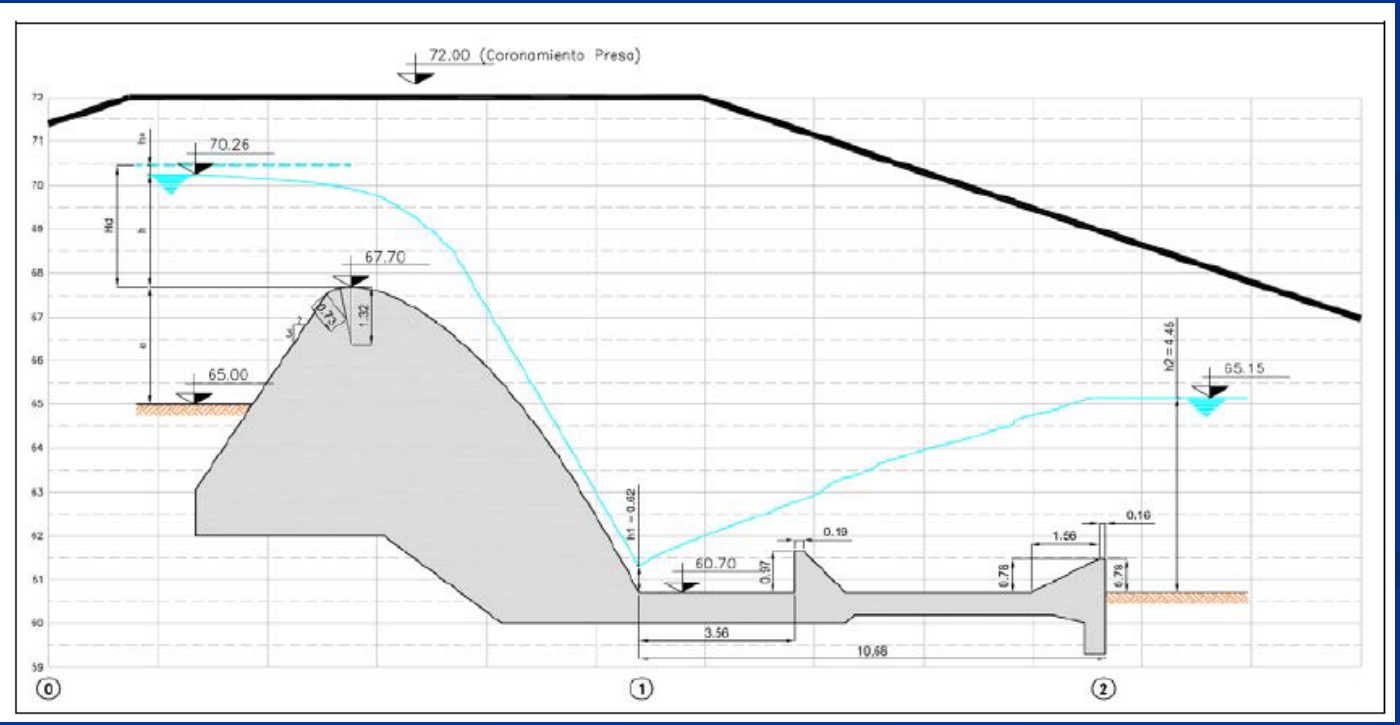
$$Q = C_w . L . h^{3/2}$$

Con un QCMP de 1080 m3/s; una H de 2.00 m y un Cw de 2.0, la Longitud debería ser de aproximadamente 200 metros

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

- Se deberá realizar un cálculo hidráulico completo del Vertedero y de las obras complementarias.
- Se deberá modelar mediante un modelo matemático hidrodinámico el funcionamiento hidráulico del Vertedero y las mencionadas obras complementarias como el canal de desvío.



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

- El perfil del vertedero Creager.

$$\frac{Y}{H_d} = -k \times \left(\frac{X}{H_d} \right)^n$$

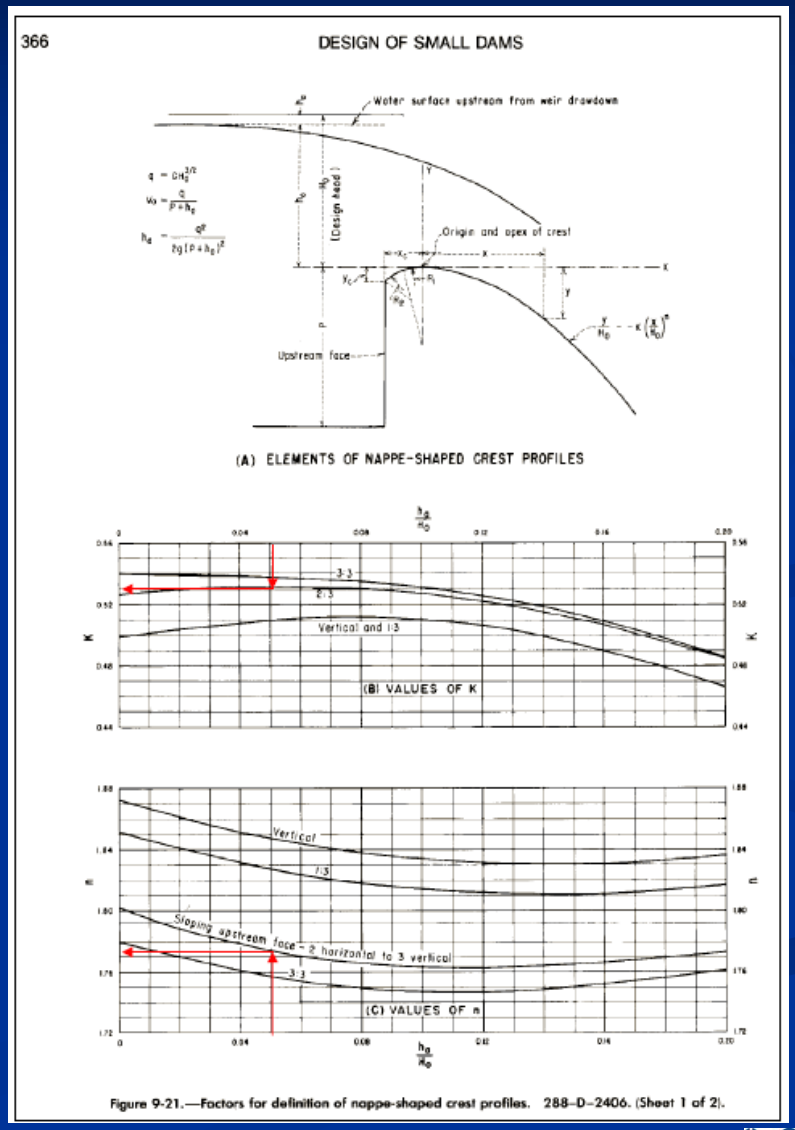


Figure 9-21.—Factors for definition of nappe-shaped crest profiles. 288-D-2406. (Sheet 1 of 2).

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

- El perfil del vertedero Creager.

$$\frac{Y}{H_d} = -k \times \left(\frac{X}{H_d} \right)^n$$

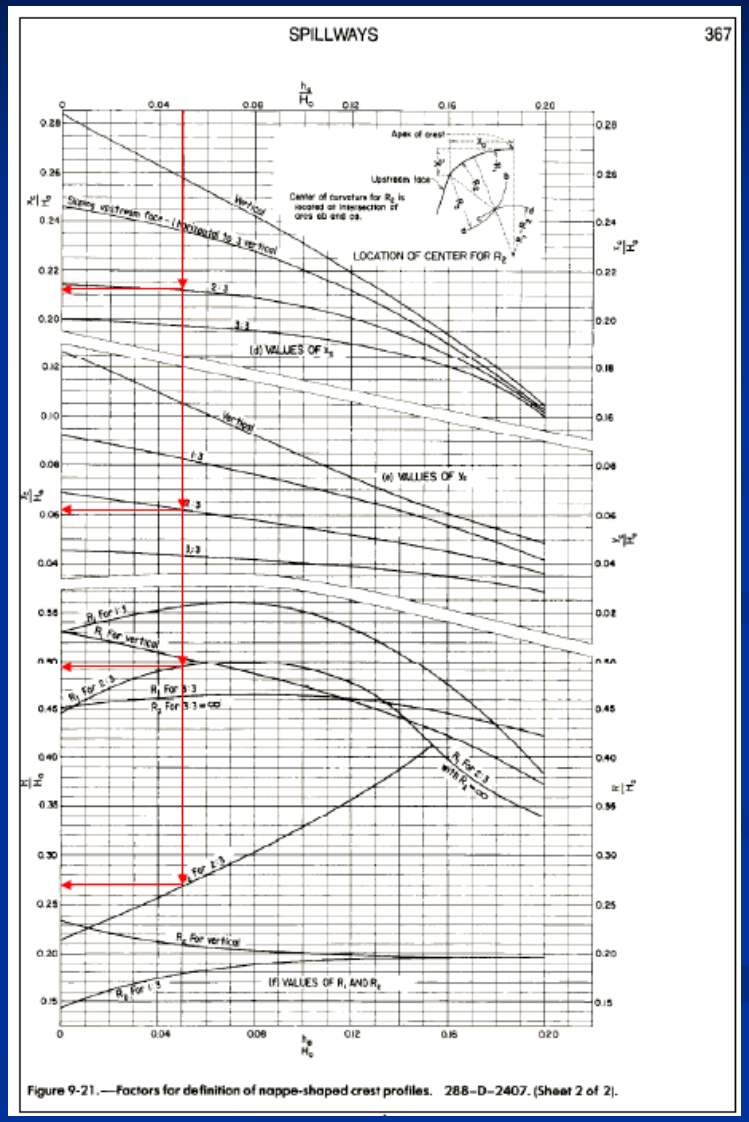


Figure 9-21.—Factors for definition of nappe-shaped crest profiles. 288-D-2407. (Sheet 2 of 2).

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

- Diseño del Disipador de Energía.

$$z_0 + a + h + h_a = z_1 + h_1 + \frac{U_1^2}{2 \times g}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2 \times g \times (a+h)^2}$$

$$F_1 = \frac{U_1}{\sqrt{g \times h_1}}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \times \left(\sqrt{1 + 8 \times F_1^2} - 1 \right)$$

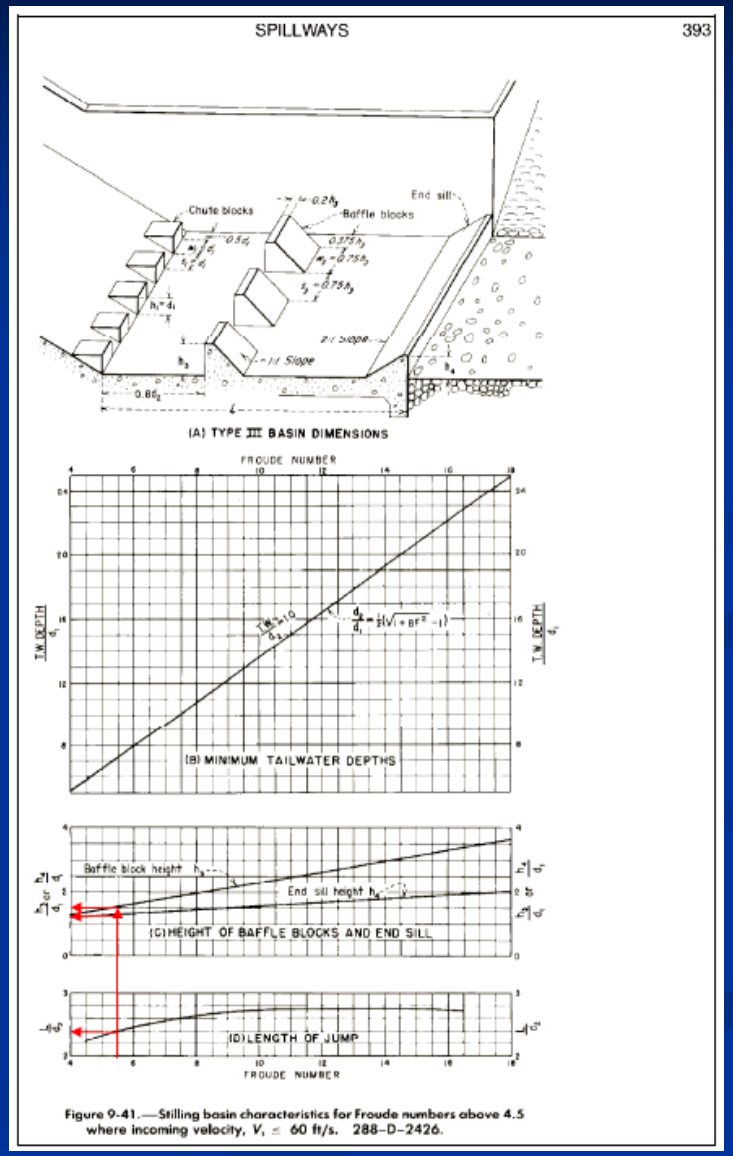


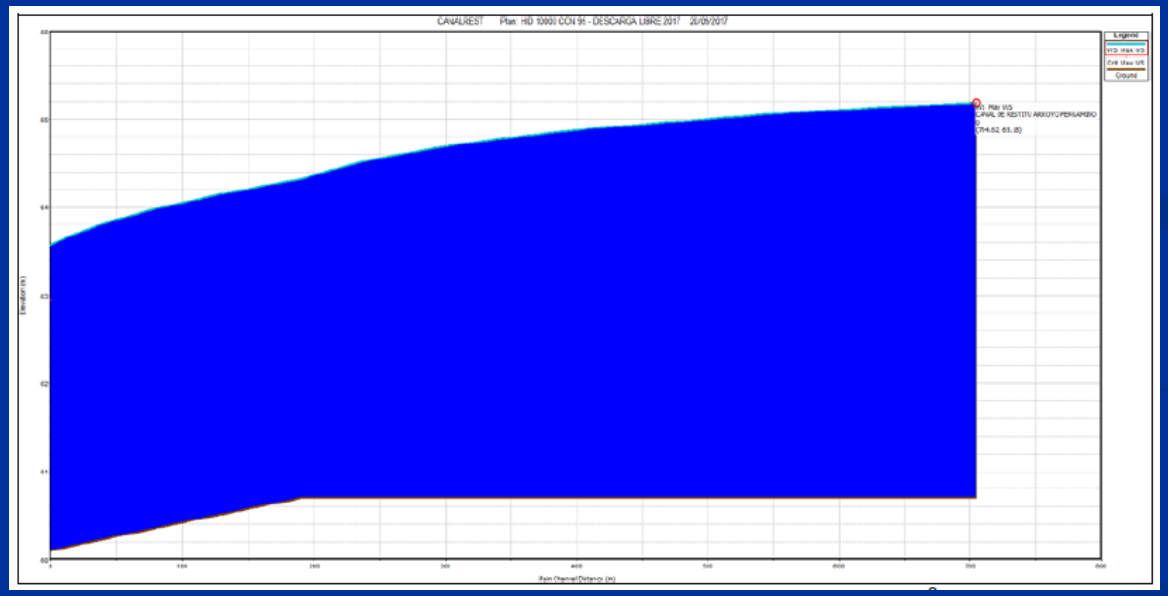
Figure 9-41.—Stilling basin characteristics for Froude numbers above 4.5 where incoming velocity, $V_1 \leq 60$ ft/s. 288-D-2426.

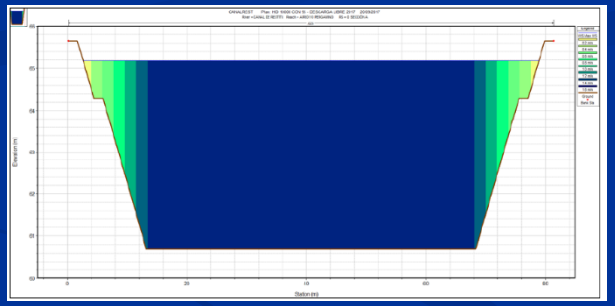
INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

2 – VERTEDERO

- Diseño del Canal de Restitución.

Se deberá realizar la modelación hidrodinámica del Canal de Restitución.

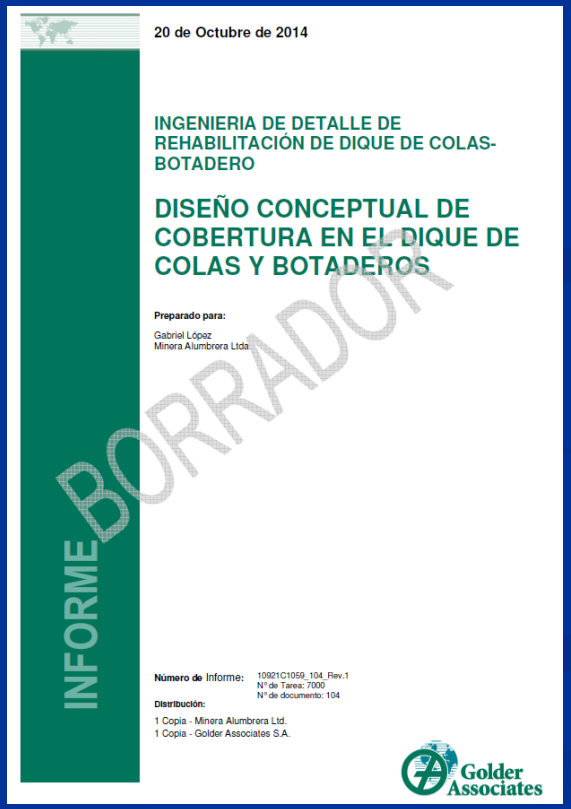




INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

3 – MATERIAL DE COBERTURA

Informe ***"MINERA ALUMBRERA - DISEÑO CONCEPTUAL DE COBERTURAS EN EL DIQUE DE COLAS Y BOTADEROS (N° de informe: 10921C1059_104_Rev. 1)", emitido por Golder Associates el 20 de octubre de 2014.***



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica
3 – MATERIAL DE COBERTURA

• En el punto "1.0 INTRODUCCIÓN" del Documento, se señala:
*"Golder desarrolló el diseño de ingeniería del Dique de Colas y botaderos a un nivel **conceptual**, puesto que la información disponible no hace posible un nivel de desarrollo más avanzado."*
No obstante lo expuesto en el párrafo anterior, en el documento se definen espesores y materiales de cobertura, los que deberían ser **verificados** a partir de **nueva información**.

• En el mencionado Informe se señala *"las obras de manejo de aguas ubicadas en la superficie del dique, salvo el vertedero, tendrán un propósito de funcionamiento y mantención "temporal", mientras se llena la cubeta del dique con sedimentos"*.
Es importante destacar en este punto que se debe mencionar un trabajo importante de mantenimiento de los canales perimetrales y de manejo de la escorrentía a fin de evitar que los mismos se obturen

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

3 – MATERIAL DE COBERTURA

• En el Punto “3.2 Resultados pruebas de coberturas” se indica que todas las coberturas fueron diseñadas bajo el concepto de almacenaje-evaporación.
Se señala la necesidad de verificar la aplicabilidad de este método en la zona de la mina y para superficies tan extensas. En particular, se presentan dudas sobre la eficiencia del método y sería conveniente analizar otro tipo de solución a fin de efectuar una comparación técnico – económica que permita ser concluyente.

• En el Punto “3.3 Simulación de alternativas” se indican los porcentajes de infiltración considerados en los modelos realizados. Los mismos no se encuentran justificados. Se debería indicar de dónde surgen dichos valores y si se ha considerado variabilidad de acuerdo con los períodos de precipitación considerados (medios e intensos).

• No se encuentran debidamente justificadas las diferencias en el diseño (sobre todo en lo que respecta a espesores de cobertura) entre las zonas horizontales, en el Muro del Dique y en los taludes, por otra parte llama la atención que las zonas horizontales tengan menores espesores de cobertura que la zonas con fuerte pendiente.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

3 – MATERIAL DE COBERTURA

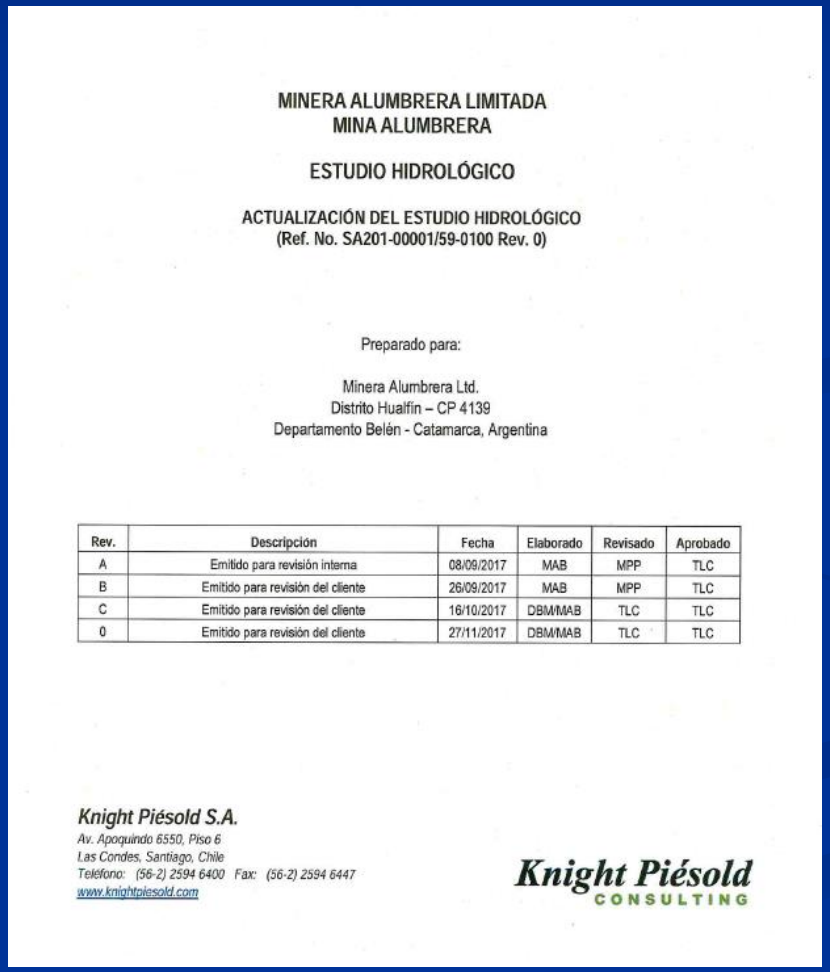
-Este punto es muy importante en lo que se refiere a la efectividad de los canales para captar de manera correcta el agua de lluvia provenientes de las cuencas superiores, el manejo del mismo, la posibilidad o no de que se colmaten, etc. Por lo que se recomienda se efectúe una correcta modelación hidráulica del sistema de captaciones, canales, etc, que represente de manera efectiva el diseño hidráulico del sistema.

- Es importante destacar que se deberán realizar tareas de mantenimiento luego del paso de tormentas de desarrollo importantes.

- El valor final que resulta del estudio hidrológico e hidráulico del Material de Cobertura es el espesor necesario para el cual, frente a una lluvia de un determinado periodo de recurrencia, la escorrentía superficial sobre la misma no genera erosiones de profundidades mayores al espesor de la cobertura.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica
4 – EROSIÓN HÍDRICA

Informe SA201-00001/59-0100 – Rev. 0 de Knight Piésold (Noviembre 2017) – CÁLCULO DEL CAUDAL SÓLIDO



MINERA ALUMBRERA LIMITADA
MINA ALUMBRERA

ESTUDIO HIDROLÓGICO

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO
(Ref. No. SA201-00001/59-0100 Rev. 0)

Preparado para:

Minera Alumbrera Ltd.
Distrito Hualfín – CP 4139
Departamento Belén - Catamarca, Argentina

Rev.	Descripción	Fecha	Elaborado	Revisado	Aprobado
A	Emitido para revisión interna	08/09/2017	MAB	MPP	TLC
B	Emitido para revisión del cliente	26/09/2017	MAB	MPP	TLC
C	Emitido para revisión del cliente	16/10/2017	DBM/MAB	TLC	TLC
0	Emitido para revisión del cliente	27/11/2017	DBM/MAB	TLC	TLC

Knight Piésold S.A.
Av. Apoquindo 6550, Piso 6
Las Condes, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 2594 6400 Fax: (56-2) 2594 6447
www.knightpiesold.com

Knight Piésold CONSULTING

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

4 – EROSIÓN HÍDRICA

- Se realizó en el mencionado Informe un análisis de Arrastre de Sedimentos para una Recurrencia de 25 Años.
- Cauce Tributarios que originalmente pertenecían al río Vis Vis.
- Se modelo el sistema con el modelo hidrodinámico Hec-Ras.
- Se obtuvieron parámetros hidráulicos como tirante, velocidad media, etc.
- El caudal sólido fue obtenido mediante la aplicación de las fórmulas de Van Rijn y Meyer Peter Müller:

$$q_b = 0{,}005 \cdot \bar{v} \cdot h \cdot \left[\frac{\bar{v} - v_c}{\sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_{50}}}\right]^{2,4} \cdot \left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{1,2}$$

Van Rijn

$$m_{sf} = 40[\gamma\, R_H\, J - 0{,}047\, d_{50}(\gamma_s - \gamma)\,]^{3/2}$$

Meyer - Peter Müller

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

4 – EROSIÓN HÍDRICA

- Resultados de Volúmenes de Sólidos por SubCuenca – Van Rijn

Cuadro 3.7-1 Volumen de Sedimentos Obtenidos con Metodología Van Rijn – Tormentas de 24 horas de Duración

Sub Cuenca	s (T/m³)	d_{50} (m)	α (rad)	v (m/s)	h (m)	L (m)	v_c (m/s)	q_b (m²/s)	Q_b (m³/s)	V (m³)
3A	2,65	0,0025	0,065	4,53	0,83	5,16	0,24	0,027	0,141	12.215
3B	2,65	0,0017	0,065	3,72	0,44	7,94	0,20	0,016	0,126	10.916
6	2,65	0,0049	0,072	4,4	0,6	4,52	0,34	0,025	0,113	9.729
7A	2,65	0,0026	0,045	3,03	0,73	5,6	0,25	0,007	0,037	3.221
7B	2,65	0,0018	0,045	5,56	1,81	13,91	0,21	0,049	0,682	58.949

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 3.7-2 Volumen de Sedimentos Obtenidos con Metodología Van Rijn – Tormentas de 72 horas de Duración

Sub Cuenca	s (T/m³)	d_{50} (m)	α (rad)	v (m/s)	h (m)	L (m)	v_c (m/s)	q_b (m²/s)	Q_b (m³/s)	V (m³)
3A	2,65	0,0025	0,065	4,56	0,84	5,16	0,24	0,028	0,144	37.338
3B	2,65	0,0017	0,065	3,73	0,45	7,94	0,20	0,016	0,127	32.951
6	2,65	0,0049	0,072	4,81	0,70	4,52	0,34	0,033	0,150	38.935
7A	2,65	0,0026	0,045	3,03	0,73	5,6	0,25	0,007	0,037	9.664
7B	2,65	0,0018	0,045	4,51	1,33	13,91	0,21	0,025	0,348	90.304

Fuente: Elaboración Propia.

IATASA INGENIERÍA

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

4 – EROSIÓN HÍDRICA

- Resultados de Volúmenes de Sólidos por SubCuenca – Meyer – Peter Müller

Cuadro 3.7-3 Volumen de Sedimentos Obtenidos con Metodología Meyer-Peter Müller – Tormentas de 24 horas de Duración

Sub Cuenca	γ (T/m³)	R_h (m)	J	d_{50} (m)	γ_s (T/m³)	L (m)	m_{sf} (T/s)	M_{sf} (T/s)	Q_b (m³/s)	V (m³)
3A	1,00	0,49	0,065	0,0025	2,65	5,16	0,23	1,16	0,44	37.902
3B	1,00	0,37	0,065	0,0017	2,65	7,94	0,15	1,17	0,44	38.304
6	1,00	0,43	0,0724	0,0049	2,65	4,52	0,22	0,98	0,37	31.789
7A	1,00	0,35	0,045	0,0026	2,65	5,6	0,08	0,43	0,16	14.159
7B	1,00	0,88	0,045	0,0018	2,65	13,91	0,31	4,36	1,65	142.199

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 3.7-4 Volumen de Sedimentos Obtenidos con Metodología Meyer-Peter Müller – Tormentas de 72 horas de Duración

Sub Cuenca	γ (T/m³)	R_h (m)	J	d_{50} (m)	γ_s (T/m³)	L (m)	m_{sf} (T/s)	M_{sf} (T/s)	Q_b (m³/s)	V (m³)
3A	1,00	0,49	0,065	0,0025	2,65	5,16	0,23	1,20	0,45	39.019
3B	1,00	0,37	0,065	0,0017	2,65	7,94	0,15	1,17	0,44	38.304
6	1,00	0,43	0,0724	0,0049	2,65	4,52	0,26	1,19	0,45	38.757
7A	1,00	0,35	0,045	0,0026	2,65	5,6	0,08	0,43	0,16	14.159
7B	1,00	0,88	0,045	0,0018	2,65	13,91	0,19	2,70	1,02	88.019

Fuente: Elaboración Propia.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

4 – EROSIÓN HÍDRICA

- Conclusión del Análisis de Arrastre de Sedimentos:

Es importante notar la verificación que los volúmenes asociados a los sedimentos corresponden a dos órdenes de magnitud menor respecto a los volúmenes asociados a eventos de precipitación extremos, por lo que los sedimentos no influirían de forma considerable en la capacidad de almacenaje del Dique de Colas.

- Se deberá presentar el modelo Hec-Ras utilizado.
-Se incluirá en la memoria técnica los resultados numéricos y gráficos obtenidos de las salidas de la modelación efectuada con el mencionado modelo hidrodinámico.

- Este estudio debe generar valores de caudales de sedimentos con el objetivo de dimensionar decantadores de sedimentos en los canales de la sistematización de las cuencas.

IATASA INGENIERÍA

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

La variable precipitación pluvial se caracteriza mediante tres parámetros:

- Altura de precipitación (P): es la lámina precipitada expresada, normalmente, en milímetros.
- Duración (d): intervalo de tiempo durante el cual se registra la máxima precipitación. Usualmente se expresa en minutos u horas.
- Recurrencia (TR): intervalo promedio de tiempo (años) en el que un evento es igualado o superado.

La recurrencia es la inversa de la probabilidad de excedencia de un determinado valor. Es decir, la probabilidad de que una variable cualquiera (x) supere un determinado valor (x1) de dicha variable resulta:

$$Px \geq x1 = 1/T_R$$

La probabilidad de que “x” sea menor o igual que un cierto valor “x1” es el complemento a uno de la probabilidad de que sea mayor a “x1” o sea:

$$Px \leq x1 = 1 – 1/T_R$$

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

Dado que estadísticamente la recurrencia se estima a partir de una muestra de valores máximos anuales de la variable en análisis, resulta que los valores analizados son independientes entre sí (provienen de diferentes tormentas). Al ser fenómenos independientes, la probabilidad compuesta de los mismos es igual al producto de las probabilidades individuales. Es decir que si se quiere estimar la probabilidad de que una determinada variable "x" sea menor a un determinado valor "x1" durante un cierto período de años "n", hay que multiplicar "n" veces el valor de la probabilidad de los valores menores o, lo que es lo mismo elevar dicha probabilidad a la "n":

$$Px \leq x1 = (1 - 1/T_R)^n$$

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

El diseño de estructuras para el control de agua incluye la consideración de riesgos. Una estructura para el control de agua puede fallar si la magnitud correspondiente al periodo de retorno de diseño T se excede durante la vida útil de la estructura. Este riesgo hidrológico de falla puede calcularse utilizando la ecuación (Ven Te Chos – Hidrología Aplicada):

$$\overline{R} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

R: Riesgo.
n: Vida Útil.
T: Período de Retorno.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

Riesgos para diferentes tiempos de recurrencia y años de vida útil en obras hidráulicas:

Tr (años)	n Vida Útil (años)	Riesgo (%)
25	50	87.0
100	50	39.5
1000	50	4.9
10000	100	1.0

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

Períodos de Retorno para el diseño de diferentes obras hidráulicas (Ven Te Chow):

TABLA 13.1.1
Criterios de diseño generalizados para estructuras de control de agua

Tipo de estructura	Período de retorno (años)	ELV
Alcantarillas de carreteras		
Volúmenes de tráfico bajos	5–10	–
Volúmenes de tráfico intermedios	10–25	–
Volúmenes de tráfico altos	50–100	–
Puentes de carreteras		
Sistema secundario	10–50	–
Sistema primario	50–100	–
Drenaje agrícola		
Culverts	5–50	–
Surcos	5–50	–
Drenaje urbano		
Alcantarillas en ciudades pequeñas	2–25	–
Alcantarillas en ciudades grandes	25–50	–
Aeropuertos		
Volúmenes bajos	5–10	–
Volúmenes intermedios	10–25	–
Volúmenes altos	50–100	–
Diques		
En fincas	2–50	–
Alrededor de ciudades	50–200	–
Presas con poca probabilidad de pérdidas de vidas (baja amenaza)		
Presas pequeñas	50–100	–
Presas intermedias	100+	–
Presas grandes	–	50–100%
Presas con probabilidad de pérdidas de vidas (amenaza significativa)		
Presas pequeñas	100+	50%
Presas intermedias	–	50–100%
Presas grandes	–	100%
Presas con probabilidad de altas pérdidas de vidas (alta amenaza)		
Presas pequeñas	–	50–100%
Presas intermedias	–	100%
Presas grandes	–	100%

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

En el proyecto de presas de tierra, cuya falla podría ocasionar graves trastornos, tales como pérdidas de vidas humanas, grandes daños materiales y/o ambientales, etc., se suele admitir un riesgo de sobrepaso muy bajo. Es decir que se diseñan las obras de alivio de forma tal de permitir el paso de una crecida muy poco probable a través de las mismas (orificios de fondo y vertedero). Lo usual es considerar una vida útil de la obra de 50 años (valor de "n" en la ecuación anterior) y una recurrencia de diseño de 10.000 años (valor de "TR" en dicha ecuación). Por lo que el riesgo admitido resulta:

$$\text{Riesgo} = 1 - (1 - 1/10.000)^{50} = 0.005$$ es decir 0.5%

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

¿Cuál es el riesgo de que en el estado actual se produzca una precipitación que genere una crecida con un volumen que llene el área destinada a embalse en un tiempo tal que no permita operar el sistema?

¿Cuál es el riesgo de que en un año cualquiera de los próximos cinco se produzca una precipitación que genere una crecida con un volumen que llene el área destinada a embalse en un tiempo tal que no permita operar el sistema?

¿La precipitación de qué recurrencia y duración debería ser considerada?

De acuerdo con lo señalado en el punto anterior el Riesgo queda definido a partir del tiempo (vida útil de la obra) y la recurrencia del evento considerado:

5 – CONCEPTOS SOBRE RIESGO HIDROLÓGICO

Períodos de Retorno para el Riesgo de 0.5 %

n (años)	Tr (años)	Riesgo (%)
1	200	0.5
5	1.000	0.5
15	3.000	0.5
50	10.000	0.5

Es decir que de acuerdo con el período de años (n) se deberá considerar un evento de recurrencia igual a la señalada en la tabla anterior, para mantener el Riesgo en 0.5%.

Como el Dique estará operativo por 10 Años antes del Cierre Definitivo, el Tiempo de Recurrencia que se deberá considerar para la Tormenta de Diseño, para que el Riesgo sea de 0.5 %, es de 2000 Años.

$$R = \{ 1 – (1 – 1/2000)^{10} \} * 100 = 0.5\ \%$$

6 – SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA

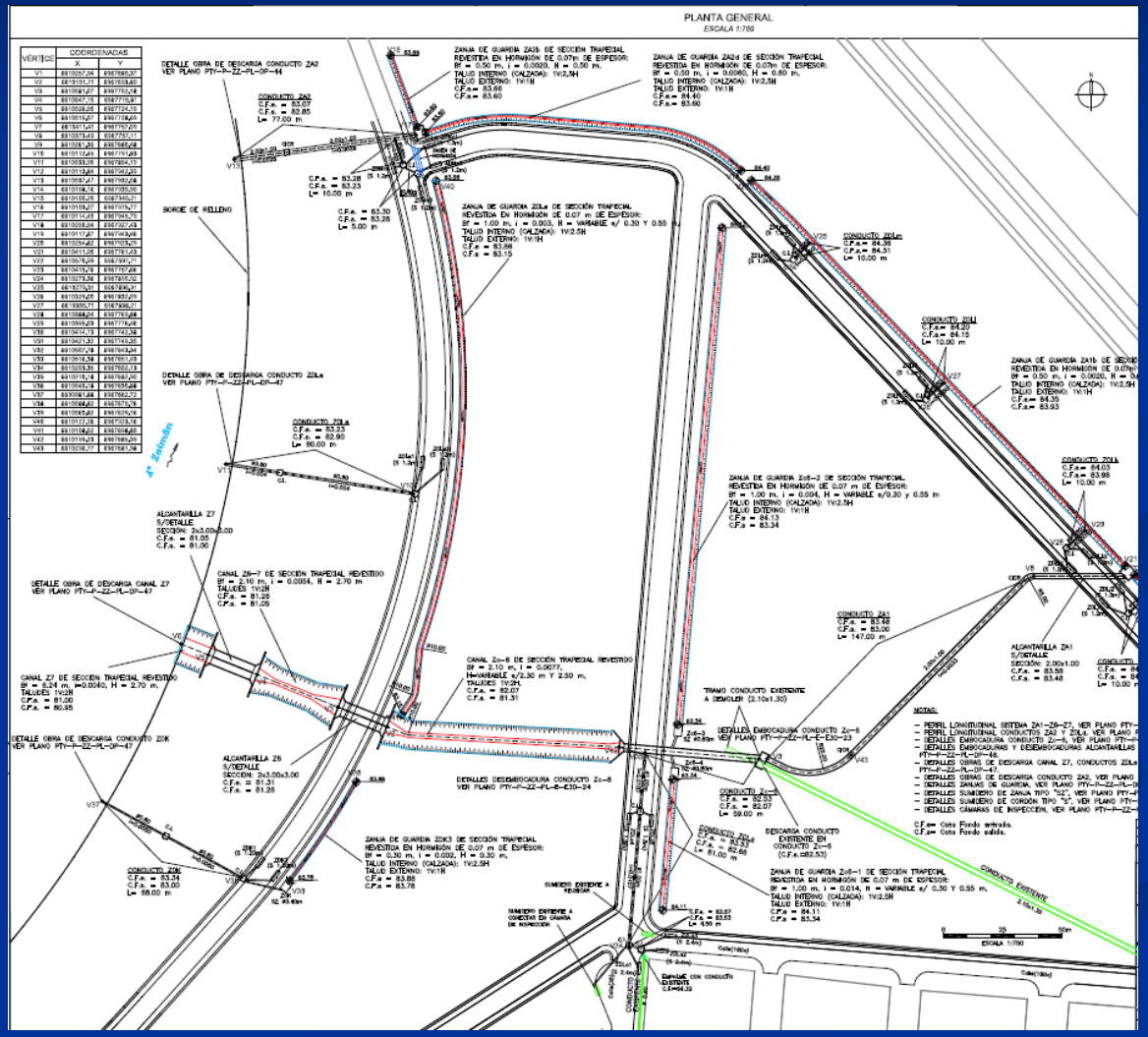
Es el diseño de obras hidráulicas (Canales, Conductos, Embocaduras, Vertederos, Orificios, etc) que tienen como objetivo conducir en forma ordenada los excesos superficiales (Recurrencia de Diseño)

Ejemplos de Sistematizaciones de Cuencas:

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

6 – SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA

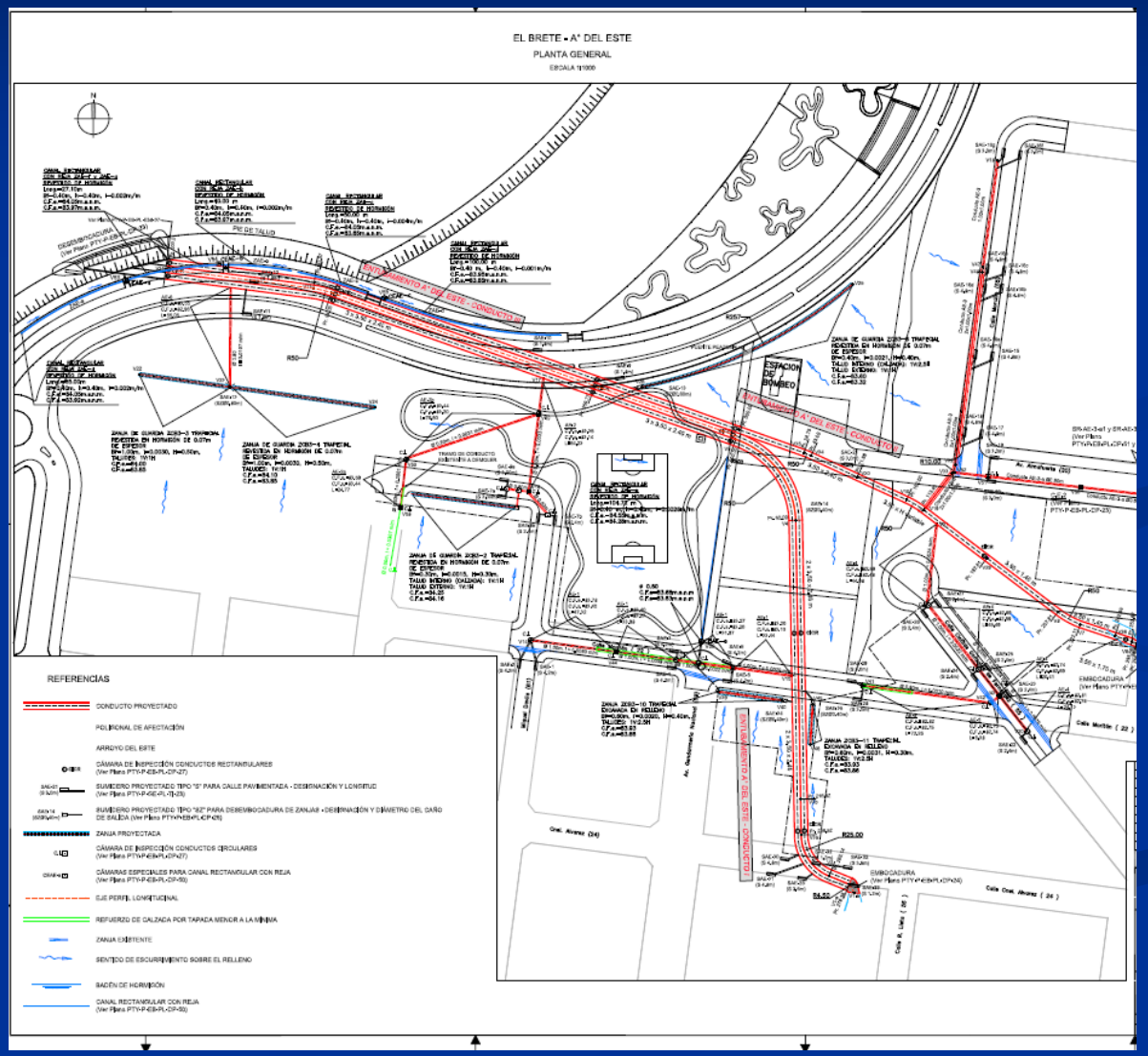
Yacyreta:



INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

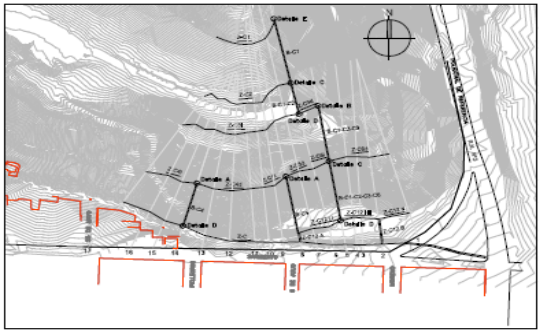
6 – SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA

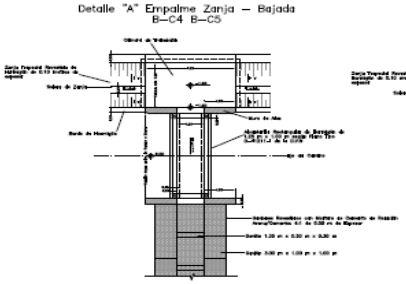
Yacyreta:

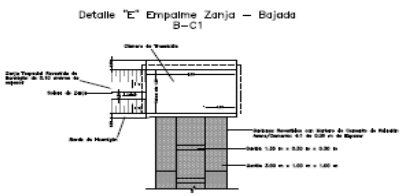


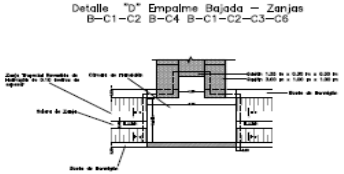
INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica
6 – SISTEMATIZACIÓN DE LA CUENCA

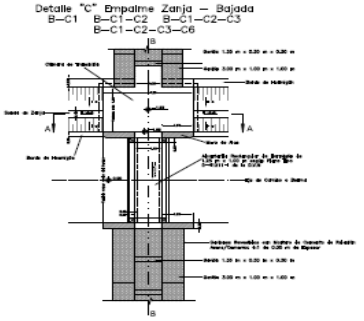
Cerro Chenque:

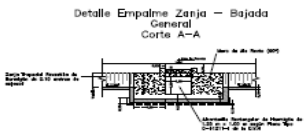


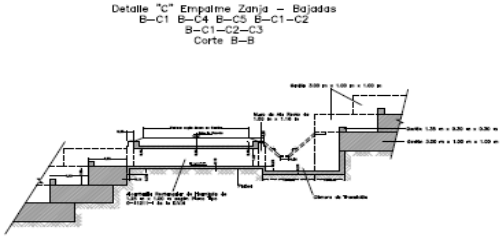


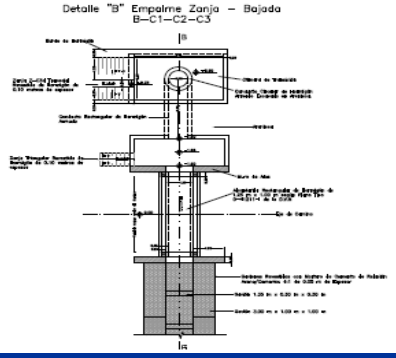


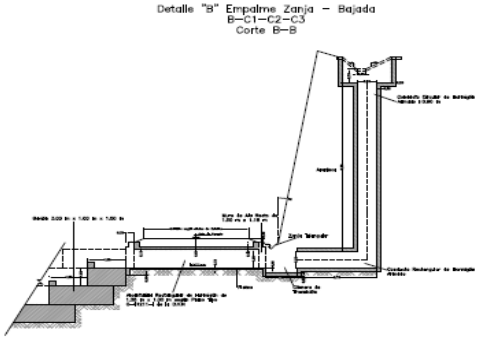


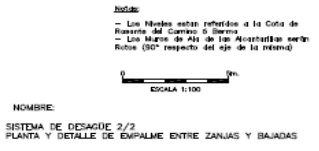












7 - CONCLUSIÓN

Es primordial definir de manera correcta y ordenada todos los parámetros y cálculos intervinientes en los estudios anteriores para poder realizar las obras necesarias para generar una correcta sistematización hidráulica del proceso de cierre del Dique.

Se deberá realizar un Proyecto Completo del Diseño Hidráulico del Vertedero y de sus Obras Complementarias, y de las Obras necesarias para la Sistematización de la Cuenca de Aporte al Dique de Colas.

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

7 - CONCLUSIÓN

PROYECTO EJECUTIVO OBRAS HIDRÁULICAS:

ESTUDIO HIDROLÓGICO:

1 – CAUDAL PICO DE DISEÑO DEL VERTEDERO
2 – VOLÚMEN MÁXIMO DE AGUA PARA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN EL DIQUE

INFORME FINAL
Hidrología e Hidráulica

7 - CONCLUSIÓN

PROYECTO EJECUTIVO OBRAS HIDRÁULICAS:

ESTUDIO HIDRÁULICO:

1 – MODELACIÓN HIDRODINÁMICA CANALES PERIMETRALES.
2 – CÁLCULO HIDRÁULICO DE SEDIMENTADORES.
3 – CÁLCULO DE SEDIMENTACIÓN DE LOS CANALES
4 – CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA EROSIÓN LAMINAR EN EL DIQUE.
5 – MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y CÁLUCLO DE LA LONGITUD DEL VERTEDERO Y DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS, DISIPADOR DE ENERGÍA, CANAL DE DESVÍO, CANAL DE RESTITUCIÓN, DISIPADOR DE ENERGÍA EN LA RESTITUCIÓN EN EL RÍO VIS VIS.

7 - CONCLUSIÓN

PROYECTO EJECUTIVO OBRAS HIDRÁULICAS:

- MEMORIA TÉCNICA
- MEMORIA DESCRIPTIVA
- PLANOS
- CÓMPUTO
- PRESUPUESTO
- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES
- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARTICULARES

GRACIAS

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA

ANALISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA

HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

PROVINCIA DE CATAMARCA

Informe Final y Capacitación

IATASA INGENIERÍA

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE GESTIÓN AMBIENTAL MINERA

ANALISIS DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DE CIERRE DEL DIQUE DE COLAS Y OBRAS ANEXAS QUE REALICE MINERA ALUMBRERA ESTABILIDAD QUÍMICA

PROVINCIA DE CATAMARCA

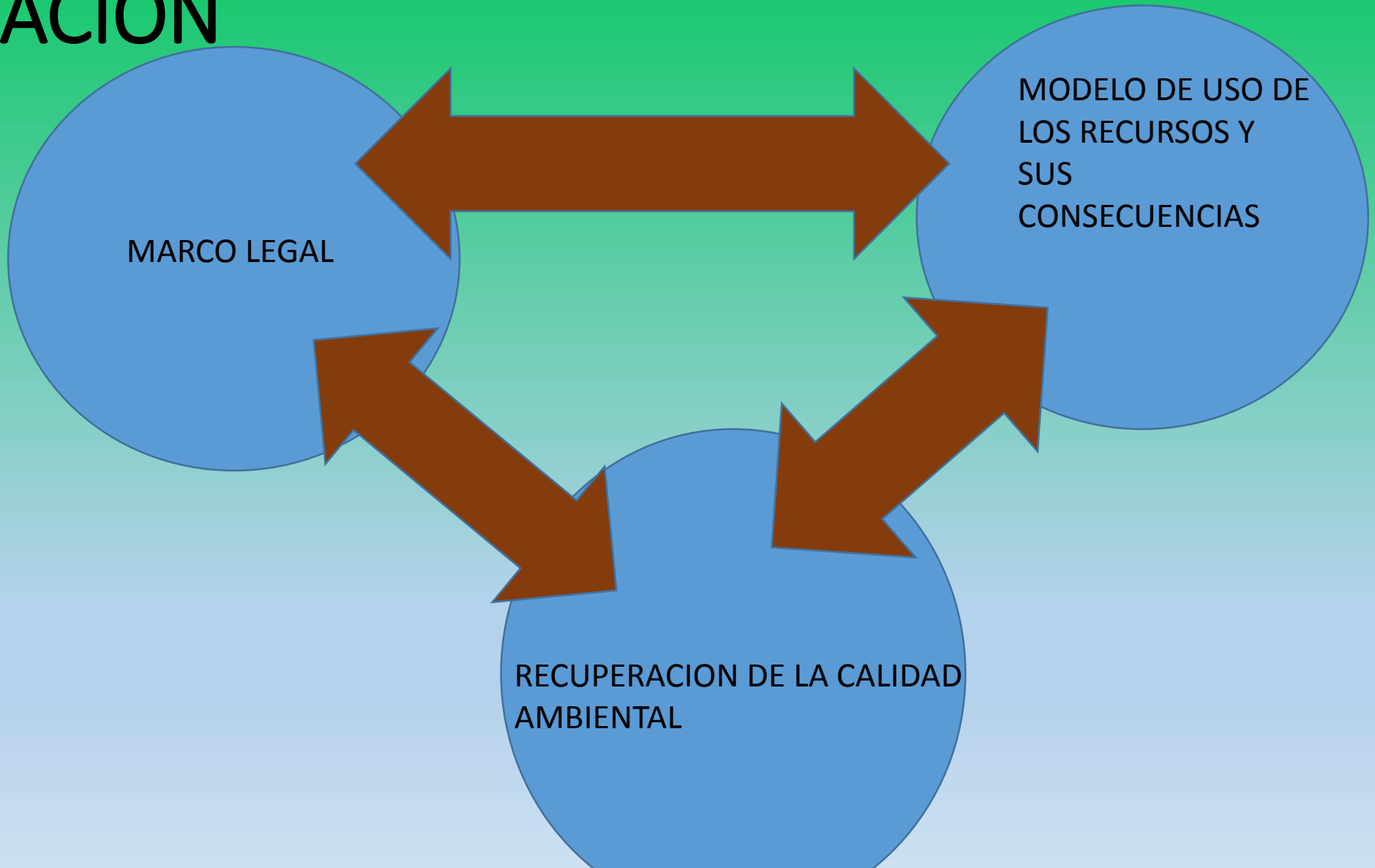
ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL, MATERIALES Y MÉTODOS DE TRABAJO PARA LA COBERTURA Y REVEGETACIÓN DEL DIQUE DE COLAS

SETIEMBRE DE 2018

ING. AGR. RICARDO PALOTTA

IATASA INGENIERÍA

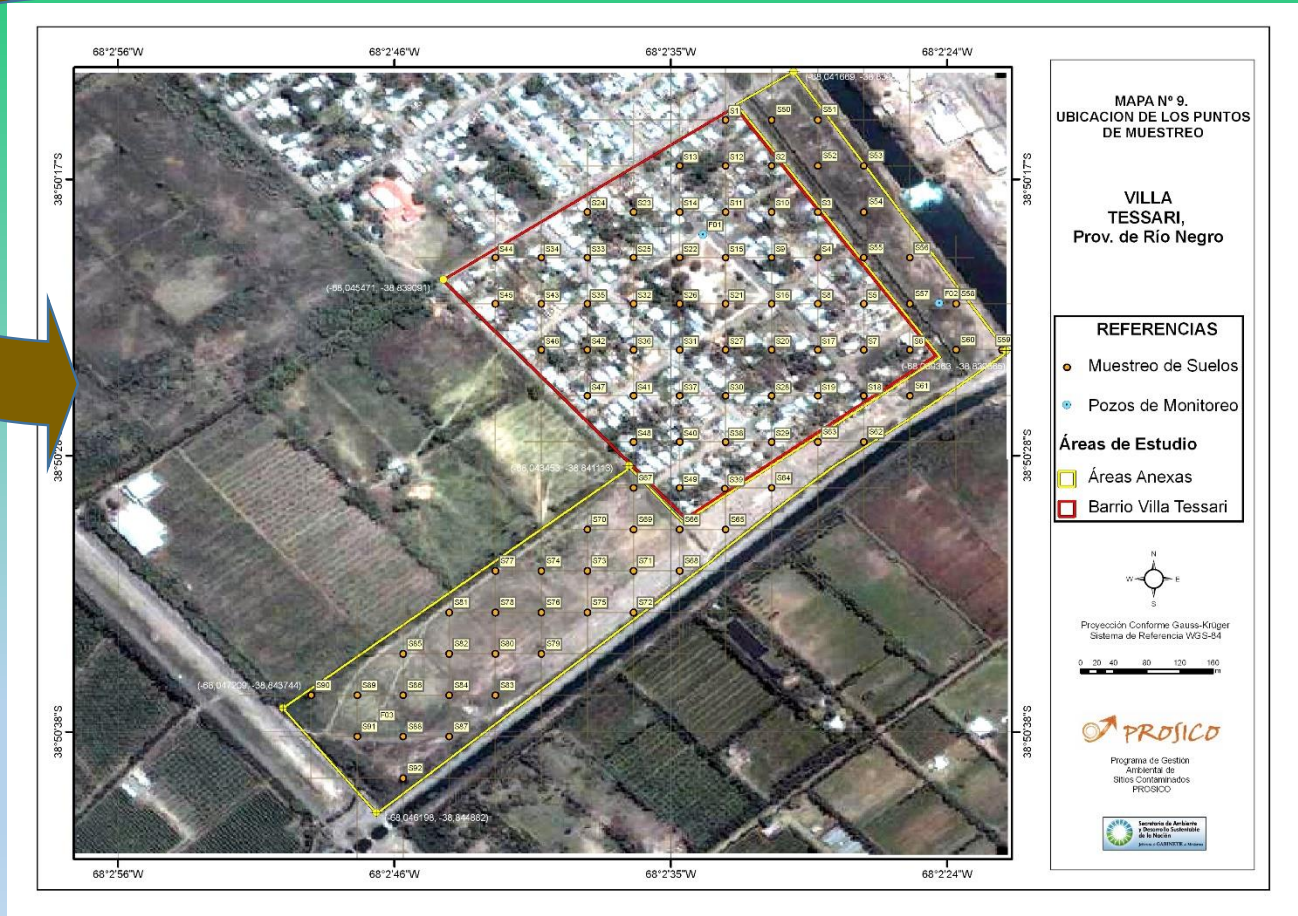
EL DETERIORO DEL AMBIENTE Y SU RESTAURACIÓN



LOS ORIGENES DE LA RELACIÓN HOMBRE - AMBIENTE

ACTIVIDAD HUMANA Y AMBIENTE
INDUSTRIA

AGRICULTURA Y URBANIZACION

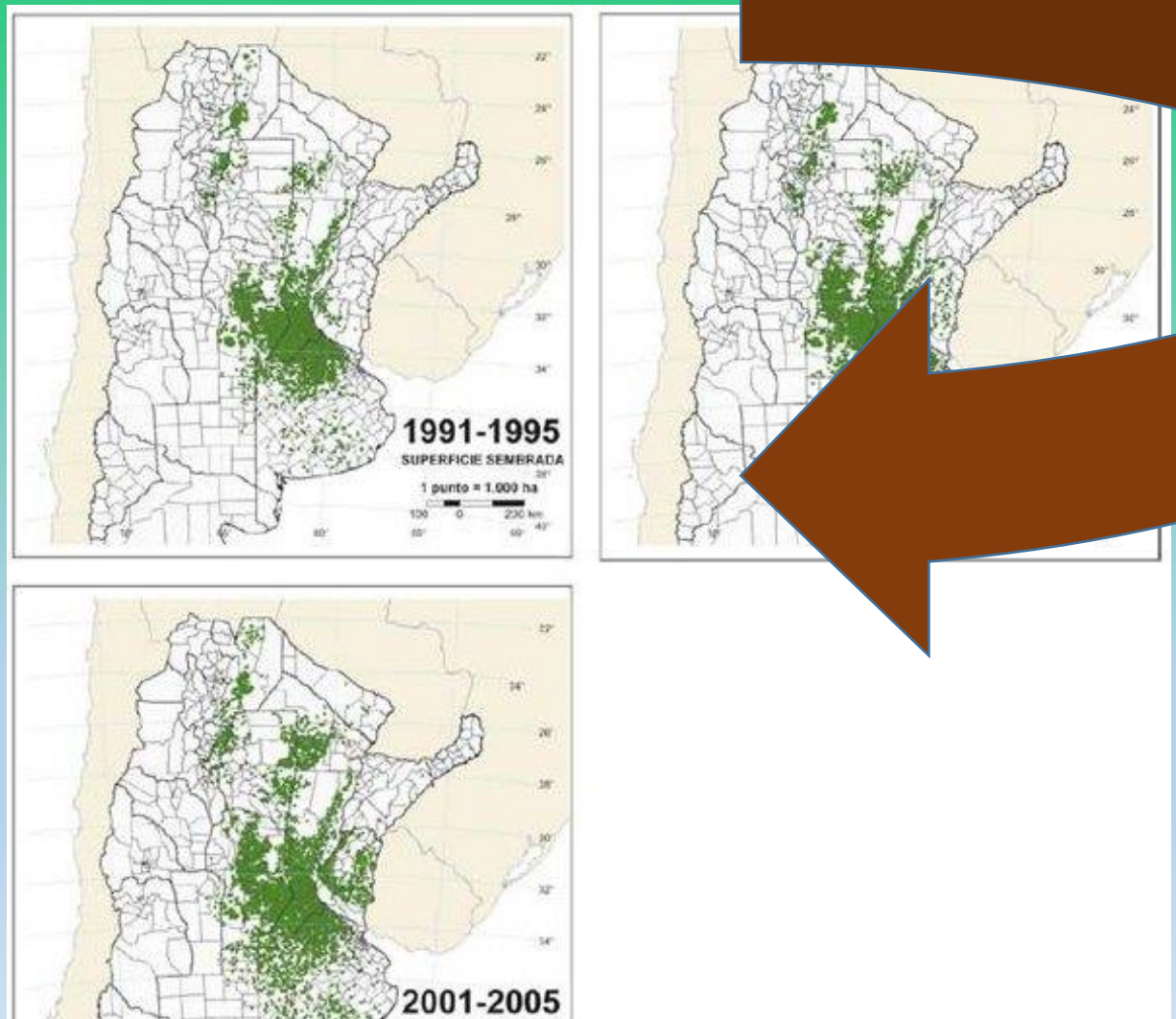


CRECIMIENTO URBANO

El basural se encuentra a la vera del camino de acceso al club Victoriano Arenas. Dada la composición de los residuos y la ausencia de asentamientos en esta margen del río, se estima que el origen de los residuos es de volqueteros ilegales.

Dadas la exigua dimensión del basural y la dificultad de implementar medidas de protección futuras, no se recomienda intervención en este sitio

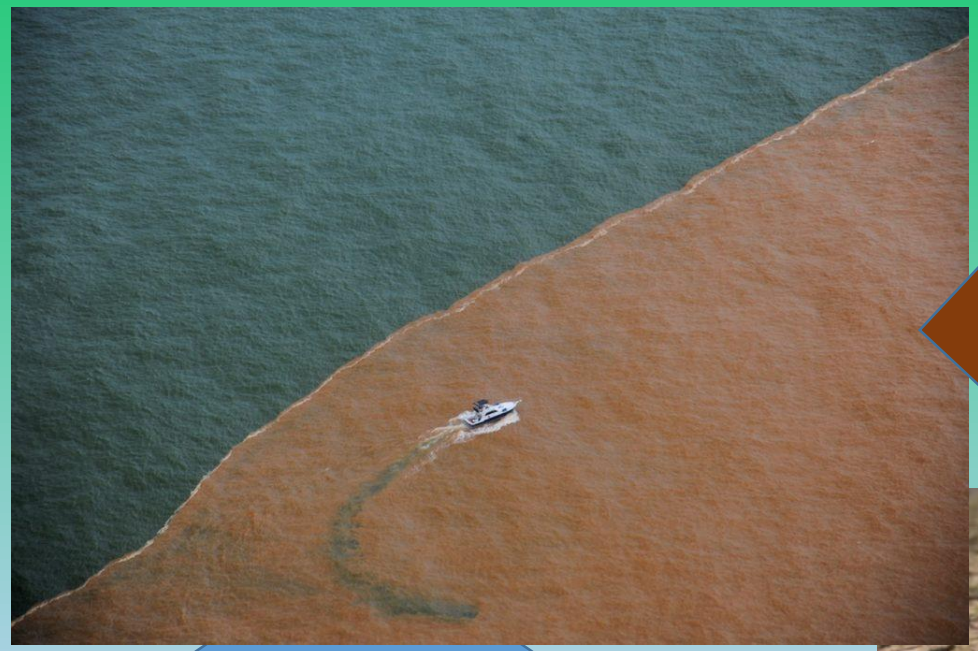
EXPANSION AGRICOLA



DEFORESTACION

EL AGUA: CALIDAD Y CANTIDAD

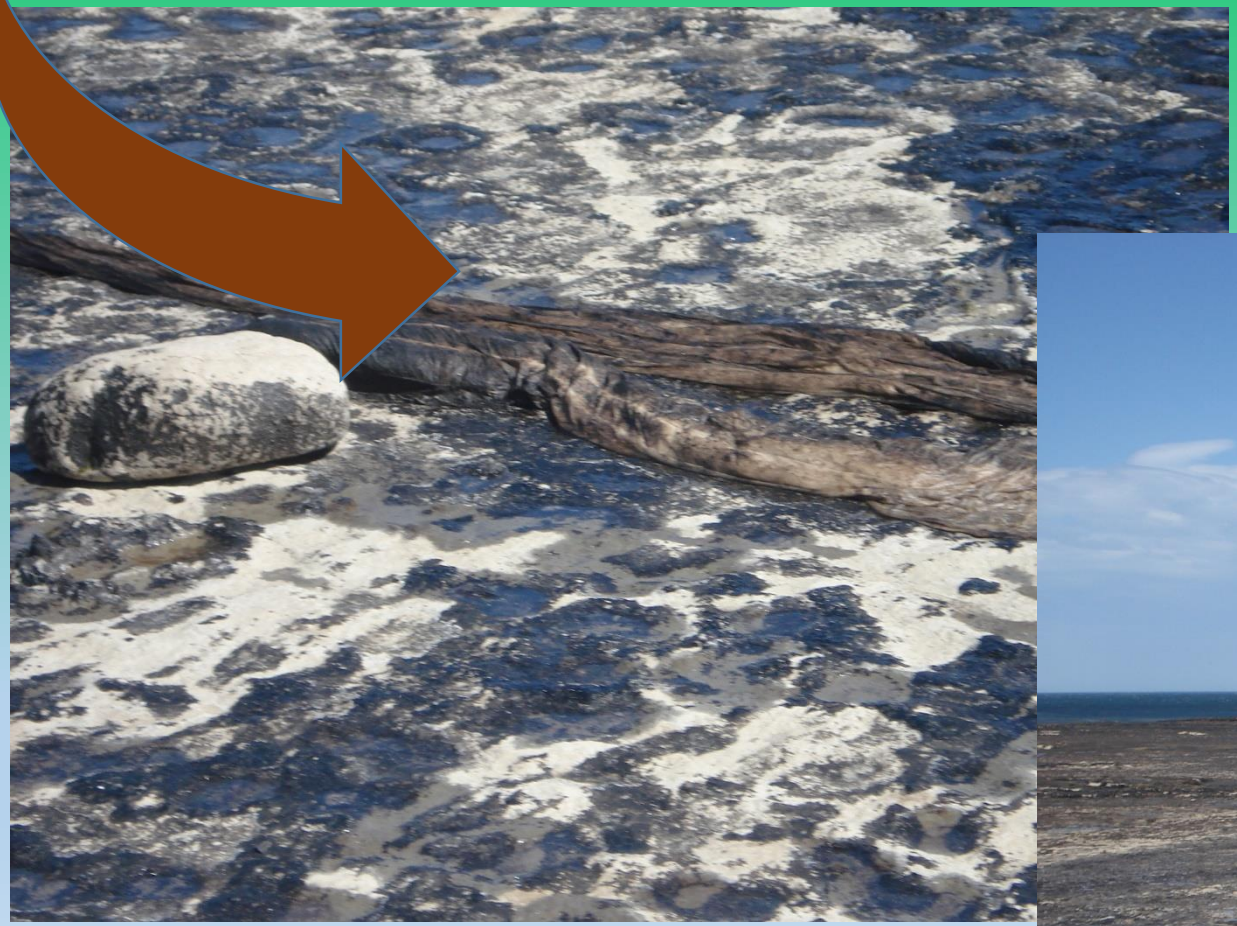
INUNDACIONES



SEQUIAS

PERDIDA DE LA CALIDAD

TRANSPORTE DE SUSTANCIAS



AMBIENTE Y MINERÍA

MARCO LEGAL Y CONCEPTUAL

- El MARCO CONCEPTUAL DE TRABAJO ADOPTADO es el que define la Ley 24.585 la que se refiere a los alcances de un PLAN DE MANEJO AMBIENTAL en los siguientes términos:

- “Plan en el que se presenten organizadas, según etapas y cronología de ejecución, las medidas y acciones de prevención y mitigación del impacto ambiental, y rehabilitación, restauración o recomposición del medio alterado, según correspondiere, desde el inicio de la construcción de la infraestructura para la explotación hasta el cierre temporario o abandono del yacimiento. De acuerdo al tipo de explotación y el grado de riesgo o peligrosidad deberá incluir un Plan de Monitoreo de las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas, según resultare necesario” LEY 24.585 - Glosario

DETERMINANTES REGULATORIOS DEL MARCO CONCEPTUAL Resolución S.E.M.N° 330/2013

5.4.1 Objetivos del programa

Conforme lo expuesto en el Documento 1 Código: CM-Diq-7. Revegetación del Dique de Colas – Áreas Planas Versión: 01 Revisión: 00 Ítem 2.1 se definen como objetivos del *Programa "desarrollar la metodología adecuada para la revegetación con especies nativas en las áreas planas rehabilitadas del Dique de Colas y de esta manera prevenir la erosión y promover la formación de suelo y restauración del paisaje natural de la zona"*. Este propósito es luego consagrado posteriormente en los considerandos de la Res. SEM N°330/13 que aprueba la Versión 01 Rev. 01 del mismo. En razón de no existir otras normas regulatorias nacionales o provinciales que los modifiquen en sus contenidos y alcances, y que los mismos son adoptados por una norma legal emanada de las autoridades competentes se considera que es el marco referencial para el análisis de estas actuaciones.

DETERMINANTES REGULATORIOS DEL MARCO CONCEPTUAL

Resolución S.E.M.N° 396/2016

VISTO:

La necesidad de complementar el marco regulatorio establecido por la ley N° 24.585, en el ámbito de Cierre de Mina, para efectos de su implementación, sin perjuicio de otras normas especiales que se dicten respecto de la misma Ley, y;

CONSIDERANDO:

Que las actividades concernientes al cierre de las labores mineras e instalaciones de la Industria Extractiva Minera son parte del ciclo de su vida útil, y deben ser ejecutadas por la Empresa Minera antes del término de sus operaciones, de manera tal que, al cese de éstas, se encuentren implementadas las condiciones de Estabilidad Física, Química y estructural en el lugar en que operó la Minera.

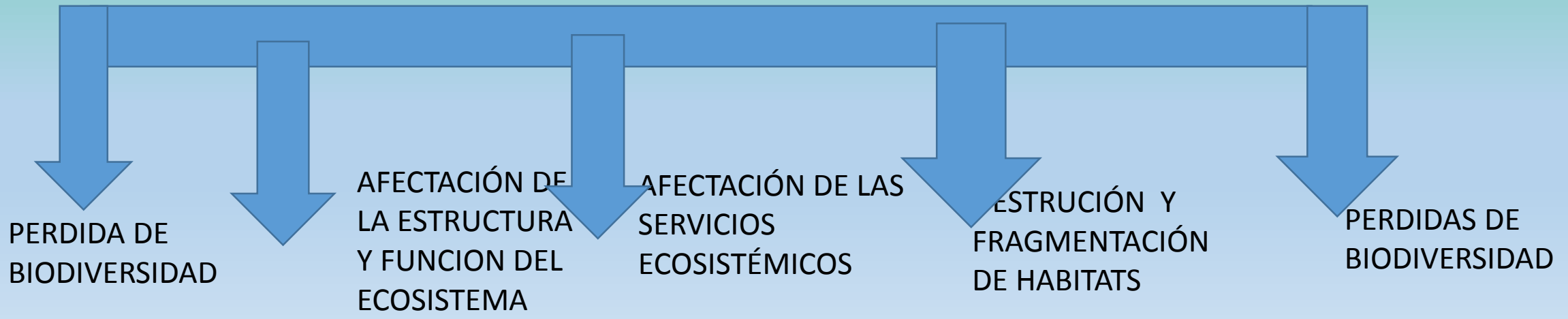
Que es necesario establecer las normas que regulen el Cierre de las Labores e Instalaciones mineras, de conformidad con la ley N° 24.585, necesarias para la prevención y control de los riesgos sobre la vida, la salud y la seguridad de las personas y el medio ambiente, y que pudieran derivarse del Cese de las Operaciones de las Actividades Mineras e Instalaciones mineras.

Que debe protegerse la vida, la salud y seguridad de las personas y la protección del medio ambiente, mediante la importancia de mitigar y/o compensar los efectos que se derivan del desarrollo de la Industria Extractiva Minera, en los lugares en que ésta se realiza, procurando asegurar la Estabilidad Física, Química y estructural de los mismos, en conformidad a la normativa ambiental vigente, como así también identificar y cuantificar económicamente las medidas de acción que deban ser desarrolladas durante la vida útil de la misma, a fin de mitigar los efectos antes señalados.

2. CRITERIOS METODOLOGICOS Y PRODUCTOS
INTERACCION DE COMPONENTES
RESULTADOS
11
GABINETE
Recepción, Sistematización y ordenamiento de la información antecedente (MAA- DIPGam)
Relevamiento bibliográfico sobre cierre de minas: marco regulatorio y procedimientos
Sistematización de la información recopilada
DEFINICIÓN MARCO CONCEPTUAL Y OPERATIVO
Revisión y evaluación de la información antecedente
Análisis comparativo con experiencias extranjeras
Reuniones de equipo IATASA
Instancias de consulta de equipo DIPGAM / MAA
Reconocimiento de campo
TRANSFERENCIA
cuadro descriptivo de antecedentes
reseña bibliográfica
elaboración de informe final preliminar
INFORME FINAL
ELABORACIÓN DE INFORM
PARCIALES DE AVANCE

ACERCA DE UNO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINA LA ALUMBRERA

ALGUNOS EFECTOS SOBRE EL TERRITORIO Y LOS ECOSISTEMAS



SIGNIFICADO ECOLÓGICO DE LA ALTERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

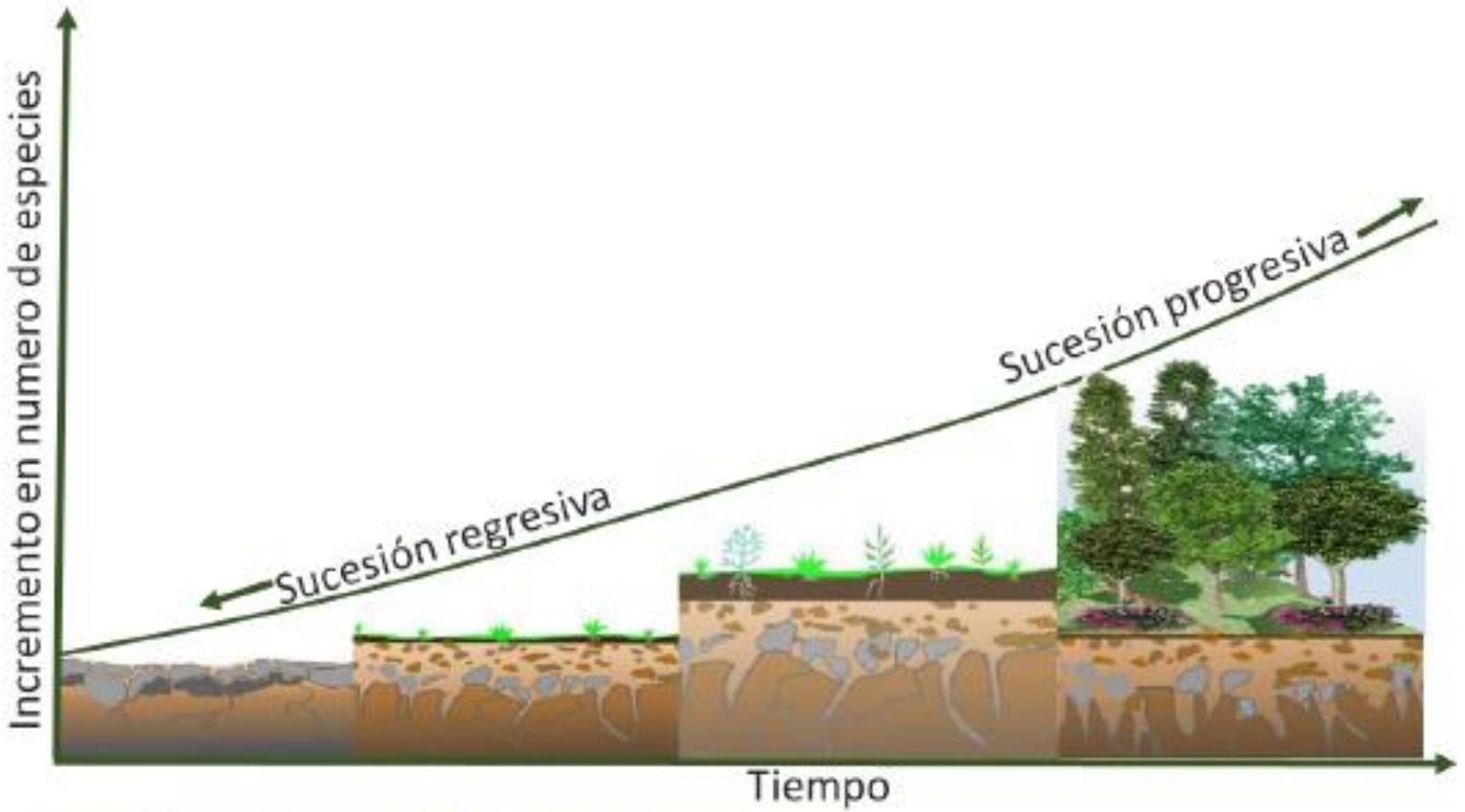


Figura 3. Sucesión ecológica en un ecosistema terrestre.
Fuente: Elaboración propia.

EVOLUCION DE LOS ECOSISTEMAS

EL SIGNIFICADO DE LA RESTAURACION EN TERMINOS DE SUCESION ECOLOGICA

REVEGETACION DEL DIQUE DE COLA - INFORME GLOBAL 2010-2015

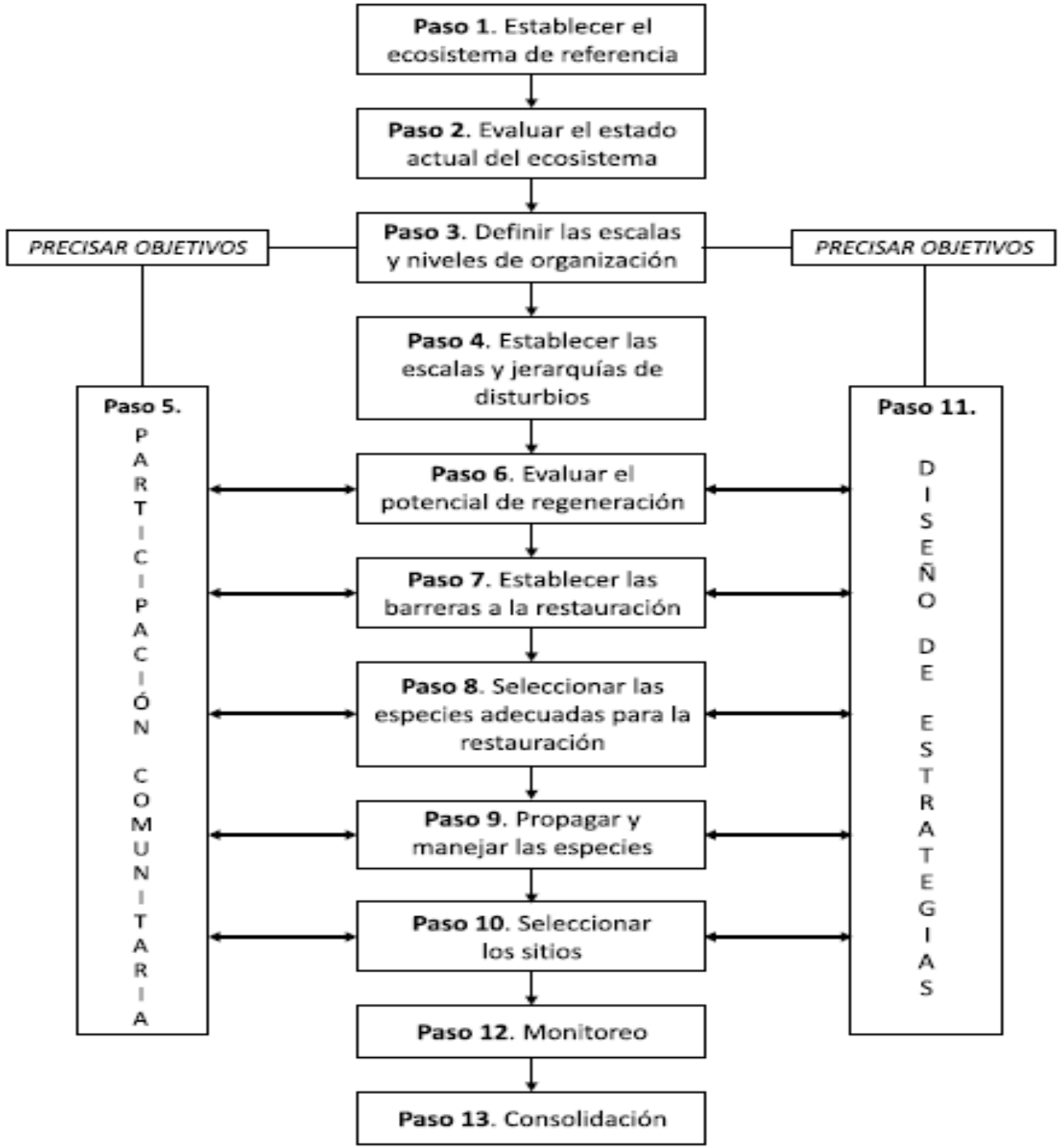
- El proceso de Restauración trata de recuperar la biodiversidad, la integridad y salud ecológica, para lo cual, la identificación de los problemas específicos que impiden la regeneración natural del ecosistema es fundamental (Dobson et. Al, 1997) para este fin es además necesario un estudio básico de la composición de especies, estructura y funcionamiento. En el caso de las minas, el proceso de sucesión natural es lento debido a la sustitución de la capa superficial del suelo, a la pérdida del banco de semillas y a la modificación en el perfil. Las actuaciones en estos escenarios suponen en la mayoría de los casos, mejorar las condiciones físicas y químicas del sustrato para restablecer la cubierta vegetal, que en general se introduce de manera artificial con el fin de acelerar la rehabilitación natural (Bradshaw, 1983)

13 PASOS EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

1. Definir el ecosistema o comunidad de referencia.
2. Evaluar el estado actual del ecosistema o comunidad.
3. Definir las escalas y niveles de organización.
4. Establecer las escalas y jerarquías de disturbio.
5. Lograr la participación comunitaria.
6. Evaluar el potencial de regeneración del ecosistema.
7. Establecer las barreras a la restauración a diferentes escalas.
8. Seleccionar las especies adecuadas para la restauración.
9. Propagar y manejar las especies.
10. Seleccionar los sitios.
11. Diseñar estrategias para superar las barreras a la restauración.
12. Monitorerar el proceso de restauración.
13. Consolidar el proceso de restauración.

CRITERIOS METODOLOGICOS Y PRODUCTOS
INTERACCION DE COMPONENTES
RESULTADOS
GABINETE
Recepción, Sistematización y ordenamiento de la información antecedente (MAA- DIPGam)
Relevamiento bibliográfico sobre cierre de minas: marco regulatorio y procedimientos
Sistematización de la información recopilada
DEFINICIÓN MARCO CONCEPTUAL Y OPERATIVO
Revisión y evaluación de la información antecedente
Análisis comparativo con experiencias extranjeras
Reuniones de equipo IATASA
Instancias de consulta de equipo DIPGAM / MAA
Reconocimiento de campo
TRANSFERENCIA
ELABORACIÓN DE INFORM
PARCIALES DE AVANCE
cuadro descriptivo de antecedentes
reseña bibliográfica
elaboración de informe final preliminar
INFORME FINAL

UNA PROPUESTA ORDENADORA



1. FASES	a. Diagnóstica (Pasos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) b. Experimental (Pasos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) c. Monitoreo (Paso 12) d. Consolidación (Paso 13)
2. ESCALAS	a. Regional b. Local c. Parcela
3. NIVELES	a. Paisaje b. Comunidad c. Población – organismo
4. BARRERAS A LA RESTAURACIÓN	a. Barreras a la dispersión b. Barreras al establecimiento c. Barreras a la persistencia d. Barreras sociales

NOTA: Los pasos 5, 6 y 7 son comunes a las fases diagnóstica y experimental, porque es necesario, en algunos casos, hacer experimentos para poder diagnosticar adecuadamente el estado del ecosistema y precisar las barreras a la restauración.

FASES
ESCALAS
NIVELES
BARRERAS ECOLÓGICAS
DIAGNÓSTICA
EXPERIMENTAL
MONITOREO
REGIONAL
PAISAJE
LOCAL
COMUNIDAD
PARCELA
POBLACIÓN
ORGANISMO
DISPERSIÓN
ESTABLECIMIENTO
PERSISTENCIA
PARTICIPACIÓN COMUNITARIA
BARRERAS SOCIALES
CONSOLIDACIÓN DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

ALGUNOS EJES SOBRE LOS QUE SE HAN ORIENTADO LAS OBSERVACIONES REALIZADAS

- NO EXISTE UN MÉTODO UNICO PARA UNA REVEGETACIÓN EXITOSA. CADA CASO OFRECE POTENCIALIDADES Y RESTRICCIONES PROPIAS QUE OBLIGAN A AJUSTAR MODELOS DE ACTUACIÓN

- LOS ASPECTOS CONCEPTUALES Y LEGALES Y SU INFLUENCIA EN LA EJECUCIÓN DE LAS ACCIONES DE REVEGETACIÓN

- CRITERIOS ADOPTADOS EN LOS ESTUDIOS PREVIOS Y LA EXPRESIÓN DE SUS RESULTADOS

- NECESIDAD DE DEFINICIR LOS ALCANCES Y LAS LIMITACIONES DE LA REVEGETACIÓN COMO ELEMENTO DE ESTABILIZACIÓN DEL DIQUE DE COLAS

- ENTENDER AL SUSTRATO DE COBERTURA DEL DIQUE DE COLA E SU DOBLE INFLUENCIA EN LA VEGETACIÓN Y EN LA POTENCIAL MIGRACIÓN DE DRENAJE ÁCIDO

- CONSIDERAR EL PAISAJE COMO BIEN AMBIENTAL, COMPLEJO, Y DIVERSO ANTES QUE UN CULTIVO LIMITADO DE ESPECIES VEGETALES

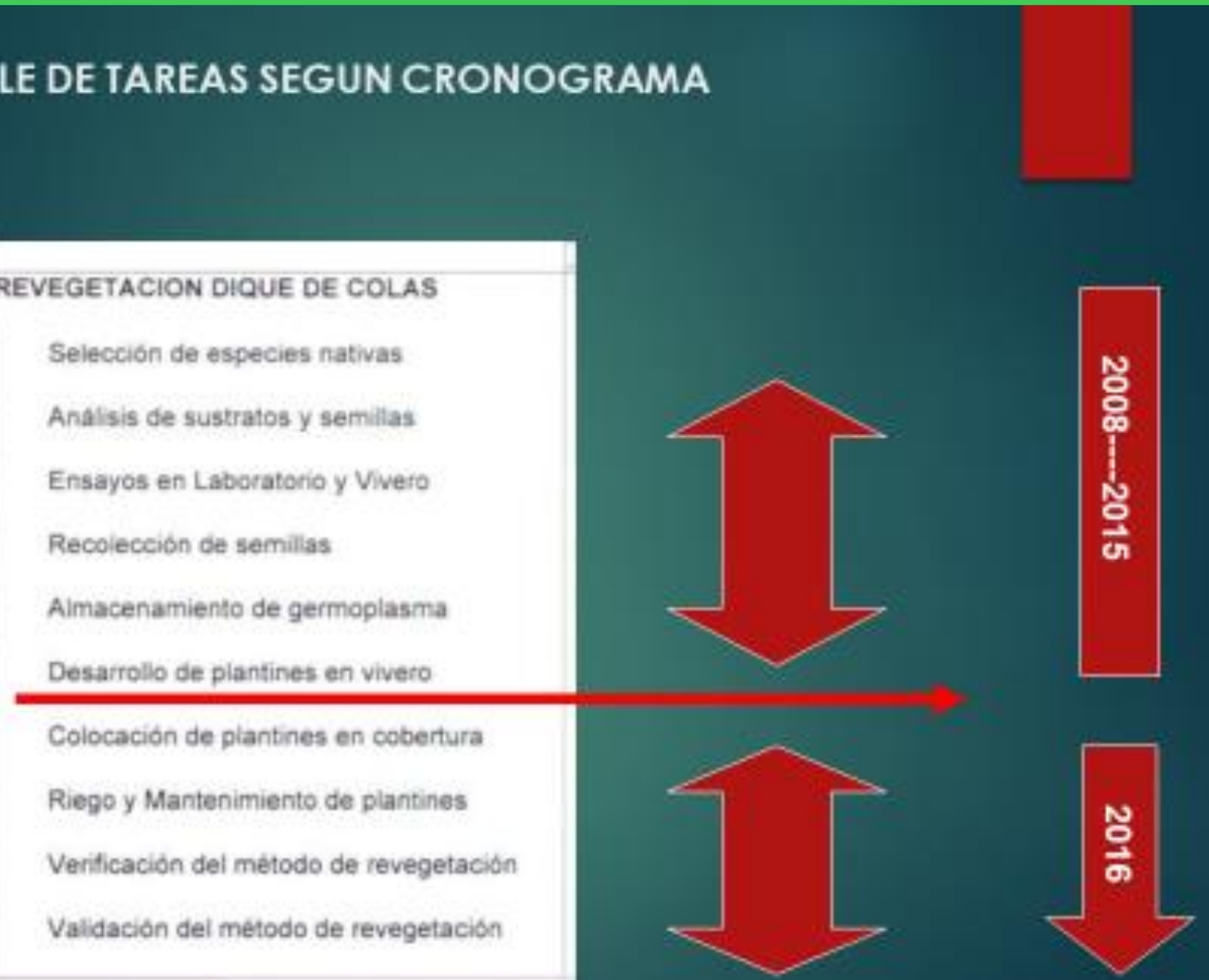
- CONSIDERAR AL COMPONENTE ABIOTICO COMO SOPORTE OBLIGADO DE LAS COMUNIDADES VEGETALES Y ANIMALES Y LA NECESISDAD DE ATENDER A LA RESTAURACIÓN DE HÁBITATS ALTERADOS
- COMPRENDER AL PAISAJE COMO INTEGRADOR SÍNTESIS DE COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS Y SUS CONSECUENCIAS EN MATERIA DE LAS FUNCIONES DE LOS ECOSISTEMAS

- ENTENDER LAS ACCIONES DE RECUPERACIÓN AMBIENTAL COMO UNA OPORTUNIDAD PARA LOGRAR MAYOR RENTABILIDAD CON MAYOR SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL
- COMPRENDER LA NECESIDAD E IMPORTANCIA DE DESARROLLAR PROGRAMAS ESPECÍFICOS DE REVEGETACIÓN DESDE EL INICIO DE LAS ACTIVIDADES
- ENTENDER LA PROLONGACJÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE ALUMBRERA COMO UNA OPORTUNIDAD DE DESARROLLAR CON MAYOR PROFUNDIDAD LAS ACCIONES DE RCUPERACIÓN AMBIENTAL
- ORIENTAR LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA ALUMBRERA COMO UN CASO LÍDER DE LA MINERÍA EN LA REGIÓN Y PROMOVER LA CONSTITUCION EN EL SITIO DE UNA INSTITUCION QUE SE ACTUE COMO CENTR EXPERIMENTAL DEL AMBIENTE EN MINERIA BAJO LA CONDUCCION ACADEMICA DE LAS UNIVERSIDADES Y CENTROS DE INVESTIGACION REGIONALES

COMENTARIOS ACERCA DEL ESTADO DE AVANCE DEL PROGRAMA DE REVEGETACIÓN

DETALLE DE TAREAS SEGUN CRONOGRAMA

1	REVEGETACION DIQUE DE COLAS
2	Selección de especies nativas
3	Análisis de sustratos y semillas
4	Ensayos en Laboratorio y Vivero
5	Recolección de semillas
6	Almacenamiento de germoplasma
7	Desarrollo de plantines en vivero
8	Colocación de plantines en cobertura
9	Riego y Mantenimiento de plantines
10	Verificación del método de revegetación
11	Validación del método de revegetación



SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES POR ÁREA DE INTERES Y ACCIONES RECOMENDADAS
PARA EL CASO DE LA REVEGETACIÓN DEL DIQUE DE COLAS DE MAA

DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS BÁSICAS	
	Redefinir y consensuar conceptos básicos
	Se recomienda incluir un análisis de árbol de fallas que permita articular variables de distintos sistemas y proyectar e incluso estimar los posibles incidentes y efectos adversos
	Adecuar a lineamientos regulatorios que actualmente puedan estar contemplándose en instancias de desarrollo,
	Replantear las variables críticas, del Plan de Cierre entendiendo que podrán observarse variaciones sustanciales en los próximos 13 años.
	Dimensionar las actividades que pudieran resultar más costo efectivas en función de la prolongación del plazo de explotación
	Articular sistémicamente los distintos componentes del cierre

AREA DE INTERES	ACCIONES RECOMENDADAS
EL PAISAJE COMO BIEN AMBIENTAL A RESTAURAR	
	Incluir planes, programas y proyectos específicos con sus respectivas medidas de mitigación
	Detallar las medidas, acciones y obras relativas al establecimiento de la forma del terreno en las diferentes etapas de cierre
	Realizar una descripción del paisaje desde el punto de vista de la conservación de hábitats naturales en el área de influencia del proyectoespecialmente en la Cuenca Río Vis Vis – Amanao y Cuenca de Campo Arenal.
	incorporar medidas de mitigación orientadas a la conservación, reconexión de hábitats aislados (lagos, lagunas, cursos hídricos, entre otros) y rehabilitación de áreas naturales.
	Incluir una evaluación en de actividades locales en el área de influencia con el objetivo de complementar y validar la información contenida en el ítem Usos del Suelo” Pág. 99.

LA REVEGETACION COMO UNO DE LOS COMPONENTES DE UN PROGRAMA DE REHABILITACIÓN AMBIENTAL O COMO FIN EN SI MISMA	
	Debatir y consensuar los alcances y significados de la revegetación
	Especificar los criterios de selección de especies a emplear
	Desarrollar un anteproyecto de revegetación que incluya insumos, labores culturales, sistemas de plantación , manejo de la plantación y costos asociados
	Indagar sobre alternativas de revegetación

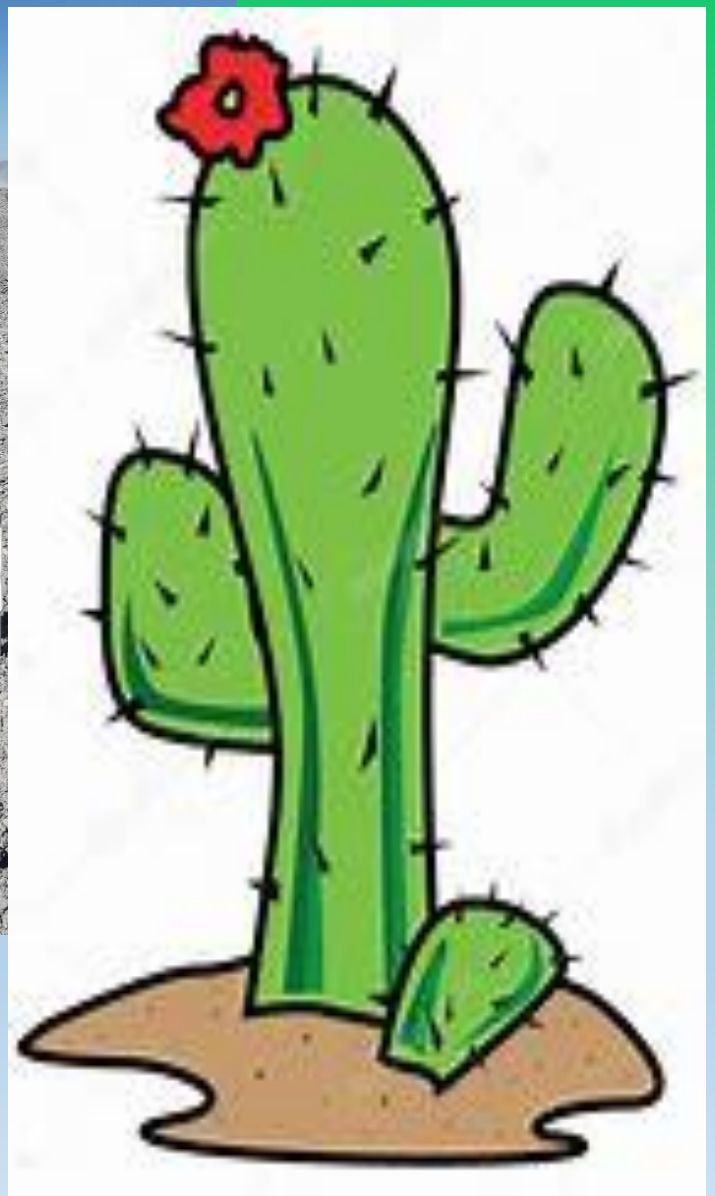
COBERTURA, DEL DIQUE DE COLAS	
	Efectuar caracterizaciones complementarias del material Tampa Tampa a fin de determinar su calidad agronómica-
	Extender los ensayos de campo con diferentes variables}.
	Analizar otras alternativas de cobertura, desde las posibilidades de prorrateo de costos que ofrece la extensión de vida útil de la mina
	Revisar los modelos de deshidratación de colas en base a la extensión de uso del dique.
	Incorporar al Plan de Monitoreo, instrumental y procedimientos para la medición del desempeño de la cobertura

FAUNA SILVESTRE	
	Identificar hábitats naturales presentes en el área de influencia, y su extensión espacial particularmente sobre la Cuenca Río Vis Vis – Amanao y Cuenca de Campo Arenal.
	Incluir medidas y actividades de mitigación sobre los hábitats conforme lo especificado en la Resolución S.E.M 396/2016 ítem 7. Medidas y Actividades de Cierre, Rehabilitación de Hábitats.

RELIEVE Y GEOFORMAS	
	Incorporar medidas orientadas a prevenir y reducir el riesgo de procesos de erosión hídrica u eólica
	Incluir la consideración de la rugosidad del relieve en la reconstitución del paisaje de cobertura

. VÁLIDO PARA TODAS LAS ÁREAS DE INTERÉS	
	Dado el nuevo horizonte temporal, analizar la conformidad de los distintos componentes del Plan, en el contexto del marco regulatorio nacional sobre cierre de minas que se encuentra en desarrollo en virtud de lo establecido en el Nuevo Acuerdo Federal Minero.
	Analizar la articulación sistémica entre los distintos componentes del cierre, considerando la indispensable efectividad colectiva e integral de las medidas.
	Incluir un análisis de árbol de fallas que permita articular variables de distintos sistemas y proyectar e incluso estimar probabilísticamente, los posibles incidentes y efectos adversos asociados que pudieran suscitarse.

MUCHAS GRACIAS



ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CIERRE DEL DIQUE DE COLAS. REVISÓN DE ANÁLISIS DE PRECIOS

Se han revisado los siguientes documentos:

- Plan de Cierre de Mina – Minera Alumbrera YMAD – UTE. Resolución SEM Nº 396/2016 (Revisión 3, Abril 2018).

- Respuesta Cédula de Notificación SEM 076/17: Apertura de Costos Plan de Cierre de Mina Bajo de La Alumbrera y el Durazno, Costos de revegetación por siembra de semillas para rehabilitación de coberturas de botaderos de estériles y Dique de Colas y Presupuesto de operación y mantenimiento retro-bombeo anual con valores tomados a 2017.

Plan Cierre de Mina Rev. 3.0 (Abril 2018)

Cronograma y presupuesto financiero de actividades:

Anexo A – BLA

Flujo de Fondo (Millones ARS)																									
Plan de Cierre	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Año 1 post cierre	Año 2 post cierre	Año 3 post cierre	Año 4 post cierre	Año 5 post cierre	Año 6 post cierre	Año 7 post cierre	Año 8 post cierre	Año 9 post cierre	Año 10 post cierre	Año 11 post cierre	Año 12 post cierre	Año 13 post cierre	Total
Bombeo		Operación UG											CM								Monitoreo Post Cierre de VisVis					
													123.0	123.0	123.0	123.0	123.0	123.0	123.0	123.0						**984.0**
Pit																										
													63.6													**63.6**
Botaderos																										
Cobertura																										
													662.9	662.9												1,325.8
Revegetación																		Monitoreo Post Cierre Botaderos								
														27.5	27.9	27.9	27.9									111.1
																										-
Total Botaderos																										**1,436.9**
Dique de Colas																										
Cobertura															CM											
															281.9	281.9										563.8
Revegetación																CM										
																61.5	61.5	82.0								205.0
Manejo de Aguas															CM				Monitoreo Post Cierre Dique							
															41.0	41.0	41.0	41.4								164.4
Vertedero																		CM								
																		50.8								50.8
Instrumentación																		CM								
																		4.1								4.1
Costos Indirectos															CM											
															89.0	89.0	88.8	88.8								355.5
Total Diques de Colas																										**1,343.6**
Insfraestructura													CM					CM								
Estación de Bombeo													CM					CM								
Puerto													CM					CM								
Total													30.8					10.3								**41.0**
Misceláneos Plan de cierre	CM																									
	20.5	20.5																								41.0
Monitoreo y mantenimiento		Operación UG											CM													
													20.5	20.5	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	492.0
Total Misc.y Monitoreo&Mant.																										533.0
	20.5	**20.5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**900.7**	**833.9**	**603.7**	**665.2**	**383.1**	**441.4**	**164.0**	**164.0**	**41.0**	**41.0**	**41.0**	**41.0**	**41.0**	**4,402.0**

Respuesta CN SEM Nº 076/17

Apertura de costos Plan de Cierre Mina Bajo de la Alumbrera:

Sistema de retobombeo			
	Cantidad	**Precio Unitario $**	**$Ar x 1000**
Energía - MW/año	18,367	1,470	27,000
Torre- Cambios de bombas (Incluye cañerías y spulls)	4	2,250,000	9,000
Estaciones Intermedia y Permanente. Cambios de bombas	6	780,000	4,680
Pozos. Cambio de equipos de bombeo	8	1,050,000	8,400
See Page. Cambio de equipos de bombeo	5	600,000	3,000
DCP. Cambio de equipos de bombeo	5	1,830,000	9,150
VisVis. Cambio de equipos de bombeo	2	1,500,000	3,000
Cañeria HDPE y Accesorios	1	1,050,000	1,050
Horas Hombre	1	3,900,000	3,900
Alquiler de equipos	1	8,775,000	8,775
			77,955
Imprevistos (15%)			12,000
Total Retrobombeo /año			**89,955**

Respuesta CN SEM Nº 076/17

Dique de Colas				
Colocación de cobertura				
Movimiento de roca				
Equipos		**Hs. Equipo**	**Costo Unitario $/Hs.**	**$Ar x 1000**
Pala Bucyrus		7,914	10725	84,878
Camión CAT 793		55,364	4500	249,138
Topadora sobre orugas		14,839	1950	28,936
Topadora sobre ruedas		8,211	1350	11,085
Motoniveladora		6,430	1275	8,198
Camión Aguatero		5,716	1950	11,146
Supervisión e ingeniería (5% del total)				19,100
	Subtotal			**412,481**
Revegetación				
Revegetación de superficie plana				40,600
Mantenimiento de areas revegetadas				96,900
Contingencias 10%				13,000
	Subtotal			**150,500**
Construcción de sistema de manejo de aguas				
Movimiento de relaves				
Excavación en suelo	m3	459,059	36.69	16,843
Excavación en roca	m3	186,861	218.89	40,902
Cobertura de canales				
Relleno, material estéril	m3	181,396	86.21	15,638
Relleno, enrocado	m3	181,396	79.58	14,436
Bermas de canales				
Relleno	m3	378,129	85.9	32,481
	Subtotal			**120,300**
Vertedero de emergencia				
Movimiento de terreno				
Excavación en suelo	m3	14,855	25.04	372
Excavación en roca	m3	148,542	207.86	30,876
Hormigón				
Hormigón H10	m3	1,071	2084	2,232
Hormigón H30 estructural	m3	562	6619.22	3,720
	Subtotal			**37,200**
Instrumentación				
Pozos de monitoreo				
Perforación y tubería de PVC	m	400	7500	**3,000**
Costos indirectos				
Movilización - Desmovilización				22,271
Gastos generales de instalación de faena				100,920
Inspecciones técnicas				42,742
Seguros de Construcción				42,804
Costos alocación				51,363
	Subtotal			**260,100**
Total Dique de Colas				**983,581**

Respuesta CN SEM Nº 076/17

Presupuesto de operación y mantenimiento retro-bombeo anual con valores tomados a 2017 (Sistema de agua):

Item 1 materiales(23 POZOS)

Descripción	Longitud a cambiar por año [m]	$/ metro de cañería	total por año [$]	Anual [usd]
1-1 CAÑERÍA de acero al carbono de 6" de diámetro	500	1,700	850,000	50,000
1-2 MANIFOLD (cañeria de acero al carbono)	10	1,700	17,000	1,000
1-3 cañería de HDPE de (12" con back up)	500	1,200	600,000	35,294
1-4 cañería de HDPE de (6" back up)	500	500	250,000	14,706
			total=	101,000

Descripción	unidades/año	$/ unidad	total por año [$]	Anual [usd]
1-5 válvula de salida 6"	3	43,000	129000	7,588
1-6 piezometro	1	60,000	60000	3,529
1-7 Caudalimetro	3	12,000	36000	2,118
1-8 recambio de cables	1	255,000	255000	15,000
1-9 recambio de transformador	1	340,000	340000	20,000
1-9-1 recambio de tablero	1	170,000	170000	10,000
			total=	58,235

Item 2 mantenimiento (23 POZOS + sistema de bombeo)

Descripción	unidades/ año	horas hombre / cambio	total por año [S.)	Anual [usd]
2-1 desmontaje y montaje de equipo	3	400	420,000	24,706
2-2 grúa	3	400	3,000,000	176,471
2-3 Hidro grúa	3	400	1,200,000	70,588
			total=	271,765

costo de reparación de los equipos y recambio de partes mecánicas

Descripción	unidades	$ por unidad	total por año [$]	Anual [usd]
2-4 recambio de bombas de pozos (electrobomba)	3	250,000	750,000	44,118
2-5 recambio de bombas de DCP	1	3,468,000	3,468,000	204,000
2-6 recambio de bombas de vis -vis	1	425,000	425,000	25,000
2-7 recambio de bombas de SEEPAGE (verticales)	1	425,000	425,000	25,000
2-7 recambio de bombas de SEEPAGE (balsas)	1	1,147,500	1,147,500	67,500
			total=	365,618

Respuesta CN SEM Nº 076/17

Item 3 operación y mantenimiento de Retro bombeo diario (23 POZOS)

Descripción	horas hombre diarias	total por año [$.]	Anual [usd]
3-1 operación / mantenimiento diario	44	5,058,900	297,582

Item 4 operación y mantenimiento equipos auxiliares (23 POZOS)

Descripción	unidades	Anual [$]	Anual [usd]
4-1 Termofusionadora	1	102,000	6,000
4-3 bote	1	20,000	1,176
		total=	7,176

Item 5 Equipos para mantenmiento de caminos de acceso de pozos y estaciones de bombeo

Descripción	unidades	Anual [$]	Anual [usd]
5-1 motoniveladora	1	1,843,200	108,424
5-2 Cargadora	1	1,843,200	108,424
5-3 camion	1	1,584,000	93,176
5-4 Retro pala	1	1,440,000	84,706
		6,710,400	394,729

Item 6 Consumo y Costo de Energía Anual

Descripción			Anual [$]	Anual [usd]
6-1 Potencia	[MW]	3.6		
6-2 Energía	[MWh]	31536		
6-3 Precio	[$/MWh]	1470	46,357,920	2,726,936
			46,357,920	2,726,936

- No se indica la fecha en que se realizaron los análisis de precios, que varían mes a mes debido a la inflación y variaciones cambiarias.

- El precio unitario debe formarse por el costo unitario multiplicado por un coeficiente que incluya los gastos generales de la empresa, el beneficio, los gastos de financiación, impuestos varios (al cheque, ingresos brutos, etc.) y el IVA. No se indica que coeficiente ha sido utilizado y cómo está compuesto.

- En el ítem “Sistema de Retrobombeo”, en la planilla de Apertura de Costos, figuran Precios Unitarios, mientras que en “Botaderos (MAA + Bajo del Durazno)” y “Dique de Colas” figuran Costos Unitarios. Aclarar a qué se debe esta diferencia.

- No se indica si en el Costo Unitario $/Hs. de equipos se incluye la mano de obra. Aclarar.

- En el documento “Costos de revegetación por siembra de semillas para rehabilitación de coberturas de botaderos de estériles y Dique de Colas”, de Julio 2017, en la pág. 3, figura para los botaderos y el dique un costo de $155.689, pero en la planilla de Apertura de Costos figuran valores distintos. Aclarar.

- Los valores que figuran en la planilla de Flujo de Fondos ANEXO A – BLA, BOTADEROS, en el Plan de Cierre de Mina, no coinciden con los valores que figuran en la planilla de Apertura de Costos – BOTADEROS. Verificar.

- No se indica de donde se obtuvieron los valores que figuran en el Flujo de Fondos del Anexo A – BLA de Infraestructura, Estación de Bombeo, Puerto, Misceláneas Plan de Cierre, Monitoreo y Mantenimiento, etc.

- En la Apertura de Costos, no se indica cómo se obtuvieron las cantidades.

- En el “Presupuesto de operación y mantenimiento retro-bombeo anual con valores tomados a 2017”, no se indica la fecha en que se realizaron los análisis de precios (sólo el año) y no se aclara si son costos o precios. No figura en el Flujo de Fondos del Plan de Cierre.

- No se indica claramente como se actualizarán los valores de los presupuestos a lo largo del tiempo (si será en forma semestral o anual) y cuál es la fórmula de actualización que se aplicará.