



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**MATERIALES REACTIVOS LOCALES PARA UN REACTIVO
TIPO DAS (DISPERSED ALKALINE SUBSTRATE) A UTILIZAR
EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO PASIVO EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

ALFONSO TOMÁS LARRAGUIBEL QUIÑONES

PROFESOR GUÍA:
MANUEL CARABALLO MONGE

MIEMBROS DE LA COMISION:
DOLORINDA DANIELE
JACQUES WIERTZ

SANTIAGO DE CHILE
2017

RESUMEN DE MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Geólogo
POR: Alfonso Tomás Larraguibel
Quiñones
FECHA: 05/12/2017
PROFESOR GUÍA: Manuel Antonio
Caraballo Monge

Materiales reactivos locales para un reactivo tipo DAS (Dispersed Alkaline Substrate) a utilizar en sistemas de tratamiento pasivo en Chile

La presencia de aguas contaminadas es un problema medioambiental que toma cada vez más importancia en el mundo globalizado. En particular, la industria minera interviene el medioambiente de formas diversas, siendo una de ellas el cambio de condiciones de minerales que eventualmente generan drenajes ácidos mineros (AMD). Por esta razón, se hace esencial tratar las aguas ácidas de forma adecuada y sustentable.

Dentro de este marco, el método DAS (sustrato disperso alcalino, en inglés) es una muy buena alternativa para purificar aguas ácidas, al combinar un material inerte de grano grueso que entrega buena permeabilidad al sistema con un material reactivo de grano fino que aumenta el pH de las aguas y genera la precipitación de metales. Las experiencias DAS hasta ahora trabajan con altas concentraciones de metales y consisten en 2 etapas, donde se utiliza calcita y óxido de magnesio (periclasa) como material reactivo, respectivamente.

El objetivo de esta investigación es presentar una alternativa al uso de la calcita del método DAS y además poder probar la efectividad del método de tratamiento en un espectro de concentraciones más baja de lo probado anteriormente. Después de una extensa investigación tanto bibliográfica como de laboratorio, se seleccionaron 3 materiales reactivos sustentables alternativos a la calcita: conchillas de almejas, conchillas de choritos y cáscara de huevo.

Los resultados de las columnas de laboratorio tipo DAS entregan resultados prometedores respecto a la eficiencia de estos materiales reactivos alternativos; todos ellos son capaces de eliminar los metales trivalentes del agua a tratar, además de comportarse de forma similar a la calcita en términos de parámetros fisicoquímicos. Además, ninguno de ellos presenta problemas de conductividad hidráulica. Estos resultados se encuentran acorde a lo esperado respecto a las investigaciones anteriores del método DAS.

A partir de ello, se concluye que las conchillas marinas (tanto de almejas como de choritos) son una buena alternativa a la calcita para realizar el método DAS, proponiendo una eventual mezcla de los 2 materiales para bajar los costos del material reactivo y facilitar su obtención en las costas chilenas.

Agradecimientos

Es difícil nombrar a toda la gente a la cual me gustaría agradecer en este momento, pero hare el esfuerzo.

Primero que todo, me gustaría agradecer a mis papas, por estar siempre ahí y entregarme todas las facilidades para poder estudiar tan lejos de Punta Arenas. Gracias a ti Papi, por tus innumerables consejos (aunque no lo creas si los considero) y a ti Baña por tu preocupación constante (sé que no soy muy expresivo en mis respuestas, pero siempre me sacas una sonrisa). Agradecer también a mi hermano, por apañar siempre. Al resto de mi familia igual, sobretodo a Quiñones y la Elsitita, que estoy seguro siguen junto a nosotros.

Me gustaría agradecer a mi profesor guía, Manuel Caraballo, por darme la oportunidad de trabajar en un proyecto de tal envergadura y entregarme tanto las herramientas como la responsabilidad para llevarlo a cabo. Aún falta bastante, pero estoy seguro que los resultados valdrán el esfuerzo. También darle las gracias a todo el equipo de sustentabilidad por la buena onda, en especial a ti Alvaro, ya que sin tu experiencia y amistad hubiera sido muy difícil llevar este proyecto adelante, sobretodo en los malos momentos. También agradecer a Nicolás, Rodrigo y Leo por su ayuda estos últimos meses. Además agradecer a todos los técnicos de laboratorio que me ayudaron en este largo trayecto (señora Emma, Roberto, Andres, Geovanni)

No puedo evitar mencionar a los amigos de siempre, a los del colegio. Llevamos siendo amigos desde la infancia y estoy seguro que seguiremos siendo un tremendo grupo hasta que seamos viejos. Sobrevivir en Santiago sería mucho más difícil sin las juntas los fines de semana.

También agradecer a toda la gente maravillosa que conocí en la U. A los varios partners que tuve en plan común, ya que sin tener alguien con quien compartir las numerosas frustraciones de los primeros años difícilmente estaría en el lugar en que me encuentro ahora. Sé que muchas veces es difícil mantener el contacto, pero siempre les agradeceré el estar ahí en una de las épocas más complejas de mi vida. Agradecer también a los amigos de geo, generando un ambiente más ameno, algo que se había perdido en los primeros años. A la Lore (por la amistad, por la ayuda en Word y por el apañamiento la mayor parte de la especialidad), a la Dani (amiguita del alma, siempre ahí) y a todo el resto (Naty, Benja, Emil, etc) en verdad se les quiere. No puedo dejar pasar esta oportunidad para nombrar al mejor grupo de campo 2, Franco y Fonseca, amistades que estoy seguro que conservaremos, son unos gigantes. También un especial agradecimiento a la Coni y a la Ara, resulta difícil expresar cuanto las quiero considerando el poco tiempo que nos conocemos.

Estoy seguro que me falto nombrar a mucha gente, que de una u otra forma me permitieron estar en el lugar en el que estoy, en la forma en la cual estoy. A todos, muchas gracia

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1 ¿Qué es un AMD? ¿Cómo se genera?.....	2
2.2 Oxidación de pirita	3
2.3 Otros sulfuros relevantes	4
2.4 Comportamiento de metales en un AMD.....	4
2.5 Tratamientos de AMD.....	5
2.5.1 Tratamientos activos de AMD	5
2.5.2 Tratamientos pasivos de AMD.....	7
2.6 Problemáticas actuales	10
2.7 Método DAS	11
2.6.1 Columnas de Laboratorio para el método DAS	12
2.8 Diferencias con la realidad chilena	15
3. Hipótesis de trabajo.....	17
4. Objetivos	18
4.1 Objetivo general	18
4.2 Objetivos específicos.....	18
5. Metodología	19
5.1 Experimentos preliminares de neutralización	19
5.2 Experimentos ABA	20
5.3 Granulometría	21
5.4 Difracción de rayos X	21
5.5 Diseño de muestreo y toma de datos	21
5.5.1 Parámetros fisicoquímicos	22
5.5.2 Espectrofotometría	22
5.5.3 Muestras ICP-MS	25
5.5.4 Conductividad hidráulica	25
6. Resultados y discusiones.....	27
6.1 Selección de posibles materiales a utilizar	27
6.1.1 Calcita	27
6.1.2 Cal	27

6.1.3 Escoria.....	28
6.1.4 Cáscara de huevo.....	28
6.1.5 Huesos de pollo.....	29
6.1.6 Cáscara de arroz.....	29
6.1.7 Conchillas marinas.....	29
6.1.8 Residuos de papeleras.....	30
6.1.9 Oxido de magnesio (periclasa).....	30
6.1.10 Material Inerte.....	30
6.1.11 Otros materiales reactivos considerados.....	31
6.1.12 Distribución y disponibilidad de materiales.....	31
6.2 Fases previas de laboratorio.....	32
6.2.1 Experimentos preliminares de neutralización.....	32
6.2.2 Experimentos ABA.....	39
6.2.3 Difracción de rayos X a materiales reactivos.....	39
6.3 Preparación columnas de laboratorio.....	40
6.3.1 Granulometría.....	40
6.3.2 Diseño y construcción de columnas de laboratorio.....	42
6.3.3 Porosidad inicial.....	45
6.4 Generación de AMD sintético.....	46
6.4.1 Uso de Phreeqc para modelar la formación de precipitados en AMD inicial.....	46
6.5 Monitoreo de columnas de laboratorio.....	48
6.5.1 Calendario de actividades semanal.....	48
6.5.2 Conductividad hidráulica.....	49
6.5.3 Espectrofotometría.....	50
6.5.4 Funcionamiento general de columnas de laboratorio.....	52
6.5.5 Funcionamiento interno de las columnas.....	60
6.5.6 Balance de masas y estimaciones de comportamiento futuro.....	73
7. Conclusiones.....	76
8. Bibliografía.....	78
Anexo A: AMD sintético.....	81
Anexo B: Datos de fisicoquímica.....	83
Anexo C: Espectrofotometría.....	103
Anexo D: Muestras de agua.....	104
Anexo E: Difracción de rayos X.....	120

Índice de Figuras

Figura 1: Solubilidad de hidróxidos de metales pesados en función del pH. Fuente: Taylor et al (2005).....	5
Figura 2: Planta HDS, utilizando maquinaria y un input de energía importante Fuente: Taylor et al, 2005. 7	
Figura 3: Humedal aeróbico. Fuente: Taylor et al, 2005.....	9
Figura 4: Esquema del método PRB interceptando y tratando aguas subterráneas in-situ. Fuente: Taylor et al (2005)	10
Figura 5: Comparación de acidez neta (percentiles 25%, 75% y promedio) de aguas tratadas con métodos pasivos convencionales (80 muestras) y la acidez de la cuenca Odiel (ubicada en la península ibérica, 245 muestras). AnW anaerobic wetlands, VFW vertical flow wetlands (RAPS), ALD Anoxic limestone drains, OLC oxic limestone channels, LSB limestone leach beds. Fuente: Ayora et al (2013).....	11
Figura 6: Ejemplo de columna de laboratorio para DAS de caliza. En 1 se tiene el sustrato, en 2 el frente de precipitación de hidrobasauminita, en 3 la precipitación de schwertmannita y en 4 se muestra el input de AMD. Fuente: Ayora et al (2013)	13
Figura 7: a) Evolución del pH en función de la distancia en la columna. b) Concentración de metales en solución. c) Precipitación de minerales. d) Porosidad. Las líneas punteadas indican otro experimento en el cual la razón de flujo/disolución era 10 veces mayor. Fuente: Ayora et al (2013)	14
Figura 8: Columna DAS de óxido de magnesio. En 1 se ve el sustrato y en 2 los precipitados de Zn (blanco) y de Mn (negro). Fuente: Ayora et al (2013)	15
Figura 9: Patrones a utilizar en el método de la fenantrolina para medir concentraciones de hierro.....	23
Figura 10: Espectrofotómetro midiendo el punto cero, con el método Aluminon 8012.	24
Figura 11: Medidor de conductividad hidráulica.	26
Figura 12: Mapa geográfico de parte de Chile, en la cual se muestran la ubicación de los materiales de interés.	31
Figura 13: Gráfico de resultados de experimento preliminar de neutralización con calcita.	33
Figura 14: Gráfico de resultados de experimento preliminar de neutralización con escoria.....	34
Figura 15: Gráfico de resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de huevo.	35
Figura 16: Gráfico de resultados experimento preliminar de neutralización con conchillas de choritos.....	36
Figura 17: Gráfico de resultados experimento preliminar conchillas de almejas.....	37
Figura 18: Gráfico de resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de arroz.....	38
Figura 19: Granulometría de materiales reactivos.	39
Figura 20: Esquema básico del experimento.....	43
Figura 21: Imagen de las columnas en el laboratorio. Flechas rojas indican la dirección del flujo de agua.	44
Figura 22: Números de los puertos para las columnas.	44
Figura 23: Medición de permeabilidad para columna de calcita.....	49
Figura 24: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 1, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3.....	52
Figura 25: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 2, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3.....	54
Figura 26: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 3, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3.....	56

Figura 27: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 4, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3.....	58
Figura 28: Precipitados en columna carbonatada. Según las referencias, el precipitado naranja sería schwertmannita y el precipitado blanco sería hidrobasaluminita.....	60
Figura 29: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu, en columna de calcita.	61
Figura 30: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Ca, S y Mn, en columna de MgO del experimento 1.....	41
Figura 31: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu en columna de conchillas de almejas.....	64
Figura 32: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Mn, Ca y S, en columna de MgO.....	62
Figura 33: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu, en columna de cáscara de huevo.	67
Figura 34: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Mn, Ca y S, en columna de MgO.....	65
Figura 35: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu, en columna de conchillas de choritos.....	70
Figura 36: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Mn, Ca y S, en columna de MgO.....	69

Índice de Tablas

Tabla 1: Rangos aproximados que son capaces de tratar los métodos activos y pasivos. Modificado de Taylor et al. (2005).....	6
Tabla 2: Tabla resumen de diferentes métodos de tratamiento pasivo y los AMD que son capaces de tratar. Fuente: Modificado de Taylor et al (2005).	8
Tabla 3: Tabla de HCl a agregar al experimento, en base a su grado de efervescencia. Modificada de Usher et al, 2003.	20
Tabla 4: Condiciones y resultados de experimento preliminar de neutralización con calcita.....	32
Tabla 5: Condiciones y resultados de experimento preliminar de neutralización con escoria.....	33
Tabla 6: Condiciones y resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de huevo.....	35
Tabla 7: Condiciones y resultados de experimento preliminar de neutralización con conchillas de choritos.	36
Tabla 8: Condiciones y resultados experimento preliminar de neutralización con conchillas de almejas...37	
Tabla 9: Condiciones y resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de arroz.	38
Tabla 10: Resultados experimento ABA.....	39
Tabla 11: Cantidad de agua aceptada y porosidad inicial de columnas carbonatadas.	45
Tabla 12: Concentraciones promedio de metales en AMD chilenos y reactivos utilizados para generar el AMD sintético. Datos obtenidos de alumno memorista J.C. Dreyfus 2017, Universidad de Chile.....	46
Tabla 13: Minerales que teóricamente precipitan en AMD inicial. Índices de saturación calculados con software “Phreeqc”.....	47
Tabla 14: Calendario de actividades.	48
Tabla 15: Resultados de absorbancia y concentración de hierro en columnas carbonatadas y AMD sintético.	50
Tabla 16: Resultados de concentración de aluminio en columnas carbonatadas y AMD sintético.	51
Tabla 17: Cantidad de material reactivo por columna, potencial de neutralización y cantidad efectiva de carbonato de calcio.....	73
Tabla 18: Datos y estimaciones utilizando el método de iones disueltos de calcio. Más información respecto a los iones disueltos en Anexo D.	74
Tabla 19: Datos y estimaciones utilizando “Phreeqc”.	74

1. Introducción

El objetivo de este informe es presentar el trabajo de título del presente autor, para optar al título de Geólogo de la Universidad de Chile. La presente investigación se enmarca dentro de un proyecto CORFO, el cual consiste en una investigación y diseño de un sistema de tratamiento pasivo de drenajes ácido de minas optimizado para las condiciones climáticas y geográficas chilenas. Para ello, la empresa SACYR CHILE S.A contrató al AMTC (Advanced Mining Technology Center) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile para que realice las tareas de investigación científica inherentes al proyecto.

En este contexto, se llevarán a cabo distintos trabajos de memoria de título y de magíster que en conjunto serán capaces de poder dar respuesta a las interrogantes que presenta el proyecto. Las principales líneas de investigación a realizar incluyen: 1) levantamiento de las condiciones de los drenajes ácidos mineros en Chile; 2) estudio hidrográfico/climático; 3) estudio sobre materiales reactivos a utilizar en el proyecto y 4) estudio para delimitar el rango de caudales y concentraciones metálicas en las que el sistema de tratamiento muestre un desempeño óptimo.

La memoria de título corresponde a la investigación 3 antes mencionada, es decir, un estudio sobre los materiales reactivos a utilizar en el proyecto. Se realizarán columnas de laboratorio utilizando una mezcla de materiales inertes y reactivos para poder determinar la combinación más eficiente para la purificación de las aguas. La presente investigación continuará con el punto 4) antes mencionado, en una memoria de magíster.

Para abordar este tema se comenzará con un apartado de antecedentes, donde se entregarán todos los conocimientos necesarios para entender la relevancia del proyecto que se está realizando y para entender la química detrás de las columnas de laboratorio que se desean realizar. Luego, se detallarán los objetivos generales y específicos que serán los pilares del trabajo de memoria, para luego pasar a explicar las metodologías que se utilizarán para poder cumplir los objetivos planteados. Luego se presentarán los resultados obtenidos junto con las discusiones y conclusiones que se pueden obtener a partir de ellos, con la intención de responder a los objetivos planteados anteriormente.

2. Antecedentes

2.1 ¿Qué es un AMD? ¿Cómo se genera?

La sigla AMD significa “drenaje ácido minero” (Acid Mine Drainage en inglés). No existe una definición estricta respecto a la composición que debe tener un agua para ser considerada un AMD, pero se puede definir como un agua con pH ácido en la cual hay una concentración importante de metales disueltos.

Existen 2 tipos de AMD: naturales y antropogénicos. Los AMD naturales (también llamados ARD, Acid Rock Drainage) son poco comunes (un ejemplo es el sector de Yerba Loca en Chile, Gutiérrez et al., 2015) pero el proceso por el cual se generan no es diferente al de un AMD antropogénico. Para que un agua sea considerada un AMD debe tener una alta concentración de protones disueltos y su generación ocurre por un proceso de oxidación de sulfuros. Es en este punto donde radica la diferencia entre los AMD naturales y antropogénicos. Un AMD natural es aquel en el cual la acidez liberada por los sulfuros ocurre sin la intervención de los humanos. Por otro lado, un AMD antropogénico se genera en un sector intervenido por el ser humano, en el cual se cambiaron las condiciones en las que se encontraban los sulfuros y debido a este cambio se activó su oxidación.

La generación de un AMD depende de la composición mineralógica del material. En este sentido, cada material posee un cierto potencial para producir acidez (PA) y un potencial para neutralizar la acidez (PN). Esto también se puede entender como la capacidad de un material para liberar protones (H^+) y para liberar hidróxido (OH^-). De forma simplificada, el PA está controlado por los sulfuros y metales presentes que puedan hidrolizarse, mientras que el PN está controlado por la presencia de silicatos y carbonatos. La disposición de los materiales, junto con la relación entre PA y PN será determinante para la posible formación de un AMD.

La liberación de acidez de los sulfuros ocurre cuando se conjugan 2 factores: condiciones oxidantes y presencia de agua. Debido a la actividad minera se retira material estéril para poder extraer el mineral de interés y muchas veces el material estéril tiene un porcentaje importante de sulfuros. Estos sulfuros, que se encontraban en condiciones no reactivas, debido a la actividad humana pasan a estar en condiciones oxidantes. Otra situación (entre otras) que puede provocar el cambio en las condiciones redox del sistema es el bombeo de agua que genera la presencia humana, la cual desencadena cambios en el nivel freático. Si llegan a cambiarse las condiciones redox del sistema, solo hace falta la presencia de agua para generar acidez y por ende un AMD.

A partir de esto, es evidente que en la mayoría de los depósitos de relaves y botaderos se puede generar AMD; estos se encuentran en la superficie en contacto con el aire y están expuestos a las precipitaciones. El agua de lluvia puede desencadenar la reacción con los sulfuros y estas aguas pueden escurrir a cursos de aguas cercanos, lo que puede generar un problema medioambiental importante tanto en la flora y fauna de la zona, así como también en las comunidades cercanas.

Cabe destacar que el proceso de generación de AMD tiene diferencias entre botaderos y relaves, según Dold (2003):

“En los botaderos el oxígeno atmosférico tiene más fácil acceso a los sulfuros expuestos, debido a su granulometría gruesa, y puede oxidar rápidamente los sulfuros (...) Por el contrario, en depósitos de relaves el oxígeno puede recién atacar cuando se formó una zona no saturada y, debido a la fina granulometría, la mayor parte de los sulfuros es accesible a la oxidación, pero también es accesible a la mayor parte del potencial de neutralización. Así, estos procesos son mucho más lentos en depósitos de relaves que en botaderos” (p.30)

De esto se desprende que, si bien la generación de AMD podría ser muy baja en un relave, esto podría cambiar en el futuro y por ende es importante que se tenga un conocimiento de la geoquímica de los relaves para prevenir una liberación importante de acidez de los mismos. Cabe destacar que la granulometría gruesa facilita la generación de AMD por la porosidad que le entrega al medio (caso botaderos), mientras que la granulometría fina entrega mayor superficie de reacción, pero se compensa por un fácil acceso al potencial de neutralización (caso relaves)

2.2 Oxidación de pirita

El análisis que se presenta a continuación considera a la pirita (FeS_2), el cual es el sulfuro más común en la mayoría de los yacimientos minerales. En la sección 2.3 se detallarán el resto de los sulfuros que se presentan en los yacimientos minerales más comunes.

La liberación de acidez a partir de pirita ocurre en 4 etapas, las cuales se presentan a continuación:



Cuando la pirita entra en contacto con oxígeno y agua (Ecuación 1) reacciona y libera hierro ferroso, 2 moles de sulfato y 2 moles de protones. Luego, ocurre la oxidación del ion ferroso a ion férrico (Ecuación 2), lo cual consume 1 mol de protones. Recapitulando, hasta esta etapa se genera solo 1 mol de protones.

Después de que se tiene el ion férrico, ocurre una reacción de hidrólisis (Ecuación 3) en la cual se genera un hidróxido de hierro y se liberan 3 moles de protones (4 en total, considerando el mol generando entre las etapas 1 y 2). Ya en esta etapa se puede apreciar un importante descenso en el pH del agua. Cabe destacar que según Dold (2003) “Cuando el pH baja a menos de 5, el proceso de oxidación del ferroso al férrico es muy lento” (p.31), es decir, la cinética de este proceso está controlada principalmente por la Ecuación 2. Esta cinética se puede ver influenciada por la presencia de bacterias quimiolitótrofas que catalizan la oxidación.

Finalmente, aun con ausencia de oxígeno, puede ocurrir la oxidación de la pirita directamente cuando hay presencia de ion férrico (Ecuación 4), generando una acidez muy importante. Cabe destacar que este último paso solo ocurre en condiciones ácidas cuando la solubilidad del hierro férrico lo permita. Se debe recalcar que, si este ion férrico se formó en el mismo sistema, se consumieron 14 protones en su producción (Ecuación 2) y por ende el saldo de acidez no es tan alto como aparenta ser. Lo relevante ocurre cuando el ion férrico que reacciona con la pirita proviene de otro lugar (como lo puede ser un afluente a un río principal); en este caso la cantidad de acidez producida es 8 veces mayor y la bajada de pH es muy pronunciada.

2.3 Otros sulfuros relevantes

La pirita no es el único sulfuro capaz de generar acidez, pero si es el más importante. De todas formas, conocer de qué manera se comportan el resto de los sulfuros respecto a este tema puede ser útil para casos específicos donde existan concentraciones importantes de algunos de ellos.

La pirrotina ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$) se comporta de forma similar a la pirita, obviamente con diferencias en función de la proporción que tenga de hierro/azufre. Esto quiere decir que la pirrotina tiene potencial para generar acidez, pero al estar asociada a la pirita es difícil que sea omitida en algún análisis de AMD. De todas formas, según Dold (2005) “es muy importante (la pirrotina) en las etapas tempranas de meteorización, ya que la tasa de oxidación es entre 20 y 100 veces más alta que la presentada por la pirita en concentraciones atmosféricas de O_2 y a 22°C ” (p.9) Es por esta razón que puede ser relevante el saber si un botadero o relave posee concentraciones de pirrotina (lo cual no es usual, ya que este mineral no es común en pórfidos cupríferos, los cuales son los principales yacimientos en Chile)

La calcopirita (CuFeS_2 , otro sulfuro común) posee un potencial de generación de acidez muy bajo, por lo que en general no se considera un mineral problemático (además que al ser mena de cobre su presencia en botaderos/relaves es baja). Un caso similar es el de la molibdenita (MoS_2). Un mineral problemático es la arsenopirita (FeAsS), el cual genera una acidez similar a la pirita y además posee arsénico, elemento muy tóxico para la salud.

Otros sulfuros que comúnmente se pueden encontrar en yacimientos minerales, como la esfalerita (ZnS) y galena (PbS) no tienen potencial para generar acidez y por ende son inofensivos.

2.4 Comportamiento de metales en un AMD

El principal problema que tiene la generación de acidez no radica en las altas concentraciones de protones en sí mismo, sino en las altas concentraciones de metales que conlleva una disminución del pH. La solubilidad de los metales está fuertemente afectada por el pH del agua, siendo esta alta en pH extremos, es decir, la solubilidad de metales es considerable en pH ácidos y extremadamente alcalinos.

En general, la precipitación de metales al aumentar el pH ocurre en forma de hidróxidos, los cuales pueden generar diversos problemas en la forma de tratar las aguas (especialmente en los métodos pasivos de tratamiento, apartado 2.5.2).

El pH exacto de precipitación de los metales todavía es un tema de estudio, pero se manejan rangos en los cuales se sabe que el metal ya no es soluble. El aluminio precipita cuando el pH es sobre 5 y vuelve a disolverse en valores de pH superiores a 9, mientras que el hierro precipita a pH aproximadamente de 3,5. El manganeso requiere pH mayores para su precipitación (9-10) y por ende tiende a ser problemático debido a que muchos metales vuelven a disolverse a estos pH alcalinos.

La mayoría de los metales trivalentes ya no son solubles en pH neutros, mientras que los divalentes tienden a precipitar en pH más altos (cerca de 8-9). En base a esto, para que la purificación de agua sea lo más eficiente posible, es ideal que el pH del agua termine al menos en 8 y ojalá que posteriormente se remueva el manganeso (de ser importante su concentración en el AMD). En la Figura 1 se puede apreciar a que pH la solubilidad de algunos hidróxidos de metales pesados es menor.

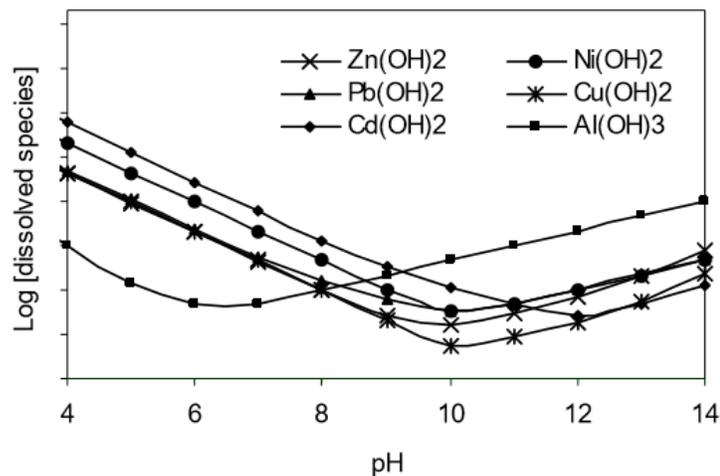


Figura 1: Solubilidad de hidróxidos de metales pesados en función del pH. Fuente: Taylor et al (2005)

2.5 Tratamientos de AMD

2.5.1 Tratamientos activos de AMD

Como se puede apreciar en los apartados anteriores, la forma de prevenir la generación de AMD recae en evitar que ocurra la reacción de oxidación de sulfuros. Para ello, se debe impedir que los sulfuros estén en condiciones oxidantes y que no entren en contacto con agua. Esto no siempre es posible de realizar por problemas logísticos de la mina, ya que muchas veces los costos para evitar estas situaciones son muy altos. Es por esta razón que en la mayoría de las faenas mineras hay algún grado de generación de AMD.

En el mundo globalizado es muy importante la relación que tienen las empresas con el medio ambiente y esto es aún más relevante en la industria minera. Existen una infinidad de proyectos mineros que económicamente son rentables, pero al tener problemas medioambientales no pueden seguir adelante. A partir de esto, el tratamiento de los AMD juega un papel central en los programas medioambientales de las empresas mineras.

Existen 2 tipos de tratamiento generales que permiten el tratamiento de AMD: los tratamientos activos y los tratamientos pasivos (Cocos et al, 2002; Kalin et al 2006; Kumari et al, 2010). En este apartado se detallarán los métodos activos, mientras que en el apartado 2.5.2 se detallarán los métodos pasivos de tratamiento de AMD. Si bien hay muchas diferencias entre los métodos de tratamiento, estos utilizan una estrategia general muy similar: aumentar el pH del agua para que precipiten los metales (Aubé et al, 2003) y así purificar el agua (Ecuación 5 muestra un ejemplo de este proceso para la calcita). En la Tabla 1 se pueden apreciar los rangos de acidez aproximados que son capaces de manejar los distintos métodos de tratamiento.



Tabla 1: Rangos aproximados que son capaces de tratar los métodos activos y pasivos. Modificado de Taylor et al. (2005)

Sistema de tratamiento	Rango de acidez (mg CaCO ₃ /L)	Carga ácida (Kg CaCO ₃ /día)	Flujo (L/s)	Rango de pH típico	Máximo pH alcanzable
Pasivo	1-800	1-150	<50	>2	7,5-8
Activo	1-10.000	1-50.000	Sin limite	Sin limite	14

Los tratamientos activos de AMD se caracterizan por requerir energía para aumentar la velocidad de reacción entre el material reactivo y el agua a tratar. Son los métodos más utilizados por la minería actualmente, ya que son más eficientes y permiten un control mucho mayor del tratamiento. El uso de energía es necesario para aumentar la velocidad de reacción del material reactivo y por ende acelerar el proceso de neutralización del agua. Sin embargo, pese a ello los métodos activos tienen problemas que hacen que no sean ideales.

Los problemas de este tipo de tratamiento radican en los costos de mantención que tienen. Esto genera un problema debido a que es importante entender que muchas veces la generación de AMD ocurre después de cerrada la mina y por ende los costos de mantención deben ser considerados dentro del plan de cierre de la misma. Estos costos tienden a ser elevados y como la empresa ya no genera utilidades si la mina no está en operación, hay pocos incentivos para mantener el tratamiento de aguas. Otro problema relevante de los tratamientos activos radica precisamente en que utilizan energía; esta no siempre proviene de fuentes sustentables y si esto es así se genera una ironía cuando se utiliza energía para purificar aguas con objetivos medioambientales, cuando precisamente esta energía proviene de fuentes que perjudican el medioambiente.

Existen diversos tipos de tratamiento activos de AMD, los cuales utilizan diversos procesos para purificar las aguas. Entre estos se encuentran un control directo del pH y precipitación, concentración electroquímica, mediación biológica, intercambios iónicos, entre otros. Algunos de los tratamientos activos más utilizados son plantas de lodo de baja densidad (LDS, los cuales utilizan un control de pH y precipitación), plantas de lodo de alta densidad (HDS, también utilizan control de pH y precipitación, Figura 2), reactores de carbonatos pulsados (PCR), tratamientos hidro-activos de calizas (HALT), entre muchos otros.



Figura 2: Planta HDS, utilizando maquinaria y un input de energía importante Fuente: Taylor et al, 2005.

2.5.2 Tratamientos pasivos de AMD

A diferencia de los métodos activos, los métodos pasivos de tratamiento de AMD no utilizan energía externa. Estos se aprovechan de las características del área minera (por ejemplo, diferencias topográficas) para poder generar un sistema que aproveche dichas particularidades. En este sentido, los tratamientos pasivos poseen costos de mantención bajos en comparación a los métodos activos.

Desde el punto de vista energético la ventaja de los tratamientos pasivos frente a los activos es innegable, pero presentan otra importante cantidad de problemas. Para empezar, los métodos pasivos son menos eficientes ya que al no tener una inyección de energía no son capaces de variar sus parámetros de control y por ende el agua que son capaces de purificar debe cumplir condiciones específicas las cuales solo pueden variar en márgenes muy acotados. Otro problema de los métodos pasivos radica en la logística de la infraestructura; muchas veces utilizan mucho espacio, el cual no siempre está disponible cerca de los cursos de agua a tratar.

Es por estas razones que los métodos pasivos de tratamiento son bastante menos utilizados que los métodos activos. Sin embargo, en una mina donde se junten las condiciones adecuadas los métodos pasivos son superiores si se consideran los aspectos ambientales.

A continuación, se presenta la Tabla 2 con un resumen sobre las características del AMD a tratar para diferentes métodos pasivos de tratamiento. Luego se presenta una breve explicación de cada método.

Tabla 2: Tabla resumen de diferentes métodos de tratamiento pasivo y los AMD que son capaces de tratar. Fuente: Modificado de Taylor et al (2005).

Tipo de tratamiento	Rango de acidez (mg CaCO ₃ /L)	Carga ácida (Kg CaCO ₃ /día)	Flujo (L/s)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Rango de pH típico	Máximo pH alcanzable
OLD	<500	<150	<20	Ambiental	>2	6-8
ALD	<500	<150	<20	<1	>2	6-8
LDW	<500	1-1.000	<1000	Ambiental	>2	6-8
Capas de caliza y pirolusita	<500	1-500	Según tiempo de residencia	Ambiental	3-5	6-8
Humedales aeróbicos	<500	<=1	Según tiempo de residencia	Ambiental	>6	n/a
Humedales anaeróbicos	<500	1	Según tiempo de residencia	Ambiental en superficie	>2,5	6-8
				<1 en subsuperficie		
RAPS	<300	<100	<15	<1-3	>2,5	6-8
PRB	<500	1-5	<1	Relativamente reducido	>3	>6,5
SLB	<1000	1-2	<20	Ambiental	>1,5	>10

-Drenajes de caliza abiertos (OLD): Utilizan caliza gruesa para purificar el agua, sin preocuparse de las condiciones redox del mismo. Utilizan más cantidad de caliza que otros métodos y tienen problemas con la impregnación de metales en los granos. Su fuente de energía proviene de diferencias topográficas.

-Drenajes de caliza anóxicos (ALD): Similares a los OLD, pero más eficientes porque si se preocupa de evitar que el agua entre en contacto con el oxígeno. Esto mantiene al hierro en su estado ferroso, disminuyendo los problemas de impregnación.

-Pozos de desviación de caliza (LDW): Sistema de tratamiento que necesita grandes diferencias topográficas (10 metros) para funcionar. Se basa en la fuerza hidráulica del agua para evitar problemas como la impregnación de metales en el material reactivo.

-Capas de caliza y pirolusita: trabajan con micro-organismos aeróbicos (generalmente algas) para tratar aguas con altos contenidos de manganeso. La reacción que ocurre en este tratamiento se muestra en la Ecuación 6.



-Humedales: Se basan en ecosistemas complejos para tratar AMD con altos tiempos de residencia. Pueden ser aeróbicos (Figura 3) o anaeróbicos. Cabe destacar que los humedales aeróbicos no neutralizan el agua, solo entregan las condiciones para la precipitación de metales. En general, requieren altas áreas de superficie. Los humedales anaeróbicos se basan en la Ecuación 7 para funcionar.



Figura 3: Humedal aeróbico. Fuente: Taylor et al, 2005.

-Sistemas reductores y productores de alcalinidad (RAPS): Son un conjunto de formas de abordar AMD con baja acidez, bajos flujos, baja carga acida y relativamente reducidos. Estos sistemas incluyen Sistemas productores de alcalinidad (Alkalinity Producing Systems, APS), humedales de flujo vertical (Vertical Flow Wetlands, VFW), sistemas de producción de alcalinidad inversos (Reverse Alkalinity Producing Systems) y sistemas de producción de alcalinidad sucesivos (Successive Alkalinity Producing Systems, SAPS).

Estos sistemas poseen varias características en común: Todos mezclan caliza con materia orgánica, dependen de la generación de alcalinidad por parte de la caliza y actividad bacteriana, promueven condiciones reductoras, brindan sitios para la adsorción de metales y aumentan el pH a condiciones casi neutras.

-Barreras permeables reactivas (PRB): Son niveles enterrados de material reactivo (materia orgánica/caliza/hierro) que son designados para interceptar plumas de agua subterránea de AMD para asistir a la remediación in-situ (Figura 4). El material orgánico promueve la reducción de sulfatos mediada por la actividad bacteriana lo que genera una reacción de H_2S y HS^- , lo cual genera precipitados de distintos metales (As, Cd, Cu, Fe, etc.). La materia orgánica es consumida por las bacterias y los espacios vacíos son rellenados por los precipitados de metales.

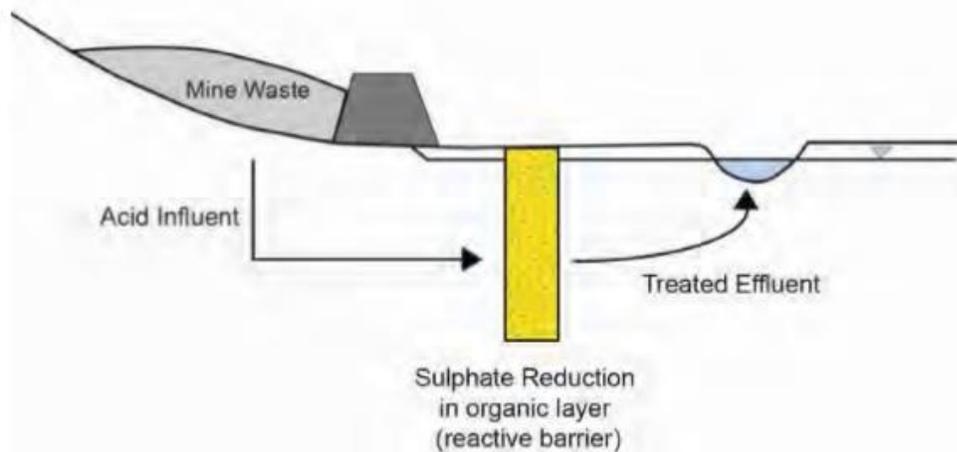


Figura 4: Esquema del método PRB interceptando y tratando aguas subterráneas in-situ. Fuente: Taylor et al (2005)

-Capas de lixiviación de escorias (SLB): son canales o barreras conteniendo grano fino de un agregado de escoria. El método SLB es similar al método OLD, pero utilizan escoria en vez de caliza. Esta escoria es rica en calcio y poseen una capacidad de neutralización importante. Estos son inestables en presencia de agua y por ende liberan su alcalinidad fácilmente. La escoria posee niveles trazas de metales como aluminio, magnesio, hierro, titanio, magnesio y sílice. Como es lógico, la eficiencia del sistema depende precisamente de la escoria utilizada. Sin embargo, se puede lograr una remoción importante de metales ya que el pH puede llegar a niveles altos (hasta pH 10).

2.6 Problemáticas actuales

Como se mencionó en el apartado anterior, es ideal para el tratamiento de AMD que se ocupen métodos pasivos de tratamiento. Sin embargo, es evidente que esto presenta un desafío científico importante para que sean eficientes. Para el caso particular de Chile, en general los tratamientos pasivos no son utilizados. Esto ocurre porque los métodos pasivos actuales no son capaces de purificar los AMD generados en nuestro país. La mayor parte de los métodos pasivos que existen en la actualidad fueron diseñados para la minería del carbón y no para el tipo de minería presente en nuestro país.

En Chile la minería del cobre es la dominante, con yacimientos de tipo Pórfido los más comunes (también existen varios yacimientos Epitermales, IOCG y Estratoligados). En general, estos yacimientos contienen cantidades importantes de sulfuros, especialmente pirita. Es por esto que los AMD de Chile tienden a tener concentraciones de metales más altas, con flujos más altos (por la gran escala de los proyectos) que los que son capaces de soportar los tratamientos pasivos actuales. Las altas concentraciones de metales implican una precipitación de hidróxidos muy alta al aumentar el pH y esto satura los sistemas de los métodos pasivos conocidos.

En base a estos antecedentes, si se desean implementar los sistemas pasivos de tratamiento de AMD en Chile, es necesario buscar nuevas alternativas que permitan un tratamiento de aguas con una concentración de metales importante y que sean amigables con el medio ambiente.

2.7 Método DAS

Este problema de cómo tratar los drenajes ácidos no solo ocurre en Chile, sino también en otras partes del mundo. Un ejemplo de ello ocurre en la península ibérica en España. En este lugar se encuentra una de las concentraciones más grandes de sulfuros del mundo, lo que se denomina la faja pirítica ibérica. En esta provincia la industria minera se desarrolló fuertemente y generó un problema de AMD importante. En la Figura 5 se pueden ver los niveles de acidez que son capaces de tratar los métodos pasivos más utilizados, frente a los niveles que presenta esta zona.

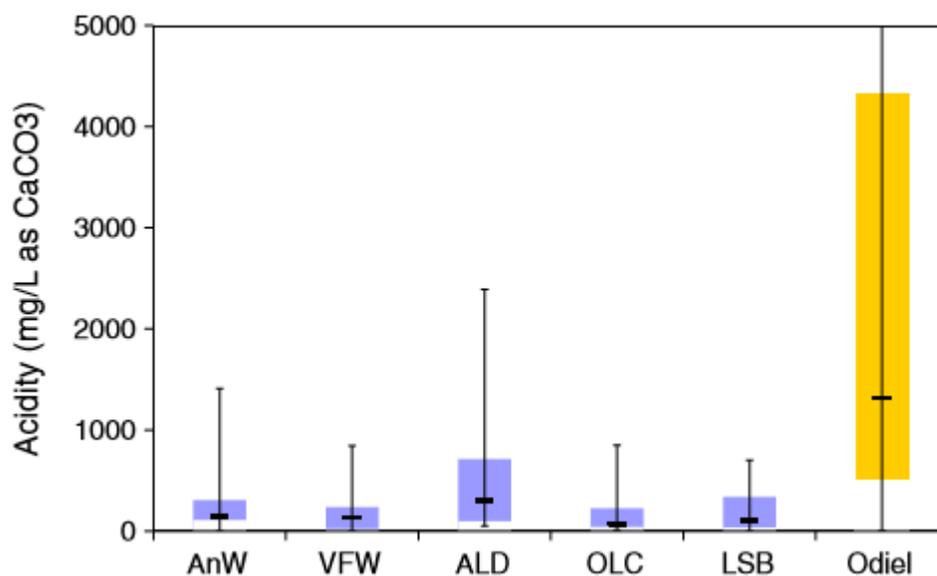


Figura 5: Comparación de acidez neta (percentiles 25%, 75% y promedio) de aguas tratadas con métodos pasivos convencionales (80 muestras) y la acidez de la cuenca Odiel (ubicada en la península ibérica, 245 muestras). AnW anaerobic wetlands, VFW vertical flow wetlands (RAPS), ALD Anoxic limestone drains, OLC oxic limestone channels, LSB limestone leach beds. Fuente: Ayora et al (2013).

La purificación de las aguas de la zona tenía problemas no solo en las altas concentraciones de metales en los AMD, sino también en los costos asociados al tratamiento; muchos de los AMD se generaban en minas fuera de producción y por ende los costos de mantención no podían ser elevados. En base a esto, la implementación de un sistema de tratamiento pasivo de AMD era el ideal para poder no solo mantener un modelo sustentable económicamente, sino también dar un ejemplo medioambiental de cómo solucionar una problemática de este estilo.

A través de los años se implementaron varios sistemas pasivos de tratamiento de AMD, entre ellos el método ALD (apartado 2.5.2). Sin embargo, estos presentaron los problemas que ya se han descrito para aguas con cantidades importantes de metales. A partir de ello, se desarrolló e implemento un nuevo método para tratar los AMD de la faja pirítica ibérica.

Uno de los problemas principales de los tratamientos pasivos que utilizan caliza radica en el tamaño de grano a utilizar. Por un lado, es deseable que el tamaño de grano sea fino y de esta forma aumentar la eficiencia del sistema al aumentar el área de superficie entre la calicita y el AMD. Por otro lado, la permeabilidad que posee un sistema con material de grano fino es muy baja y no permite tratar cantidades importantes de agua. En base a esto último, un tamaño de grano más grueso le entrega una conductividad hidráulica al sistema que permite un tratamiento eficiente.

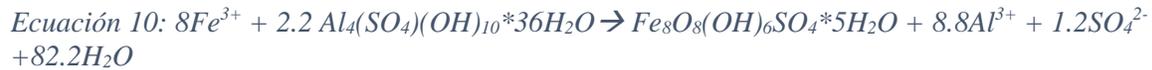
A partir de esta disyuntiva surge el método DAS (Sustrato disperso alcalino, en inglés), el cual considera este problema del tamaño de grano, planteando una solución eficiente y ecológica. El método consiste en un sustrato compuesto por 2 materiales: Un material inerte y un material reactivo. El material inerte es un material que no reacciona con el AMD, es de tamaño grueso (le entrega la permeabilidad deseada al sistema) e idealmente es un material de desecho de alguna otra industria. El material reactivo será un material que tenga la capacidad de neutralizar la acidez del AMD y tendrá un grano fino que permite un área de superficie alta (y por ende una mayor eficiencia). Esto también soluciona parcialmente el problema del precipitado de hidróxidos; el mayor espacio entre granos permite que los precipitados no tapen el sistema tan rápidamente.

2.7.1 Columnas de Laboratorio para el método DAS

El método DAS parece ser una solución para la problemática del tratamiento de AMD. Sin embargo, las reacciones químicas que ocurren en el tratamiento de AMD son complejas y esta complejidad aumenta aún más al utilizar una mezcla de materiales. Para probar empíricamente la eficiencia del método es necesario realizar columnas de laboratorio, las cuales permitirán determinar la validez del método.

Las columnas de laboratorio consisten básicamente en un cilindro hueco, en la cual se coloca el sustrato (la mezcla de material inerte y reactivo) para luego hacer pasar el AMD por el mismo. Como es de esperar, el AMD reacciona con el sustrato, aumentando el pH y precipitan los metales. Toda esta interacción no es simple y cada combinación de materiales utilizados tendrá sus particularidades. A continuación, se detalla este proceso en las pruebas de laboratorio realizadas cuando se implementó el método DAS en la península Ibérica, según Ayora et al (2013). Antes de comenzar es necesario recalcar que el método DAS se separa en 2 etapas. La primera de ellas toma el AMD y tiene como objetivo remover los metales trivalentes (hierro y aluminio, principalmente). Esto se logra al llegar a pH neutros (6,5-7). Sin embargo, como se vio en el apartado 2.4, los metales divalentes tienden a precipitar a pH más altos (8-9) y por ende el agua ya desprovista de metales trivalentes vuelve a pasar por otra columna, donde se aumenta aún más el pH y precipitan los metales divalentes. Cabe destacar que el método se separa en 2 etapas debido a que no se conocen materiales que puedan generar la precipitación de metales divalentes y trivalentes en el mismo proceso sin tapar el sistema.

En la primera columna DAS se utiliza calcita para aumentar el pH. El input de AMD utilizado en este experimento fue: flujo 1 L/s, 244 mg/L Fe^{3+} , 113 mg/L Al^{3+} , porosidad inicial de 0,5 y pH inicial de 2,8 (Ayora et al, 2013). En este proceso precipita aluminio en forma de hidrobasaluminita ($Al_4(SO_4)(OH)_{10} * 12-36H_2O$) cuando el pH llega a 4 y hierro en forma de schwertmannita ($Fe_8O_8(OH)_6SO_4 * nH_2O$) cuando el pH es 2,8. Cabe destacar que dados los elementos que posee el AMD, también ocurre precipitación de yeso. Estas reacciones químicas de precipitación se presentan a continuación:



En la Ecuación 8 precipita la hidrobasaluminita, liberando cantidades importantes de calcio, al igual que la precipitación de schwertmannita (Ecuación 9). La precipitación de schwertmannita también puede ocurrir por disolución de hidrobasaluminita (Ecuación 10) previamente formada en (8). En la Figura 6 se puede ver la columna de laboratorio, mientras que en la Figura 7 se presenta un detalle de la evolución de diversos parámetros en la columna.

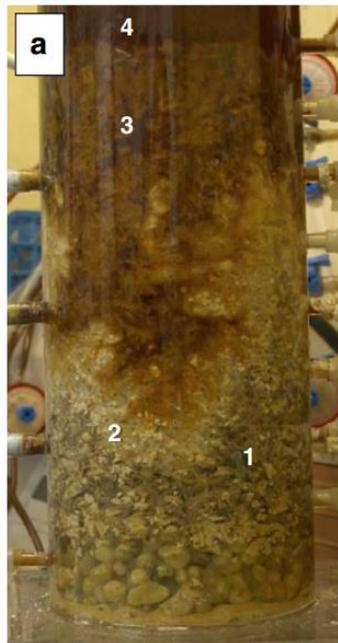


Figura 6: Ejemplo de columna de laboratorio para DAS de caliza. En 1 se tiene el sustrato, en 2 el frente de precipitación de hidrobasaluminita, en 3 la precipitación de schwertmannita y en 4 se muestra el input de AMD. Fuente: Ayora et al (2013)

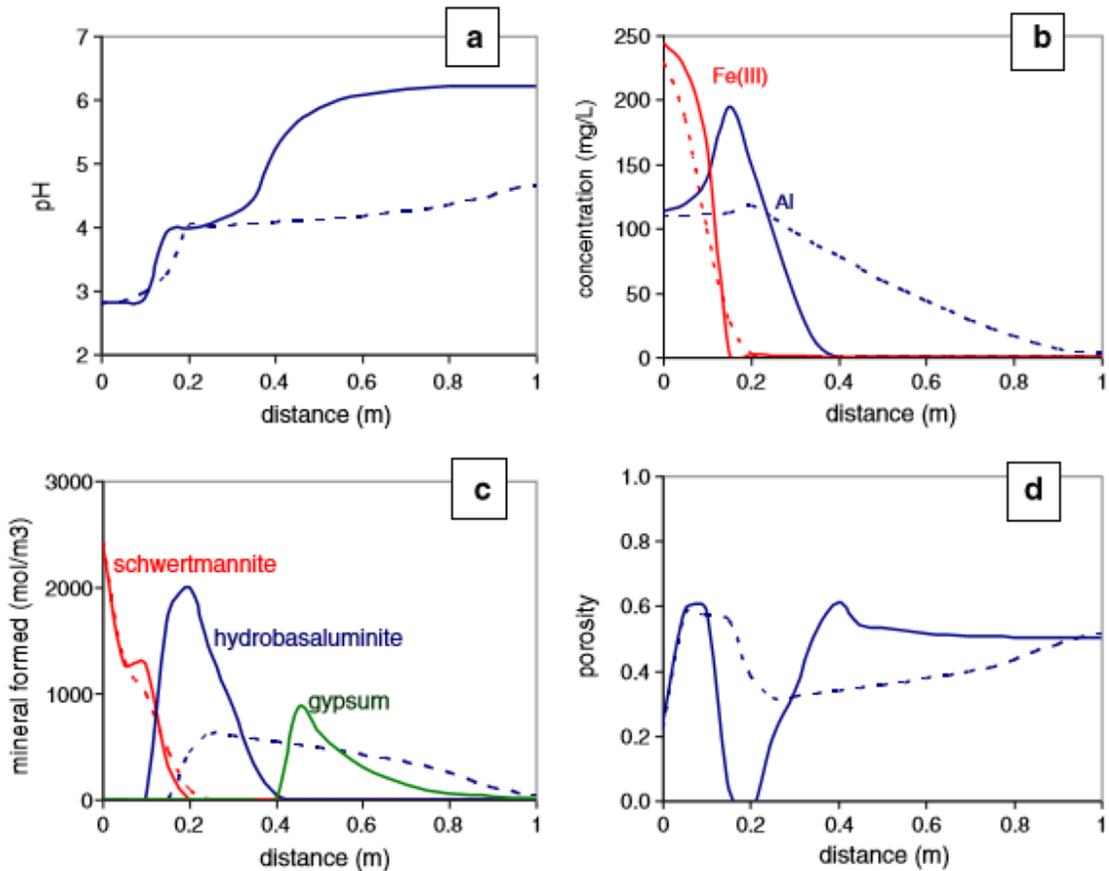


Figura 7: a) Evolución del pH en función de la distancia en la columna. b) Concentración de metales en solución. c) Precipitación de minerales. d) Porosidad. Las líneas punteadas indican otro experimento en el cual la razón de flujo/disolución era 10 veces mayor. Fuente: Ayora et al (2013)

Después de realizada esta columna, el agua ya fue purificada de metales trivalentes y posee un pH neutro. Para remover los metales divalentes es necesario aumentar aún más el pH y por ende se realiza otra columna con óxido de magnesio (Ayora et al, 2003; Cortina et al, 2003). En los experimentos realizados se utilizó un input de agua con un flujo de 0,5 L/s, 310 mg/L de Zn y 30 mg/L de Mn. En la Figura 8 se puede apreciar la columna de laboratorio realizada. Después de la columna, los valores de Zn y Mn fueron menores a los que son capaces de detectar los análisis.

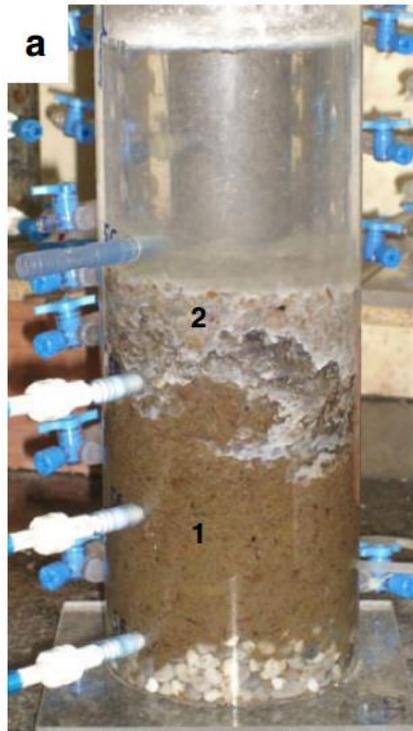


Figura 8: Columna DAS de óxido de magnesio. En 1 se ve el sustrato y en 2 los precipitados de Zn (blanco) y de Mn (negro). Fuente: Ayora et al (2013)

2.8 Diferencias con la realidad chilena

Ya existen investigaciones (Caraballo et al 2011, Ayora et al 2013) que prueban que el método DAS es efectivo en la remoción de metales de AMD provenientes de la faja pirítica ibérica. Sin embargo, existen importantes diferencias entre esta zona y los yacimientos en Chile que no permiten asegurar que una implementación del método DAS en nuestro país sea eficiente. Estas diferencias radican en 2 ejes centrales: magnitudes de flujos a tratar y elementos contenidos en el AMD a purificar.

Los flujos de aguas a tratar en Chile son muy diversos, ya que existe minería a diferentes escalas y en diferentes zonas que generan una variabilidad muy importante. En contraste, los flujos de AMD de la faja pirítica ibérica tienden a ser menores y en rangos más acotados. Es por esto que es importante probar el sistema DAS para flujos diferentes y así probar la eficiencia del sistema en diferentes condiciones más cercanas a la realidad de Chile.

Respecto a los elementos a purificar, también existen diferencias importantes. Estas diferencias están evidentemente ligadas a la mineralogía de los yacimientos de cada zona. Para el caso de la faja pirítica ibérica, dominan los depósitos volcánicos de sulfuros masivos (VMS) con cantidades importantes de sulfuros hierro, cobre, zinc y plomo así como algo de plata y oro (Leistel et al 1997). Esto implica que los AMD generados en esta zona poseen carga metálica (véase Figura 5). En contraste, como se mencionó en el apartado 2.6, en Chile dominan los yacimientos tipo pórfido cuprífero, junto con yacimientos epitermales, IOCG y estratoligados. La mineralogía de este tipo de yacimientos es diversa, incluyendo minerales de mena como calcopirita, bornita, molibdenita y covelina, además de minerales de ganga como hematita, pirita, cuarzo, entre muchos otros. La principal diferencia con la faja pirítica ibérica radica en que en Chile los AMD poseen concentraciones en espectro mucho menores, especialmente en elementos como zinc, plomo e hierro.

Por estas razones surge la interrogante de la eficiencia del método DAS en Chile, país que contiene AMD con concentraciones de metales mucho menores y con una variabilidad de elementos más diversa. Por otro lado, es interesante poder buscar un reemplazo de la calcita como material reactivo. Esto debido a que el método se puede hacer aún más amigable con el medioambiente si se utilizan otros materiales locales para la purificación del agua.

3. Hipótesis de trabajo

En la presente investigación se pretende encontrar un material reactivo que sea capaz de reemplazar a la calcita como material para el método DAS y que funcione igual o mejor que esta. En este sentido, se espera que las conchillas marinas y cáscara de huevo a utilizar sean eficientes en el aumento de pH y que sean capaces de funcionar de forma adecuada en términos de conductividad hidráulica y remoción de metales.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

-Utilizando materiales locales (chilenos), encontrar a escala de laboratorio un material reactivo alternativo a la calcita que permita un buen tratamiento pasivo (tipo DAS) de AMD para rangos de contaminación chilenos.

4.2 Objetivos específicos

-Realizar un estudio bibliográfico de posibles materiales reactivos e inertes que podrían ser utilizados dentro de un tratamiento pasivo tipo DAS.

-Seleccionar los mejores candidatos locales de materiales inertes y reactivos a ser utilizados en los experimentos de laboratorio.

-Realizar columnas de laboratorio probando distintas mezclas con los materiales inertes y reactivos seleccionados.

-Analizar los resultados desde un punto de vista hidroquímico (parámetros fisicoquímicos, muestras de agua) e hidráulico (conductividad hidráulica) de cada columna y comparar la eficiencia que poseen para retirar metales en solución.

5. Metodología

5.1 Experimentos preliminares de neutralización

Para poder determinar que materiales son los mejores para ser probados en las columnas de laboratorio, es necesario realizar una selección preliminar de ellos. Esto es importante, ya que si bien en teoría todos los materiales reactivos son capaces de subir el pH, en la práctica esto puede no ser eficiente. Las razones de ellos pueden ser diversas, desde una cinética de reacción diferente a la esperada, hasta la dificultad que puede existir para conseguir el material idóneo en las condiciones chilenas. Debemos recordar que las consideraciones económicas son esenciales dentro de este trabajo.

En base a esto, para los materiales reactivos seleccionados se realizó un simple experimento para probar la subida de pH. La metodología utilizada fue la siguiente:

- Se tomaron 2 vasos de precipitado y cada uno fue llenado con 200ml de agua destilada.
- A uno de los 2 vasos de precipitado se le agrego 0,15ml de ácido nítrico al 65%. Se registró el pH de los 2 vasos de precipitado
- Se tomaron 2 muestras de aproximadamente 20gr cada una del material reactivo a probar y se colocaron en los respectivos vasos de precipitado.
- Se midió el pH para cada vaso de precipitado, de forma regular al comienzo del experimento y luego de forma espaciada.
- Después de 2 días de comenzado el experimento, este se da por finalizado y se miden los resultados.

Cabe destacar que, si bien el tamaño de grano es relevante para la cinética, el objetivo de esta etapa es simplemente saber hasta que pH llega el material que se utilizó. En ese sentido, el tamaño de grano no juega un rol predominante. La granulometría si será importante en las siguientes fases de selección.

5.2 Experimentos ABA

Si bien los experimentos preliminares de neutralización indican a que pH debería llegar el agua con el material reactivo, aunque el pH obtenido sea igual (o mejor) que el obtenido por la calcita no significa que sea eficiente en las columnas de laboratorio. Teniendo como referencia la calcita que ya se sabe que funciona de manera adecuada, se realizaron experimentos ABA (Acid-Base Accounting) para determinar el potencial de neutralización de los materiales utilizados. De esta forma se puede realizar una comparación con la calcita y determinar si vale la pena probarlos en las columnas de laboratorio.

Según la guía oficial de drenajes ácidos mineros de la INAP (International Network for Acid Prevention), los ensayos tipo ABA son un grupo de ensayos estáticos de laboratorio que tienen por objetivo determinar las capacidades acidificantes o neutralizantes de un material en particular. En general, se utilizan para determinar el potencial de acidez de una roca o un mineral en particular, esto en estudios de impacto ambiental. La ventaja de los métodos ABA es que poseen metodologías estándar que permiten una buena comparación entre materiales de distintas partes del mundo.

En este contexto, existen diversas metodologías ABA, cada una de ellas con ciertas ventajas y desventajas. Cada una posee una metodología más adecuada para medir ciertos parámetros.

La metodología ABA utilizada fue la Sobek modificada, obtenida de Usher et al (2003):

-Se le añade gotas de HCl al 25% a una muestra del material reactivo y se observa la efervescencia. En base a esta observación se le asigna un grado de efervescencia al reactivo (nulo, leve, moderado y alto).

-Se prepara una muestra de 2gr del reactivo a utilizar, con una granulometría en la cual el 80% de esta esté bajo el tamiz 200 (es decir, bajo los 75 micrones). Se toma un matraz de 250ml y se llena con 90ml de agua destilada, añadiendo los 2gr de muestra.

-Se coloca el matraz en un agitador magnético por 24 horas.

-Al comienzo del experimento y a las 2 horas de haber comenzado, se añade una cantidad específica de HCl al 1.0N en base a la siguiente Tabla 3.

Tabla 3: Tabla de HCl a agregar al experimento, en base a su grado de efervescencia. Modificada de Usher et al, 2003.

Grado de efervescencia	Volumen de 1.0N HCl (ml)	
	Al tiempo 0	A las 2 horas
Nulo	1	1
Leve	2	1
Moderado	2	2
Alto	3	2

-Después de 24 horas de haber comenzado el experimento se mide el pH de la solución. Si el pH es mayor a 2,5, se añade una cantidad medida de 1.0N de HCl hasta llegar a un pH entre 2 y 2,5. Si el pH medido fue menor a 2, la apreciación del grado de efervescencia fue erróneo y se debe volver a repetir el experimento.

-Luego se añade agua destilada hasta obtener un volumen total de 125ml y se vuelve a verificar que el pH este en el rango de 2-2,5.

-Se realiza una titulación utilizando 1.0N NaOH hasta llegar a un pH de 8,3.

-Finalmente, se calcula el potencial de neutralización en base a la Ecuación 11.

$$\text{Ecuación 11: NP modificado (Kg CaCO}_3\text{/t)} = \frac{[(N \times \text{vol(ml) de HCl}) - (N \times \text{vol(ml) de NaOH}) \times 50]}{\text{peso de la muestra (gr)}}$$

5.3 Granulometría

Para las columnas de laboratorio, es importante la granulometría del material reactivo, ya que esta afectara directamente a la permeabilidad del sistema y a la superficie de reacción que tengan los granos con el agua contaminada. Para realizar la granulometría, se utilizaron tamices de entre 75µm y 4mm en una muestra homogeneizada del material reactivo a utilizar.

5.4 Difracción de rayos X

Con el fin de caracterizar la mineralogía de los materiales reactivos a utilizar en las columnas, se realizó un análisis mediante difracción de rayos X en el departamento de Física de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Como paso previo, se acondicionó la muestra mediante la reducción del tamaño de grano de los materiales reactivos bajo las 75µm, preparando un volumen de 1cm³ para cada muestra. Los resultados se analizaron con el software EVA.

5.5 Diseño de muestreo y toma de datos

El diseño de muestreo y toma de datos es clave para organizar de buena manera el experimento. Este consiste en 4 aspectos principales:

1. Toma de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, ORP/Eh, oxígeno disuelto)
2. Espectrofotometría
3. Toma de muestras para ICP-MS.
4. Medición de conductividad hidráulica.

5.5.1 Parámetros fisicoquímicos

La medición de parámetros fisicoquímicos es clave para entender el comportamiento del agua dentro de las columnas. Para su medición, se utilizó el multímetro Thermo Scientific Orion Star series A239. Para el pH, se utilizó el electrodo Orion 8107UMMD, para el Eh/ORP el electrodo Orion 9179BN, para conductividad el electrodo Orion 013010MD y finalmente para oxígeno disuelto se utilizó el electrodo Orion 087003

-Con una jeringa se toman 15ml de agua de la llave de 3 pasos de la columna y se coloca en un tubo de centrifuga de 50ml.

-Se toman las medidas de pH, conductividad, ORP/Eh y oxígeno disuelto.

La medición de parámetros de entrada y salida de cada columna se realiza cada semana. Cada 15 días, se realiza medición de estos parámetros para todas las llaves de todas las columnas, para tener un perfil del comportamiento de las mismas.

5.5.2 Espectrofotometría

Se decidió realizar mediciones de espectrofotometría de absorción molecular para hierro y aluminio, para poder entender el comportamiento del sistema en términos de concentraciones de metales trivalentes y para la especiación de hierro.

El fundamento de esta metodología se basa en un agente que es capaz de cambiar la coloración del elemento en base a su especiación y al calcular la absorbancia con el espectrofotómetro relacionarlo con la concentración que tiene la muestra en particular.

Para la medición de hierro con espectrofotometría, se utilizaron los siguientes materiales:

-Solución estándar de hierro férrico $1000 \pm 5 \text{ mg/l}$

-Ácido acético glacial

-1,10 fenantrolina monohidrato.

-Acetato amónico.

-Ácido nítrico.

-Clorhidrato de hidroxilamina

-Agua Milli-Q

-Espectrofotómetro DR1900 HACH.

-Matraz de 20ml y pipetas adecuadas.

Con estos materiales, se siguió la siguiente metodología:

-Primero es necesario preparar las soluciones que se deben utilizar. Una solución tampón acético, con 40 gr de acetato amónico, 50 ml de ácido acético glacial y agua Milli-Q hasta 100 ml. Una solución al 0.5%(w/w) de 1,10-fenantrolina monohidrato, con 1.25 g disueltos en agua Milli-Q hasta 250 ml. Otra solución de clorhidrato de hidroxilamina (100 g/L), con 1 gr disuelto en agua Milli-Q hasta 10 ml. Finalmente, una solución estándar intermedia de 20 mg/L de hierro férrico, con 1 ml de disolución de hierro férrico de 1000 mg/lt, 3.45 ml de ácido nítrico suprapur y agua Milli-Q hasta 50 ml.

-Con las soluciones preparadas, se procede a realizar las soluciones patrones con diferentes concentraciones de la solución de hierro férrica ya preparada. Los detalles de la preparación de las soluciones patrones y la transformación desde datos de absorbancia a concentraciones se puede ver en el Anexo C.

-Para la medición de las muestras, se preparan 2 matraces. En cada uno se coloca 1ml de la solución de ácido, 2ml de fenantrolina y solo en uno de ellos 0,8ml de hidroxilamina. Se rellenan los matraces con la muestra a analizar teniendo presente que los patrones permiten una medición de hasta 5ppm y por ende para obtener datos precisos es necesario diluir la muestra (si se cree que las concentraciones de hierro pueden ser mayores a 5ppm).

-Finalmente se miden las absorbancias en el espectrofotómetro a 510nm. Los resultados para la muestra con hidroxilamina indican el hierro total de la muestra, mientras que la muestra sin hidroxilamina indicara la cantidad de hierro ferroso.

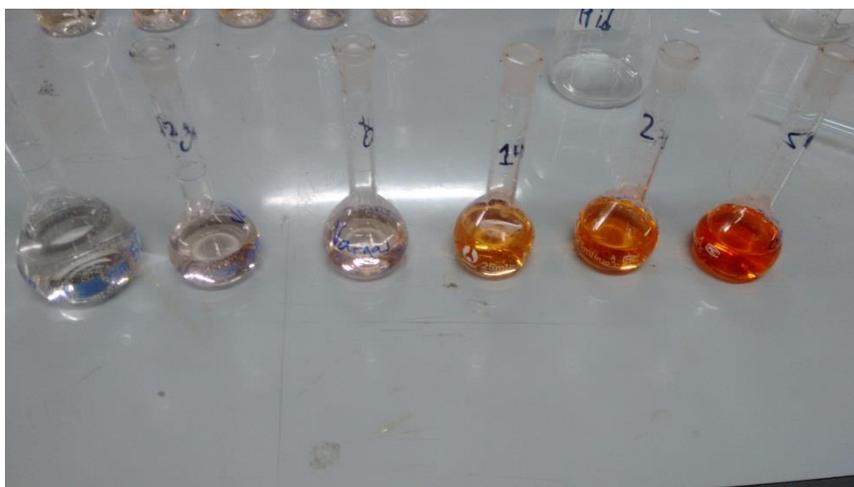


Figura 9: Patrones a utilizar en el método de la fenantrolina para medir concentraciones de hierro.

La espectrofotometría de aluminio se realiza utilizando el método “Aluminon 8012 powder pillows”, el cual mide concentraciones desde 0,008ppm hasta 0,8ppm. Para realizar la espectrofotometría de aluminio, se utilizaron los siguientes materiales:

-Aluver 3 reactivo de aluminio en polvo

-Ácido ascórbico en polvo.

-“Bleaching” 3 reactivo en polvo.

-Matraz 50ml.

-Espectrofotómetro.

Con estos materiales, se siguió la siguiente metodología:

-En un matraz se colocan 50ml de muestra (diluida si es necesario para estar dentro de los rangos del método) y se le añade un sobre del reactivo de ácido ascórbico. Cuando este está diluido, se añade un sobre del reactivo de aluminio.

-Después de esperar a que los reactivos se disuelvan de forma adecuada, se toman 2 matraces y en cada uno se colocan 10ml de la solución que se está preparando.

-A uno de los matraces se le añade el reactivo “Bleaching” 3. Se espera a que se disuelva de forma adecuada.

-Se mide en el espectrómetro a 522nm el punto cero con la muestra con el reactivo “Bleaching” 3 (Figura 10). Terminado esto, se procede a realizar la medición de concentración de aluminio en la otra muestra (la cual no posee el reactivo “Bleaching” 3).



Figura 10: Espectrofotómetro midiendo el punto cero, con el método Aluminon 8012.

5.5.3 Muestras ICP-MS

Las muestras de agua serán la principal herramienta para poder determinar la precipitación de metales y por ende la efectividad del método como tratamiento de purificación de aguas. Para su obtención, se sigue la siguiente metodología:

- Con una jeringa se obtienen 24ml de agua de la llave de 3 pasos.
- Se filtra el agua obtenida y se coloca en la botella de muestreo de 125ml, previamente lavada.
- Se rellena la botella con 100ml de agua ultra pura.
- Se agregan 23 gotas de ácido nítrico al 65%, para llevar el pH de la muestra a un rango entre 1 y 2 (para su conservación y evitar precipitados).

El muestreo de entrada y salida de cada columna se realiza cada 15 días, mientras que un muestreo completo de todas las columnas (es decir, de cada una de las llaves de las columnas) se realiza 1 vez al mes. El análisis de las muestras se realiza en el laboratorio AcmeLabs, en Canadá.

5.5.4 Conductividad hidráulica

La medición de conductividad hidráulica es relevante para poder determinar qué tan tapado está el sistema y por ende su rendimiento a largo plazo. Para obtener estos datos, se siguió la siguiente metodología utilizando un medidor de conductividad hidráulica (Figura 11).

- Se aumenta el flujo de entrada y se esperan 30 minutos para asegurarse que el sistema queda en equilibrio.
- Se llena el medidor con agua destilada y se mantiene a un nivel superior al sobrenadante de la columna que se desea medir.
- Con una jeringa se asegura que no existan burbujas en las llaves de 3 pasos.
- Se conectan las mangueras del medidor con las llaves de 3 pasos y se mueve la llave de tal forma que se conecte el agua del medidor con el agua dentro de la columna. El ultimo y primer tubo se conectan a la llave del sobrenadante y son el punto de referencia para las mediciones. Cabe destacar que el nivel del agua del medidor debe estar más arriba que el sobrenadante de la columna para que el agua fluya desde el medidor hacia la columna (por esta razón no hay toma de muestras la misma semana en la que se realiza esta medición).
- Se observan los tubos del medidor y se registran las diferencias de altura.

Estas mediciones se basan en el principio de vasos comunicantes siguiendo la ley de Darcy (Ecuación 12). El aumento del flujo y la posterior espera para alcanzar el equilibrio se realiza precisamente para lograr que se cumpla la ley, que finalmente se aplicará con la diferencia de altura detectada en los tubos. La medición de conductividad hidráulica se realiza cada 1 mes.

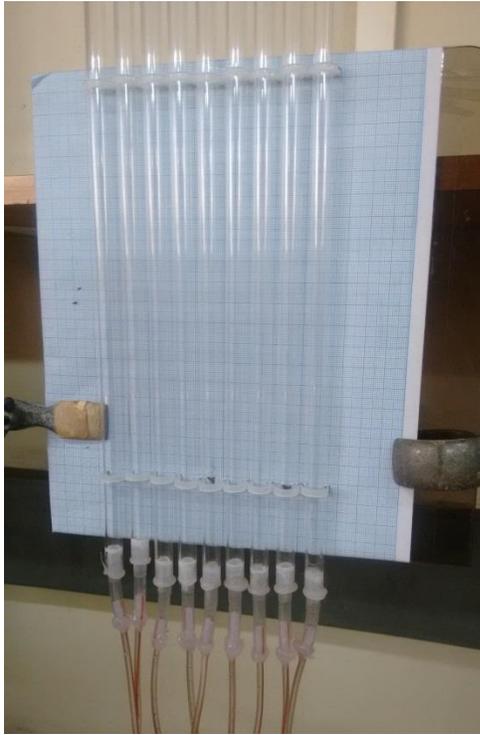


Figura 11: Medidor de conductividad hidráulica.

Ecuación 12: $K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta h}$, con Q flujo en $m^3/día$, A sección perpendicular al flujo en m^2 , L distancia entre sobrenadante y salida en m y Δh la diferencia de alturas detectadas por el medidor (en m)

Teniendo en consideración estos aspectos, se presenta el trabajo de monitoreo y toma de muestras por semanas:

Semana 1: Medición de parámetros fisicoquímicos en la entrada y salida de cada columna. Medición de conductividad hidráulica.

Semana 2: Medición de parámetros fisicoquímicos en todas las alturas para obtener un perfil. Muestreo de entrada y salida de las columnas

Semana 3: Medición de parámetros fisicoquímicos en la entrada y salida de cada columna.

Semana 4: Medición de parámetros fisicoquímicos y toma de muestras en todas las alturas para obtener perfiles.

Completadas las actividades de la semana 4, se vuelve a comenzar con la semana 1.

6. Resultados y discusiones

6.1 Selección de posibles materiales a utilizar

A continuación, se presenta una serie de posibles materiales reactivos a utilizar en los experimentos. En cada uno de ellos se presentará de forma resumida experiencias de otras investigaciones con los materiales y luego algunas consideraciones económicas para su uso en este experimento en particular.

6.1.1 Calcita

Como se mencionó en el apartado de Antecedentes, la calcita es uno de los principales materiales utilizados para tratar aguas ácidas en el mundo. Como las experiencias DAS hasta ahora utilizaron calcita, también se utilizará en los experimentos de columnas de laboratorio. Su uso servirá como un punto de control y comparación para la eficiencia del uso de los materiales alternativos que se desean probar.

La calcita utilizada en estos experimentos es una calcita comercial de la empresa “Donde Capo”, material de características similares al que eventualmente se utilizaría en métodos de tratamiento similares. La calcita de esta empresa proviene del sector de la localidad de la Ligua hacia la cordillera, en la V región de Chile.

6.1.2 Cal

Una forma común para tratar aguas ácidas consiste en utilizar cal (óxido de calcio, CaO) y cal hidratada (Ca(OH)₂). La disolución y posterior aumento de pH está dado por las Ecuaciones 13 y 14.



De forma similar a lo que ocurre con la calcita, el uso de óxido de calcio promueve la formación de yeso (Ecuación 15) por la alta presencia de calcio en el agua, así como también la precipitación de calcita que facilita la estabilidad del producto al brindar potencial neutralizador (Ecuación 16)



Lee et al (2008) muestran eficiencia en tratamientos de AMD en una investigación donde trabaja con una comparación de cal y calcita. De todas formas, se descarta el uso de cal debido a que no brinda una alternativa tan sustentable e innovadora a la calcita.

6.1.3 Escoria

El uso de material de fundición es una buena alternativa a material reactivo, en particular la ceniza volante. Existen estudios de remoción de Zinc en aguas (Hong et al 2009) en experimentos tipo Batch y una comparación en eficiencia de remoción de metales con calcita, dolomía y ceniza volante (Potgieter-Vermaak et al 2005), los cuales muestran resultados prometedores. Sería muy interesante probar la metodología DAS con ceniza volante, pero lamentablemente no fue factible conseguirla para este proyecto y por ende se utilizará escoria. Cabe destacar que en Chile es complejo encontrar escorias cálcicas, dadas las condiciones de las fundiciones del país. De todas formas, se probará una escoria facilitado por el profesor Leandro Voisin de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, de proveniencia desconocida. Probablemente este material no sea el adecuado como material alcalino, pero de todas maneras vale la pena probarlo de forma preliminar para poder observar su comportamiento.

6.1.4 Cáscara de huevo

Choi et al (2015) presentan una investigación en la cual se remueven metales utilizando cascara de huevo calcinada y algas. Si bien la metodología utilizada es muy diferente a la que eventualmente se utilizará en la presente investigación, resulta interesante el utilizar cáscara de huevo debido a lo novedoso y práctico que puede ser su implementación desde el punto de vista económico y sustentable. Por estas razones se trabajará con cáscaras de huevo.

Desde un punto de vista económico, es difícil poder determinar su viabilidad. Esto ocurre debido a que está sujeto directamente a la cercanía que puede haber entre el lugar de eventual operación del sistema de tratamiento y una empresa avícola que tenga cantidades importantes de cáscaras de huevo. Si no consideramos los problemas que pueden resultar respecto al transporte de las cáscaras, estas resultan una alternativa muy atractiva ya que los costos serian bastante bajos comparados con la extracción de calcita. En síntesis, dependerá de cada lugar en particular la real viabilidad de las cáscaras de huevo.

La cáscara de huevo a utilizar en los experimentos proviene de diversas pasteleras de Santiago que facilitaron sus desechos de cáscara de huevo de color blanco. Para poder utilizarlas, estas se lavan (cabe destacar que las cáscaras se reciben tal como quedan al abrir un huevo en el hogar) y se trituran manualmente hasta dejarlas al tamaño deseado. Luego se dejan secar a una temperatura de aproximadamente 40°C por un periodo de 2-3 días para asegurarse de que no posean humedad.

6.1.5 Huesos de pollo

Payus et al (2014) presentan resultados positivos en la remoción de metales utilizando huesos de pollo calcinados, con subidas de pH hasta 5,69. Si bien los resultados son prometedores, se descarta como alternativa a considerar debido a que la cantidad de energía a utilizar para preparar el material para las pruebas es muy alta. Debemos recordar que la idea del proyecto es utilizar materiales que sean lo más sustentables posibles.

6.1.6 Cáscara de arroz

Chockalingam, E., & Subramanian, S. (2006) muestran interesantes resultados en tratamientos de AMD utilizando cáscara de arroz. Si bien las subidas de pH no son tan altas (hasta 5,3 según los resultados de los autores) resulta atractivo probar con este material, debido a su bajo costo y disponibilidad en Chile. La cáscara de arroz utilizada fue obtenida de Forestacomercial Juan Bautista Parra Muñoz Eirl, a través del laboratorio de calidad de aguas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. No se requiere ninguna metodología especial para su uso en las etapas preliminares de laboratorio.

6.1.7 Conchillas marinas

Masukume et al (2014) entregan resultados en extracción de metales utilizando conchillas marinas. En esta investigación, se realizaron experimentos tipo Batch y en columnas que muestran subidas de pH hasta 7,3 en AMD de Sudáfrica y fuerte extracción de metales, principalmente Al y Fe.

Las conchillas presentan una alternativa como material reactivo. Desde un punto de vista económico, son bastante viables. Esto ocurre debido a que las características del territorio nacional aseguran que cualquier proyecto de minería en el cual eventualmente se implemente el método DAS tendrá algún pueblo costero relativamente cerca y por ende la presencia de conchillas. En base a esto, los problemas de transporte serán menores y bastante económicos si eventualmente se pueden recibir las conchillas limpias por parte de los mismos habitantes de los pueblos costeros. La desventaja frente a las cáscaras de huevo u otros materiales ocurre en el proceso de triturado, que requiere maquinaria. De todas formas, esto también es un problema para la calcita (dependiendo de cómo esta se consiga, claramente).

Las conchillas a utilizar en los experimentos provienen del mercado central de Santiago y son de 2 especies: almejas y choritos (también conocidos como mejillones). Para poder utilizarlas, las conchillas se lavan y se dejan secar a una temperatura de 40°C por un periodo de 2-3 días para asegurarse de que no posean humedad. Luego, estas se llevan a un chancador primario de mandíbula, para obtener el material bajo 4mm.

6.1.8 Residuos de papeleras

Perez-López et al (2011) muestran experiencias en tratamientos de AMD utilizando residuos de papeleras. Los resultados obtenidos son prometedores, pero presentan 2 problemas para su eventual aplicación en Chile. En primer lugar, resulta complejo poder conseguir el material alcalino de papeleras que podría utilizarse en Chile. Por otro lado, las características del residuo de papel están altamente ligadas al proceso industrial en sí mismo y por ende conseguir un residuo similar al probado en las investigaciones es muy difícil.

6.1.9 Oxido de magnesio (periclasa)

Al igual que la calcita, las experiencias DAS han utilizado óxido de magnesio para una segunda etapa de los experimentos, aumentando más el pH y precipitando metales divalentes. Por esta razón, sin importar que material reactivo se utilice como reemplazo de calcita, la purificación de agua también debe ser probada pasando por una columna de óxido de magnesio. El óxido de magnesio utilizado en las columnas de laboratorio se obtuvo de la empresa Magnesitas Navarra S.A, importada desde España. Este material se obtiene de la calcinación de carbonatos y su composición es principalmente MgO y CaO.

6.1.10 Material Inerte

El material inerte utilizado en la metodología DAS fue viruta o astillas de madera (Wood Shavings). Como es de esperar, las propiedades físicas de este material pueden ser diferentes dependiendo de la madera utilizada. Si además se toma en consideración que la calidad de la madera varía incluso entre especies dependiendo de su lugar de origen, resulta difícil definir propiedades específicas. De todas formas, las astillas de madera no reaccionan con el AMD y su función principal es entregarle alta permeabilidad al sistema, en este sentido tiene un rol estructural permitiendo el flujo del agua aun cuando la calcita (u otro material) como reactivo vaya sufriendo procesos de cobertura o encostramiento debido a la precipitación. En este sentido, el tamaño del material es clave. El comportamiento más relevante de la viruta de madera respecto a este tema radica en cómo se ve afectada desde el punto de vista físico al entrar en contacto con agua.

La viruta de madera tiende a ser un material que retiene humedad en su superficie mientras mayor es el contacto que tenga con agua. Es evidente que este comportamiento depende de la madera utilizada y por ende su predicción antes de realizar las columnas de laboratorio es complicada. De todas maneras, experiencias con el método DAS y el uso de este material ya existen y no se registran problemas al respecto, por lo cual el uso de viruta de madera es uno de los materiales inertes mejor posicionados para el desarrollo de los experimentos. En los experimentos de laboratorio se utilizó viruta de la empresa Maderas Tarapacá, de la ciudad de Santiago, la cual es una mezcla de diferentes tipos de madera.

6.1.11 Otros materiales reactivos considerados

Dentro de la revisión bibliográfica, también se consideraron otros posibles materiales reactivos que poseen capacidad para aumentar el pH del agua. Sin embargo, por razones de disponibilidad en Chile y costos asociados a su uso fueron descartados tempranamente y no incluidos en el estudio de detalle realizado para otros materiales reactivos. Estos materiales incluyen serpentinita (Bernier et al, 2005), caparazones de cangrejos (Daubert et al, 2007), wollastonita (Fernandez-Caliani et al, 2007), Apatito (Oliva et al, 2010), entre otros.

6.1.12 Distribución y disponibilidad de materiales

Si bien resulta interesante utilizar materiales reactivos alternativos, es importante determinar qué tan factible es realmente obtener estos materiales en la realidad. Para ello hay que considerar, entre otros factores, la distancia de transporte y disponibilidad para que estos materiales reactivos realmente brinden una alternativa interesante y ojalá sustentable al proceso de purificación de aguas. En la Figura 12 se muestran algunas de las ubicaciones más relevantes donde pueden ser encontrados los materiales reactivos que han sido considerados en el presente estudio. Cabe destacar que estos puntos corresponden a un primer estudio somero de la disponibilidad de los materiales reactivos considerados, por lo que previo a una utilización comercial de la tecnología ensayada en esta memoria requerirá un estudio más exhaustivo. Estos estudios de detalle se deberán realizar dentro de las regiones donde eventualmente se implemente la tecnología DAS.

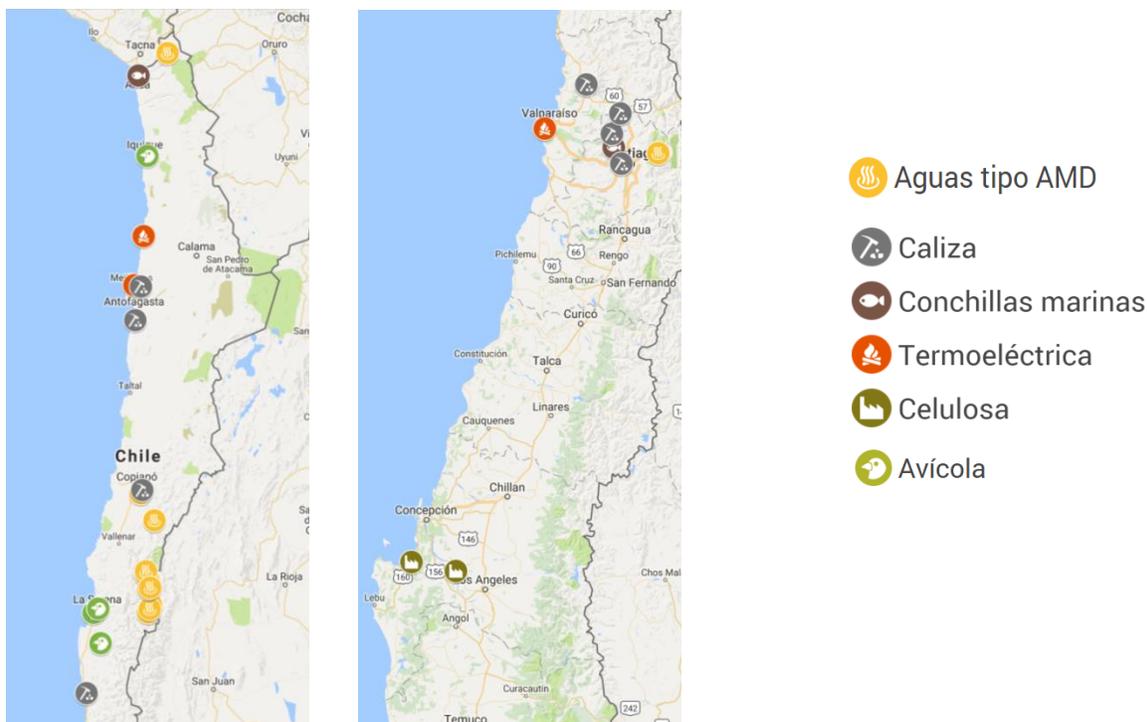


Figura 12: Mapa geográfico de parte de Chile, en la cual se muestran la ubicación de los materiales de interés.

6.2 Fases previas de laboratorio

6.2.1 Experimentos preliminares de neutralización

Los experimentos preliminares de neutralización son un primer acercamiento para determinar si los materiales conseguidos son realmente capaces de subir el pH para un agua destilada común y para un agua acidificada con ácido nítrico. Todos ellos se realizaron a temperatura ambiente y solo con una leve agitación del vaso de precipitado al momento de realizar una medición.

6.2.1.1 Calcita

Siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.1, se obtuvieron los siguientes resultados para los experimentos preliminares de neutralización con calcita.

Tabla 4: Condiciones y resultados de experimento preliminar de neutralización con calcita

Condiciones			
Experimento 1	20,8gr de Calcita en 200ml de agua	Experimento 2	20,08gr de Calcita en 200ml de agua
pH agua inicial	5,66	pH agua inicial	5,54
pH al acidificar el agua	1,75	Resultados experimento 2	
Resultados experimento 1			
Tiempo (min)	pH	Tiempo (min)	pH
0	1,75	0	5,54
1	1,88	1	5,87
6	2,02	6	6,05
11	2,19	11	6,53
21	2,33	21	6,8
31	2,42	31	6,91
41	2,55	41	6,98
1390	5,93	1394	6,9
2779	6,67	2787	7,34

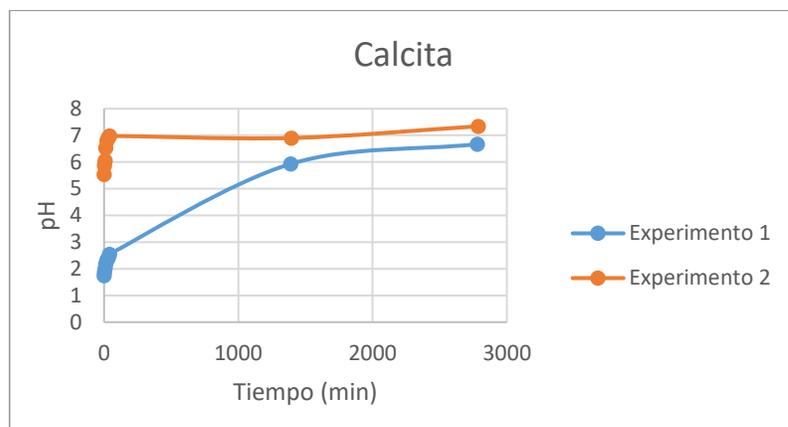


Figura 13: Gráfico de resultados de experimento preliminar de neutralización con calcita.

Como se puede apreciar en la Figura 13, en los 2 experimentos el pH del agua sube hasta aproximadamente 7. Si bien se notan diferencias entre los 2 experimentos, como experimento de neutralización es suficiente para afirmar que la calcita utilizada cumple con las características necesarias para los experimentos siguientes.

6.2.1.2 Escoria

Siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.1, se obtuvieron los siguientes resultados para los experimentos preliminares de neutralización con escoria.

Tabla 5: Condiciones y resultados de experimento preliminar de neutralización con escoria

Condiciones			
Experimento 1	19,94gr de escoria en 200ml de agua	Experimento 2	19,61gr de escoria en 200ml de agua
pH agua inicial	3,94	pH agua inicial	4,26
pH al acidificar el agua	1,82	Resultados experimento 2	
Resultados experimento 1			
Tiempo (min)	pH	Tiempo (min)	pH
0	1,82	0	4,26
5	2,31	5	3,37
10	2,33	10	3,11
20	2,57	20	3,26
30	2,61	30	3,3
40	2,7	40	3,32
250	3,11	250	3,65
1735	3,26	1735	3,48
2949	3,29	2949	3,44

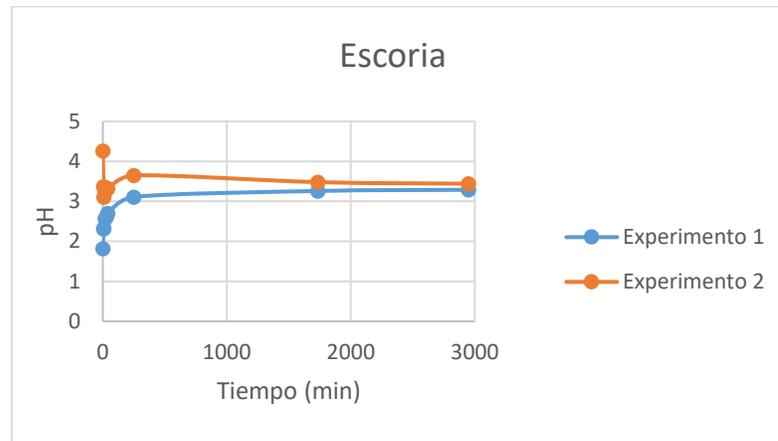


Figura 14. Gráfico de resultados de experimento preliminar de neutralización con escoria.

Como se puede apreciar en la Figura 14, en los 2 experimentos el pH del agua baja hasta aproximadamente 3,4. Esto ocurre probablemente por un proceso de hidrólisis y por ende acidifica el agua. Como es evidente, la escoria utilizada no es efectiva para la subida de pH y precipitación de metales para purificar agua. Es por esta razón que se descarta su uso para las etapas posteriores.

6.2.1.3 Cáscara de huevo

Siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.1, se obtuvieron los siguientes resultados para los experimentos preliminares de neutralización con cáscara de huevo.

Tabla 6: Condiciones y resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de huevo.

Condiciones			
Experimento 1	20,38gr de cáscara de huevo en 200ml de agua	Experimento 2	20,78gr de cáscara de huevo en 200ml de agua
pH agua inicial	4,7	pH agua inicial	4,7
pH al acidificar el agua	2,09	Resultados experimento 2	
Resultados experimento 1			
Tiempo (min)	pH	Tiempo (min)	pH
0	2,09	0	4,7
1	2,35	1	5,1
6	2,41	6	5,22
11	2,37	11	5,67
21	2,54	21	5,72
31	2,96	31	5,86
41	4,44	41	5,99
51	5,14	51	6,55
1207	6,6	1203	7,1
2643	6,94	2638	7,92
6914	7,57	6907	7,69

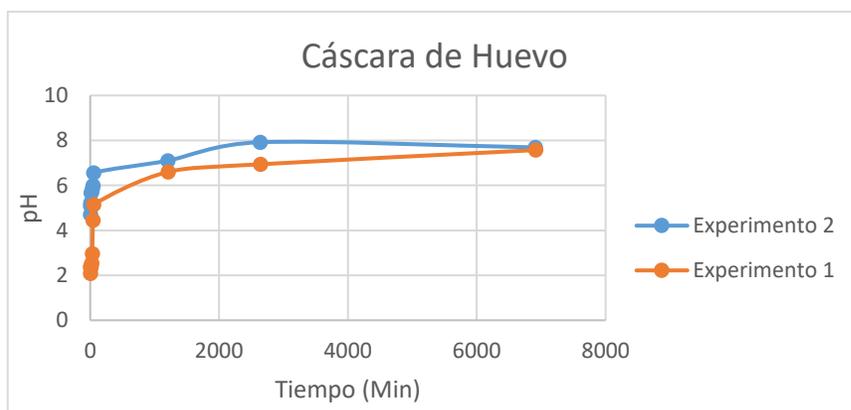


Figura 15: Gráfico de resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de huevo.

Como se puede apreciar en la Figura 15, en los 2 experimentos el pH del agua sube hasta aproximadamente 7,6. En base a estos resultados, la cáscara de huevo pasa esta etapa preliminar y continúa siendo una opción fuerte para ser utilizada como reactivo en las columnas de laboratorio. Este experimento en particular se monitoreo por más tiempo que el resto debido al comportamiento del experimento 2 en los primeros 2000 minutos de medición.

6.2.1.4 Conchillas de choritos

Siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.1, se obtuvieron los siguientes resultados para los experimentos preliminares de neutralización con conchillas de choritos.

Tabla 7: Condiciones y resultados de experimento preliminar de neutralización con conchillas de choritos.

Condiciones			
Experimento 1	21,02gr de conchillas de choritos en 200ml de agua	Experimento 2	21,07gr de conchillas de choritos en 200ml de agua
pH agua inicial	5,35	pH agua inicial	5,84
pH al acidificar el agua	1,97	Resultados experimento 2	
Resultados experimento 1			
Tiempo (min)	pH	Tiempo (min)	pH
0	1,97	0	5,84
1	5,29	1	5,75
6	5,96	6	6,6
11	6,14	11	6,79
21	6,86	21	7,19
31	7,04	31	7,36
41	6,88	41	7,77
1472	7,22	1466	7,4
2899	7,35	2891	7,35

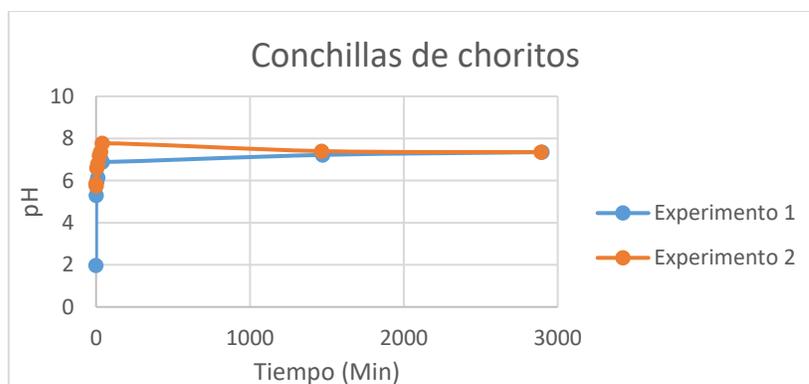


Figura 16: Gráfico de resultados experimento preliminar de neutralización con conchillas de choritos.

Como se puede apreciar en la Figura 16, en los 2 experimentos el pH del agua sube hasta 7,35. En base a estos resultados, las conchillas de choritos pasan esta etapa preliminar y continúan siendo una opción fuerte para ser utilizadas como reactivos en las columnas de laboratorio.

6.2.1.5 Conchillas de almejas

Siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.1, se obtuvieron los siguientes resultados para los experimentos preliminares de neutralización con conchillas de almejas.

Tabla 8: Condiciones y resultados experimento preliminar de neutralización con conchillas de almejas.

Condiciones			
Experimento 1	21,15gr de Conchillas de almejas en 200ml de agua	Experimento 2	21,29gr de Conchillas de almejas en 200ml de agua
pH agua inicial	5,92	pH agua inicial	5,92
pH al acidificar el agua	1,96		
Resultados experimento 1		Resultados experimento 2	
Tiempo (min)	pH	Tiempo (min)	pH
0	1,96	0	5,92
1	6,2	1	7,2
6	6,37	6	7,87
11	6,63	11	8,06
21	6,73	21	8,05
31	6,93	31	7,97
41	6,7	41	8,1
1457	7,31	1467	7,95
2888	7,47	2896	7,93

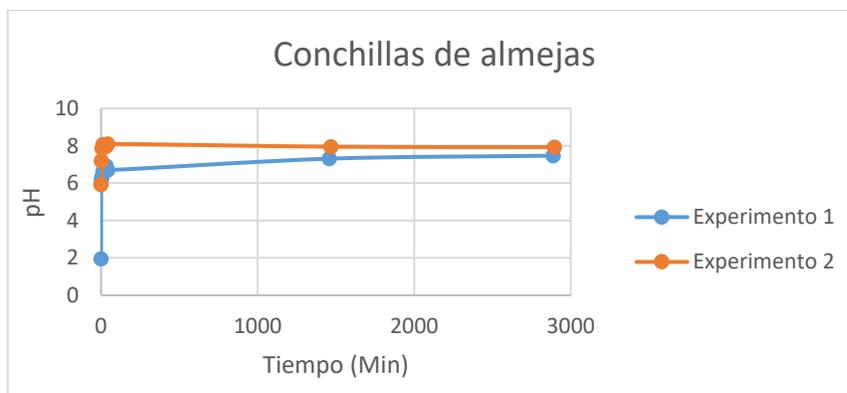


Figura 17: Gráfico de resultados experimento preliminar conchillas de almejas.

Como se puede apreciar en la Figura 17, en los 2 experimentos el pH del agua sube hasta un rango entre 7,5 y 8. En base a estos resultados, las conchillas de almejas pasan esta etapa preliminar y continúan siendo una opción fuerte para ser utilizadas como reactivos en las columnas de laboratorio.

6.2.1.6 Cáscara de arroz

Siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.1, se obtuvieron los siguientes resultados para los experimentos preliminares de neutralización con cáscara de arroz.

Tabla 9: Condiciones y resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de arroz.

Condiciones			
Experimento 1	19,94gr de Cáscara de arroz en 200ml de agua	Experimento 2	19,94gr de Cáscara de arroz en 200ml de agua
pH agua inicial	4,02	pH agua inicial	4,13
pH al acidificar el agua	1,82	Resultados experimento 2	
Resultados experimento 1			
Tiempo (min)	pH	Tiempo (min)	pH
0	1,82	0	4,13
1	1,9	1	5,14
6	1,99	6	5,66
11	2,14	11	5,84
21	2,39	21	6,18
31	2,46	31	6,34
41	2,62	41	6,43
1410	2,97	1411	5,98
2757	2,94	2758	6,1

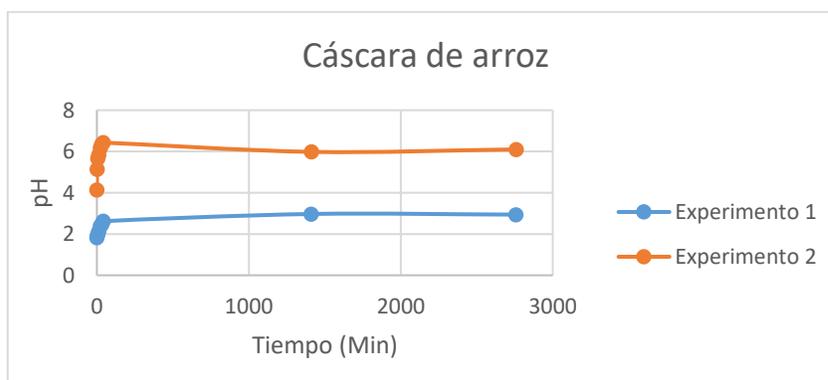


Figura 18: Gráfico de resultados experimento preliminar de neutralización con cáscara de arroz.

Como se puede apreciar en la Figura 18, en los 2 experimentos el pH del agua aumenta un poco su pH y rápidamente se estabiliza. Esto implica que si bien la cascara de arroz contiene propiedades que permiten una subida del pH, esta es bastante baja. Considerando que las columnas de laboratorio necesitan estar funcionando por un periodo prolongado de tiempo, se descarta la cáscara de arroz como potencial material reactivo, debido a su baja eficiencia.

Terminados todos los experimentos preliminares de neutralización, se continúa trabajando con calcita, cáscara de huevo, conchillas de almejas y conchillas de choritos. La cáscara de arroz y la escoria son descartadas. Cabe mencionar que existen diferencias notorias entre un experimento realizado con agua destilada acidificada y un agua real; las interacciones son mucho más complejas en la realidad y estos experimentos preliminares de neutralización solo sirven como una aproximación a la realidad.

6.2.2 Experimentos ABA

Siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.2 y la Ecuación 11, se obtuvieron los siguientes resultados para los experimentos ABA:

Tabla 10: Resultados experimento ABA.

Material reactivo	Calcita	Conchillas de almejas	Cáscara de huevo	Conchillas de choritos
HCl utilizado (ml)	34,5	48	42	44
pH al terminar de añadir HCl	2,41	2,44	2,44	2,45
NaOH utilizado (ml)	150	198,1	153	86,7
Potencial de neutralización (Kg CaCO ₃ /t)	487,5	704,75	667,5	883,25

El potencial de neutralización de la calcita variará dependiendo específicamente de cual calcita se utilice y de las características propias de formación de la misma (metamorfismo, impurezas, estructura cristalina, etc.). De todas maneras, esta calcita es precisamente el tipo de calcita que se utilizaría en la industria y por lo tanto es un buen punto de comparación. El potencial de neutralización de la cáscara de huevo y de los 2 tipos de conchillas son mayores al de la calcita y por ende deberían funcionar de forma adecuada (o incluso de forma más eficiente) en las columnas de laboratorio.

6.2.3 Difracción de rayos X a materiales reactivos

Como se puede extraer de la información en la Tabla 10, los materiales reactivos no contienen exclusivamente calcita (u otros minerales con capacidad neutralizante) si no que han de contener también algunas fases minerales sin capacidad de neutralización. Es por ello que se realizó una difracción de rayos X para poder determinar las impurezas que contienen los materiales utilizados. Se realizó difracción de rayos X para los 4 materiales carbonatados y para el óxido de magnesio. Los gráficos con estos resultados se presentan en el Anexo E.

El material reactivo carbonatado que hasta ahora se denominó “calcita” posee diversos minerales, los cuales son: calcita (CaCO_3), albita ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$), ankerita ($\text{Ca}(\text{Fe,Mg})(\text{CO}_3)_2$) y cuarzo (SiO_2). La difracción también coincide con otros minerales, como la wulfenita (PbMoO_4) y la ashoverita ($\text{Zn}(\text{OH})_2$), pero estos minerales no coinciden con las asociaciones más comunes de un yacimiento de calcita (tampoco con las concentraciones de iones en solución de los elementos que deberían liberar al disolverse) por lo que se descarta su presencia.

Para las conchillas marinas, los resultados muestran material amorfo junto con aragonito (CaCO_3) y calcita (CaCO_3), aunque para el caso de conchilla de almejas al parecer la calcita es magnésica. Además, la difracción indica sodalita ($\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{MnO}_4)_2$), lo cual sería poco probable dada la rareza de este mineral. Finalmente, la cáscara de huevo presenta calcita (CaCO_3) y material amorfo.

En el Anexo E también se tienen los resultados para el material reactivo de la segunda etapa de las columnas. Este material contiene periclusa (MgO), magnesita (MgCO_3), cuarzo (SiO_2), cal (CaO), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), calcita (CaCO_3) y anhidrita (CaSO_4). El contenido de anhidrita resulta especialmente relevante, ya que es posible que aumente la cantidad de sulfato en el agua y por ende se note un aumento en la conductividad en las segundas columnas de laboratorio. Además, la presencia de cal podría eventualmente subir el pH a valores superiores a 10.

6.3 Preparación columnas de laboratorio

6.3.1 Granulometría

La granulometría de los materiales a utilizar en las columnas de laboratorio se aprecia en la Figura 19, la cual indica un tamaño de grano mucho más fino para la periclusa. De los materiales carbonatados, la cáscara de huevo es el más grueso, mientras que las conchillas de almejas son de tamaño levemente menor al tamaño de las conchillas de choritos. Respecto a la calcita, esta parece tener un tamaño de grano más uniforme que el resto.

6.3.2 Diseño y construcción de columnas de laboratorio

El diseño y construcción de las columnas de laboratorio es clave para el buen funcionamiento del experimento. Se debe tener en consideración diversos factores, ya sean económicos, científicos y de mano de obra. La idea general es armar columnas inundadas en las cuales el fondo tenga 3cm de cuarzo, luego 31cm del sustrato que purificará el agua y finalmente un espacio libre para el sobrenadante y para pared libre. El sobrenadante se entiende como un nivel de agua sobre el sustrato que le brinda carga a la columna y permite su buen funcionamiento. El cuarzo se utiliza porque actúa como un dren, es decir, un material de alta porosidad (apartado 6.3.3) que facilita el flujo para la salida del agua de la columna. En base a estas exigencias, se construyen las columnas bajo las siguientes especificaciones:

Materiales:

-AMD sintético inicial

-Bomba peristáltica

-8 cilindros acrílico en total, 4 de ellos 50cm de alto y 15cm de diámetro. Otros 4 de 60cm de alto, 15cm de diámetro y 3mm de espesor.

-72 Conectores hilo-barba (9 por columna).

-72 llaves de 3 pasos (9 por columna)

-72 tubos rígidos con agujeros sellados, de 9cm de largo y 9mm de diámetro.

-Cuarzo equivalente a 530 ml en volumen para cubrir 3cm de alto en un tubo de 15cm de diámetro.

-Sustrato con una relación 4-1 de material inerte-reactivo (volumétrica), cubriendo una altura de 31cm en un cilindro de 15cm de diámetro, es decir, el equivalente a 1095ml de material reactivo y 4382ml de material inerte.

-Material de muestreo (jeringas, filtros, botellas)

-Materiales de logística (Bases de madera, decantadores, mangueras, etc)

A cada columna se le realizan agujeros de 4mm de diámetro cada 5cm. Los agujeros están desde abajo hacia arriba de la columna: 2cm (cuarzo), 7cm, 12cm, 17cm, 22cm, 27cm, 32cm (Todos en el sustrato), 37cm y 42cm (sobrenadante y pared libre).

En base a la selección de materiales realizada en los apartados 6.1 y 6.2, se realizarán 4 experimentos paralelos:

-Experimento 1: Columna de calcita → Decantador → Columna de óxido de magnesio → Decantador

-Experimento 2: Columna de conchillas de almejas → Decantador → Columna de óxido de magnesio → Decantador

-Experimento 3: Columna de cáscara de huevo → Decantador → Columna de óxido de magnesio → Decantador

-Experimento 4: Columna de conchillas de choritos → Decantador → Columna de óxido de magnesio → Decantador

De esta forma, el diseño general del experimento consiste en un AMD sintético inicial y una bomba peristáltica que lleva el agua de este AMD a las columnas de reactivos carbonatados a través de 4 mangueras, a un flujo de 1,5L/día para cada columna. El agua pasa por las columnas carbonatadas y luego llega a unos decantadores. Desde los decantadores, por gravedad, el agua llega a las columnas de óxido de magnesio, donde continúa la purificación hasta llegar a un nuevo decantador, que marca el final del experimento. Este proceso se aprecia de forma gráfica en la Figura 20 y 21.

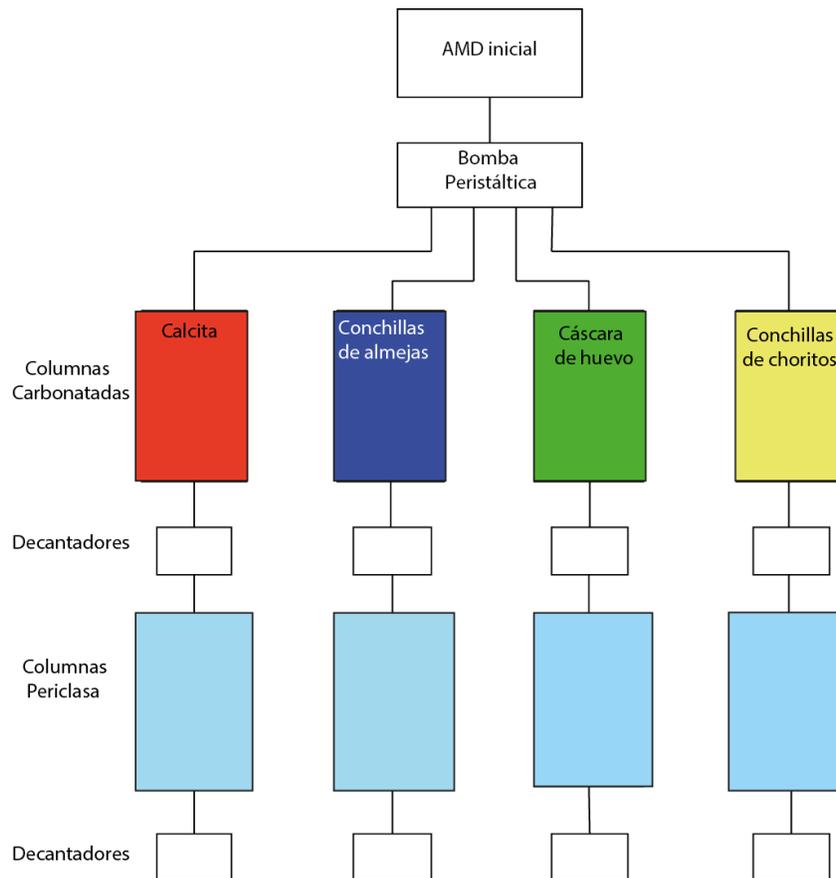


Figura 20: Esquema básico del experimento

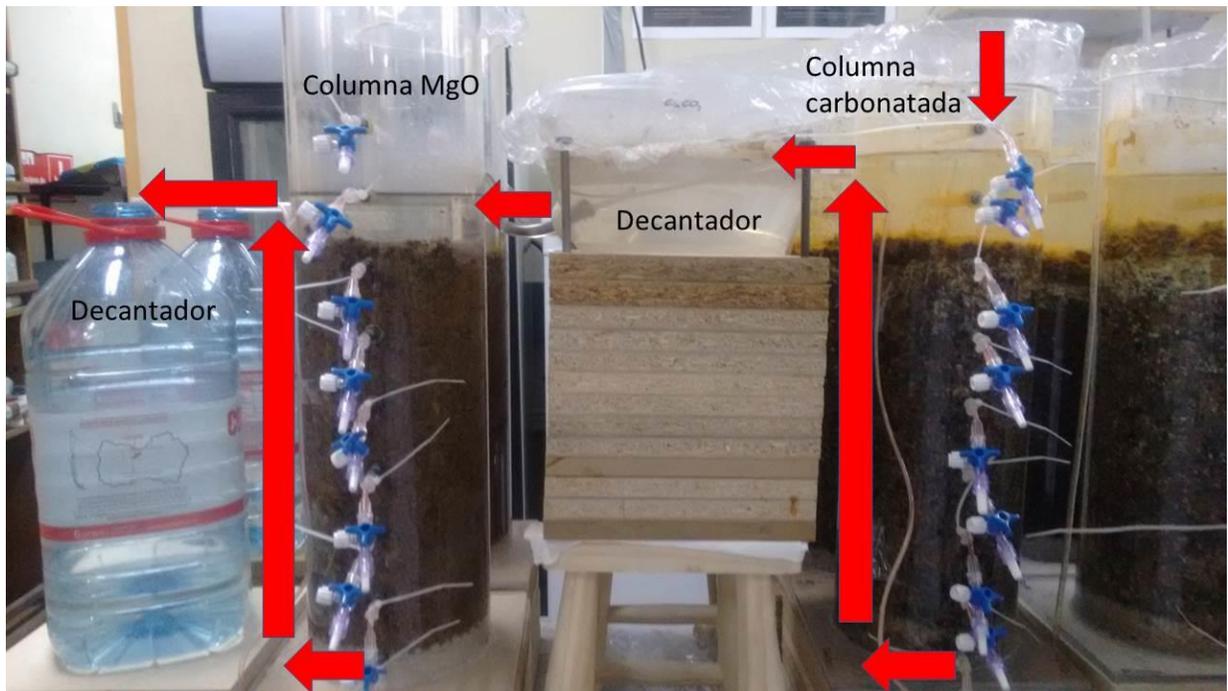


Figura 21: Imagen de las columnas en el laboratorio. Flechas rojas indican la dirección del flujo de agua.



Figura 22: Números de los puertos para las columnas.

6.3.3 Porosidad inicial

Antes de comenzar el experimento, se mide la porosidad inicial de las columnas carbonatadas. Esto se realiza conociendo el volumen total de la columna y midiendo la cantidad de agua que es capaz de estar en el sustrato (sin considerar el cuarzo del fondo) hasta que comience a formarse el sobrenadante.

La relación entre material inerte-reactivo es diferente para las columnas. Las columnas de conchillas de almejas y calcita tienen una relación 80-20, mientras que la de cáscara de huevo y conchillas de choritos es 84-16. Además, el sustrato de la columna de conchillas de choritos tiene una altura de 26cm, a diferencia de las otras 3 columnas que tienen una altura de 31cm. Esto es debido a falta de material al momento de la construcción de la columna de choritos, sin embargo, no se espera que todo el sustrato reaccione para el tiempo en el cual estarán funcionando los experimentos y por ende no será ningún problema.

El volumen total de las columnas en el tramo donde está el sustrato inerte-reactivo se calcula en base a la Ecuación 17.

$$\text{Ecuación 17: } V = \pi * r^2 * h$$

Lo cual entrega un volumen de 5,478L para las columnas de calcita, conchillas de almejas y cáscara de huevo. Para la columna de conchillas de choritos, el volumen es 4,694L. La cantidad de agua aceptada en cada columna y su porosidad inicial se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11: Cantidad de agua aceptada y porosidad inicial de columnas carbonatadas.

Columna	Volumen total (L)	Relación material inerte-reactivo (en volumen)	Cantidad de agua aceptada (L)	Porosidad inicial
Calcita	5,478	80:20	3,1	0,56
Conchillas de almejas	5,478	80:20	3,05	0,55
Cáscara de huevo	5,478	84:16	3,5	0,63
Conchillas de choritos	4,694	84:16	3,05	0,64

Estos resultados son consistentes con los resultados de granulometría obtenidos anteriormente. La columna de cáscara de huevo es más porosa por tener mayor cantidad de material inerte y por tener menos cantidad de material reactivo muy fino. La columna de conchillas de choritos es más porosa debido a la mayor cantidad de material inerte pero no por su granulometría (que es muy similar a la de conchillas de almejas). Cabe destacar que todas las columnas aceptan una cantidad aproximada de 3L y por ende el tiempo de residencia del agua en cada columna es de aproximadamente entre 48,8 y 56 horas (recordar que el flujo es de 1,5L/día).

La porosidad inicial se encuentra en valores un poco más elevados a los de las experiencias DAS anteriores; como referencia, en la implementación del método en la mina Esperanza de la península pirítica ibérica (Caraballo et al, 2011) la porosidad del sistema fue de 0,5, valor un poco más bajo a los valores que se muestran en la Tabla 11. De todas formas, las diferencias no son significativas y el sistema debería funcionar de forma similar en términos de conductividad hidráulica.

6.4 Generación de AMD sintético

Las columnas de laboratorio serán sometidas a un AMD sintético. Cada semana se generan 50L para tener agua suficiente para que las columnas funcionen adecuadamente. El AMD se genera en base a los datos obtenidos por el alumno memorista Juan Cristóbal Dreyfus, el cual está actualmente trabajando en una recopilación de datos de AMD en Chile. Desde su investigación se obtuvieron los valores promedio de concentraciones de metales en AMD chilenos. En la Tabla 12 se muestran los metales presentes en el AMD sintético y en la forma en la cual fueron introducidos.

Tabla 12: Concentraciones promedio de metales en AMD chilenos y reactivos utilizados para generar el AMD sintético. Datos obtenidos de alumno memorista J.C. Dreyfus 2017, Universidad de Chile.

Metal	Concentración promedio del metal en AMD chilenos (ppm)	Reactivo utilizado en AMD sintético
Hierro	10,11	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{S}_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$
Aluminio	25,87	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Magnesio	58,47	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Manganeso	7,07	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Calcio	212,35	$\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Cobre	7,94	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Sodio	143,98	Na_2SO_4
Zinc	2,66	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Níquel	0,01	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Cobalto	0,02	$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

El detalle del AMD generado semanalmente se muestra en el Anexo A. Cabe destacar que, si bien el AMD siempre se prepara bajo las condiciones mostradas en la Tabla 12, en los bidones preparados siempre existe algo de precipitación de metales. Por esta razón, se espera que la concentración efectiva de metales que entra a las columnas sea un poco más baja que la mostrada. De todas formas, las muestras tomadas en el sobrenadante de las columnas brindaran una idea más acertada sobre las reales concentraciones de metales que están recibiendo las columnas de laboratorio.

6.4.1 Uso de Phreeqc para modelar la formación de precipitados en AMD inicial

Para comprender de mejor manera los cambios observados en el bidón de agua que contiene el AMD, se utilizó el programa “Phreeqc”, en el cual se ingresaron los datos de parámetros fisicoquímicos y de concentraciones de metales de la Tabla 12. Con esta información se calcularon los índices de saturación de diversos minerales, lo cual nos entrega una idea de cuáles serían los minerales que eventualmente podrían estar precipitando en el AMD inicial y por ende qué elementos están ingresando con menor concentración de la esperada a las columnas de laboratorio.

En la Tabla 13 se resumen los minerales que poseen un índice de saturación positivo (es decir, minerales que teóricamente deberían estar precipitando dadas las condiciones del AMD).

Tabla 13: Minerales que teóricamente precipitan en AMD inicial. Índices de saturación calculados con software "Phreeqc".

Mineral	Formula química	Índice de saturación
Schwertmannita	$\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6(\text{SO}_4)$	65,253
Hematita	Fe_2O_3	133,259
Goethita	$\text{FeO}(\text{OH})$	56,589
Ferrihidrita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	14,677

Los resultados de la Tabla 13 predicen la posibilidad de una precipitación temprana de minerales ricos en Fe en el AMD sintético del bidón de entrada a las columnas de laboratorio. Esta predicción está en consonancia con las mediciones reales realizadas al bidón, en las cuales se comprobó como en la entrada de las columnas carbonatadas las concentraciones de hierro son más bajas a la mostrada en la Tabla 12. Dicho de otro modo, el AMD se prepara con concentraciones de 10,11 ppm de hierro y las columnas están recibiendo concentraciones cercanas a los 1ppm (Anexo D). Para el caso del azufre, este también debería precipitar en el bidón, pero no se notan diferencias sustanciales en sus concentraciones a las entradas de las columnas carbonatadas (Para mayor información, ver Anexo A y D). Esto puede explicarse si se considera schwertmannita como el mineral que precipita en el bidón, debido a que dicho mineral tiene una proporción molar de un S por cada 8 Fe. Así, la precipitación de Fe sería más notoria que la de S. Además, hay que tener en cuenta la elevada concentración de S del AMD sintético, lo cual hace que un pequeño descenso en ésta sea difícil de apreciar.

6.5 Monitoreo de columnas de laboratorio

6.5.1 Calendario de actividades semanal

Como se mencionó en el apartado 5.5.4, se tuvo un orden de actividades para la toma de datos. Las fechas reales de este proceso se describen a continuación:

Tabla 14: Calendario de actividades.

Semana	Actividades realizadas
17 Julio	Medición de porosidad inicial de columnas carbonatadas (18 Julio). Tiempo de aclimatación del sistema
24 Julio	Muestreo y parámetros fisicoquímicos completo (24-25 Julio)
31 Agosto	Medición de parámetros fisicoquímicos de entrada y salida (31 Julio). Primera medición de permeabilidad. (1 Agosto)
7 Agosto	Muestreo de entrada y salida con parámetros fisicoquímicos completos. (9-10 Agosto)
14 Agosto	Medición de parámetros fisicoquímicos de entrada y salida (19 Agosto).
21 Agosto	Muestreo y parámetros fisicoquímicos completo (23-24 Agosto)
28 Agosto	Medición de parámetros fisicoquímicos de entrada y salida (30 Agosto). Medición de permeabilidad. (31 Agosto)
4 Septiembre	Muestreo de entrada y salida con parámetros fisicoquímicos completos. (6-7 Septiembre). Espectrofotometría (4-5 Septiembre)
11 Septiembre	Muestreo y parámetros fisicoquímicos completo (13-14 Septiembre)
18 Septiembre	Medición de parámetros fisicoquímicos de entrada y salida (21 Septiembre). Medición de permeabilidad. (22 Septiembre). Espectrofotometría (21 Septiembre)
25 Septiembre	Medición de parámetros fisicoquímicos de entrada y salida (30 Agosto).
2 Octubre	Medición de parámetros fisicoquímicos de entrada y salida (4 Octubre).
9 Octubre	Sin mediciones, problemas de luz en el laboratorio.
16 Octubre	Medición de parámetros fisicoquímicos de entrada y salida (18 Octubre).
23 Octubre	Muestreo de entrada y salida con parámetros fisicoquímicos completos. (25 Octubre). Los datos de muestras de agua no alcanzaron a llegar a tiempo para este trabajo.

6.5.2 Conductividad hidráulica

Las mediciones de conductividad hidráulica son importantes para determinar la capacidad que posee el sistema para tratar aguas ácidas en el tiempo. De todas maneras, considerando el poco tiempo de funcionamiento que llevan las columnas de laboratorio, se espera que este parámetro no se vea afectado.

A continuación, se muestra el resultado de las mediciones en base a la metodología seguida en el apartado 5.5.4.

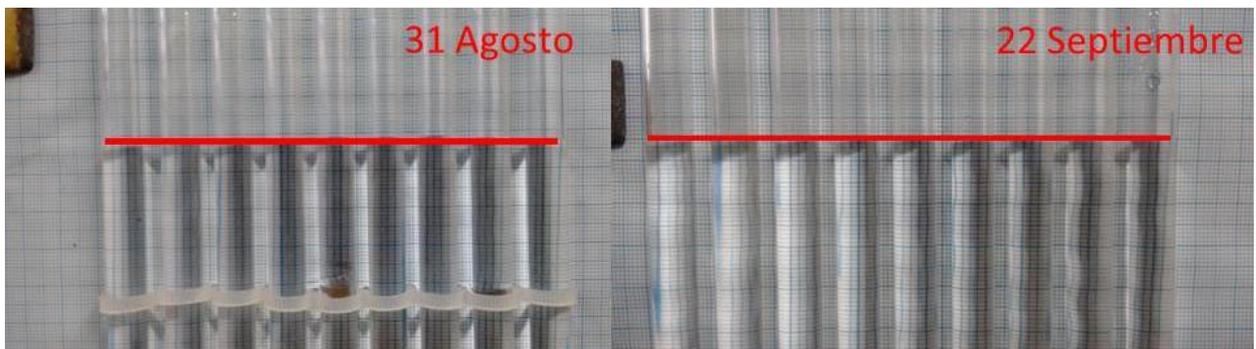


Figura 23: Medición de permeabilidad para columna de calcita.

Como se puede observar en la Figura 23, las mediciones de permeabilidad se mantienen sin diferencias con el tiempo. Se muestra el caso de la columna de calcita, pero esto se repite para el resto de las columnas de laboratorio. Las diferencias mínimas detectadas se pueden considerar de 1mm y en base a la Ecuación 12 se calcula la conductividad hidráulica de las columnas como 0,315 cm/s, valor similar a las conductividades hidráulicas de otras experiencias en método DAS como lo son las de Ayora et al (2013) y Caraballo et al (2010).

6.5.3 Espectrofotometría

6.5.3.1 Espectrofotometría de hierro

En la Tabla 15 se resumen los resultados obtenidos de la espectrofotometría de hierro, según la metodología descrita en el apartado 5.5.2. Se decidió medir en el AMD sintético inicial y en las salidas de cada una de las columnas carbonatadas.

Tabla 15: Resultados de absorbancia y concentración de hierro en columnas carbonatadas y AMD sintético.

4 Septiembre			
Muestra	Hierro total (mg/L)	Hierro ferroso (mg/L)	Hierro férrico (mg/L)
AMD	5,82	0,318	5,502
Sal.Col.Cal	0,249	0,286	-0,037
Sal.Col.Alm	0,255	0,261	-0,006
Sal.Col.Huevo	0,311	0,251	-0,06
Sal.Col.Ch	0,253	0,269	-0,016
21 Septiembre			
Muestra	Hierro total (mg/L)	Muestra	Hierro total (mg/L)
AMD	2,15		
Sal.Col.Cal	0,265	Ent.Mg.Huevo	0,14
Sal.Col.Alm	0,261	Ent.Mg.Ch	0,108
Sal.Col.Huevo	0,309	Sal.Mg.Cal	0,242
Sal.Col.Ch	0,2	Sal.Mg.Alm	0,198
Dec.Cal	0,217	Sal.Mg.Huevo	0,221
Dec.Alm	0,184	Sal.Mg.Ch	0,217
Dec.Huevo	0,196	Dec.Mg.Cal	0,203
Dec.Ch	0,163	Dec.Mg.Alm	0,192
Ent.Mg.Cal	0,154	Dec.Mg.Huevo	0,249
Ent.Mg.Alm	0,157	Dec.Mg.Ch	0,15

Los resultados del 4 de Septiembre indican que la mayor parte del hierro que está entrando a las columnas lo hace en su estado férrico (94,5%) y este precipita en su totalidad al pasar por las columnas carbonatadas (cabe destacar que los valores negativos se interpretan como muy cercanos a 0, por errores de precisión propios del método). El poco hierro ferroso que entra a las columnas (0,318 mg/L) se mantiene relativamente constante en las columnas carbonatadas, resultado esperado considerando que la subida de pH en esta parte del experimento genera precipitación de metales trivalentes.

Los resultados del 21 de Septiembre confirman que el hierro total está precipitando en las columnas carbonatadas y tiende a mantenerse relativamente constante después de ello. Más detalle de estos datos y como se relacionan con parámetros fisicoquímicos se observan en el apartado 6.5.4.

6.5.3.2 Espectrofotometría de aluminio

En la Tabla 16 se resumen los resultados obtenidos de la espectrofotometría de aluminio, según la metodología descrita en el apartado 5.5.2.

Tabla 16: Resultados de concentración de aluminio en columnas carbonatadas y AMD sintético.

4 Septiembre	
Muestra	Concentración (ppm)
AMD	18,7
Sal.Col.Cal	0,003
Sal.Col.Alm	0,01
Sal.Col.Huevo	0,031
Sal.Col.Ch	0,032
21 Septiembre	
AMD	21,9
Sal.Col.Cal	>0,008
Sal.Col.Alm	0,008
Sal.Col.Huevo	>0,008
Sal.Col.Ch	0,026
Dec.Cal	0,015
Dec.Alm	0,015
Dec.Huevo	>0,008
Dec.Ch	>0,008

De los resultados del 4 de Septiembre, se desprende que el aluminio precipita prácticamente en su totalidad en las columnas carbonatadas, siendo este resultado coherente con la precipitación de metales trivalentes esperada (similar a lo mencionado para el hierro en el apartado anterior). Cabe destacar que el método tiene un cierto margen de error y si se considera la cercanía con el límite más bajo de detección del método (0,008ppm), se pueden considerar todas las mediciones de las columnas como cercanas a 0.

Los resultados del 21 de Septiembre comprueban esto, además de indicar que las cantidades de aluminio en los decantadores también son muy bajas. No se tomaron datos de las columnas de óxido de magnesio debido a que estos ya se encontraban bajo el rango de detección del método. Más detalle de estos datos y como se relacionan con parámetros fisicoquímicos se observan en el apartado 6.5.4.

6.5.4 Funcionamiento general de columnas de laboratorio

6.5.4.1 Experimento 1, calcita y óxido de magnesio (periclusa)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de entrada y salida realizadas según las metodologías descritas en los apartados 5.5.1 y 5.5.3. Todo el detalle se puede observar en los Anexos B y D.

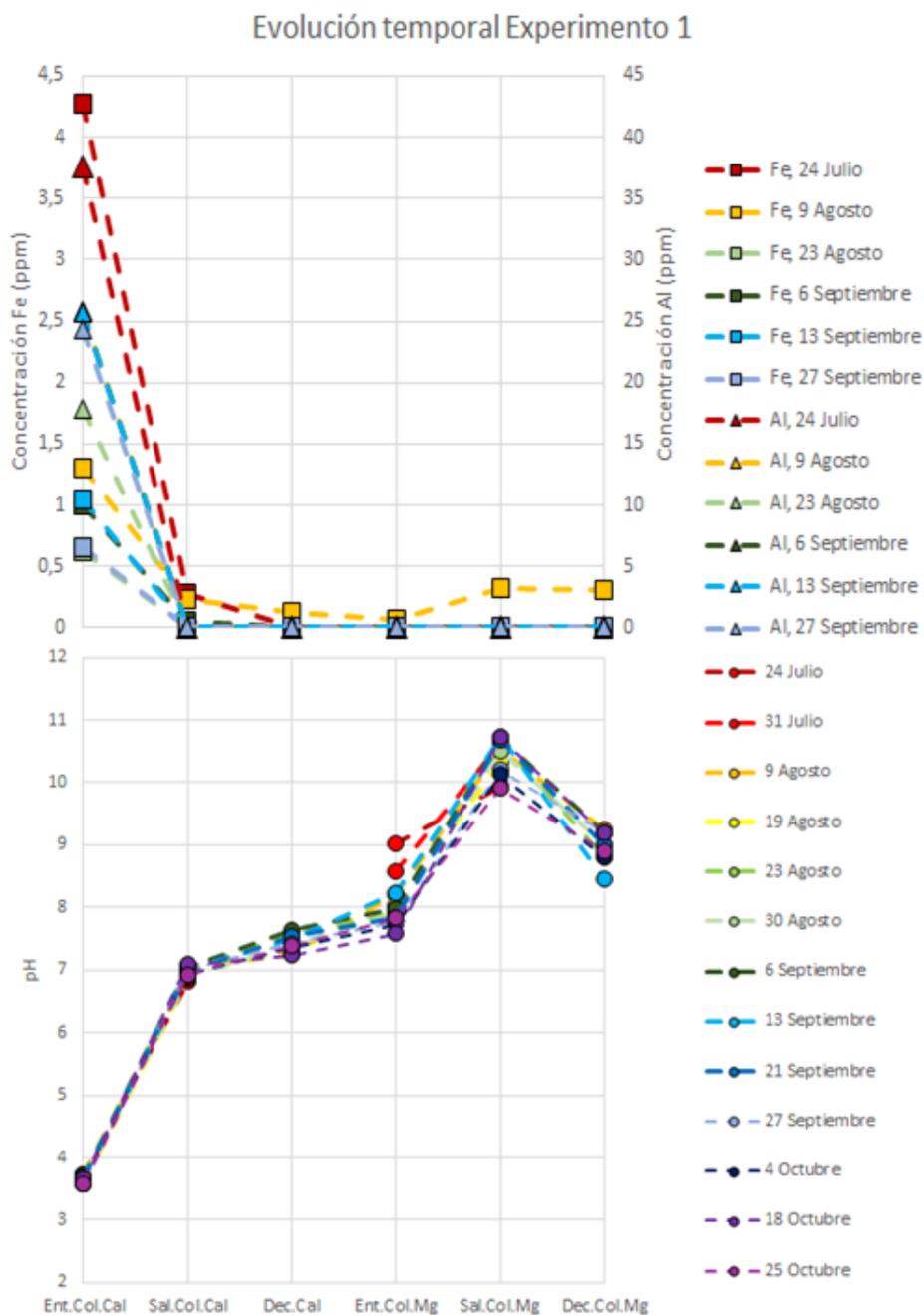


Figura 24: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 1, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3

En la Figura 24 se muestra que no hay diferencias notorias en el transcurrir de las semanas para el pH en las entradas, salidas y decantadores de las columnas. Se muestra que el pH de entrada se encuentra alrededor de 3,7, para subir a pH cercanos a 7 a la salida de la columna de calcita. Luego el pH sube levemente en el decantador (debido probablemente a especiación de especies carbonatadas) y luego vuelve a subir levemente en la entrada de la columna de óxido de magnesio. Esto último seguramente por la reacción de la superficie del sustrato con el sobrenadante de la columna. Finalmente, la salida del pH de la columna de óxido de magnesio se encuentra alrededor de 10,5, pH que baja hasta alrededor de 9 en el decantador final. Esto último también se puede deber a la especiación de carbono.

Estos cambios de pH se relacionan directamente con los cambios en las concentraciones de metales trivalentes. Tanto el hierro como el aluminio se encuentran en concentraciones elevadas cuando el pH es bajo 4 (entrada de las columnas) y bajan cuando sube a pH neutro, manteniéndose relativamente constantes después de ello. Esto concuerda con las numerosas investigaciones del método DAS en la península pirítica ibérica (mina Esperanza y cuenca Odiel, Caraballo et al, 2011) que indican una reducción de las concentraciones de metales trivalentes en columnas carbonatadas.

Estos resultados son prometedores ya que si bien las experiencias DAS anteriores reducían en grandes cantidades los metales trivalentes, ahora se comprueba que el sistema es también capaz de reducir la cantidad de metales cuando las concentraciones iniciales son mucho más bajas. Si bien la cantidad inicial de hierro graficada en la Figura 24 es bastante baja (bajo 6ppm), el sistema es capaz de reducir estas concentraciones a niveles indetectables. Respecto al aluminio ocurre algo similar, siendo capaz de llevar concentraciones desde los 25ppm aproximadamente a valores casi indetectables.

6.5.4.2 Experimento 2, conchillas de almejas y óxido de magnesio (periclasa)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de entrada y salida realizadas según las metodologías descritas en los apartados 5.5.1 y 5.5.3.

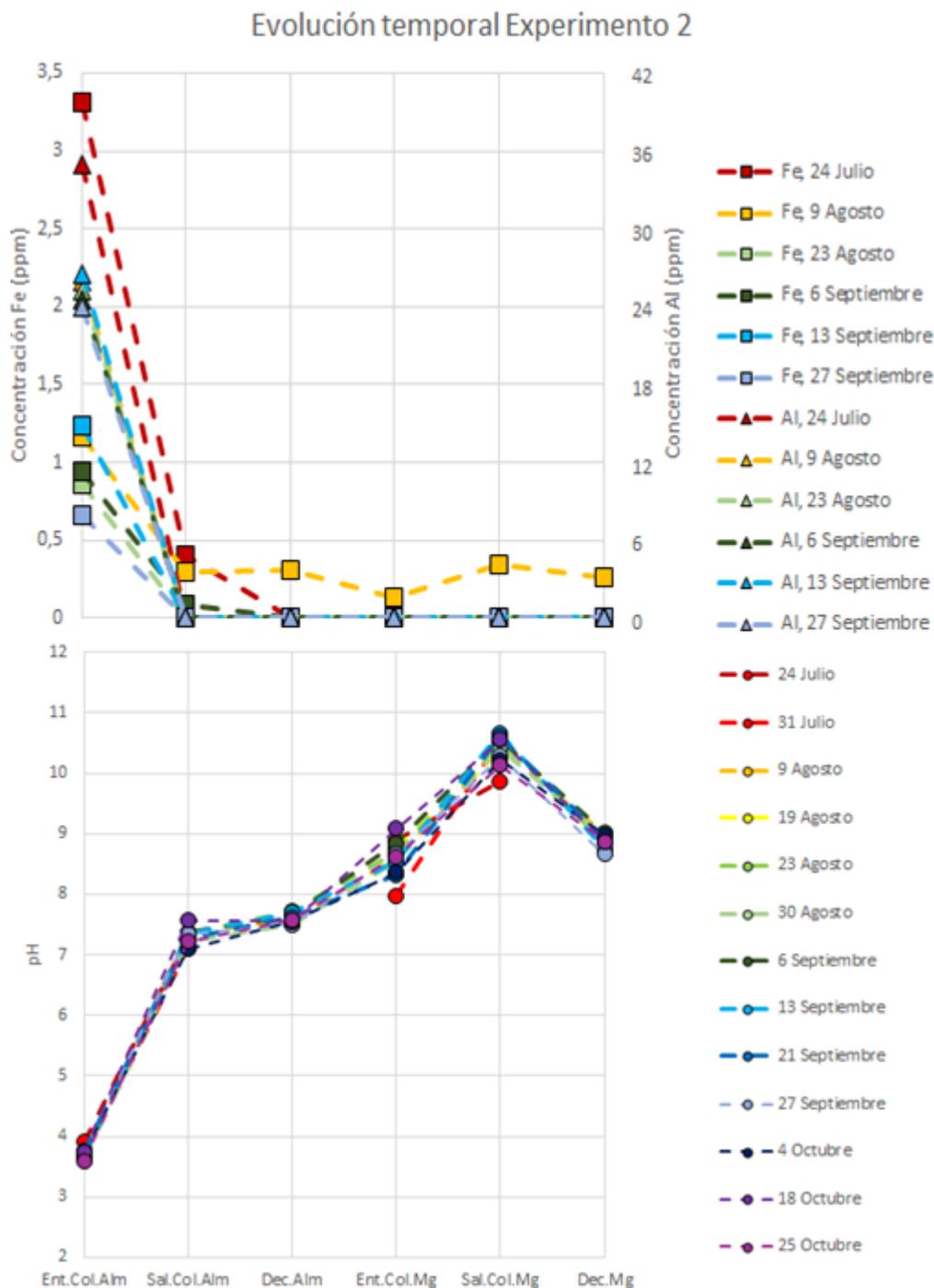


Figura 25: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 2, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3.

En la Figura 25 se muestra que no hay diferencias notorias en el transcurrir de las semanas para el pH en las entradas, salidas y decantadores de las columnas. Se muestra que el pH de entrada se encuentra alrededor de 3,7, para subir a pH cercanos a 7,4 a la salida de la columna de conchillas de almejas. Luego el pH sube levemente en el decantador (debido probablemente a especiación de especies carbonatadas) y luego vuelve a subir levemente en la entrada de la columna de óxido de magnesio. Esto último seguramente por la reacción de la superficie del sustrato con el sobrenadante de la columna. Finalmente, la salida del pH de la columna de óxido de magnesio se encuentra alrededor de 10,5, pH que baja hasta alrededor de 9 en el decantador final. Esto último también se puede deber a la especiación de carbono.

Al igual que en el experimento 1, se nota claramente la baja concentración de metales trivalentes al aumentar el pH en la columna carbonatada y por ende se pueden sacar las mismas conclusiones presentadas en el análisis del apartado anterior. De todas formas, resulta interesante recalcar lo bien que funciona el experimento considerando la diferencia en materiales reactivos utilizados; aparentemente no existen problemas aparentes al utilizar conchillas de almejas. La única diferencia tangible radica en el pH más alto que se obtiene en este experimento, lo cual se puede considerar como algo positivo.

6.5.4.3 Experimento 3, cáscara de huevo y óxido de magnesio (periclasa)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de entrada y salida realizadas según las metodologías descritas en los apartados 5.5.1 y 5.5.3.

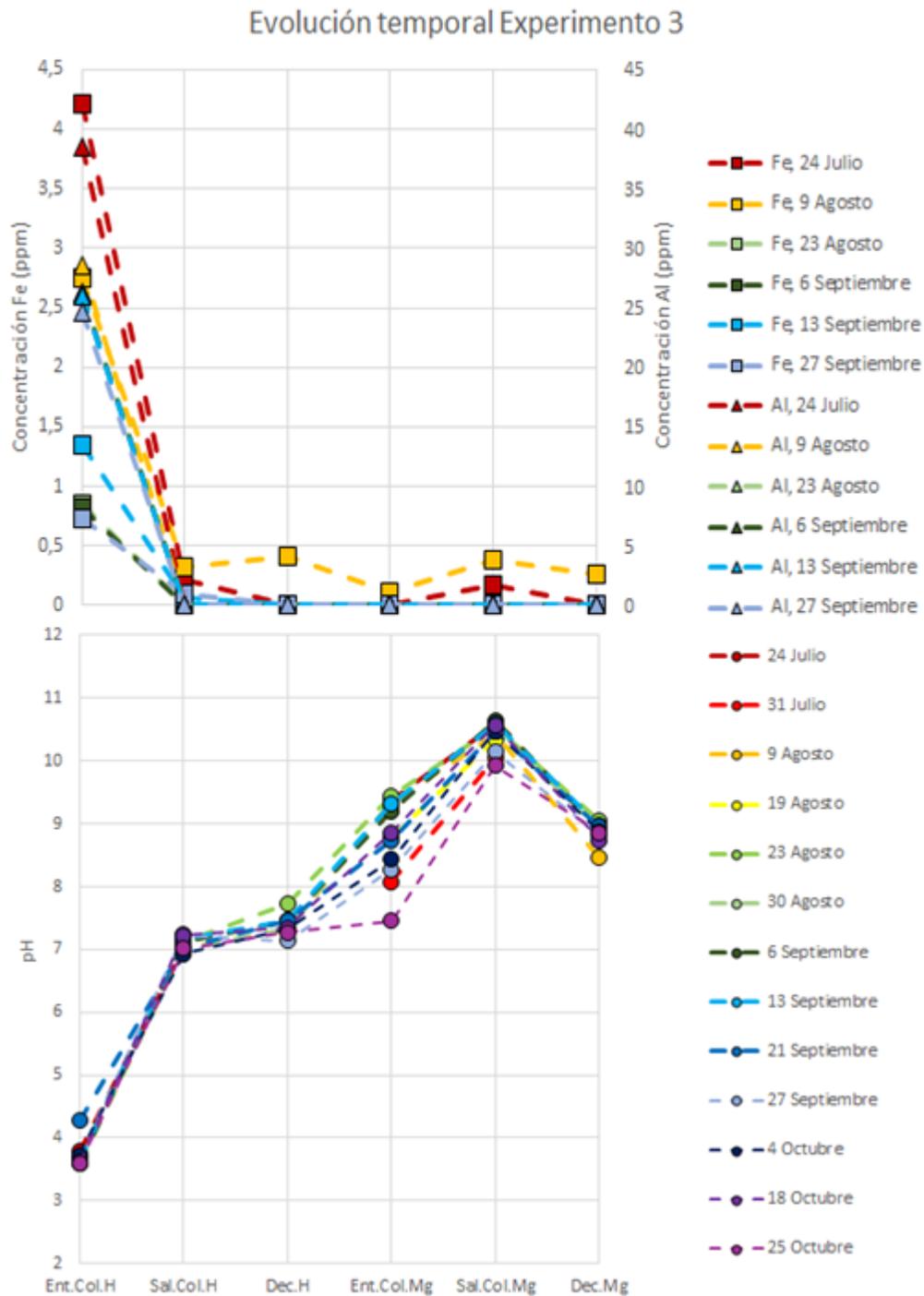


Figura 26: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 3, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3

En la Figura 26 se muestra que no hay diferencias notorias en el transcurrir de las semanas para el pH en las entradas, salidas y decantadores de las columnas. Se muestra que el pH de entrada se encuentra alrededor de 3,7, para subir a pH cercanos a 7,1 a la salida de la columna de cáscara de huevo. Luego el pH sube levemente en el decantador (debido probablemente a especiación de especies carbonatadas) y luego vuelve a subir levemente en la entrada de la columna de óxido de magnesio (acá se tiene una mayor variabilidad que en los otros experimentos, sin embargo, se mantiene una tendencia similar). Esto último seguramente por la reacción de la superficie del sustrato con el sobrenadante de la columna. Finalmente, la salida del pH de la columna de óxido de magnesio se encuentra alrededor de 10,5, pH que baja hasta alrededor de 9 en el decantador final. Esto último también se puede deber a la especiación de carbono.

Al igual que en el experimento 1 y 2, se nota claramente la baja concentración de metales trivalentes al aumentar el pH en la columna carbonatada y por ende lo comentado en los 2 apartados anteriores también aplica para la cáscara de huevo, es decir, funciona de forma adecuada y de forma preliminar se puede decir que funciona tan bien como la calcita. Cabe destacar que los valores de conductividad en este experimento son levemente mayores (véase Anexo B) y por ende esto podría ser un criterio para preferir algún otro material reactivo. De todas formas, resulta interesante la eficiencia de la cáscara de huevo para el tratamiento de aguas ácidas.

6.5.4.4 Experimento 4, conchillas de choritos y óxido de magnesio (periclasa)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de entrada y salida realizadas según las metodologías descritas en los apartados 5.5.1 y 5.5.3.

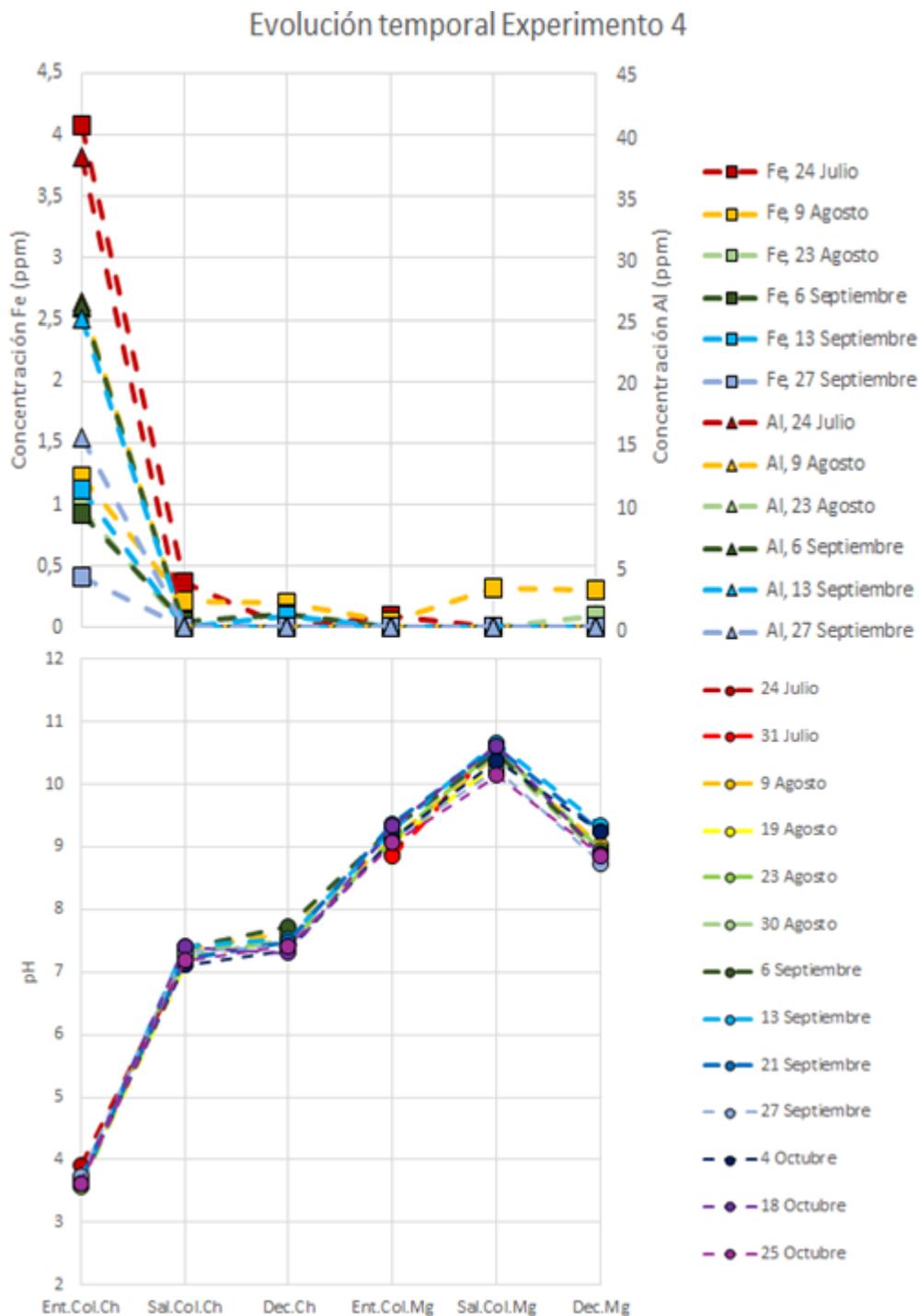


Figura 27: Evolución temporal del pH en distintas etapas del experimento 4, junto con los cambios en concentraciones de hierro y aluminio obtenidos de las muestras de agua según la metodología del apartado 5.5.3

En la Figura 27 se muestra que no hay diferencias notorias en el transcurrir de las semanas para el pH en las entradas, salidas y decantadores de las columnas. Se muestra que el pH de entrada se encuentra alrededor de 3,7, para subir a pH cercanos a 7,3 a la salida de la columna de conchillas de choritos. Luego el pH sube levemente en el decantador (debido probablemente a especiación de especies carbonatadas) y luego vuelve a subir levemente en la entrada de la columna de óxido de magnesio. Esto último seguramente por la reacción de la superficie del sustrato con el sobrenadante de la columna. Finalmente, la salida del pH de la columna de óxido de magnesio se encuentra alrededor de 10,5, pH que baja hasta alrededor de 9 en el decantador final. Esto último también se puede deber a la especiación de carbono.

Al igual que en los experimentos anteriores, se nota claramente la baja concentración de metales trivalentes al aumentar el pH en la columna carbonatada. Este experimento funciona de forma casi idéntica al experimento 2 y por ende resulta interesante considerar la posibilidad de probar el sistema DAS con una mezcla de los 2 materiales, considerando que los 2 son conchillas que se consiguen en lugares similares y por ende el utilizar una mezcla de ellas puede hacer más simple y económica su obtención.

6.5.5 Funcionamiento interno de las columnas

Para comprender el comportamiento de las columnas de laboratorio, más allá de ver como entra y sale el agua (lo cual se observó en el apartado anterior) es necesario analizar que ocurre dentro de las columnas.

6.5.5.1 Experimento 1, calcita y óxido de magnesio (periclasa)

La columna de calcita muestra precipitados blancos y naranjos desde los pocos días de comenzado el experimento. Estos precipitados se encuentran a 1-2cm de profundidad desde el comienzo del sustrato (de arriba hacia abajo) y migran a 2-3 cm al mes de comenzado el experimento. Después de 2 meses, los precipitados ya se encuentran entre 3 y 4cm. Los precipitados blancos son mucho más abundantes que los precipitados naranjos, indicando que hay más aluminio precipitando. Esto concuerda con las concentraciones iniciales del AMD generado y espectrofotometría, que son mayores para el aluminio que el hierro. Según las investigaciones de métodos DAS de Ayora et al (2013) y Caraballo et al (2011), estos precipitados serían efectivamente hidrobazaluminita y schwertmannita. Los precipitados se pueden observar en la Figura 28.



Figura 28: Precipitados en columna carbonatada. Según las referencias, el precipitado naranja sería schwertmannita y el precipitado blanco sería hidrobazaluminita.

El decantador a continuación de la columna de calcita presenta una tonalidad amarillenta, sin embargo, con el paso del tiempo su tonalidad se vuelve más pálida. La columna de óxido de magnesio no presenta cambios visibles.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de perfiles realizadas según la metodología descrita en el apartado 5.5.1 y 5.5.3.

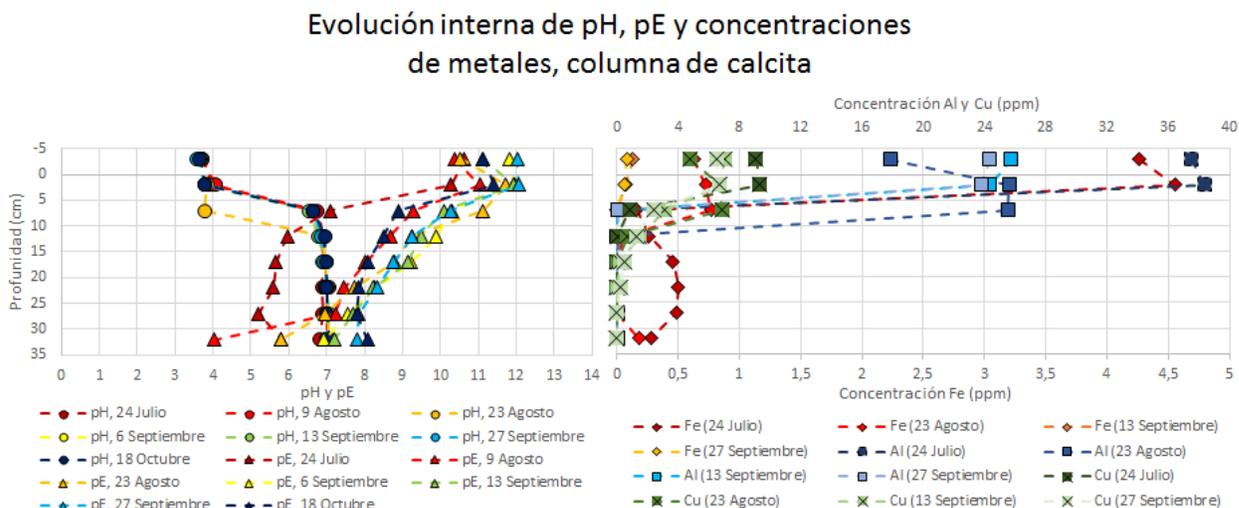


Figura 29: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu, en columna de calcita.

Como se aprecia en la Figura 31, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE; El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE. El cambio en el pH se relaciona con la presencia de precipitados y por ende se confirma que los metales trivalentes precipitan al pasar de pH cercanos a 4 hasta pH neutros. Primero precipitaría el hierro (color naranja) en pH cercanos a 3 ya comienza a estar en fase sólida y el aluminio estaría precipitando en pH alrededor de 5, un poco más abajo en el sustrato (Figura 28).

Cabe destacar que hay datos de pH del 23 de Agosto (serie naranja en la Figura 29) que muestra una baja notable de pH a los 7cm, algo que no vuelve a ocurrir en las mediciones siguientes. Esto podría deberse a un error en la medición, probablemente a algún flujo preferencial desde una parte más arriba de la columna al tomar la muestra. De todas formas, la tendencia de subida de pH antes de los 10cm es clara y coincide con los precipitados observados en las columnas.

Los resultados respecto a la baja en la concentración de Cu coinciden con las experiencias anteriores con el método DAS (Caraballo et al, 2009. Caraballo et al, 2011), los cuales muestran un secuestro del Cu cuando ocurre precipitación Fe y Al (Schwertmannita e Hidrobasaluminita).

Evolución interna de pH, pE, conductividad y concentración de Ca, Mn y S, columna MgO experimento 1 (calcita)

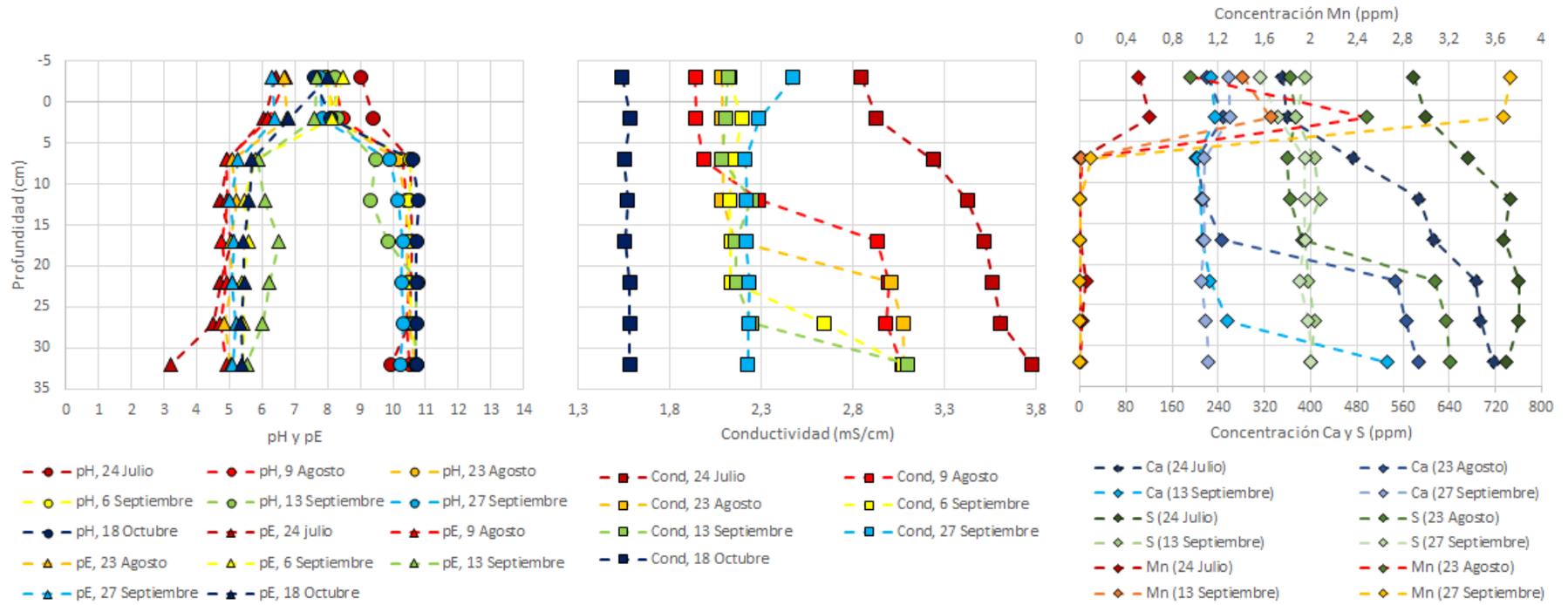


Figura 30: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Ca, S y Mn, en columna de MgO del experimento 1.

Como se aprecia en la Figura 30, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE: El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE y de las concentraciones de Mn. Además, es interesante relacionar estos cambios con la conductividad, la cual en las primeras mediciones parece coincidir un aumento en ella con la subida de pH. Sin embargo, con el paso de las semanas, el aumento en la conductividad parece migrar hacia abajo en la columna. Esta migración coincide con un aumento en las concentraciones de Ca y S en solución. Este comportamiento se explica por un efecto de lavado de minerales que se encuentran junto con el reactivo de MgO (apartado 6.2.3), es decir, aparte de la periclase se tienen minerales con calcio y particularmente anhidrita, que sería el mineral que le estaría entregando cantidades importantes de sulfato al agua y por ende aumentando fuertemente la conductividad eléctrica. Con el pasar de las semanas la anhidrita se iría acabando en las partes superiores de la columna y por ende el aumento de conductividad migraría hacia abajo (junto con el aumento en concentración de Ca y S), hasta desaparecer. Cabe destacar que los valores de conductividad diferentes en las mediciones se deben a que el input inicial de conductividad no es exactamente igual para todas las mediciones. Para mayor detalle respecto a ello, véase el Anexo A.

Las observaciones de precipitados (Figura 28) muestran algo similar a las capas mencionadas en el artículo de Caraballo et al (2009). En esta investigación se definen 6 capas con diferentes características y presencia de minerales. Como es evidente, resulta prematuro asegurar que minerales son efectivamente los que se encuentran en las columnas sin realizar los análisis adecuados (recordar que pueden haber más minerales a los mencionados anteriormente, como lo puede ser la goethita), pero a simple vista se pueden relacionar la capa 4 mencionada en la investigación de Caraballo et al (2009) con los precipitados blancos observados y las capas 2 y 3 con los precipitados naranjas.

6.5.5.2 Experimento 2, conchillas de almejas y óxido de magnesio (periclasa)

La columna de conchillas de almejas muestra precipitados blancos y naranjos desde los pocos días de comenzado el experimento. Estos precipitados se encuentran a 3,5cm de profundidad desde el comienzo del sustrato (de arriba hacia abajo) y migran a 4 cm al mes de comenzado el experimento. Los precipitados blancos son mucho más abundantes que los precipitados naranjos (y más abundantes a simple vista que en el experimento 1). Esto concuerda con las concentraciones iniciales del AMD generado, que son mayores para el aluminio que el hierro. Según las investigaciones de métodos DAS de ayora et al (2013), estos precipitados serian efectivamente hidrobasaluminita y schwertmannita.

El decantador a continuación de la columna de conchillas almejas presenta una tonalidad amarillenta más clara que la del experimento 1 y su color se mantiene constante durante el experimento. La columna de óxido de magnesio no presenta cambios visibles.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de perfiles realizadas según las metodologías descritas en los apartados 5.5.1.

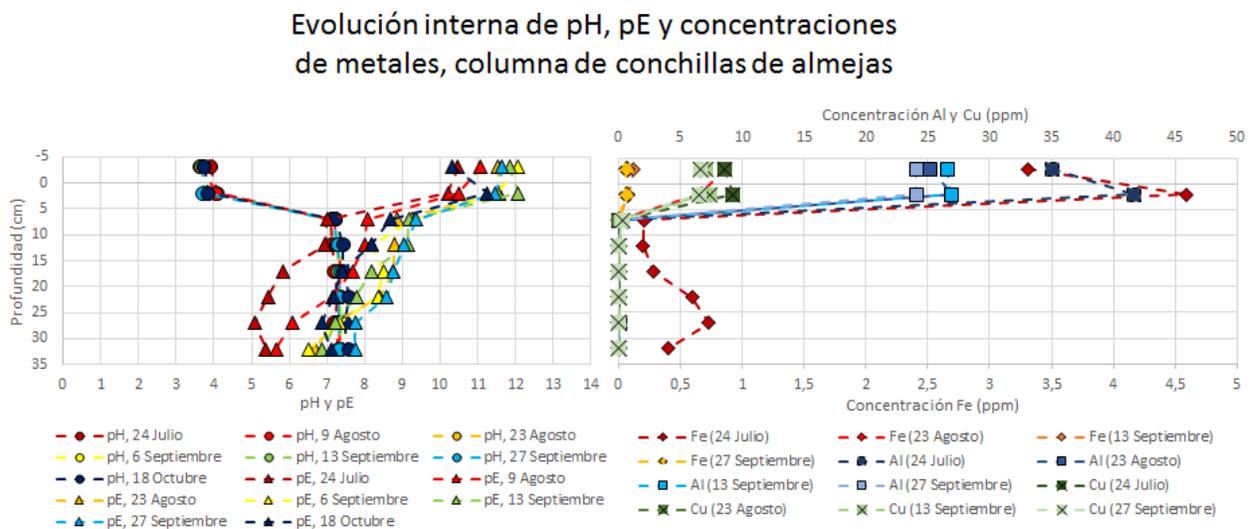


Figura 31: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu en columna de conchillas de almejas.

Como se aprecia en la Figura 31, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE; El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE. Las tendencias de estos 2 parámetros son más evidentes que en el experimento 1, sin embargo, cuentan una historia similar respecto a los precipitados naranjos y blancos; es clara la presencia de precipitado naranja en la superficie del sustrato y en los primeros centímetros del mismo (coincidiendo con el aumento de pH). El precipitado blanco se encuentra un poco más abajo en el sustrato, también coincidiendo con la subida de pH. Esto, a su vez, coincide con fuertes bajas en concentración de Fe y Al (además de bajas en concentración de Cu, con igual explicación a la entregada en el experimento 1)

Evolución interna de pH, pE, conductividad y concentración de Ca, Mn y S, columna MgO experimento 2 (conchillas de almejas)

65

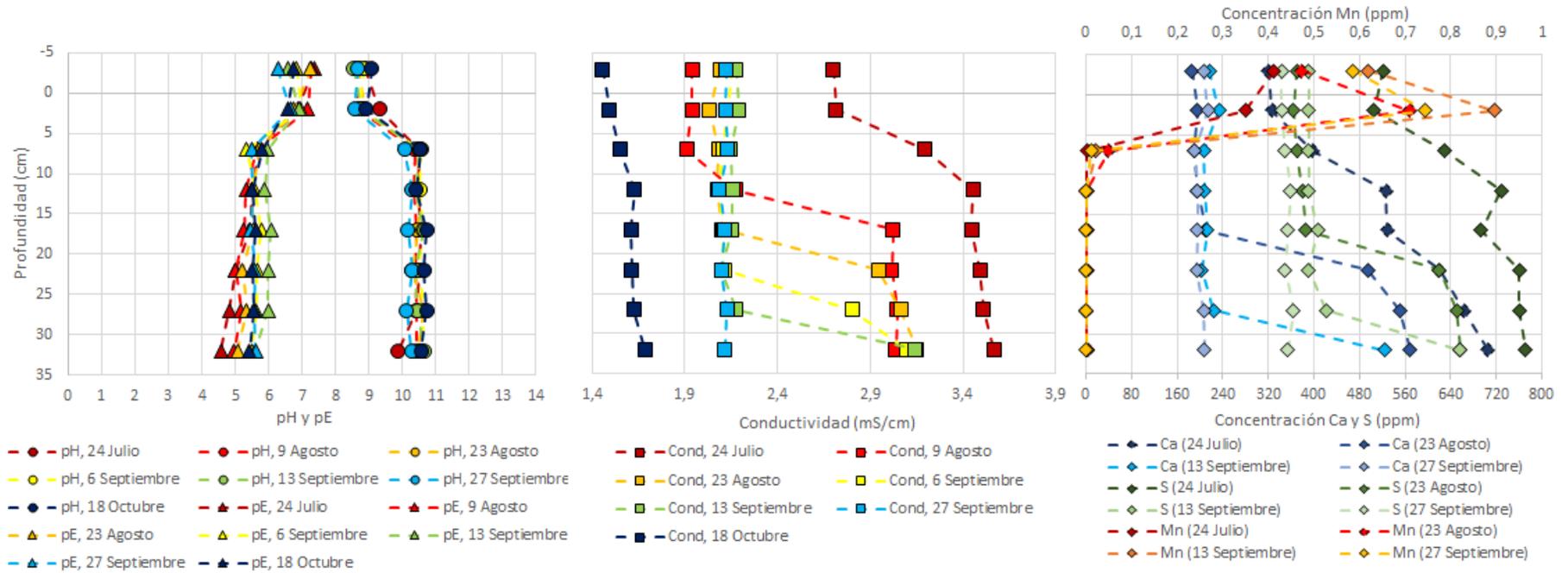


Figura 32: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Mn, Ca y S, en columna de MgO.

Como se aprecia en la Figura 32, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE; El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE y con una baja en la concentración de Mn. Al igual que en el experimento 1, se observa el mismo comportamiento en la conductividad, es decir, un aumento de la conductividad eléctrica junto con un aumento en concentración en solución de Ca y S, lo cual tiene una explicación idéntica a la presentada anteriormente (efecto de lavado de anhidrita).

Respecto a los precipitados, se tiene una situación muy similar al experimento 1. Estos aparentemente son más abundantes en este experimento, pero se comportan de la misma forma y se pueden relacionar a las mismas capas mencionadas en las investigaciones previas del método DAS. Resulta interesante recalcar que este experimento se comporta de forma muy similar tanto en aspectos generales (apartado 6.5.4) como en el funcionamiento interno al experimento con calcita, por lo que las conchillas de almejas parecen ser una alternativa muy atractiva para su uso futuro en temáticas de purificación de aguas.

6.5.5.3 Experimento 3, cáscara de huevo y óxido de magnesio (periclasa)

La columna de cáscara de huevo muestra precipitados blancos y naranjos desde los pocos días de comenzado el experimento. Estos precipitados se encuentran a 1cm de profundidad desde el comienzo del sustrato (de arriba hacia abajo) y migran a 3 cm al mes de comenzado el experimento. Después de 2 meses, los precipitados ya se encuentran a 4cm. Los precipitados blancos son mucho más abundantes en profundidad que los precipitados naranjos, los cuales se concentran en la superficie del sustrato. Un detalle de esta columna es la presencia de pelusas en superficie, algo no observado en el resto de los experimentos.

La abundancia de precipitado blanco concuerda con las concentraciones iniciales del AMD generado, que son mayores para el aluminio que el hierro. Según las investigaciones de métodos DAS de ayora et al (2013), estos precipitados serian efectivamente hidrobasaluminita y schwertmannita. El decantador a continuación de la columna de cáscara de huevo presenta una tonalidad mucho más pálida que la del resto de los experimentos y se mantiene constante. La columna de óxido de magnesio no presenta cambios visibles.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de perfiles realizadas según las metodologías descritas en los apartados 5.5.1.

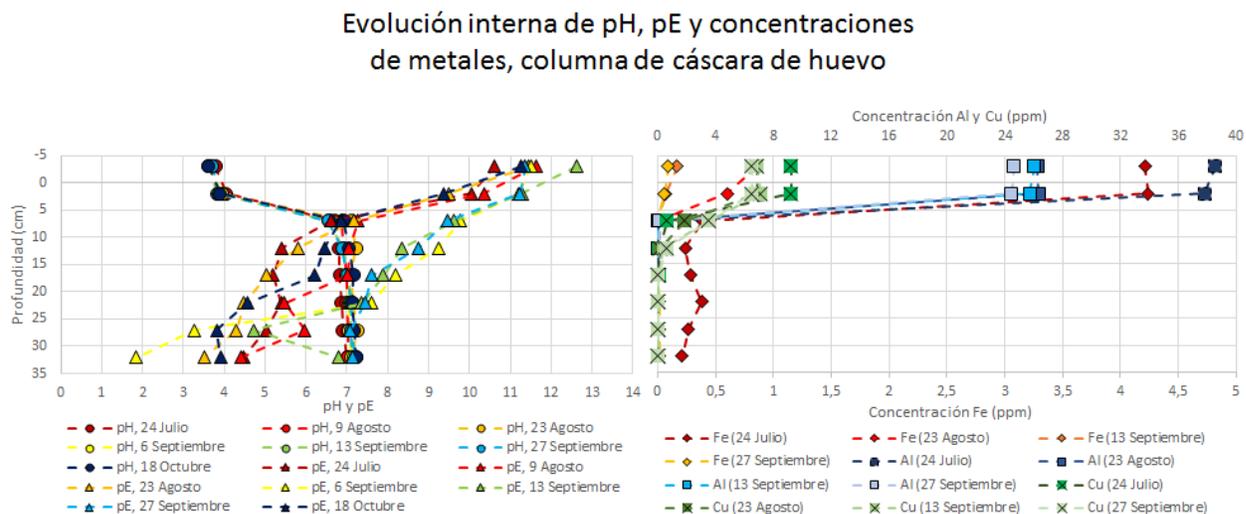


Figura 33: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu, en columna de cáscara de huevo.

Como se aprecia en la Figura 33, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE; El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE. Las tendencias de estos 2 parámetros y de las concentraciones de metales son similares a los experimentos anteriores y por ende cuentan una historia similar respecto a los precipitados naranjos y blancos; es clara la presencia de precipitado naranja en la superficie del sustrato y en los primeros centímetros del mismo (coincidiendo con el aumento de pH). El precipitado blanco se encuentra un poco más abajo en el sustrato, también coincidiendo con la subida de pH y por ende se puede hacer la misma conexión realizada en los apartados anteriores.

Evolución interna de pH, pE, conductividad y concentración de Ca, Mn y S, columna MgO experimento 3 (cáscara de huevo)

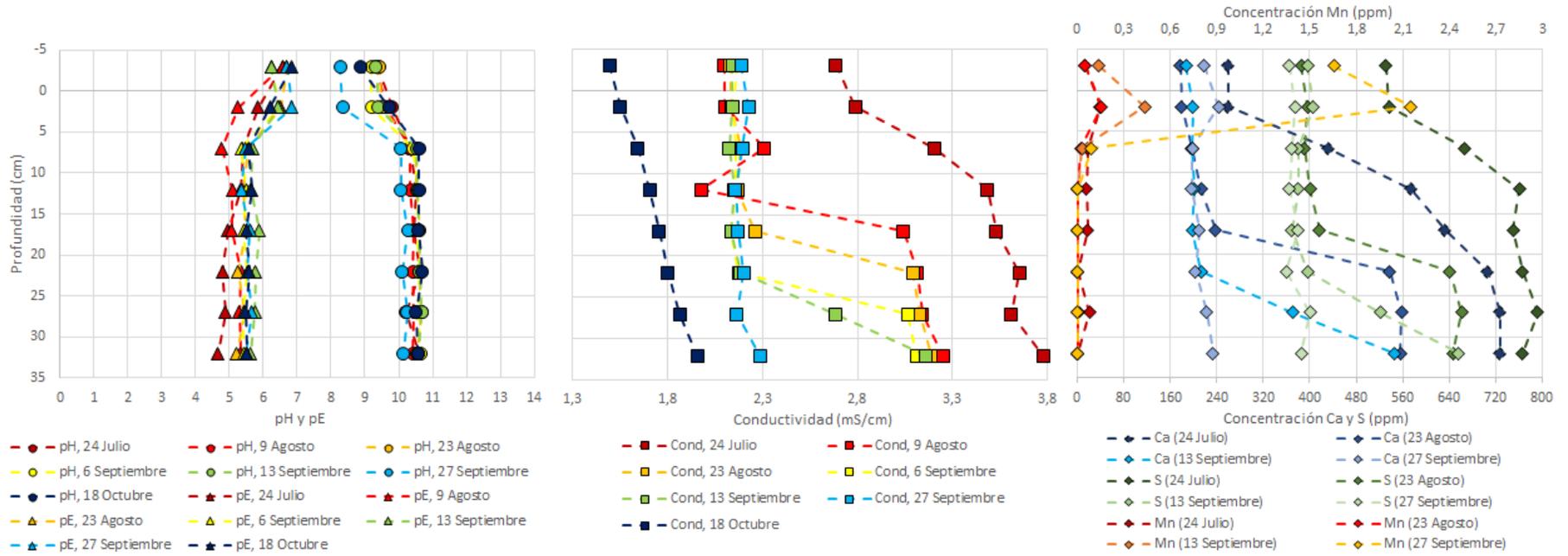


Figura 34: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Mn, Ca y S, en columna de MgO.

Como se aprecia en la Figura 34, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE; El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE y con la baja de concentración de Mn. Al igual que en los 2 experimentos anteriores, se observa el mismo comportamiento en la conductividad, es decir, un aumento de la conductividad eléctrica junto con un aumento en concentración en solución de Ca y S, lo cual tiene una explicación idéntica a la presentada anteriormente (efecto de lavado de anhidrita).

Cabe destacar que la principal diferencia que presenta este experimento respecto a los precipitados es la presencia de precipitados extraños (similares a pelusas) en la superficie del sustrato. Realizando un análisis mineralógico adecuado de los precipitados de esta columna podrían dar una idea más clara de lo que ocurre específicamente en este experimento.

6.5.5.4 Experimento 4, conchillas de choritos y óxido de magnesio (periclasa)

La columna de conchillas de choritos muestra precipitados blancos y naranjos desde los pocos días de comenzado el experimento. Estos precipitados se encuentran a 2cm de profundidad desde el comienzo del sustrato (de arriba hacia abajo) y migran a 4cm al mes de comenzado el experimento. Los precipitados blancos son mucho más abundantes que los precipitados naranjos (levemente más abundantes que en el experimento 1), indicando que hay más aluminio precipitando. Esto concuerda con las concentraciones iniciales del AMD generado, que son mayores para el aluminio que el hierro. Según las investigaciones de métodos DAS de ayora et al (2013), estos precipitados serian efectivamente hidrobasaaluminita y schwertmannita.

El decantador a continuación de la columna de conchillas choritos presenta una tonalidad amarillenta más clara que la del experimento 1 y su color se mantiene constante durante el experimento (similar a la tonalidad del decantador del experimento 2). La columna de óxido de magnesio no presenta cambios visibles.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de perfiles realizadas según las metodologías descritas en los apartados 5.5.1.

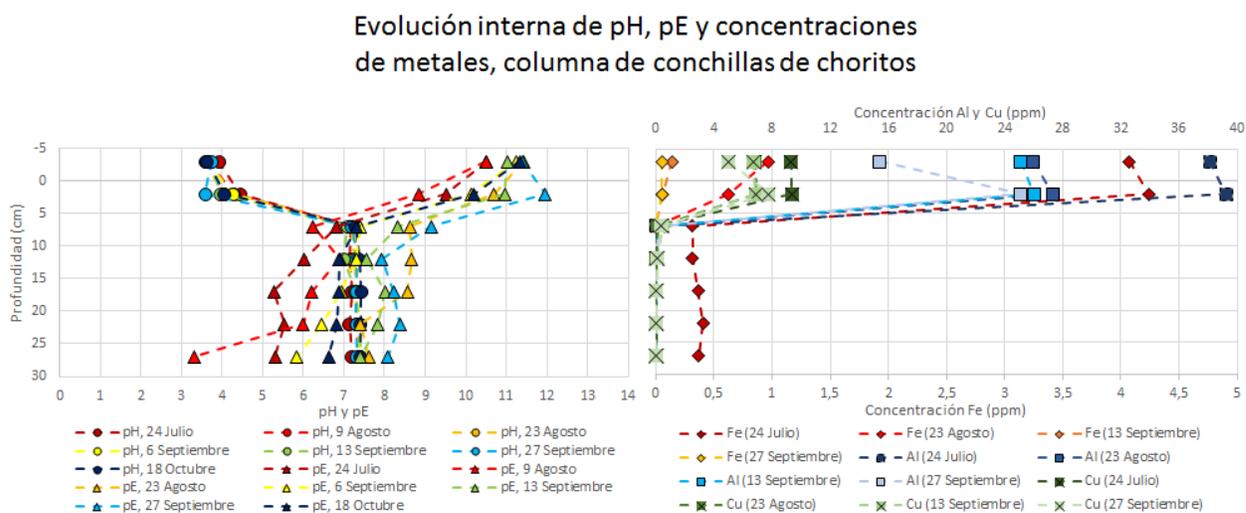


Figura 35: Evolución del pH y pE, junto con concentraciones de Al, Fe y Cu, en columna de conchillas de choritos.

Como se aprecia en la Figura 35, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE; El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE. Las tendencias de estos 2 parámetros y de las concentraciones de Fe, Al y Cu son similares a los experimentos anteriores y por ende cuentan una historia similar respecto a los precipitados naranjos y blancos; es clara la presencia de precipitado naranja en la superficie del sustrato y en los primeros centímetros del mismo (coincidiendo con el aumento de pH). El precipitado blanco se encuentra un poco más abajo en el sustrato, también coincidiendo con la subida de pH.

Evolución interna de pH, pE, conductividad y concentración de Ca, Mn y S, columna MgO experimento 4 (conchillas de choritos)

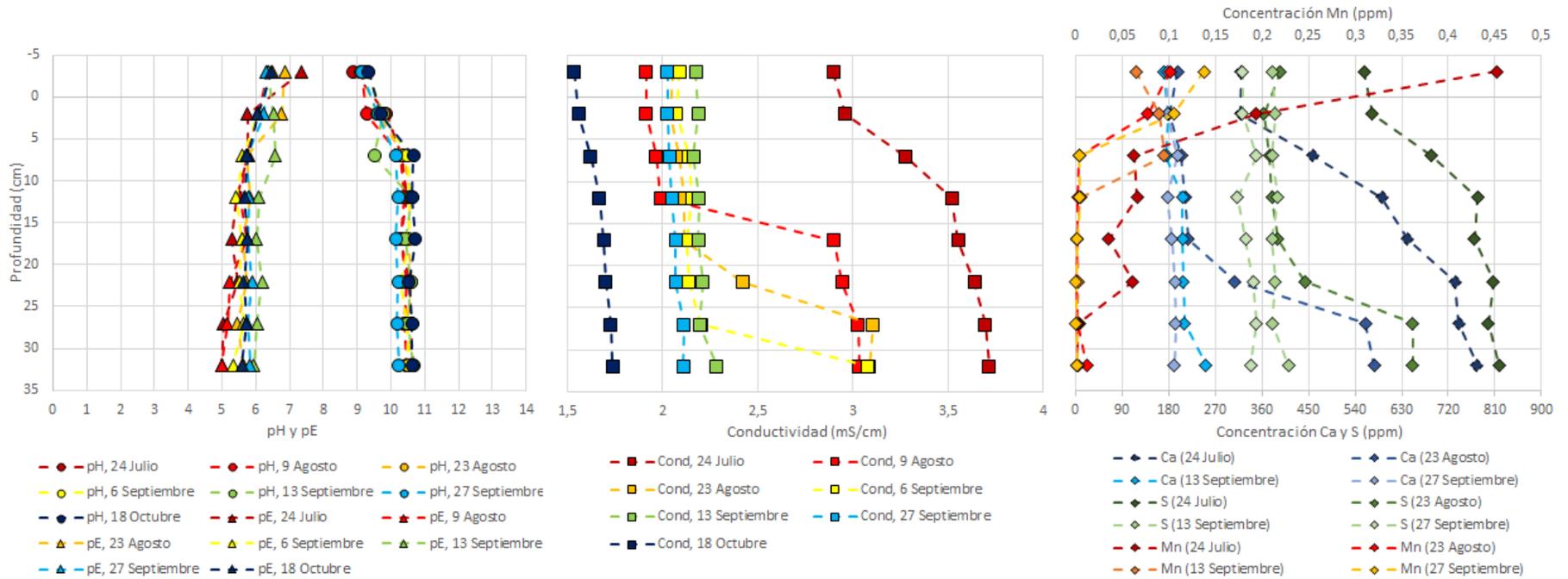


Figura 36: Evolución del pH, pE y conductividad, junto con concentraciones de Mn, Ca y S, en columna de MgO.

Como se aprecia en la Figura 36, el comportamiento del pH está relacionado al comportamiento de pE; El momento de aumento del pH coincide con la baja de pE y con una baja en la concentración de Mn. Al igual que en los 2 experimentos anteriores, se observa el mismo comportamiento en la conductividad, es decir, un aumento de la conductividad eléctrica junto con un aumento en concentración en solución de Ca y S, lo cual tiene una explicación idéntica a la presentada anteriormente (efecto de lavado de anhidrita).

Como era de esperar, este experimento es casi idéntico al experimento 4, por lo tanto más allá de aplicar todo lo analizado en ese apartado para el experimento 4, la idea de poder generar un método DAS con una mezcla de los 2 conchillas gana aún más fuerza. Como es evidente, las muestras de agua entregaran más información para poder ratificar esta idea.

6.5.6 Balance de masas y estimaciones de comportamiento futuro

Si bien ya se ha presentado un análisis completo y exhaustivo del comportamiento de las columnas de laboratorio, estos resultados solo cubren un periodo de 2 meses y medio. Esto implica que en muchos aspectos el sistema no ha sido sometido a una carga metálica lo suficientemente grande como para presentar problemas que si podrían eventualmente aparecer con un mayor tiempo de operación. Claro ejemplo de ello es la conductividad hidráulica, que hasta ahora no ha presentado ningún problema, pero si sabemos que en este tipo de investigaciones ocurren (Ayora et al 2013, Caraballo et al 2010). Es por esta razón que es importante intentar predecir el comportamiento futuro del sistema, para tener más información sobre cuánto tiempo podría estar funcionando el sistema de purificación.

Realizar predicciones sobre el comportamiento de la conductividad hidráulica sin haber observado ninguna disminución de la misma se hace complejo y poco realista. Sin embargo, si se puede realizar es balance de masas que tenga en cuenta la cantidad de carbonato de calcio consumido por las columnas carbonatadas y así poder determinar cuánto tiempo podrían estar operando estas columnas hasta el total agotamiento del carbonato de calcio disponible. Para ello, se seguirán 2 metodologías las cuales se compararán para poder entregar una estimación más sólida. Las 2 metodologías utilizan la información presentada en la Tabla 17.

Tabla 17: Cantidad de material reactivo por columna, potencial de neutralización y cantidad efectiva de carbonato de calcio.

Columna	Cantidad de material reactivo (gr)	Potencial de neutralización (Kg CaCO ₃ /t)	Cantidad efectiva de CaCO ₃ por columna (gr)
Calcita	1753	487,5	854,58
Conchillas de almejas	1795	704,75	1265,02
Cáscara de huevo	534	667,5	356,44
Conchillas de choritos	1276	883,25	1127,02

Por un lado, se realizará una estimación en base a la cantidad de iones disueltos de calcio medidos en las muestras de agua. Para ello, primero se obtiene un promedio de la cantidad de iones disueltos de calcio en la salida de las columnas carbonatadas respecto a la cantidad de estos iones en el sobrenadante, es decir, cuantos iones de calcio se están liberando al agua al pasar por la columna. Luego, se genera una equivalencia para determinar cuántos gr/L de carbonato de calcio equivale a esta liberación de iones. Considerando 2 meses y medio de funcionamiento, se sabe que han pasado 112,5 litros por las columnas y por lo tanto se tiene la cantidad de carbonato de calcio consumido en ese periodo. Posteriormente se utilizan los valores de la Tabla 17 en donde se tiene un total de carbonato de calcio en cada una de las columnas y por lo tanto se puede realizar una estimación de tiempo y de cantidad de agua que es capaz de tratar el sistema. Los valores de estos pasos recién descritos se aprecian en la Tabla 18.

Tabla 18: Datos y estimaciones utilizando el método de iones disueltos de calcio. Más información respecto a los iones disueltos en Anexo D.

Columna	Promedio de iones de calcio liberados (ppm)	Equivalencia en CaCO ₃ (ppm)	Equivalencia en CaCO ₃ (gr/L)	Estimación de meses y años de operación	Capacidad de purificación de agua (L)
Calcita	134	334,6	0,3346	56,9 meses 4,74 años	2554
Conchillas de almejas	119	297,15	0,2971	94,63 meses 7,88 años	4257
Cáscara de huevo	121,5	303,39	0,30339	26,12 meses 2,17 años	1174
Conchillas de choritos	130,25	325,25	0,32525	77 meses 6,41 años	3465

Por otro lado, se utilizó el software “Phreeqc” para determinar la cantidad de carbonato de calcio consumido. Para ello, se ingresan los datos iniciales del AMD al Software y con el comando “Equilibrium phases” se simula la disolución de calcita en el AMD a una tasa de 0,05 moles, lo cual es realizado por el software en 100 iteraciones, en la cual en cada una se le añade una cantidad de carbonato de calcio equivalente a 0,0005 moles. En base a la cantidad de iteraciones necesarias para obtener el pH de salida de cada columna de laboratorio, se obtiene una cantidad de gramos de calcita disueltos por litro de solución. Con esta información, las estimaciones son análogas al caso anterior. Los valores de estos pasos recién descritos se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19: Datos y estimaciones utilizando “Phreeqc”.

Columna	pH aproximado de salida	Cantidad de iteraciones necesarias	Equivalencia en CaCO ₃ (gr/L)	Estimación de meses y años de operación	Capacidad de purificación de agua (L)
Calcita	7	59	0,295	64,37 meses 5,36 años	2896
Conchillas de almejas	7,4	67	0,335	83,93 meses 6,99 años	3776
Cáscara de huevo	7,1	61	0,305	25,98 meses 2,16 años	1169
Conchillas de choritos	7,3	65	0,325	77,06 meses 6,42 años	3467

Como se puede apreciar, los resultados de las 2 metodologías entregan estimaciones similares para el funcionamiento futuro de las columnas. Cabe destacar que en estas estimaciones se pierde precisión en la cantidad de iones disueltos de calcio (se utilizó un promedio) y sobre el pH de salida de las columnas (se utilizó el pH más común de salida para cada columna).

Estos resultados se deben leer como un máximo de tiempo de funcionamiento, es decir, bajo condiciones ideales se calculó el tiempo en el cual todo el carbonato de calcio es consumido en cada una de las columnas. Se debe dejar claro que esto en la realidad no ocurre, ya que los granos de carbonato de calcio pueden ser parcial o totalmente recubiertos de precipitados con el tiempo, lo cual los deja fuera del contacto con el AMD. Por ende, la cantidad de carbonato de calcio dentro de una columna no suele ser utilizada por completo. Además, estos tiempos estimados no consideran la pérdida de conductividad hidráulica, lo cual puede reducir estos tiempos drásticamente. De todas formas, sería prudente considerar un funcionamiento de aproximadamente 2 años para la columna de calcita, de 10 meses para la columna de cáscara de huevo y de 3 años para las columnas de conchillas marinas (recordar que las estimaciones para la columna de conchillas de choritos son más bajas en las tablas debido a que posee menor cantidad de sustrato)

7. Conclusiones

Los resultados obtenidos con la aplicación del método DAS a la realidad chilena a una escala de laboratorio son hasta ahora prometedores. Se pudo encontrar materiales locales y sustentables (conchillas de almejas, conchillas de choritos y cáscara de huevo) que no sólo poseen propiedades útiles para la purificación de aguas, sino también que funcionan de igual manera o incluso mejor (en el caso de las conchillas marinas) que la calcita. Esto es relevante debido a que hasta ahora las experiencias DAS utilizaban principalmente calcita en la primera etapa de purificación.

Las columnas de laboratorio entregaron los resultados esperados, con precipitados con características aparentemente similares a las de experiencias DAS anteriores, lo que implica una purificación de metales trivalentes similar. También se tienen resultados de conductividad hidráulica esperados, con un sistema que en los 2 meses y medio de tratamiento no se ha visto afectado. Las características fisicoquímicas del agua al salir de las columnas se encuentran dentro de los rangos esperados, con valores de pH suficientes para esperar concentraciones de metales bajas y valores de conductividad elevados, lo que indicaría una alta presencia de sulfato en el agua.

En particular, todas las columnas carbonatadas suben el pH hasta un rango entre 7 y 7,5, mientras que las concentraciones de metales trivalentes terminan en su mayoría bajo el límite de detección de los análisis. Esto implica que durante el tiempo de operación no existen diferencias notorias para el uso de un u otro material reactivo. Si existen diferencias entre los materiales respecto a la obtención del material, así como también de la eficiencia del mismo; según las estimaciones realizadas, las conchillas marinas tendrían una vida útil mayor a la calcita (y la cáscara de huevo menor). La vida útil de la cáscara de huevo se relaciona directamente con su menor densidad y por ende se podría hacer más eficiente utilizando mayor volumen de la misma, lo cual a su vez podría ser perjudicial para la conductividad hidráulica del sistema.

Al analizar el comportamiento interno de las columnas carbonatadas, se confirmó que el aumento de pH está directamente relacionado con la baja en concentraciones de hierro, aluminio y cobre, así como también en una baja del pE. Esto ocurre en los primeros centímetros de sustrato para todas las columnas, proceso que se mantuvo durante el tiempo de operación y que deja como evidencia precipitados de color blanco y naranja en la parte superior del sustrato de las columnas.

Respecto a las columnas de periclase, estas muestran un fuerte aumento en el pH, acompañado de una baja en el pE y en las concentraciones de algunos elementos (como el manganeso). La reducción de metales en esta columna no se apreció de forma tan acentuada, seguramente debido a las bajas concentraciones de metales recibidas. Además, se detectó un efecto de lavado de anhídrita que se encontraba como impureza dentro del material reactivo, el cual provocó una liberación importante de calcio y sulfato al agua, aumentando de forma importante la conductividad eléctrica del agua de salida. Ya en las últimas semanas de monitoreo, este efecto fue migrando y finalmente desapareciendo de las columnas, indicando que ya toda la anhídrita fue disuelta de las columnas de periclase.

Más allá de lo novedoso e interesante que resulta el realizar el método DAS con materiales alternativos, esta investigación entrega resultados novedosos respecto al rango de aplicación que posee el método DAS; ahora no solo se sabe que es capaz de eliminar altas concentraciones de metales, sino también se sabe que aun cuando estas concentraciones de metales no sean tan altas (entre 1 y 25 ppm para metales trivalentes) el método es capaz de reducir sus concentraciones de forma notable.

Es importante recalcar que los resultados presentados en este informe se enmarcan en un proyecto de mayor envergadura y por ende el monitoreo de las columnas continuará. Al tener todos los resultados de esta fase de experimentos se seleccionará el material reactivo sustentable más prometedor y comenzará otra fase de experimentos con el objetivo de controlar parámetros como la alcalinidad del agua (y por ende acidez neta) y variar el flujo de entrada de las columnas, para tener la capacidad de poder determinar el rango de flujos de entrada que es capaz de tratar el método. Además, se tiene la intención de agregar una tercera etapa a los experimentos con el objetivo de reducir la cantidad de sulfato y por ende bajar la conductividad del agua. Todo esto se pretende avanzar en una tesis de Magister a comenzar en 2018.

Con los resultados que se han obtenido hasta ahora, los materiales reactivos más prometedores son las conchillas marinas. Si bien la cáscara de huevo también es interesante, esta sería menos eficiente por contener menor cantidad de carbonato de calcio efectivo dentro de la columna. En base a esto, resulta interesante considerar la posibilidad real de mezclar estos 2 materiales reactivos para futuras experiencias DAS, bajando los costos y facilitando su aplicación.

8. Bibliografía

- Akcil, A., & Koldas, S. (2006). Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, 14(12), 1139-1145.
- Aubé, B., Zinck, J., & Eng, M. (2003, December). Lime treatment of acid mine drainage in Canada. In *Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation. Brazil-Canada Seminar on Mine Rehabilitation, Florianópolis* (pp. 1-12).
- Balintova, M., & Petrilakova, A. (2011). Study of pH influence on selective precipitation of heavy metals from acid mine drainage. *Chem Eng Trans*, 25, 345-350.
- Bernier, L. R. (2005). The potential use of serpentinite in the passive treatment of acid mine drainage: batch experiments. *Environmental Geology*, 47(5), 670-684.
- Caraballo, M. A., Rötting, T. S., Nieto, J. M., & Ayora, C. (2009). Sequential extraction and DXRD applicability to poorly crystalline Fe-and Al-phase characterization from an acid mine water passive remediation system. *American Mineralogist*, 94(7), 1029-1038.
- Caraballo, M. A., Macías, F., Nieto, J. M., Castillo, J., Quispe, D., & Ayora, C. (2011). Hydrochemical performance and mineralogical evolution of a dispersed alkaline substrate (DAS) remediating the highly polluted acid mine drainage in the full-scale passive treatment of Mina Esperanza (SW Spain). *American Mineralogist*, 96(8-9), 1270-1277.
- Caraballo, M. A., Rötting, T. S., & Silva, V. (2010). Implementation of an MgO-based metal removal step in the passive treatment system of Shilbottle, UK: Column experiments. *Journal of hazardous materials*, 181(1), 923-930.
- Caraballo, M. A., Macías, F., Rötting, T. S., Nieto, J. M., & Ayora, C. (2011). Long term remediation of highly polluted acid mine drainage: A sustainable approach to restore the environmental quality of the Odiel river basin. *Environmental Pollution*, 159(12), 3613-3619.
- Chockalingam, E., & Subramanian, S. (2006). Studies on removal of metal ions and sulphate reduction using rice husk and *Desulfotomaculum nigrificans* with reference to remediation of acid mine drainage. *Chemosphere*, 62(5), 699-708.
- Choi, H. J., & Lee, S. M. (2015). Heavy metal removal from acid mine drainage by calcined eggshell and microalgae hybrid system. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(17), 13404-13411.
- Cocos, I. A., Zagury, G. J., Clément, B., & Samson, R. (2002). Multiple factor design for reactive mixture selection for use in reactive walls in mine drainage treatment. *Water Research*, 36(1), 167-177.
- Cortina, J. L., Lagreca, I., De Pablo, J., Cama, J., & Ayora, C. (2003). Passive in situ remediation of metal-polluted water with caustic magnesia: evidence from column experiments. *Environmental science & technology*, 37(9), 1971-1977.

- Daubert, L. N., & Brennan, R. A. (2007). Passive remediation of acid mine drainage using crab shell chitin. *Environmental Engineering Science*, 24(10), 1475-1480.
- Dold, B. (2003). Aguas Ácidas: formación, predicción, control y prevención. *Revista Minería*, 310, 29-37.
- Dold, B. (2005). Basic concepts of environmental geochemistry of sulfide mine-waste. *XXIV Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG Mineralogia, geoquímica y geomicrobiología para el manejo ambiental de desechos mineros, Lima, Peru*.
- Dold, B. (2014). Evolution of acid mine drainage formation in sulphidic mine tailings. *Minerals*, 4(3), 621-641.
- Fernández-Caliani, J. C., Barba-Brioso, C., & Pérez-López, R. (2008). Long-term interaction of wollastonite with acid mine water and effects on arsenic and metal removal. *Applied Geochemistry*, 23(5), 1288-1298
- Gazea, B., Adam, K., & Kontopoulos, A. (1996). A review of passive systems for the treatment of acid mine drainage. *Minerals engineering*, 9(1), 23-42.
- Gutierrez, F, Pincetti, G. Payacán, I. Tristram, E. Vela, I. (2015). Composición natural de las aguas en la cuenca alta del santuario de la naturaleza Yerba Loca, Santiago. *XIV Congreso geológico chileno*.
- Hong, J. K., Jo, H. Y., & Yun, S. T. (2009). Coal fly ash and synthetic coal fly ash aggregates as reactive media to remove zinc from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), 235-246.
- Johnson, D. B., & Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of the total environment*, 338(1), 3-14.
- Kalin, M., Fyson, A., & Wheeler, W. N. (2006). The chemistry of conventional and alternative treatment systems for the neutralization of acid mine drainage. *Science of the Total Environment*, 366(2), 395-408
- Kumari, S., Udayabhanu, G., & Prasad, B. (2010). Studies on environmental impact of acid mine drainage generation and its treatment: an appraisal. *Indian Journal of Environmental Protection*, 30(11), 953-967.
- Lee, M. H., Lee, Y. S., Yang, M. J., Kim, J. S., & Wang, S. K. (2008). Lime (CaO) and Limestone (CaCO_3) Treatment as the Stabilization Process for Contaminated Farmland Soil around Abandoned Mine, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 41(2), 201-210.
- Leistel, J. M., Marcoux, E., Thiéblemont, D., Quesada, C., Sánchez, A., Almodóvar, G. R., ... & Sáez, R. (1997). The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt Review and preface to the Thematic Issue. *Mineralium Deposita*, 33(1), 2-30.
- Masukume, M., Onyango, M. S., & Maree, J. P. (2014). Sea shell derived adsorbent and its potential for treating acid mine drainage. *International Journal of Mineral Processing*, 133, 52-59.

- Nieto, J. M., Sarmiento, A. M., Canovas, C. R., Olias, M., & Ayora, C. (2013). Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt: 1. Hydrochemical characteristics and pollutant load of the Tinto and Odiel rivers. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 7509-7519.
- Obreque-Contreras, J., Pérez-Flores, D., Gutiérrez, P., & Chávez-Crooker, P. (2015). Acid mine drainage in Chile: an opportunity to apply bioremediation technology. *Hydrol Curr Res*, 6(3), 1-8.
- Oliva, J., De Pablo, J., Cortina, J. L., Cama, J., & Ayora, C. (2010). The use of Apatite II™ to remove divalent metal ions zinc (II), lead (II), manganese (II) and iron (II) from water in passive treatment systems: Column experiments. *Journal of hazardous materials*, 184(1), 364-374.
- Payus, C., David, O., & Yan, M. P. (2014). Bone meal as alternative treatment for acidic and metal contaminated acid mine drainage water effluent: Lab scale. *American Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 61-73.
- Pérez-López, R., Quispe, D., Castillo, J., & Nieto, M. (2011). Acid neutralization by dissolution of alkaline paper mill wastes and implications for treatment of sulfide-mine drainage. *American Mineralogist*, 96(5-6), 781-791.
- Potgieter-Vermaak, S. S., Potgieter, J. H., Monama, P., & Van Grieken, R. (2006). Comparison of limestone, dolomite and fly ash as pre-treatment agents for acid mine drainage. *Minerals Engineering*, 19(5), 454-462.
- Taylor, J., Pape, S., & Murphy, N. (2005, August). A summary of passive and active treatment technologies for acid and metalliferous drainage (AMD). In *5th Australian workshop on Acid Mine Drainage, Fremantle, Australia*.
- Usher, B. H., Cruywagen, L. M., De Necker, E., & Hodgson, F. D. I. (2003). On-site and laboratory investigations of spoil in opencast collieries and the development of acid-base accounting procedures. *Water Research Commission Report*, (1055/1), 03.
- Global acid mine drainage guide 2014, by the INAP (International network for acid prevention). http://www.gardguide.com/index.php?title=Main_Page

Anexo A: AMD sintético

	AMD 17 Julio	AMD 21 Julio	AMD 25 Julio	AMD 28 Julio	AMD 1 Agosto	AMD 4 Agosto	AMD 7 Agosto	AMD 11 Agosto
Fe	10,11	10,11	10,12	10,11	10,09	10,10	10,10	10,11
Al	25,86	25,87	25,87	25,87	25,87	25,87	25,87	25,87
Mg	58,47	58,47	58,47	58,47	58,49	58,49	58,47	58,47
Mn	7,07	7,07	7,07	7,05	7,07	7,07	7,07	7,07
Ca	325,12	325,13	325,15	325,16	212,17	212,35	212,26	212,26
Cu	7,95	7,95	7,96	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95
Na	144,30	144,27	144,30	144,28	144,27	144,30	144,27	144,3
Zn	2,67	2,68	2,65	2,67	2,66	2,65	2,67	2,68
Ni	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Co	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
As	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
pH	3,74	3,6	3,85	3,64	4,27	3,67	3,57	3,62
pE	7,01	10,73	10,84	12,05	9,5	9,37	11,09	11,69
OD	9,07	9,07	8,87	8,96	9,2	9,14	8,97	8,82
Cond (ms/cm)	2,763	3,503	2,357	2,461	3,465	1,92	1,756	2,069

	AMD 16 Agosto	AMD 18 Agosto	AMD 21 Agosto	AMD 25 Agosto	AMD 28 Agosto	AMD 1 Sept.	AMD 4 Sept.	AMD 8 Sept.
Fe	10,11	10,10	10,12	10,12	10,11	10,12	10,11	10,11
Al	25,87	25,87	25,88	25,87	25,87	25,87	25,87	25,87
Mg	58,47	58,48	58,47	58,47	58,47	58,47	58,47	58,47
Mn	7,05	7,07	7,08	7,08	7,06	7,07	7,04	7,07
Ca	212,26	212,26	212,17	212,35	212,32	212,17	212,24	212,29
Cu	7,96	7,94	7,95	7,95	7,95	7,94	7,94	7,98
Na	144,30	144,30	144,28	144,31	144,30	144,27	144,28	144,32
Zn	2,68	2,66	2,66	2,67	2,67	2,66	2,67	2,66
Ni	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Co	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
As	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
pH	3,62	3,61	3,57	3,64	3,65	3,57	3,61	3,61
pE	12,89	11,49	11,77	13,07	13,94	13,07	12,42	12,45
OD	8,94	8,94	9,12	9,01	9,36	9,17	9,22	9,13
Cond (ms/cm)	2,018	2,077	2,15	2,204	2,205	2,113	2,201	2,181

	AMD 4 Sept.	AMD 8 Sept.	AMD 11 Sept.	AMD 16 Sept.	AMD 20 Sept.	AMD 22 Sept.	AMD 25 Sept.	AMD 29 Sept.
Fe	10,11	10,11	10,12	10,12	10,12	10,11	10,12	10,12
Al	25,87	25,86	25,86	25,87	25,87	25,87	25,87	25,87
Mg	58,47	58,46	58,47	58,47	58,47	58,47	58,47	58,47
Mn	7,04	7,07	7,06	7,06	7,06	7,05	7,06	7,06
Ca	212,24	212,29	212,23	212,29	212,27	212,30	212,23	212,29
Cu	7,94	7,98	7,95	7,95	7,96	7,95	7,95	7,95
Na	144,28	144,32	144,26	144,28	144,29	144,31	144,26	144,29
Zn	2,67	2,66	2,73	2,65	2,65	2,68	2,73	2,65
Ni	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
Co	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03
As	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
pH	3,61	3,61	3,78	3,69	3,77	3,79	3,71	3,75
pE	12,42	12,45	13,53	12,82	11,9	13,47	12,79	12,1
OD	9,22	9,13	9,43	9,15	7,8	7,83	8,22	8,45
Cond (mS/cm)	2,201	2,181	1,881	1,85	1,785	1,67	2,201	2,232

	AMD 2 Octubre	AMD 9 Octubre	AMD 13 Octubre	AMD 16 Octubre	AMD 20 Octubre	AMD 24 Octubre
Fe	10,12	10,10	10,12	10,08	10,12	10,11
Al	25,86	25,87	25,85	25,87	25,86	25,87
Mg	58,47	58,47	58,48	58,45	58,48	58,5
Mn	7,06	7,05	7,04	7,07	7,05	7,06
Ca	212,26	212,29	212,37	212,24	212,25	212,24
Cu	7,95	7,95	8,001	7,94	7,94	7,96
Na	144,29	144,30	144,24	144,25	144,29	144,28
Zn	2,64	2,68	2,65	2,67	2,65	2,64
Ni	0,017	0,011	0,013	0,012	0,017	0,012
Co	0,025	0,02	0,021	0,018	0,021	0,02
As	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
pH	3,68	3,77	3,79	3,67	3,72	3,69
pE	12,3	12,09	11,99	12,79	12,49	13,39
OD	8,99	8,76	8,56	8,94	8,39	8,56
Cond (mS/cm)	2,365	2,289	2,567	2,423	2,269	2,319

Anexo B: Datos de fisicoquímica

Para referenciar las mediciones, columnas y puertos (o llaves) respectivas, es necesario generar un código para ello. El código utilizado presenta 3 partes esenciales. La primera de ellas hace referencia al número de muestra y se puede relacionar directamente con la fecha a la cual se tomó la misma. El código para ello será la letra “M” seguida del número del muestreo. Por ejemplo, una muestra que comienza con “M5” hace referencia a una muestra que fue tomada en el quinto muestreo. La segunda parte del código hace referencia a la columna a la cual pertenece la medición o muestra. La letra “C” hace referencia a la columna de calcita, la letra “A” a la columna de conchillas de almejas, la letra “H” a la columna de cáscara de huevo y las letras “CH” a la columna de conchillas de choritos. Además, se le antepone la letra “M” cuando hace referencia a la columna de óxido de magnesio de la misma. Por ejemplo, “M3A” hace referencia a una muestra de la columna de conchillas de almejas del tercer muestreo y “M4MCH” hace referencia a una muestra de la columna de óxido de magnesio que está a continuación de la columna de conchillas de choritos del cuarto muestreo. Finalmente, cada llave o puerto tiene una numeración, desde abajo hacia arriba (del 1 al 8, Figura 23). Por lo tanto, a modo de ejemplo, la nomenclatura “M2H3” indica el tercer puerto de la columna de cáscara de huevo del segundo muestreo. Cuando se haga referencia a algún decantador, se utiliza la letra “D”.

24-25 Julio	pH	T° pH	OD (mg/L)	T° OD	Conductividad (mS/cm)	T° Conductividad	pE
M1C8	3,73	16	8,86	16	3,237	15,9	10,64
M1C7	3,97	15,8	8,86	16	3,294	15,9	10,28
M1C6	6,75	16	3,14	16,1	2,975	15,7	7,09
M1C5	6,92	15,7	2,69	15,7	2,865	15,7	5,96
M1C4	6,91	15,8	2,87	16	2,907	15,7	5,66
M1C3	6,87	16	2,36	16,5	2,972	16,2	5,59
M1C2	6,9	16	2,93	16	2,878	16	5,2
M1C1	6,81	16	2,7	16	3,44	16	5,8
M1A8	3,91	16	2,57	15,9	3,093	15,9	10,46
M1A7	4,1	16	4,21	15,8	3,314	15,8	10,2
M1A6	7,1	15,9	2,31	16	3,085	16	6,99
M1A5	7,13	16,2	5,75	15,9	3,105	15,9	6,94
M1A4	7,2	15,9	4,3	16	3,078	16	5,83
M1A3	7,28	15,9	4,02	16,1	2,988	16,1	5,43
M1A2	7,2	16,8	9,04	16,9	3,116	16,9	5,08
M1A1	7,13	17,3	9,04	16,6	3,183	17,3	5,37
M1CH7	3,92	17,2	8,87	17,2	3,263	17,1	10,51
M1CH6	4,44	17,2	8,7	16,6	3,228	16,9	9,51
M1CH5	7,16	16,9	2,99	17	3,007	16,9	6,81
M1CH4	7,15	17,3	2,45	17	3,039	16,9	6,02
M1CH3	7,2	17,1	3,14	16,9	3,012	16,9	5,26

M1CH2	7,13	17,1	3,5	16,7	3,057	16,8	5,53
M1CH1	7,19	16,8	3,35	16,6	3,133	16,7	5,3
M1H8	3,78	17,6	8,75	16,6	3,345	17,1	10,62
M1H7	4,05	17	7,47	16,9	3,387	17	10,05
M1H6	6,71	17,2	3,42	17	3,079	16,9	6,6
M1H5	6,81	16,7	4,75	15,7	3,158	16,7	5,4
M1H4	6,82	17,1	3,17	16,5	3,066	16,4	5,19
M1H3	6,87	16,8	5,15	15,8	3,089	16,7	5,39
M1H2	6,9	16,8	3,3	16,6	3,049	16,3	5,02
M1H1	7,01	16,6	4,08	16,1	3,193	16,6	4,47
M1MC8	9,03	15,1	7,03	14,9	2,948	14,9	6,41
M1MC7	9,4	15,1	6,07	14,9	2,929	15	6,06
M1MC6	10,54	15,5	3,12	15,3	3,24	15,1	4,93
M1MC5	10,53	15,3	2,9	15,1	3,424	15,1	4,73
M1MC4	10,6	15,8	2,67	15,4	3,518	15,2	5,07
M1MC3	10,55	15,2	4,49	15,4	3,562	15,3	4,71
M1MC2	10,52	15,4	2,58	14,6	3,61	15,1	4,51
M1MC1	9,94	14,9	2,77	15	3,775	15	3,22
M1MA8	8,89	16,3	7,33	16	2,701	15,7	7,36
M1MA7	9,31	15,7	6,35	15,9	2,715	15,4	6,85
M1MA6	10,49	15,9	3,98	15,8	3,196	15,5	5,66
M1MA5	10,46	15,6	5,9	15,5	3,455	15,5	5,51
M1MA4	10,54	15,8	4,48	15,6	3,448	15,4	5,41
M1MA3	10,52	15,7	3,14	15,8	3,49	15,6	5
M1MA2	10,42	15,8	3,37	15,7	3,512	15,5	4,81
M1MA1	9,87	16	4,37	16,1	3,567	15,9	4,57
M1MCH8	8,89	16	7,76	16,3	2,897	15,8	7,63
M1MCH7	9,85	15,8	6,33	15,6	2,961	15,4	5,74
M1MCH6	10,31	15,9	4,71	15,9	3,274	15,8	5,77
M1MCH5	10,46	16,7	5,68	16,1	3,518	16,1	5,44
M1MCH4	10,29	16,3	2,99	16,2	3,551	16,3	5,28
M1MCH3	10,55	16,6	4,15	16,3	3,638	16,2	5,46
M1MCH2	10,59	16,7	2,29	16,7	3,694	17	5,04
M1MCH1	10,64	16	4,05	15,9	3,713	16	4,99
M1MH8	9,37	14,8	7,89	14,6	2,685	14,7	6,56
M1MH7	9,8	15,2	5,79	14,9	2,79	14,8	5,85
M1MH6	10,33	15,1	3,75	15,1	3,205	15	5,41
M1MH5	10,5	15,3	2,67	15,1	3,483	15	5,32
M1MH4	10,44	15,1	2,77	15,1	3,529	15,1	4,96
M1MH3	10,62	15,3	4,22	15,6	3,652	15,2	4,78
M1MH2	10,22	15,6	4,42	15,7	3,609	15,4	4,88
M1MH1	10,58	16,3	3,54	16,1	3,776	15,9	4,65

31 Julio	pH	T° pH	OD (mg/L)	T° OD	Conductividad (mS/cm)	T° Conductividad	pE
C8	3,58	14,8	9,21	15	2,606	14,8	10,22
C1	6,94	14,9	3,66	14,9	2,398	14,7	5,44
MC8	8,570	14,8	7,18	14,7	2,404	14,7	6,45
MC1	10,72	14,9	2,98	14,9	3,715	14,7	4,57
A8	3,68	14,8	9,39	14,6	2,19	14,7	11,46
A1	7,13	15	3,3	14,9	2,384	14,7	6,09
MA8	7,98	14,9	6,67	14,9	2,4	14,7	7,2
MA1	10,54	14,9	3,1	15	3,671	14,8	5,01
H8	3,65	14,8	9,21	14,9	2,31	14,6	11,57
H1	6,99	14,8	2,79	14,9	2,573	14,7	1,5
MH8	8,08	15,4	4,54	15,4	2,598	15,5	4,53
MH1	10,06	15,1	3,2	15,4	3,705	15,2	3,85
CH8	3,66	15,5	9,12	15,6	2,194	15,5	11,11
CH1	7,18	15,6	3,02	15,7	2,392	15,6	3,89
MCH8	8,85	15,6	7,48	15,8	2,421	15,6	5,53
MCH1	10,6	15,4	3,95	15,7	3,795	15,4	4,26

9-10 Agosto	pH	T° pH	OD (mg/l)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	pE
M2C8	3,72	17,7	9,02	16,6	1,832	16,6	10,36
M2C7	4,05	16,4	8,3	16,9	1,716	16,3	11,03
M2C6	6,62	16,5	3,97	16,8	1,868	16,2	9,29
M2C5	6,81	16,8	3,87	16,1	1,91	16,2	8,68
M2C4	6,96	16,4	3,01	16,6	1,914	16,1	8,03
M2C3	6,96	16,5	3,32	16,3	1,929	16,2	7,45
M2C2	7	16,3	5,01	16,5	1,913	16	7,23
M2C1	7,01	16,5	3,46	16,2	1,93	16,2	4,03
M2CD	7,27	16,5	5,68	16,6	2,445	16,1	6,47
M2A8	3,66	16,6	9	15,8	1,767	16,2	11,06
M2A7	4,06	16,2	8,72	16,2	1,717	16,2	10,49
M2A6	7,16	16,5	6,66	16,1	1,876	16,1	8,06
M2A5	7,31	16,3	3,78	16,4	1,927	16	7,99
M2A4	7,34	16,4	4,32	15,9	1,915	16,1	7,67
M2A3	7,33	16,3	3,02	16,5	1,95	16,2	7,14
M2A2	7,31	16,4	3,5	16,3	1,942	16,4	6,07
M2A1	7,34	16,4	5,2	16,1	1,946	16,3	5,64
M2AD	7,6	16,5	7,11	16	2,241	16,1	6,67
M2H8	3,63	16,4	8,88	16,3	1,993	16,2	11,62
M2H7	3,94	16,4	7,27	15,8	2,755	16,2	10,35
M2H6	6,88	16,4	4,18	16	2,542	16,2	7,27
M2H5	6,92	16,6	2,77	16,1	2,577	16	7,05
M2H4	6,99	16,3	3,24	16,4	2,578	16,3	7,02
M2H3	7	16,5	2,69	16,4	2,558	16	5,47
M2H2	7,02	16,3	2,67	16	2,588	16,2	5,97
M2H1	7,03	16,4	4,37	15,9	2,652	15,9	4,39
M2HD	7,31	15,9	5,74	15,3	2,811	15,7	6
M2CH7	3,65	16,5	8,82	16,4	1,756	16,2	10,49
M2CH6	4,29	16,3	8,38	16,2	1,72	16,4	8,83
M2CH5	7,3	16,3	4,76	16,4	1,876	16,2	6,23
M2CH4	7,28	16,5	4,38	15,9	1,894	16,2	6,89
M2CH3	7,32	16,1	2,69	16,2	1,885	16	6,21
M2CH2	7,3	16,5	5,11	15,9	1,895	16	5,98
M2CH1	7,36	16,1	3,42	16,2	1,972	16,1	3,31
M2CHD	7,62	16,9	6,86	16,2	2,461	16,2	6,75
M2MC8	8,21	17,1	6,97	17,1	1,941	17	6,72
M2MC7	8,47	17,1	4,89	17	1,945	17	6,19
M2MC6	10,29	17	4,1	17	1,985	16,9	4,91
M2MC5	10,42	17,2	5,72	16,7	2,288	16,8	4,93
M2MC4	10,43	17	3,57	16,9	2,934	16,9	4,76
M2MC3	10,48	17,2	2,81	17,1	2,998	16,9	4,9

M2MC2	10,42	17,1	2,79	17	2,983	17	4,71
M2MC1	10,52	17,3	2,7	17,1	3,066	16,9	4,9
M2MCD	9,25	17	7,76	16,8	3,081	16,8	5,94
M2MA8	8,6	17,6	6,84	17,1	1,939	17	7,28
M2MA7	8,69	17,2	6,06	17,1	1,941	17,3	7,17
M2MA6	10,37	17,4	4,36	17	1,909	16,9	5,65
M2MA5	10,34	17	3,58	16,8	2,171	16,8	5,31
M2MA4	10,44	17,4	3,38	16,9	3,023	16,9	5,26
M2MA3	10,37	17	4,61	16,7	3,017	16,9	5
M2MA2	10,44	17,3	2,82	17,1	3,044	16,8	5,18
M2MA1	10,41	17,2	3,48	17	3,037	17	4,97
M2MAD	8,99	17,2	7,45	16,9	3,048	16,7	6,37
M2MH8	9,35	17	7,59	16,7	2,101	16,7	6,56
M2MH7	9,62	17,2	5,94	16,8	2,104	16,7	5,25
M2MH6	10,34	17,2	4,4	16,8	2,311	17,1	4,77
M2MH5	10,35	17	3,23	17,2	1,979	16,8	5,08
M2MH4	10,46	17,1	4,71	17	3,042	17	5,07
M2MH3	10,41	17,1	4,49	17,2	3,114	16,9	5,34
M2MH2	10,46	17	5,82	16,9	3,14	16,8	5,29
M2MH1	10,41	17,1	4,71	17,2	3,25	16,8	5,33
M2MHD	8,46	17,2	7,69	16,9	3,212	16,9	6,28
M2MCH8	9,13	17,2	6,36	16,9	1,914	16,9	6,35
M2MCH7	9,28	17,4	6,75	17,1	1,915	17	6,07
M2MCH6	10,29	17,1	4,87	17,2	1,966	16,9	5,73
M2MCH5	10,39	17,1	4,35	17	1,989	17	5,53
M2MCH4	10,27	17,1	4,65	17,4	2,901	17	5,73
M2MCH3	10,46	17,3	5,83	17	2,943	17	5,22
M2MCH2	10,39	17,9	1,94	17,3	3,027	16,8	5,15
M2MCH1	10,46	17,6	4,1	17,1	3,033	17,3	4,98
M2MCHD	9,02	17,2	7,69	17,4	3,105	16,9	6,86

19 Agosto	pH	T° pH	OD (mg/lt)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	pE
C8	3,59	15,4	9,38	15,5	2,161	15,4	11,47
C1	6,86	15,5	3,92	15,6	2,141	15,5	7,64
MC8	8,03	15,7	7,91	15,5	2,056	15,4	6,72
MC1	10,34	15,6	5,98	15,7	3,108	15,4	5,42
A8	3,64	15,7	9,61	15,3	2,062	15,5	11,43
A1	7,24	15,6	5,51	15,5	2,209	15,1	6,84
MA8	8,77	15,5	7,89	15,3	1,99	15,3	6,72
MA1	10,34	15,4	4,59	15,4	3,16	15,3	5,61
H8	3,62	15,7	9,49	15,3	2,05	15,4	11,31
H1	7,14	15,4	5,23	15,4	2,322	15,2	2,67
MH8	8,77	15,7	7,29	15,5	2,15	15,5	4,93
MH1	10,34	15,7	5,46	15,5	3,285	15,2	5,1
CH7	3,62	15,8	9,39	15,4	2,094	15,5	11,06
CH1	7,14	15,6	2,85	15,6	2,196	15,1	6,95
MCH8	9,08	15,6	7,12	15,5	1,999	15,5	6,28
MCH1	10,32	15,6	4,58	15,6	3,118	15,3	5,15

23-24 Agosto	pH	T° pH	OD (mg/lt)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Cond	Pe
M4C8	3,71	16,3	9,25	15,9	2,15	16	10,52194
M4C7	3,85	16,4	8,55	16,4	2,061	16,2	11,72522
M4C6	3,78	16,6	9,12	15	2,014	16	11,13541
M4C5	6,9	16,4	3,41	16,6	2,093	16,1	9,25106
M4C4	6,94	16,5	4,94	15,9	2,071	16,1	8,788
M4C3	7,05	16,3	2,44	16,3	2,115	16	7,73344
M4C2	7,03	16,5	3,48	16,2	2,089	16,2	6,97294
M4C1	7,04	16,2	2,74	16,4	2,16	16	5,79332
M4CD	7,56	16,6	7,45	16	2,292	16	6,70085
M4A8	3,63	16	9,16	15,9	2,121	15,7	11,51735
M4A7	3,8	16,3	8,86	15,9	2,094	15,8	11,57143
M4A6	7,22	16,1	4,5	15,9	2,228	16	8,84377
M4A5	7,27	16,3	3,46	15,9	2,19	16	8,78293
M4A4	7,33	16,1	2,5	16,2	2,193	15,7	8,76772
M4A3	7,31	16,2	2,71	15,9	2,128	16,1	8,40437
M4A2	7,34	16,3	2,02	16,4	2,161	15,9	7,17574
M4A1	7,35	16,4	2,99	16,3	2,166	16,2	6,67719
M4AD	7,72	16,2	6,78	16,4	2,368	16	7,5712
M4H8	3,64	16,4	8,94	16,1	2,174	16,2	11,46158
M4H7	3,9	16,8	6,94	16,4	2,246	16,2	9,49104
M4H6	7,1	16,3	4,05	16	2,302	16,2	7,17743
M4H5	7,23	16,4	2,24	16,6	2,269	16,5	5,80346
M4H4	7,08	16,6	3,06	16,4	2,266	16,1	5,04634
M4H3	7,15	16,9	3,95	16,6	2,437	16,6	4,48864
M4H2	7,25	16,5	2,53	16,6	2,311	16,3	4,30105
M4H1	7,13	16,2	2,19	16,2	2,332	15,9	3,49999
M4HD	7,73	16,5	7,61	15,9	2,291	16,1	4,08811
M4CH7	3,58	16	9,12	16,3	2,161	16,2	11,42271
M4CH6	4,04	16,3	8,38	16,4	2,11	16,1	10,69432
M4CH5	7,16	16,5	4,46	16,3	2,279	16	8,62745
M4CH4	7,26	16,5	3,56	16,5	2,246	16,3	8,67477
M4CH3	7,29	16,8	2,9	16,7	2,25	16,3	8,56492
M4CH2	7,33	16,7	2,98	16,7	2,228	16,7	7,41065
M4CH1	7,37	17	3,15	17	2,216	16,6	7,60331
M4CHD	7,45	16,6	4,99	16,6	2,61	16,5	8,08327
M4MC8	7,91	16,6	8,05	16,5	2,084	16,6	6,67212
M4MC7	8,27	16,6	5,12	16,4	2,087	16,7	6,77014
M4MC6	10,13	16,6	3,57	16,4	2,095	16,6	5,07676
M4MC5	10,41	17,6	3,07	16,7	2,087	16,7	5,21703
M4MC4	10,43	16,7	4,31	16,4	2,156	16,6	5,03958
M4MC3	10,44	16,7	2,8	16,6	3,008	16,6	5,08521

M4MC2	10,51	16,6	2,61	16,5	3,076	16,2	4,85199
M4MC1	10,67	16,9	4,48	16,7	3,082	16,6	5,04465
M4MCD	8,79	16,6	8,03	16,7	3,066	16,5	6,3713
M4MA8	8,7	16,7	7,48	16,7	2,092	16,6	7,24672
M4MA7	8,87	16,8	6,92	16,7	2,034	16,3	6,75831
M4MA6	10,48	17	4,55	16,8	2,082	16,4	5,72065
M4MA5	10,5	16,7	3,37	16,8	2,075	16,4	5,49926
M4MA4	10,45	16,7	5,05	16,3	2,102	16,2	5,53644
M4MA3	10,3	16,5	2,68	16,8	2,944	16,4	5,22548
M4MA2	10,64	16,7	2,61	16,7	3,064	16,2	5,34209
M4MA1	10,47	16,6	2,89	16,7	3,15	16,5	5,07845
M4MAD	8,86	17,7	8,18	16,7	3,081	16,4	6,77183
M4MH8	9,44	16,9	6,97	16,7	2,134	16,3	6,70592
M4MH7	9,49	16,8	6,43	16,6	2,137	16,4	6,50819
M4MH6	10,51	16,8	2,76	16,3	2,184	16,2	5,54489
M4MH5	10,53	16,6	4,57	16,4	2,169	16,5	5,41138
M4MH4	10,62	16,8	2,48	16,5	2,261	16,2	5,49419
M4MH3	10,6	16,5	4,42	16,4	3,093	16,3	5,26266
M4MH2	10,68	16,7	3,12	16,6	3,127	16,3	5,44518
M4MH1	10,55	16,6	3,08	16,7	3,186	16,3	5,2221
M4MHD	9,05	16,8	7,84	16,7	3,206	16,2	6,98308
M4MCH8	9,09	16,4	6,7	16,6	2,055	16,2	6,85971
M4MCH7	9,6	16,9	7,27	16,7	2,042	16,2	6,76
M4MCH6	10,39	16,6	5,44	15,9	2,088	16,4	5,73924
M4MCH5	10,58	17	3,78	16,8	2,111	16,4	5,82881
M4MCH4	10,5	16,5	2,82	16,7	2,113	16,5	5,61587
M4MCH3	10,6	16,9	4,31	16,7	2,423	16,3	5,71389
M4MCH2	10,48	16,5	3,34	16,6	3,106	16,4	5,45025
M4MCH1	10,59	16,9	4,09	16,7	3,084	16,4	5,62094
M4MCHD	8,96	16,8	8,36	16,2	3,091	16,4	7,02195

30 Agosto	pH	T° pH	OD (mg/lt)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	Pe
C8	3,6	14,6	9,64	14,6	2,211	14,4	11,19625
C1	6,9	14,8	3,26	14,5	2,264	14,3	7,09969
CD	7,39	14,5	7,73	14,4	2,322	14,3	8,50746
MC8	7,9	15,3	8,24	15,2	2,195	15,2	7,69288
MC1	10,51	15,6	3,17	15	3,186	15,2	5,32519
MCD	8,99	15,2	8,23	15,3	3,135	15,1	6,95266
A8	3,65	14,8	9,44	14,3	2,218	14,4	11,80803
A1	7,23	14,6	4,73	14,6	2,308	14,4	6,78704
AD	7,5	14,5	6,52	14,4	2,366	14,4	8,03933
MA8	8,54	15,8	7,18	15,4	2,205	15,5	7,64387
MA1	10,42	15,5	3,08	15,5	3,122	15,5	5,50095
MAD	8,94	15,5	8,53	15,1	3,144	15,3	7,01181
H8	3,6	14,8	9,43	14,8	2,314	14,6	12,09195
H1	6,99	15,3	3,78	14,5	2,332	14,9	3,90897
HD	7,35	14,9	5,19	15	2,318	14,7	5,88796
MH8	9,29	15,7	8,11	15,6	2,192	15,5	7,02364
MH1	10,55	15,8	2,56	15,7	3,214	15,6	5,5939
MHD	8,9	15,6	8,19	15,6	3,194	15,4	6,67212
CH7	3,62	14,4	9,3	14,8	2,177	15	11,54777
CH1	7,23	15,2	4	14,7	2,277	15	6,4558
CHD	7,52	15,7	6,6	15,2	2,397	15,2	7,72161
MCH8	9,29	16	6,55	15,7	2,156	15,7	7,22475
MCH1	10,46	15,7	3,48	15,9	3,141	15,6	5,66488
MCHD	8,86	15,9	8,52	15,5	3,154	15,7	7,19771

6-7 Septiembre	pH	T° pH	OD (mg/l)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	Pe
M4C8	3,65	15	9,32	15	2,15	14,7	11,81141
M4C7	3,79	14,8	8,61	14,9	2,08	14,7	11,95506
M4C6	6,61	15,1	7,4	14,8	2,101	14,5	10,30224
M4C5	6,84	14,8	5,6	14,8	2,077	14,7	9,90002
M4C4	6,9	15,1	4,68	14,8	2,121	14,6	9,21557
M4C3	7,02	15,1	3,99	15,1	2,175	15	8,27931
M4C2	7	15,5	3,27	15,4	2,19	15	7,56106
M4C1	7,04	15,3	4,95	15,2	2,218	15,1	6,929
M4CD	7,63	14,9	7,93	15,1	2,274	15	6,96449
M4A8	3,68	15,4	9,06	15,2	2,111	15,1	12,05815
M4A7	3,83	15,3	8,81	15,3	2,082	14,9	11,51904
M4A6	7,21	15,5	5,86	15,2	2,191	15,3	9,24937
M4A5	7,29	15,8	4,07	15,7	2,213	15,6	8,18805
M4A4	7,38	16	3,88	16,1	2,225	15,7	8,49901
M4A3	7,35	16,2	2,88	16,1	2,217	15,7	8,35705
M4A2	7,37	15,9	3,95	15,8	2,259	15,6	7,3177
M4A1	7,38	16	5,29	16	2,25	15,6	6,52002
M4AD	7,64	15,8	6,57	15,9	2,328	15,7	6,84957
M4H8	3,6	16	8,98	15,8	2,13	15,6	11,50552
M4H7	3,95	15,8	7,3	15,6	2,058	15,6	11,21484
M4H6	6,55	15,9	3,65	15,8	2,225	15,6	9,78679
M4H5	6,89	15,6	2,86	15,4	2,216	15,6	9,24261
M4H4	7	15,8	4,51	15,3	2,232	15,4	8,19312
M4H3	7,06	15,7	2,7	15,7	2,246	15,7	7,59148
M4H2	7,04	15,8	2,55	15,8	2,308	15,3	3,26677
M4H1	7,11	15,8	4,27	15,5	2,282	15,7	1,85393
M4HD	7,47	16,6	5,47	16,3	2,31	16	5,92176
M4CH7	3,63	16,7	8,88	16,2	2,132	16,2	11,25202
M4CH6	4,26	16,1	8,37	16,1	2,051	16,1	10,1231
M4CH5	7,24	16,4	5,62	16,2	2,23	16	7,40051
M4CH4	7,33	16,1	3,99	16,1	2,238	16	7,30418
M4CH3	7,32	16,4	2,88	16,2	2,244	15,9	6,93576
M4CH2	7,35	16,1	4,48	15,7	2,232	16	6,45073
M4CH1	7,39	16,3	2,73	16,2	2,268	15,9	5,84233
M4CHD	7,73	15,2	6,88	16,3	2,334	15,9	6,1854
M4MC8	7,98	15,3	7,57	15,3	2,125	15,4	8,46859
M4MC7	8,1	15,2	6,87	15,2	2,192	15,1	8,13566
M4MC6	10,54	15,6	6,16	15,4	2,157	15	5,78318
M4MC5	10,48	15,1	5,75	15,1	2,126	15	5,45701
M4MC4	10,48	15,4	4,7	15,2	2,135	15,1	5,59728
M4MC3	10,48	15,3	6,23	14,6	2,132	15,1	5,39279

M4MC2	10,59	15,5	4,84	15,5	2,641	15,3	5,43842
M4MC1	10,7	15,6	2,29	15,5	3,076	15,2	5,3911
M4MCD	9,2	15,6	7,91	15,5	3,055	15,5	6,16681
M4MA8	8,84	15,8	8,14	15,8	2,154	15,8	6,84619
M4MA7	8,74	15,9	6,61	15,6	2,133	15,8	6,96111
M4MA6	10,57	15,9	4,4	15,8	2,107	15,6	5,33195
M4MA5	10,52	15,6	5,53	15,6	2,092	15,5	5,59897
M4MA4	10,63	15,7	4,68	15,6	2,104	15,3	5,77304
M4MA3	10,48	15,8	3,92	15,8	2,113	15,5	5,64967
M4MA2	10,66	16,3	4,3	16,1	2,802	15,8	5,63953
M4MA1	10,57	16,1	5,9	15,4	3,094	15,9	5,47898
M4MAD	9,02	16,2	7,82	15,6	3,042	15,6	6,30032
M4MH8	9,19	16,2	7,56	16	2,166	15,9	6,22765
M4MH7	9,2	16,1	6,71	16,1	2,147	15,6	6,48453
M4MH6	10,41	15,5	5,31	15,5	2,162	15,4	5,35392
M4MH5	10,58	15	4,61	16	2,159	15,6	5,49081
M4MH4	10,53	15,7	4,54	15,8	2,135	15,5	5,41983
M4MH3	10,62	15,9	3,39	16	2,175	15,6	5,52968
M4MH2	10,57	16	5,57	15,8	3,065	15,8	5,41307
M4MH1	10,65	16,8	4,51	16	3,11	15,8	5,42321
M4MHD	8,92	16,3	8,06	16	3,09	15,9	6,28173
M4MCH8	9,3	16,7	7,28	16,4	2,09	16	6,4896
M4MCH7	9,77	16,3	6,18	16,1	2,072	16,1	6,06879
M4MCH6	10,49	16,5	5,13	16,4	2,139	16	5,60066
M4MCH5	10,55	16,3	3,04	16,2	2,157	15,9	5,41307
M4MCH4	10,54	16,4	4,57	16,2	2,126	16,1	5,5939
M4MCH3	10,28	16	2,98	16,2	2,139	16	5,50433
M4MCH2	10,45	16,4	3,28	16,4	2,201	16,2	5,65305
M4MCH1	10,51	16,3	2,5	16,3	3,078	16,1	5,33364
M4MCHD	8,89	16,7	7,26	16,5	3,112	16,2	6,65353

13-14 Septiembre	pH	T° pH	OD (mg/l)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	pE
M5C8	3,69	14,6	9,43	14,3	2,051	14,2	11,11175
M5C7	3,78	14,8	8,64	14,4	2,004	14,1	11,9314
M4C6	6,54	14,7	5,27	14,6	2,263	14,4	10,08085
M5C5	6,77	15,3	6,63	14,7	2,255	14,7	9,49611
M5C4	6,98	15	5,09	15	2,237	14,6	9,14121
M5C3	6,97	15,2	3,78	15,1	2,227	14,6	8,23368
M5C2	7,08	15,1	5,56	15	2,24	14,8	7,71316
M5C1	7,02	15,3	2,98	15,2	2,195	14,7	7,19095
M5CD	7,5	15,1	7,68	15	2,256	14,7	7,50022
M5A8	3,68	15,3	9,1	15,1	1,926	14,6	11,84183
M5A7	3,74	15,2	9,22	15	1,921	15	12,07167
M5A6	7,14	15,4	5,87	15,3	2,232	15,2	9,16487
M5A5	7,27	15,6	4,32	15,3	2,314	15,3	9,1429
M5A4	7,31	15,8	5,68	15,7	2,234	15,2	8,16946
M5A3	7,33	15,9	3,88	15,8	2,317	15,8	7,78076
M5A2	7,34	15,8	5,42	15,8	2,261	15,3	7,22813
M5A1	7,36	15,7	4,29	15,8	2,249	15,4	6,87323
M5AD	7,69	15,8	7,13	15,7	2,256	15,5	7,39882
M5H8	3,64	15,6	9,41	15,4	1,903	15,4	12,62092
M5H7	3,82	15,8	7,17	15,7	2,073	15,3	11,28244
M5H6	6,57	15,7	4,25	15,6	2,226	15,4	9,633
M5H5	6,89	15,9	3,5	15,4	2,246	15,3	8,36212
M5H4	7,06	15,6	5,12	15,5	2,253	15,4	7,88892
M5H3	7,07	15,9	4	15,8	2,231	15,2	7,37009
M5H2	7,1	15,7	5,39	15,5	2,227	15,5	4,71848
M5H1	7,17	16,2	3,84	16	2,261	16,1	6,80056
M5HD	7,45	15,8	5,31	15,5	2,25	15,7	7,67091
M5CH7	3,65	16,6	9,17	16,4	2,032	16,1	11,0188
M5CH6	3,97	16,3	8,87	15,5	2,056	16	10,95627
M5CH5	7,08	16,4	6,15	15,5	2,247	15,9	8,33001
M5CH4	6,99	15,2	4,67	15,5	2,304	16,1	7,56444
M5CH3	7,29	16,5	4,07	16,1	2,291	16	8,00046
M5CH2	7,38	16,7	4,96	16	2,292	16	7,83991
M5CH1	7,41	16,7	5,41	16,2	2,275	16	7,40558
M5CHD	7,53	16,2	6,41	15,9	2,353	16	7,83484
M5MC8	8,22	15,1	7,32	14,9	2,119	14,5	7,66753
M5MC7	8,3	15	6,63	14,9	2,105	14,9	7,61683
M5MC6	9,46	15,4	4,27	15,1	2,084	14,9	5,87275
M5MC5	9,32	15	4,97	14,8	2,246	14,9	6,08062
M5MC4	9,85	14,9	3,15	14,8	2,161	14,8	6,52171
M5MC3	10,76	15,3	4,69	15	2,165	14,7	6,23272

M5MC2	10,66	15,1	6,1	14,8	2,244	14,8	6,0164
M5MC1	10,72	15,3	5,1	15,1	3,1	14,8	5,52968
M5MCD	8,45	15	8,45	14,7	3,108	14,6	6,58424
M5MA8	8,54	15,1	8,17	15	2,175	14,6	6,59776
M5MA7	8,78	14,9	6,96	14,9	2,193	14,6	6,91041
M5MA6	10,52	15,2	5,7	14,9	2,145	14,7	5,97246
M5MA5	10,38	15,2	4,68	15,1	2,158	15	5,87106
M5MA4	10,64	15,7	5,95	15,3	2,154	15	6,06541
M5MA3	10,39	15,6	4,7	15,4	2,096	15,4	5,99274
M5MA2	10,44	16	5,84	15,8	2,178	15,6	5,98598
M5MA1	10,67	15,7	3,71	15,6	3,143	15,6	5,59221
M5MAD	8,75	15,7	8,4	15,4	3,13	15,3	6,33919
M5MH8	9,33	15,6	8,22	15,4	2,144	15,6	6,23948
M5MH7	9,39	15,6	7,74	15,5	2,143	15,4	6,43552
M5MH6	10,53	15,9	5,3	15,7	2,125	15,2	5,67502
M5MH5	10,57	15,8	4,49	15,7	2,153	15,4	5,62939
M5MH4	10,59	16	4,24	15,7	2,137	15,2	5,88965
M5MH3	10,61	15,7	5	15,6	2,184	15,3	5,77135
M5MH2	10,67	15,9	4,89	15,7	2,684	15,2	5,74769
M5MH1	10,58	15,7	5,46	15,3	3,162	15,1	5,62094
M5MHD	8,97	15,6	8,13	15,5	3,121	15,3	6,66029
M5MCH8	9,26	15,7	7,64	15,7	2,174	15,3	6,37806
M5MCH7	9,77	15,9	6,89	15,6	2,187	15,4	6,51664
M5MCH6	9,5	15,5	7,8	15,4	2,161	15,5	6,5741
M5MCH5	10,6	15,7	5,81	15,5	2,191	15,7	6,084
M5MCH4	10,42	15,4	5,11	15,2	2,189	15,2	6,01302
M5MCH3	10,59	15,5	6,05	15,4	2,212	15,5	6,18371
M5MCH2	10,49	15,3	5,27	15,2	2,195	15,2	6,02992
M5MCH1	10,66	15,5	6,46	15,4	2,285	15,5	5,94373
M5MCHD	9,35	15,6	8,58	15,4	2,342	15,1	6,46425

21 Septiembre	pH	T° pH	OD (mg/lt)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	Pe
C8	3,68	15,1	8,07	14,9	2,009	15,1	11,4751
C1	6,98	14,8	4,1	14,7	2,257	14,6	7,26193
CD	7,55	14,7	7,1	14,5	2,276	14,4	8,31987
MC8	7,83	15,2	7,51	15,2	2,238	15,1	8,20326
MC1	10,69	15,3	3,99	15,2	2,632	14,9	5,55165
MCD	9,01	15,4	7,57	15,3	2,804	15,2	6,66367
A8	3,77	15,7	7,86	15,6	1,974	15,3	11,02725
A1	7,27	15,3	4,28	15,1	2,223	15	7,05237
AD	7,62	15,4	6,39	15,3	2,27	14,8	8,65787
MA8	8,32	15,5	7,16	15,3	2,138	15,3	7,18081
MA1	10,61	15,3	3,6	15,3	2,24	15,1	6,14822
MAD	8,91	15,7	7,14	16,1	2,22	15,4	6,97463
H8	4,29	16,1	7,58	16,2	1,812	15,9	11,90774
H1	7,01	16,1	3,73	15,8	2,234	15,7	4,14388
HD	7,45	15,9	7,63	16,1	2,295	15,4	6,42876
MH8	8,74	15,9	6,85	15,8	2,181	15,7	5,97753
MH1	10,48	15,8	4,62	15,8	3,11	16,4	4,94325
MHD	8,95	15,8	7,21	16	3,129	15,6	5,80177
CH7	3,72	15,9	7,78	15,8	1,889	15,5	11,08809
CH1	7,21	15,9	4,77	15,8	2,175	15,8	7,73513
CHD	7,49	15,9	5,95	15,9	2,215	15,4	8,09679
MCH8	9,37	16	6,95	15,9	1,973	15,8	6,7262
MCH1	10,58	15,4	4,52	15,7	2,047	15,4	5,83557
MCHD	9,25	15,6	7,3	15,7	1,993	15,5	6,70085

27-28 Septiembre	pH	T° pH	OD (mg/lt)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	pE
M6C8	3,57	17,3	8,89	17,4	1,888	16,8	12,03449
M6C7	3,79	17,2	7,73	17,1	1,997	17	12,05477
M6C6	6,65	17,4	5,15	16,9	2,283	16,9	10,2583
M6C5	6,84	17,3	3,64	17	2,299	17,2	9,26458
M6C4	6,93	17,5	4,04	17,4	2,306	17	8,76265
M6C3	7,01	17,3	4,88	17,2	2,282	17,2	8,32832
M6C2	7	17,1	4,5	17,1	2,328	16,8	7,85174
M6C1	7,01	17,2	3,81	17,1	2,321	16,9	7,79597
M6CD	7,42	17,3	7	17	2,278	16,8	7,76893
M6A8	3,73	17,2	8,68	17,1	1,975	17	11,65086
M6A7	3,71	17,4	8,34	16,8	19,52	16,9	11,47003
M6A6	7,17	17,3	4,84	16,9	2,166	17,2	9,36429
M6A5	7,28	17,6	3,94	17	2,232	17,2	9,03981
M6A4	7,35	17,4	4,52	17,4	2,243	17,3	8,76941
M6A3	7,31	17,7	3,2	17,5	2,253	17,3	8,58689
M6A2	7,33	17,5	3,71	17,4	2,244	17,5	7,74696
M6A1	7,34	17,9	4,66	17,4	2,271	17,7	7,74358
M6AD	7,5	18	5,22	17,5	2,259	17,7	7,88047
M6H8	3,7	19,2	8,5	18,5	1,878	18,3	11,3568
M6H7	3,86	18,4	6,66	18,3	1,974	18,4	11,23512
M6H6	6,54	18,7	3,07	18,4	2,195	18,2	9,45048
M6H5	6,89	18,5	4,55	18	2,258	18,1	8,7542
M6H4	7,01	18,6	3,64	18,5	2,311	18,7	7,60838
M6H3	7,11	17,9	4,32	17,9	2,265	18,1	7,44952
M6H2	7,1	18,4	3,32	18,2	2,326	18,4	7,08448
M6H1	7,23	18,3	4,19	18,2	2,274	18,1	7,1318
M6HD	7,14	18	5,25	17,9	2,344	17,8	7,04899
M6CH7	3,73	18,7	8,53	18,3	1,919	18,1	11,38384
M6CH6	3,58	18	7,68	17,8	2,264	18	11,95844
M6CH5	7,2	18,1	4,81	17,7	2,27	17,7	9,15135
M6CH4	7,31	17,9	5,74	18	2,296	17,9	7,92779
M6CH3	7,3	18,4	3,85	18,1	2,37	17,9	8,22016
M6CH2	7,3	18,3	3,8	18	2,366	17,9	8,37226
M6CH1	7,32	18,7	5,08	18,2	2,006	18	8,08834
M6CHD	7,41	18,3	5,22	18	2,284	18,2	8,23875
M6MC8	7,78	17,6	6,7	17,6	2,474	17,7	6,30032
M6MC7	7,83	17,3	5,81	16,9	2,288	17,2	6,39327
M6MC6	9,91	17,6	4,45	17,4	2,212	17,2	5,25759
M6MC5	10,15	17,4	5,52	17,3	2,22	17,3	5,01085
M6MC4	10,3	17,7	4,61	17,5	2,215	17,3	5,14774
M6MC3	10,27	17,5	5,77	17,4	2,235	17,3	5,08352

M6MC2	10,33	17,7	4,22	17,7	2,232	17,3	5,21196
M6MC1	10,21	17,6	3,44	17,6	2,227	17,5	5,09873
M6MCD	9,2	17,7	7,23	17,5	2,205	17,3	6,11442
M6MA8	8,66	17,8	6,46	17,7	2,122	17,7	6,2868
M6MA7	8,57	17,8	5,18	17,7	2,12	17,4	6,64677
M6MA6	10,07	17,7	4,19	17,7	2,132	17,6	5,48067
M6MA5	10,29	17,8	2,54	17,8	2,086	17,6	5,50771
M6MA4	10,16	17,8	4,31	17,8	2,118	17,9	5,47391
M6MA3	10,3	18	2,66	17,9	2,098	17,6	5,58714
M6MA2	10,12	17,9	4,88	17,8	2,127	17,7	5,577
M6MA1	10,28	18	4,16	17,9	2,118	17,8	5,60235
M6MAD	8,66	17,9	7,47	18	2,153	17,9	6,38313
M6MH8	8,27	18,5	6,89	18,2	2,189	18	6,69071
M6MH7	8,34	18	5,97	18	2,228	17,8	6,85295
M6MH6	10,06	18,1	5,13	18,1	2,195	17,9	5,48405
M6MH5	10,06	18,2	3,65	18,1	2,16	18,2	5,34885
M6MH4	10,26	18,2	4,38	18,1	2,172	17,8	5,60066
M6MH3	10,1	18,2	4,84	18	2,201	18	5,52461
M6MH2	10,24	18,4	4,4	18,3	2,165	18	5,66319
M6MH1	10,14	18,3	5,4	18,2	2,287	18,2	5,49588
M6MHD	8,83	18,3	7,1	18,2	2,345	18,1	6,46425
M6MCH8	9,14	18,4	6,28	18,4	2,027	18,1	6,29018
M6MCH7	9,61	18,6	4,25	18,5	2,025	18,1	6,23948
M6MCH6	10,14	18,4	5,39	18,2	2,037	18,2	5,72065
M6MCH5	10,22	18,7	5,8	18,4	2,049	18,1	5,80008
M6MCH4	10,13	18,3	5,24	18,2	2,07	18,1	5,75107
M6MCH3	10,22	18,5	5,03	18,4	2,068	17,9	5,87951
M6MCH2	10,17	18,2	3,84	18,1	2,111	18,1	5,75614
M6MCH1	10,23	18,4	4,55	18,3	2,108	17,9	5,82374
M6MCHD	8,73	18,3	7,61	18,1	2,027	17,9	6,6079

4 Octubre	pH	T° pH	OD (mg/l)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	pE
C8	3,61	17,3	9,09	17,3	1,895	17,4	10,29886
C1	6,93	16,9	4,6	16,9	2,259	16,9	6,49805
CD	7,35	17,1	6,9	16,9	2,299	16,7	6,97801
MC8	7,73	18	8,21	17,6	2,187	17,3	5,73755
MC1	10,13	17,2	3,97	17,2	2,221	17	4,2419
MCD	8,82	17,3	7,99	17,1	2,232	17	5,50433
A8	3,7	17,3	8,86	17,2	1,911	17,3	11,08302
A1	7,1	17,2	4,09	17,1	2,378	16,9	6,54537
AD	7,55	17,1	6,14	17	2,353	16,7	6,84788
MA8	8,36	17,6	7,64	17,2	2,108	17,2	5,8305
MA1	10,22	17,6	4,41	16,8	2,097	16,9	4,68806
MAD	8,97	17,3	7,48	16,8	2,173	17	5,2897
H8	3,72	17,3	8,93	17,2	1,936	17,2	10,98669
H1	6,93	17,5	4,06	17,3	2,386	17	2,66006
HD	7,32	17,2	5,43	17,2	2,409	17,1	5,18323
MH8	8,43	16,4	7,78	16,5	2,177	16,4	5,97077
MH1	10,48	16,4	4,65	16,4	2,903	16,1	4,84523
MHD	8,87	16,6	6,01	16,5	2,907	16,1	5,70882
CH7	3,62	17,9	8,93	17,5	1,909	17,1	11,17259
CH1	7,11	17,2	3,82	16,8	2,236	17,1	4,26387
CHD	7,35	17,2	4,51	17,1	2,535	16,9	6,57241
MCH8	9,12	17	7,01	16,1	1,97	16,5	6,7093
MCH1	10,37	16,9	4,8	16,3	2,013	16,3	5,56517
MCHD	9,23	16,9	7,22	16,6	1,981	16,6	6,53016

18-19 Octubre	pH	T° pH	OD (mg/l)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	pE
M7C8	3,66	18,9	8,13	18,6	2,042	18,5	11,12865
M7C7	3,79	18,5	7,43	18,6	2,059	18,4	11,40919
M7C6	6,65	18,5	4,02	18,7	1,781	18,5	8,89616
M7C5	6,95	18,6	3,15	18,7	1,76	18,3	8,49563
M7C4	6,98	19,2	4,86	18,6	1,742	18,6	8,07651
M7C3	7,01	18,6	2,68	18,7	1,742	18,5	7,84498
M7C2	7	19	4,45	18,6	1,773	18,6	7,7909
M7C1	7,09	18,8	5,14	18,7	1,8	18,7	8,07313
M7CD	7,24	19,4	5,52	19	1,896	18,7	7,89737
M7A8	3,75	17,8	8,6	17,6	2,151	17,5	10,33604
M7A7	3,85	17,9	6,57	17,8	2,075	17,8	11,26216
M7A6	7,24	18	2,65	17,8	1,866	17,8	8,66801
M7A5	7,43	17,8	4,46	17,6	1,77	17,8	8,1796
M7A4	7,43	17,8	2,18	18	1,8	18	7,3853
M7A3	7,58	17,9	2,47	18	1,819	17,8	7,18588
M7A2	7,46	18,3	3,91	18	1,813	17,9	6,85802
M7A1	7,57	18	5,23	17,9	1,788	17,8	7,10138
M7AD	7,55	18,5	4,92	18,3	1,914	18	7,1656
M7H8	3,62	18,5	8,22	18,5	2,093	18,3	11,25878
M7H7	3,9	19	4,94	18,6	2,112	18,2	9,37781
M7H6	6,92	18	2,89	18,2	1,999	17,8	6,84788
M7H5	7,05	18,3	2	18,3	1,991	17,9	6,44397
M7H4	7,17	17,9	2,59	18	2,003	17,9	6,2192
M7H3	7,13	18,4	2,49	18,2	2,012	18	4,55962
M7H2	7,18	18	4,03	17,9	2,008	17,8	3,81264
M7H1	7,22	18,2	2,56	18,1	2,055	17,9	3,91066
M7HD	7,34	18	3,33	18,2	2,088	18	7,37009
M7CH7	3,63	18,7	8,44	18,6	2,154	18,6	11,32807
M7CH6	4,05	19	6,35	18,8	2,123	18,9	10,2076
M7CH5	7,29	18,6	3,65	18,4	1,982	18,4	7,31263
M7CH4	7,38	19	2,44	18,7	1,97	18,5	6,89182
M7CH3	7,43	18,5	4,54	18,3	1,956	18,4	6,87154
M7CH2	7,41	19	2,51	18,8	1,962	18,4	6,81915
M7CH1	7,4	18,4	4,86	18,2	1,957	18,3	6,61973
M7CHD	7,31	18,5	4,09	18,3	2,109	18,1	7,88047
M7MC8	7,58	18,1	6,4	18,1	1,542	18,1	8,00553
M7MC7	8,11	18,2	4,58	17,9	1,584	17,7	6,8107
M7MC6	10,59	18	2,6	18	1,553	17,8	5,68685
M7MC5	10,79	18,4	4,78	17,8	1,569	17,8	5,6108
M7MC4	10,73	18	2,64	18,1	1,557	17,8	5,42997
M7MC3	10,73	18,3	3,63	18	1,583	17,9	5,44856

M7MC2	10,72	18	2,43	18,1	1,582	17,8	5,35561
M7MC1	10,72	18,3	3,83	18	1,582	17,9	5,3911
M7MCD	9,19	18,2	7,22	18,2	1,867	18	6,02485
M7MA8	9,09	19,1	6,25	18,6	1,458	18,5	6,74648
M7MA7	8,91	18,5	5,51	18,6	1,494	18,4	6,56903
M7MA6	10,55	19	4,17	18,7	1,552	18,5	5,78825
M7MA5	10,41	18,4	4,41	18,3	1,631	18,4	5,50602
M7MA4	10,72	18,6	2,38	18,5	1,612	18,2	5,61925
M7MA3	10,65	18,3	2,55	18,4	1,615	18,2	5,51616
M7MA2	10,73	18,7	4,3	18,1	1,625	18,2	5,54658
M7MA1	10,56	18,3	2,34	18,3	1,687	18	5,41645
M7MAD	8,88	18,4	7,62	18,2	1,897	18,1	6,41693
M7MH8	8,86	18,5	6,08	18,6	1,497	18,2	6,83943
M7MH7	9,71	19,1	3,13	18,8	1,553	18,5	6,20568
M7MH6	10,6	18,4	3,06	18,6	1,644	18,3	5,57531
M7MH5	10,6	19,1	3,22	18,9	1,708	18,6	5,65305
M7MH4	10,58	18,5	2,44	18,7	1,759	18,3	5,49757
M7MH3	10,7	18,9	2,52	18,7	1,805	18,3	5,58714
M7MH2	10,5	18,6	2,42	18,7	1,866	18,4	5,47729
M7MH1	10,57	19,1	2,34	18,8	1,957	18,5	5,50602
M7MHD	8,74	18,6	7,08	18,7	2,072	18,5	6,34426
M7MCH8	9,33	19,3	4,87	19,1	1,537	18,9	6,45918
M7MCH7	9,69	19	4,13	19,1	1,56	18,7	6,05189
M7MCH6	10,67	19,5	2,59	19,2	1,621	18,8	5,75445
M7MCH5	10,62	18,9	2,02	19	1,67	18,7	5,66657
M7MCH4	10,71	19,3	2,6	19	1,691	18,7	5,7629
M7MCH3	10,54	18,8	2,32	19	1,702	18,6	5,63784
M7MCH2	10,62	19,3	2,82	19	1,729	18,7	5,71896
M7MCH1	10,62	18,6	3,34	18,6	1,74	18,4	5,59221
M7MCHD	8,87	18,8	7,44	18,6	1,799	18,5	6,78535

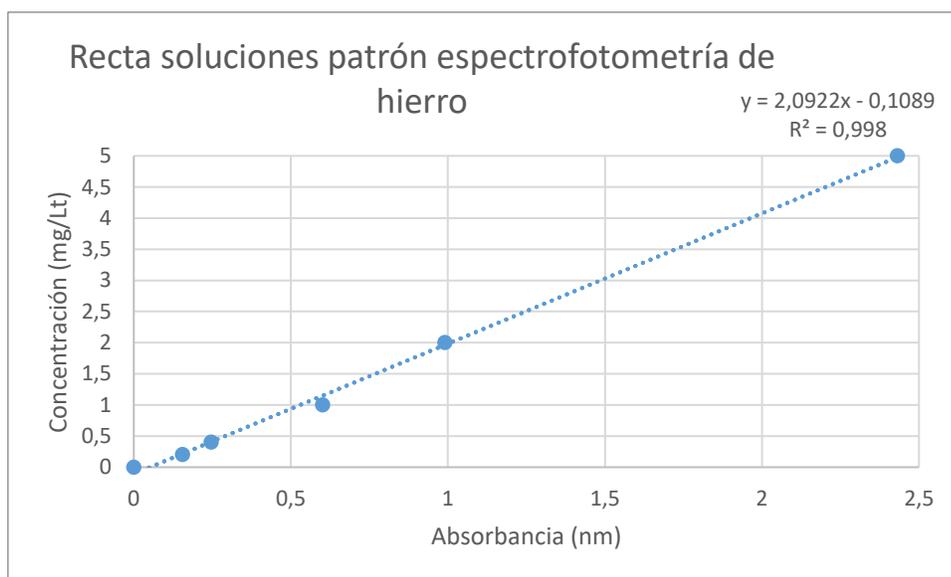
25 Octubre	pH	T° pH	OD (mg/l)	T° OD	Conductividad (ms/cm)	T° Conductividad	pE
C8	3,59	19,1	8,57	18,8	2,088	18,7	11,28751
C1	6,92	19	5,35	19	2,103	18,9	7,69795
CD	7,38	19,2	7,08	18,9	2,074	18,8	7,58641
MC8	7,83	20	7,31	19,7	1,761	19,4	6,94083
MC1	9,91	19,4	4,83	19,1	1,853	19,3	5,1883
MCD	8,91	19,7	7,58	19,5	1,861	19,4	6,06541
A8	3,6	19,1	8,6	18,9	2,059	19,1	11,59171
A1	7,22	19,4	4,42	19,2	2,229	18,9	6,89182
AD	7,58	19,2	6,98	19,1	2,216	19	7,10645
MA8	8,62	19,8	7,7	19,7	1,834	19,7	6,22427
MA1	10,13	19,7	6,69	20	1,976	19,9	5,91669
MAD	8,88	20,1	8,05	19,9	1,92	19,9	6,52171
H8	3,59	19,7	8,45	19,3	2,16	19,2	11,00528
H1	7,01	19,3	4,44	19,2	2,372	19,1	3,31409
HD	7,27	19,2	5,24	19,1	2,366	19	6,56903
MH8	7,45	20,3	7,01	20	1,817	20	6,78366
MH1	9,93	20,1	4,99	20,1	2,102	20	5,5939
MHD	8,86	20,2	7,84	19,9	2,05	19,9	6,46932
CH7	3,61	19,4	8,56	19,2	2,069	19,2	11,36018
CH1	7,18	19,6	4,37	19,3	2,54	19	6,60283
CHD	7,41	19,2	5,99	19,2	2,601	19	6,79549
MCH8	9,06	20,4	6,94	20,4	1,953	20,3	6,32736
MCH1	10,14	20,2	5,52	20	2,143	19,9	5,60742
MCHD	8,86	19,9	7,61	19,9	2,061	19,9	6,15498

Anexo C: Espectrofotometría

Preparación soluciones patrón:

Concentración (mg/Lt)	Patrón 0 (mg/L)	Patrón 0,2 (mg/L)	Patrón 0,4 (mg/L)	Patrón 1 (mg/L)	Patrón 2 (mg/L)	Patrón 5 (mg/L)
Solución hierro férrico (ml)	0	0,2	0,4	1	2	5
Solución tampón (ml)	1	1	1	1	1	1
Hidroxilamina (ml)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Fenantrolina (ml)	2	2	2	2	2	2
ml final de la solución (agregando agua Milli-Q hasta llenar el matraz)	20	20	20	20	20	20

Recta y ecuación para transformar desde absorbancia a concentración:



Recta de concentración vs absorbancia de soluciones patrón.

Anexo D: Muestras de agua

A continuación se presentan los resultados de muestras de agua. Se dejaron fuera de estas tablas a varios elementos medidos en los análisis en los cuales todas las mediciones estuvieron bajo el límite de detección, es decir, solo se presentan los elementos con concentraciones medibles.

Elemento (ppm)	Al	As	B	Ba	Br	Ca	Co	Cs	Cu	Fe	Ga	In	K	La
Detection limit	1 ppb	0,5 ppb	5 ppb	0,05 ppb	5 ppb	0,05 ppm	0,02 ppb	0,01 ppb	0,1 ppb	10 ppb	0,05 ppb	0,01 ppb	0,05 ppm	0,01 ppb
M1C1	0,031	0,004	0	0,014	0	411,93	0,019	3E-04	0,015	0,276	0	0	1,198	0
M1C2	0,026	0,004	0	0,018	0,026	505,42	0,019	3E-04	0,019	0,484	0	0	1,458	0
M1C3	0,052	0,003	0	0,018	0	495,1	0,017	3E-04	0,021	0,5	0	0	1,51	0
M1C4	0,026	0,003	0	0,016	0	479,32	0,019	4E-04	0,017	0,458	3E-04	0	1,615	0
M1C5	0,031	0,004	0	0,016	0	473,18	0,02	4E-04	0,052	0,26	0	0	1,458	0
M1C6	0,047	0,004	0	0,014	0,026	484,58	0,025	6E-04	0,846	0,161	0	0	1,979	0
M1C7	38,35	0,012	0	0,004	0,026	384,48	0,031	0	9,336	4,557	8E-04	0	0	0
M1C8	37,53	0,011	0	0,004	0	369,9	0,03	0	9,086	4,266	8E-04	0	0	0
M1A1	0,052	0	0	0,011	0,026	537,92	0,029	5E-05	0,014	0,401	3E-04	0	0	0
M1A2	0,099	0	0	0,011	0,026	518,33	0,02	0	0,019	0,729	0	0	0,26	0
M1A3	0,036	0	0	0,011	0,026	579,58	0,033	0	0,021	0,594	0	0	0,521	0
M1A4	0,026	0	0	0,009	0,026	517,66	0,03	0	0,017	0,281	0	0	0,312	0
M1A5	0,031	0	0	0,008	0	516,41	0,029	0	0,021	0,198	0	0	0,365	0
M1A6	0,146	0	0	0,009	0	506,15	0,028	0	0,068	0,203	0	0	0,312	0
M1A7	41,64	0,012	0	0,002	0	386,46	0,031	0	9,262	4,589	7E-04	0	0	0
M1A8	35,03	0,009	0	0,002	0	367,86	0,028	0	8,535	3,307	6E-04	0	0	0
M1CH1	0,042	0	0,047	0,012	0,031	542,29	0,02	0	0,02	0,37	3E-04	0	0	0
M1CH2	0,052	0	0,052	0,011	0,031	537,66	0,018	0	0,029	0,406	0	0	0	0
M1CH3	0,031	0	0,052	0,012	0,026	510,36	0,013	0	0,017	0,365	0	0	0	0
M1CH4	0,031	0	0,057	0,01	0,026	512,86	0,02	0	0,026	0,318	0	0	0	0
M1CH5	0,036	0	0,052	0,01	0,026	513,49	0,024	0	0,093	0,318	0	0	0	0
M1CH6	39,24	0,011	0	0,002	0	407,81	0,032	0	9,37	4,24	5E-04	0	0	0
M1CH7	38,14	0,01	0	0,003	0,031	385,52	0,033	0	9,335	4,073	7E-04	5E-05	0	0
M1H1	0,031	0,003	0	0,021	0,031	520,94	0,019	0	0,021	0,214	0	1E-04	0,521	0
M1H2	0,021	0	0	0,021	0,031	523,02	0,015	0	0,026	0,266	0	0	0,417	0
M1H3	0,026	0,004	0	0,022	0,031	530,1	0,024	0	0,037	0,38	0	0	0,417	0
M1H4	0,031	0,004	0	0,02	0,026	521,98	0,025	0	0,052	0,281	0	0	0,365	0
M1H5	0,031	0,004	0	0,02	0,031	542,97	0,024	0	0,11	0,24	0	0	0,625	0
M1H6	0,135	0,003	0	0,02	0,031	519,32	0,023	0	0,642	0,385	0	0	0,417	0
M1H7	37,79	0,018	0	0,004	0,031	429,37	0,033	0	9,205	4,24	7E-04	0	0	0
M1H8	38,54	0,015	0	0,002	0,036	429,84	0,032	0	9,209	4,208	8E-04	0	0	0
M1MC1	0,021	0	0	0,042	0,63	716,25	0	0,002	0,017	0	0	3E-04	2,969	0
M1MC2	0,036	0	0	0,04	0,583	693,75	0	0,001	0,032	0	0	0	3,073	0

M1MC3	0,135	0	0	0,043	0,354	686,35	3E-04	0,001	0,027	0	0	0	3,229	0
M1MC4	0,016	0	0	0,037	0,203	612,71	0	1E-03	0,017	0	0	0	2,812	0
M1MC5	0,026	0	0	0,038	0,078	588,02	0	8E-04	0,021	0	0	0	2,865	0
M1MC6	0,016	0	0	0,032	0,036	472,66	0	5E-04	0,018	0	0	0	2,5	0
M1MC7	0,036	0	0	0,017	0	359,27	0,002	3E-04	0,019	0	0	0	2,448	0
M1MC8	0,016	0	0	0,015	0,026	350,89	0,001	3E-04	0,018	0	0	0	2,396	0
M1MA1	0,026	0	0	0,043	0,693	705,94	0	1E-03	0,021	0	0	5E-05	1,771	0
M1MA2	0,016	0	0	0,042	0,568	663,23	0	8E-04	0,019	0	0	0	1,615	0
M1MA3	0,01	0	0	0,04	0,339	619,74	0	9E-04	0,019	0	0	0	2,24	0
M1MA4	0,01	0	0	0,036	0,078	528,12	0	5E-04	0,02	0	0	0	0,99	0
M1MA5	0,01	0	0	0,035	0,031	526,2	0	4E-04	0,021	0	0	0	0,937	0
M1MA6	0,01	0	0	0,024	0,026	398,39	0	2E-04	0,017	0	0	0	0,729	0
M1MA7	0,146	0	0,042	0,012	0	326,04	7E-04	1E-04	0,019	0	0	0	0,937	1E-04
M1MA8	0,021	0	0,047	0,011	0	320,42	0,001	1E-04	0,016	0	0	0	0,937	0
M1MCH1	0,01	0	0	0,048	0,823	775,21	0	0,001	0,024	0	0	0	2,135	0
M1MCH2	0,021	0	0	0,045	0,745	739,95	0	9E-04	0,024	0	0	0	1,25	0
M1MCH3	0,036	0	0	0,044	0,573	733,33	0	9E-04	0,027	0	0	0	1,562	0
M1MCH4	0,083	0	0	0,043	0,234	641,46	3E-04	8E-04	0,064	0	0	0	1,146	5E-05
M1MCH5	0,026	0	0	0,039	0,078	591,04	3E-04	8E-04	0,024	0,099	0	0	2,396	0
M1MCH6	0,026	0	0,026	0,03	0,042	458,59	2E-04	3E-04	0,022	0,109	0	0	0,937	0
M1MCH7	0,036	0	0,062	0,015	0,036	319,06	6E-04	3E-04	0,021	0,094	0	0	1,146	5E-05
M1MCH8	0,016	0	0,068	0,014	0,036	319,95	0,001	3E-04	0,019	0	0	0	0,833	0
M1MH1	0,021	0	0	0,054	1,141	726,72	0	0,003	0,026	0,167	0	0	9,219	5E-05
M1MH2	0,016	0	0	0,049	0,984	727,6	2E-04	0,001	0,022	0	0	0	1,927	0
M1MH3	0,083	0	0	0,046	0,875	705,78	0	0,001	0,026	0,156	0	0	2,344	5E-05
M1MH4	0,042	0	0	0,044	0,635	632,03	3E-04	9E-04	0,024	0,286	0	0	1,719	0
M1MH5	0,016	0	0	0,041	0,141	574,11	2E-04	7E-04	0,022	0,401	0	0	1,354	0
M1MH6	0,031	0	0	0,03	0,036	430,42	3E-04	3E-04	0,028	0,25	0	0	1,198	0
M1MH7	0,25	0	0	0,012	0,042	259,74	4E-04	5E-04	0,046	0,151	0	0	1,771	0
M1MH8	0,01	0	0	0,011	0,052	259,74	2E-04	5E-04	0,013	0	0	0	1,875	0
M2C8	28,01	0,007	0	0,002	0,036	170,21	0,03	0	7,201	1,297	7E-04	0	0	0
M2C1	0,042	0	0	0,011	0,036	271,35	0,011	3E-04	0,012	0,234	0	0	0,937	0
M2CD	0,047	0,003	0	0,016	0,036	357,92	0,017	3E-04	0,02	0,12	0	0,001	1,302	0
M2A8	25,9	0,008	0	0,002	0,036	163,07	0,028	0	6,791	1,167	7E-04	3E-04	0	5E-05
M2A1	0,047	0	0	0,007	0,042	265,73	0,01	0	0,017	0,302	0	0	0,469	0,001
M2AD	0,036	0,003	0,036	0,01	0,036	416,72	0,021	0	0,027	0,312	0	0,001	0,521	7E-04
M2H8	28,37	0,039	0	0,002	0,036	204,84	0,029	0	7,539	2,75	0,001	4E-04	0	6E-04
M2H1	0,026	0	0	0,015	0,036	316,87	0,014	0	0,019	0,323	0	2E-04	0	5E-05
M2HD	0,047	0	0	0,02	0,042	409,48	0,01	0	0,022	0,417	0	5E-04	0,26	2E-04
M2CH7	26,48	0,007	0	0,002	0,036	152,76	0,028	0	6,91	1,234	7E-04	3E-04	0	5E-05
M2CH1	0,036	0	0,042	0,007	0,042	251,15	0,006	0	0,01	0,224	0	5E-05	0	5E-05
M2CHD	0,042	0	0,057	0,009	0,036	330,99	0,012	0	0,016	0,203	0	1E-04	0	5E-05
M2MC8	0,031	0	0	0,008	0,036	213,07	0,004	2E-04	0,013	0,068	0	3E-04	1,042	0

M2MC1	0,016	0	0	0,035	0,042	609,58	2E-04	7E-04	0,018	0,323	0	0	1,458	0
M2MCD	0,052	0	0	0,038	0,047	649,95	3E-04	8E-04	0,021	0,307	0	0	1,615	4E-04
M2MA8	0,026	0	0	0,005	0,036	193,28	0,003	0	0,012	0,13	0	0	0	0
M2MA1	0,026	0	0	0,034	0,042	577,29	2E-04	4E-04	0,024	0,349	0	0,005	0,677	1E-04
M2MAD	0,016	0	0	0,035	0,042	567,92	2E-04	4E-04	0,019	0,266	0	0	0,677	5E-05
M2MH8	0,026	0	0	0,008	0,036	213,54	2E-04	1E-04	0,017	0,109	0	0	0,365	1E-04
M2MH1	0,016	0	0	0,032	0,078	580,99	2E-04	7E-04	0,019	0,375	0	5E-05	0,781	2E-04
M2MHD	0,026	0	0	0,035	0,13	620,52	2E-04	6E-04	0,022	0,26	0	0	0,781	1E-04
M2MCH8	0,026	0	0,042	0,008	0,042	175,62	5E-04	5E-05	0,012	0,052	0	0	0	0
M2MCH1	0,021	0	0	0,036	0,057	678,18	2E-04	5E-04	0,023	0,328	0	0	0,729	0
M2MCHD	0,021	0	0	0,038	0,062	663,75	3E-04	5E-04	0,022	0,307	0	2E-04	0,677	1E-04
M3C1	0,052	0	0	0,011	0	307,19	0,01	3E-04	0,013	0,182	0	0	0,781	0
M3C2	0,021	0	0	0,009	0	295,73	0,019	4E-04	0,01	0	0	0	0,729	0
M3C3	0,021	0	0	0,009	0	295,62	0,025	5E-04	0,011	0	0	0	0,729	0
M3C4	0,026	0	0	0,008	0	280,99	0,025	5E-04	0,054	0	0	0	0,625	0
M3C5	0,078	0	0	0,008	0	276,2	0,026	4E-04	0,694	0,062	0	0	0,573	0
M3C6	25,53	0,004	0	0,002	0	217,5	0,023	0	6,865	0,771	6E-04	0	0	0
M3C7	25,6	0,005	0	0,001	0	211,46	0,023	0	6,729	0,724	5E-04	0	0	0
M3C8	17,85	0	0	0,002	0	140,57	0,018	5E-05	4,795	0,63	5E-04	0	0	0
M3CD	0,036	0	0	0,013	0	349,84	0,019	3E-04	0,022	0	0	0	0,885	0
M3A1	0,031	0	0	0,007	0	335,05	0,014	0	0,011	0	0	0	0	0
M3A2	0,021	0	0	0,005	0	306,09	0,018	0	0,009	0	0	0	0	0
M3A3	0,031	0	0	0,006	0	306,98	0,019	0	0,012	0	0	0	0	0
M3A4	0,031	0	0	0,005	0	310,73	0,02	0	0,014	0	0	0	0	0
M3A5	0,031	0	0	0,005	0	306,15	0,02	0	0,021	0	0	0	0	0
M3A6	0,13	0	0	0,005	0	310,73	0,021	5E-05	0,111	0	0	5E-05	0	0
M3A7	26,91	0	0	0,002	0	225,99	0,023	0	6,82	0,661	5E-04	0	0	0
M3A8	25,2	0	0	0,001	0	222,4	0,022	0	6,608	0,859	7E-04	0	0	0
M3AD	0,031	0	0	0,007	0	350,57	0,015	0	0,015	0	0	0	0	0
M3H1	0,016	0	0	0,014	0	326,15	0,008	0	0,011	0	0	0,001	0	0
M3H2	0,021	0	0	0,014	0	322,24	0,013	5E-05	0,012	0	0	3E-04	0	0
M3H3	0,016	0	0	0,012	0	317,81	0,015	5E-05	0,012	0	0	4E-04	0	0
M3H4	0,021	0	0	0,012	0	317,4	0,023	0	0,024	0	0	2E-04	0	0
M3H5	0,021	0	0	0,012	0	315,89	0,025	5E-05	0,185	0	0	2E-04	0	0
M3H6	0,026	0,003	0	0,01	0	324,32	0,025	0	1,854	0	0	1E-04	0	0
M3H7	26,33	0,007	0	0,002	0	245,21	0,023	0	6,862	0,599	6E-04	2E-04	0	0
M3H8	26,23	0	0	0,002	0	215,52	0,026	0	6,834	0,854	7E-04	3E-04	0	0
M3HD	0,021	0	0	0,015	0	335,83	0,005	0	0,014	0	0	0	0	0
M3CH1	0,031	0	0,031	0,006	0	352,6	0,011	0	0,011	0	0	0	0	0
M3CH2	0,031	0	0	0,004	0	344,17	0,02	5E-05	0,012	0	0	2E-04	0	0
M3CH3	0,036	0	0	0,004	0	326,93	0,024	5E-05	0,015	0	0	0	0	0
M3CH4	0,042	0	0	0,004	0	326,61	0,024	5E-05	0,033	0	0	0	0	0
M3CH5	0,13	0	0	0,004	0	325,26	0,024	1E-04	0,188	0	0	4E-04	0	0

M3CH6	27,31	0,004	0	0,002	0	225,21	0,025	5E-05	6,889	0,63	4E-04	0	0	0
M3CH7	25,97	0	0	0,002	0,026	226,25	0,023	0	6,823	0,964	8E-04	5E-05	0	0
M3CHD	26,39	0	0	0,001	0,031	226,82	0,023	0	6,904	0,974	8E-04	5E-05	0	5E-05
M3MC1	0,021	0	0	0,029	0,047	586,41	0	5E-04	0,016	0	0	0	1,146	0
M3MC2	0,016	0	0	0,027	0,047	564,95	0	4E-04	0,015	0	0	0	1,146	0
M3MC3	0,026	0	0	0,03	0,042	547,81	0	4E-04	0,015	0	0	0	1,146	5E-05
M3MC4	0,01	0	0	0,027	0,031	245,16	0	3E-04	0,011	0	0	0	0,937	0
M3MC5	0,016	0	0	0,025	0,026	213,91	0	3E-04	0,011	0	0	0	0,885	0
M3MC6	0,01	0	0	0,016	0	201,87	0	2E-04	0,011	0	0	2E-04	0,885	0
M3MC7	0,021	0	0	0,008	0	248,85	0,004	3E-04	0,014	0	0	1E-04	0,885	0
M3MC8	0,073	0	0	0,008	0	220,36	0,002	3E-04	0,012	0	0	0	0,833	5E-05
M3MCD	0,016	0	0	0,029	0,052	566,61	0	5E-04	0,015	0	0	0	1,042	0
M3MA1	0,01	0	0	0,03	0,052	568,59	0	3E-04	0,016	0	0	2E-04	0,521	0
M3MA2	0,016	0	0	0,029	0,047	551,15	0	3E-04	0,016	0	0	5E-05	0,469	0
M3MA3	0,016	0	0	0,033	0,042	494,64	0	3E-04	0,016	0	0	1E-04	0,417	0
M3MA4	0,016	0	0	0,027	0,036	210,47	0	1E-04	0,011	0	0	5E-04	0	0
M3MA5	0,01	0	0	0,021	0,031	195,52	0	5E-05	0,01	0	0	1E-04	0	0
M3MA6	0,016	0	0	0,009	0,031	190,26	0	0	0,01	0	0	2E-04	0	0
M3MA7	0,016	0	0	0,006	0,031	195,62	0,002	0	0,011	0	0	2E-04	0	0
M3MA8	0,016	0	0	0,007	0,036	186,61	0,001	0	0,011	0	0	0	0	0
M3MAD	0,021	0	0	0,03	0,047	554,17	0	3E-04	0,02	0,083	0	1E-04	0,573	5E-05
M3MH1	0,01	0	0	0,028	0,052	555,99	0	5E-04	0,018	0	0	1E-04	0,677	0
M3MH2	0,016	0	0	0,027	0,052	557,5	0	4E-04	0,019	0	0	1E-04	0,573	0
M3MH3	0,021	0	0	0,027	0,047	537,6	0	4E-04	0,019	0	0	1E-04	0,521	0
M3MH4	0,01	0	0	0,027	0,036	238,12	0	3E-04	0,012	0	0	5E-05	0,312	0
M3MH5	0,01	0	0	0,024	0,031	212,55	0	2E-04	0,015	0	0	1E-04	0,312	0
M3MH6	0,026	0	0	0,012	0,031	196,77	0	2E-04	0,013	0	0	0	0,26	0
M3MH7	0,031	0	0	0,006	0,031	180,1	0	1E-04	0,014	0	0	0	0,312	0
M3MH8	0,01	0	0	0,006	0,031	177,71	0	1E-04	0,012	0	0	5E-05	0,312	0
M3MHD	0,021	0	0	0,029	0,052	569,11	0	6E-04	0,02	0	0	2E-04	0,677	0
M3MCH1	0,01	0	0	0,033	0,052	577,4	0	4E-04	0,02	0	0	5E-05	0,521	1E-04
M3MCH2	0,036	0	0	0,03	0,052	560,1	0	4E-04	0,023	0	0	0,001	0,417	2E-04
M3MCH3	0,01	0	0	0,029	0,036	307,45	0	2E-04	0,015	0	0	0	0	0
M3MCH4	0,021	0	0	0,027	0,036	218,18	0	2E-04	0,034	0	0	1E-04	0	2E-04
M3MCH5	0,016	0	0	0,024	0,036	212,24	0	1E-04	0,013	0	0	0	0	2E-04
M3MCH6	0,021	0	0,026	0,019	0,036	204,27	0	1E-04	0,013	0	0	1E-04	0	0
M3MCH7	0,016	0	0,031	0,011	0,036	180,94	3E-04	1E-04	0,013	0	0	4E-04	0	1E-04
M3MCH8	0,021	0	0,036	0,012	0,042	197,19	3E-04	1E-04	0,018	0	0	0	0,26	1E-04
M3MCHD	0,021	0	0	0,032	0,057	562,08	0	4E-04	0,02	0,089	0	5E-05	0,469	0

Elemento (ppm)	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Rb	S	Si	Sn	Sr	Tl	V	Zn
Detection limit	0,1 ppb	0,05 ppm	0,05 ppb	0,05 ppm	0,2 ppb	10 ppb	0,01 ppb	1 ppm	40 ppb	0,05 ppb	0,01 ppb	0,01 ppb	0,2 ppb	0,5 ppb
M1C1	0,002	66,93	7,24	231,15	0,519	0,135	0,008	489,6	2,484	0	0,295	0	0	0,991
M1C2	0,002	80,21	9,29	255,99	0,496	0,161	0,011	593,7	3,776	0	0,375	0	0	0,355
M1C3	0,001	77,4	9,1	241,82	0,474	0,167	0,011	567,7	4,099	3E-04	0,368	0	0	0,457
M1C4	0,002	74,27	8,56	233,59	0,439	0,135	0,011	552,1	4,151	0	0,346	0	0	1,001
M1C5	0,001	72,45	8,2	223,96	0,368	0,125	0,01	531,2	3,958	0	0,343	0	0	1,556
M1C6	0,002	78,07	8,72	250,89	0,445	0,115	0,012	572,9	3,224	0	0,356	5E-05	0	2,52
M1C7	0	88,7	8,99	337,76	0,887	0,078	2E-04	692,7	0	0	0,295	0	0	3,949
M1C8	0	85,83	8,67	320	0,804	0,083	2E-04	661,5	0	5E-04	0,291	0	0	3,821
M1A1	5E-04	83,85	8,96	284,43	1,107	0,26	7E-04	625	0,214	0	1,251	0	0	0,742
M1A2	5E-04	79,48	8,54	265,94	0,97	0,323	5E-04	609,4	0	3E-04	1,275	0	0	0,385
M1A3	5E-04	89,58	9,55	302,86	1,14	0,25	7E-04	682,3	0	3E-04	1,332	0	0	1,562
M1A4	5E-04	80,52	8,55	265,42	0,895	0,198	5E-04	609,4	0	3E-04	1,206	0	0	1,805
M1A5	5E-04	80,62	8,46	271,87	0,757	0,161	6E-04	604,2	0	0	1,176	0	0	2,485
M1A6	5E-04	76,98	8,36	259,84	0,721	0,12	6E-04	583,3	0	3E-04	1,175	0	0	2,489
M1A7	0	88,85	8,85	339,79	0,902	0,13	2E-04	697,9	0	0	0,304	0	0	3,873
M1A8	0	80,26	8,28	302,76	0,639	0,094	2E-04	635,4	0	5E-04	0,305	0	0	3,632
M1CH1	0,001	87,34	8,8	280,89	0,558	0,177	6E-04	661,5	0	0	0,846	0	0	1,222
M1CH2	0,001	80,1	8,17	267,34	0,51	0,167	3E-04	619,8	0	3E-04	0,816	0	0	1,38
M1CH3	0,001	76,98	7,75	247,4	0,424	0,161	4E-04	583,3	0	0	0,781	0	0	0,904
M1CH4	0,001	77,08	7,68	250,47	0,686	0,141	3E-04	593,7	0,375	0	0,776	0	0	1,637
M1CH5	0,001	77,34	8	252,34	0,73	0,13	3E-04	599	0,333	0	0,762	0	0	2,122
M1CH6	0	89,37	9,1	342,81	0,883	0,109	2E-04	713,5	0,365	0	0,339	0	0	3,999
M1CH7	0	88,85	8,99	347,97	0,836	0,089	4E-04	687,5	0,391	4E-04	0,301	0	0	3,808
M1H1	5E-04	81,93	8,14	277,81	0,589	0,557	8E-04	609,4	0,302	0	0,627	0	0	0,215
M1H2	0,001	79,01	7,92	258,23	0,433	0,609	6E-04	583,3	0,344	0	0,635	0	0	0,314
M1H3	0,001	81,25	8,02	264,43	0,631	0,536	5E-04	604,2	0,292	0	0,629	0	0	1,225
M1H4	0,001	79,37	8,04	268,7	0,629	0,437	6E-04	599	0,286	3E-04	0,616	0	0	2,04
M1H5	0,001	82,92	8,36	289,22	0,577	0,417	9E-04	625	0,307	3E-04	0,649	0	0	2,558
M1H6	0,001	80	8,08	265,1	0,504	0,375	5E-04	604,2	0,401	0	0,627	0	0	2,394
M1H7	5E-04	90,36	9,07	343,85	0,876	0,172	2E-04	718,7	0,302	0	0,358	0	0	3,917
M1H8	5E-04	92,6	9,07	354,74	0,841	0,104	3E-04	724	0,401	0	0,342	0	0	3,914
M1MC1	0,025	52,34	0,01	270,89	0	0,099	0,017	739,6	0,583	0	0,708	5E-04	0,009	0,033
M1MC2	0,024	68,33	0,02	284,84	0,002	0,099	0,014	760,4	0,37	0	0,673	4E-04	0,01	0,025
M1MC3	0,021	93,7	0,06	283,28	0	0,109	0,014	760,4	0,448	3E-04	0,754	6E-04	0,011	0,048
M1MC4	0,02	99,95	0	276,98	0	0,104	0,013	734,4	0,385	4E-04	0,552	5E-04	0,011	0,034
M1MC5	0,018	114,8	0	285,47	0	0,099	0,014	744,8	0,557	4E-04	0,506	6E-04	0,011	0,051
M1MC6	0,011	127	0,01	295,68	0	0,109	0,012	671,9	0,573	4E-04	0,406	4E-04	0,01	0,035
M1MC7	0,006	135,4	0,6	298,65	0,086	0,109	0,011	599	1,151	0	0,302	0	0,007	0,1
M1MC8	0,006	130,5	0,51	279,17	0,057	0,089	0,011	578,1	1,073	0	0,296	0	0,007	0,076
M1MA1	0,021	71,61	0	267,24	0,003	0,109	0,008	770,8	0,333	0	1,609	2E-04	0,009	0,028

M1MA2	0,02	93,91	0	269,74	0,003	0,104	0,006	760,4	0,219	0	1,587	3E-04	0,009	0,032
M1MA3	0,014	110,6	0	293,12	0	0,104	0,009	760,4	0	0	1,423	2E-04	0,009	0,034
M1MA4	0,008	115,7	0	283,02	0,002	0,094	0,004	692,7	0	3E-04	1,176	3E-04	0,009	0,032
M1MA5	0,006	127,7	0	297,03	0	0,104	0,003	729,2	0	0	1,172	3E-04	0,01	0,031
M1MA6	0,003	135,4	0	289,84	0	0,109	0,002	630,2	0	3E-04	1,038	1E-04	0,01	0,029
M1MA7	0,004	122,7	0,35	230,31	0,047	0,115	0,002	505,2	0	0	1,151	0	0,016	0,038
M1MA8	0,005	127	0,41	234,9	0,058	0,104	0,002	520,8	0,464	0	1,167	0	0,016	0,04
M1MCH1	0,028	72,5	0	287,08	0,008	0,104	0,013	817,7	0	0	1,176	4E-04	0,01	0,038
M1MCH2	0,02	73,07	0	296,72	0,005	0,13	0,006	796,9	0	0	1,104	4E-04	0,01	0,036
M1MCH3	0,02	88,44	0,06	305,1	0,014	0,104	0,006	807,3	0	4E-04	1,069	4E-04	0,01	0,047
M1MCH4	0,017	101,8	0,04	291,93	0,012	0,099	0,005	770,8	0,307	4E-04	0,958	5E-04	0,01	0,051
M1MCH5	0,012	124,6	0,07	318,44	0,021	0,13	0,009	776	0,292	0	0,884	5E-04	0,011	0,037
M1MCH6	0,007	138,7	0,06	312,92	0,014	0,115	0,003	687,5	0,271	4E-04	0,746	3E-04	0,01	0,036
M1MCH7	0,007	146,2	0,19	281,51	0,036	0,125	0,003	572,9	0,297	0	0,594	2E-04	0,013	0,046
M1MCH8	0,006	146,2	0,45	270,57	0,049	0,135	0,002	557,3	0,49	0	0,576	2E-04	0,013	0,073
M1MH1	0,035	95,21	0	240,16	0,005	0,141	0,046	765,6	0,224	4E-04	0,959	5E-04	0,01	0,045
M1MH2	0,022	97,4	0,08	245,83	0,021	0,125	0,01	791,7	0	3E-04	0,927	4E-04	0,01	0,028
M1MH3	0,016	101,2	0	262,34	0,003	0,135	0,011	765,6	0	3E-04	0,897	4E-04	0,011	0,035
M1MH4	0,012	116,6	0,07	269,84	0,02	0,151	0,007	750	0	3E-04	0,754	4E-04	0,01	0,037
M1MH5	0,008	136,7	0,06	286,2	0,016	0,135	0,005	760,4	0	0	0,699	5E-04	0,01	0,032
M1MH6	0,004	152,4	0,07	289,17	0,01	0,135	0,004	666,7	0	0	0,561	2E-04	0,011	0,031
M1MH7	0,008	179,1	0,15	236,3	0,042	0,141	0,006	536,5	0,281	3E-04	0,312	2E-04	0,013	0,039
M1MH8	0,009	190,3	0,05	230,05	0,01	0,109	0,007	531,2	0	0	0,292	3E-04	0,017	0,021
M2C8	5E-04	63,75	7,5	138,54	0,032	0,109	2E-04	328,1	0,266	3E-04	0,139	0	0	3,081
M2C1	0,001	61,82	6,3	176,51	0,145	0,161	0,007	333,3	3,271	3E-04	0,19	0	0	0,437
M2CD	0,002	77,76	7,7	232,29	0,643	0,172	0,008	442,7	3,958	3E-04	0,275	0	0	0,587
M2A8	5E-04	58,8	6,99	133,49	0,021	0,104	2E-04	317,7	0	0	0,136	0	0	2,922
M2A1	0,001	62,6	5,43	181,67	0,282	0,302	8E-04	322,9	0	4E-04	0,723	0	0	0,307
M2AD	0,001	95,68	7,56	259,53	1,019	0,281	1E-03	520,8	0,266	0	1,288	0	0	0,355
M2H8	0	69,79	7,51	181,93	0,017	0,083	2E-04	390,6	0	3E-04	0,169	0	0	3,087
M2H1	0,001	68,12	6,46	308,75	0,11	0,495	4E-04	453,1	0	3E-04	0,458	0	0	0,093
M2HD	0,001	72,97	7,31	298,75	0,24	0,667	5E-04	520,8	0	0	0,552	0	0	0,086
M2CH7	5E-04	59,58	7,15	137,34	0,02	0,089	2E-04	307,3	0	0	0,127	0	0	2,972
M2CH1	0,001	57,86	4,96	165,31	0,108	0,224	3E-04	302,1	0	0	0,473	0	0	0,296
M2CHD	0,002	75,05	6,18	217,92	0,389	0,161	6E-04	416,7	0	0	0,633	0	0	0,374
M2MC8	0,002	86,25	2,51	173,85	0,07	0,135	0,008	328,1	2,052	0	0,166	0	0,004	0,199
M2MC1	0,016	82,92	0	150,16	0,004	0,115	0,01	630,2	0	0	0,505	3E-04	0,007	0,032
M2MCD	0,03	91,2	0,01	155,94	0,006	0,151	0,011	671,9	0	3E-04	0,552	3E-04	0,008	0,311
M2MA8	0,002	95,57	1,55	169,17	0,089	0,203	6E-04	328,1	0	0	0,594	0	0,01	0,091
M2MA1	0,012	91,41	0	141,3	0,003	0,156	0,003	609,4	0	0,001	0,957	2E-04	0,007	0,034
M2MAD	0,012	91,35	0	133,18	0,006	0,109	0,003	599	0	0	0,985	2E-04	0,006	0,026
M2MH8	0,003	126,8	0,07	164,9	0,005	0,146	9E-04	390,6	0	0	0,294	0	0,022	0,029
M2MH1	0,013	92,86	0	197,19	0,005	0,115	0,005	651	0	3E-04	0,645	3E-04	0,008	0,031

M2MHD	0,016	107,3	0	198,75	0,004	0,099	0,005	697,9	0	3E-04	0,698	3E-04	0,008	0,032
M2MCH8	0,003	105,2	0,3	172,4	0,011	0,12	6E-04	338,5	0	0	0,374	0	0,011	0,075
M2MCH1	0,016	95,31	0	164,9	0,007	0,109	0,004	666,7	0	4E-04	0,812	3E-04	0,008	0,042
M2MCHD	0,016	98,12	0	153,8	0,005	0,109	0,004	697,9	0	3E-04	0,868	3E-04	0,008	0,04
M3C1	0,001	59,69	7,04	156,77	0,059	0,135	0,007	354,2	3,583	0	0,184	0	0	0,597
M3C2	0,002	58,12	6,89	162,03	0,107	0,104	0,006	349	2,104	0	0,175	0	0	1,278
M3C3	0,002	60,21	7,05	168,28	0,087	0,104	0,006	349	1,458	0	0,173	0	0	2,114
M3C4	0,002	57,5	6,82	163,44	0,055	0,115	0,005	333,3	0,99	0	0,167	0	0	2,627
M3C5	0,002	59,53	7,1	162,81	0,027	0,115	0,003	343,7	0,714	0	0,168	0	0	2,959
M3C6	0	60,62	6,99	157,97	0,016	0,109	2E-04	364,6	0	0	0,107	0	0	2,974
M3C7	0	61,77	6,99	156,72	0,014	0,083	1E-04	364,6	0	0	0,108	0	0	2,921
M3C8	5E-04	41,51	4,82	94,323	0,011	0,083	2E-04	250	0	8E-04	0,076	0	0	2,302
M3CD	0,001	70,36	7,94	178,54	0,341	0,099	0,007	411,5	3,385	0	0,218	0	0	1,059
M3A1	0,002	60,31	5,79	167,6	0,222	0,224	3E-04	364,6	0	3E-04	0,799	0	0	0,617
M3A2	0,002	56,98	5,23	159,22	0,201	0,187	2E-04	343,7	0	0	0,688	0	0	1,077
M3A3	0,002	58,96	5,18	164,06	0,14	0,156	2E-04	354,2	0	0	0,668	0	0	1,572
M3A4	0,002	58,8	5,48	168,59	0,103	0,146	2E-04	354,2	0	0	0,638	0	0	1,822
M3A5	0,002	57,76	5,58	167,6	0,057	0,12	3E-04	354,2	0	0	0,615	0	0	2,235
M3A6	0,002	58,07	5,89	169,9	0,039	0,094	3E-04	359,4	0	0	0,599	0	0	2,459
M3A7	5E-04	59,84	6,96	164,43	0,018	0,094	1E-04	385,4	0	0	0,114	0	0	2,984
M3A8	0	59,06	6,76	160,1	0,023	0,068	5E-05	375	0	0	0,108	0	0	2,902
M3AD	0,001	66,25	6,29	169,58	0,365	0,198	3E-04	395,8	0	0	0,857	0	0	0,45
M3H1	0,002	61,35	6,79	193,96	0,035	0,531	3E-04	390,6	0	0	0,419	0	0	0,147
M3H2	0,002	60,99	6,76	190,99	0,053	0,417	3E-04	385,4	0	0	0,415	0	0	0,283
M3H3	0,002	60,16	6,6	183,85	0,045	0,385	3E-04	380,2	0	0	0,416	0	0	0,441
M3H4	0,002	61,56	6,6	183,65	0,053	0,302	3E-04	380,2	0	0	0,412	0	0	1,243
M3H5	0,002	61,3	6,62	183,39	0,039	0,203	3E-04	380,2	0	0	0,409	0	0	2,34
M3H6	0,002	61,15	6,77	195,89	0,023	0,104	2E-04	395,8	0	0	0,402	0	0	2,703
M3H7	0	61,77	7	190,42	0,015	0,109	1E-04	421,9	0	0	0,128	0	0	3,08
M3H8	0,001	59,9	7,02	184,11	0,014	0,094	2E-04	390,6	0	0	0,121	0	0	3,33
M3HD	5E-04	61,51	6,76	174,95	0,039	0,547	3E-04	380,2	0	0	0,426	0	0	0,101
M3CH1	0,002	63,02	6,65	168,49	0,114	0,156	2E-04	385,4	0	0	0,532	0	0	0,47
M3CH2	0,002	62,19	6,7	177,92	0,145	0,141	3E-04	385,4	0	0	0,485	0	0	1,423
M3CH3	0,002	59,9	6,39	171,56	0,147	0,13	3E-04	375	0	0	0,471	0	0	1,901
M3CH4	0,002	60,36	6,41	178,49	0,08	0,125	3E-04	375	0	0	0,454	0	0	2,441
M3CH5	0,002	59,95	6,61	177,6	0,041	0,109	3E-04	375	0	0	0,451	0	0	2,689
M3CH6	0,001	60,73	7,05	171,41	0,017	0,094	2E-04	390,6	0	0	0,127	0	0	3,287
M3CH7	0	61,2	7,06	164,01	0,016	0,083	1E-04	385,4	0	3E-04	0,108	0	0	3,142
M3CHD	0	61,56	7,09	162,86	0,015	0,083	1E-04	390,6	0	0	0,112	0	0	3,184
M3MC1	0,01	97,08	0	154,9	0	0,068	0,01	640,6	0	0	0,454	3E-04	0,006	0,024
M3MC2	0,008	101,6	0	152,81	0	0,073	0,009	635,4	0	0	0,441	4E-04	0,008	0,023
M3MC3	0,007	105,8	0	158,39	0	0,073	0,009	614,6	0	0	0,426	5E-04	0,008	0,071
M3MC4	0,005	104,7	0	159,17	0	0,073	0,007	385,4	0	0	0,178	4E-04	0,008	0,025

M3MC5	0,004	106,5	0	154,64	0	0,073	0,007	364,6	0	0	0,153	3E-04	0,007	0,037
M3MC6	0,003	107,9	0,02	157,76	0	0,078	0,007	359,4	0	0	0,137	1E-04	0,007	0,094
M3MC7	0,002	95,73	2,49	158,7	0,047	0,078	0,007	375	1,823	0	0,157	0	0,003	0,309
M3MC8	0,002	105,4	0,96	153,33	0,022	0,109	0,007	364,6	1,031	0	0,151	0	0,004	0,159
M3MCD	0,009	94,74	0	152,6	0	0,099	0,009	640,6	0	0	0,458	3E-04	0,007	0,022
M3MA1	0,008	102,9	0	158,54	0	0,083	0,004	656,2	0	0	0,933	2E-04	0,006	0,023
M3MA2	0,006	105,7	0	158,02	0	0,078	0,004	651	0	0	0,934	3E-04	0,007	0,022
M3MA3	0,005	105,5	0	157,03	0	0,089	0,003	619,8	0	0	0,867	3E-04	0,008	0,024
M3MA4	0,003	107,9	0	166,67	0	0,104	7E-04	385,4	0	0	0,638	2E-04	0,007	0,023
M3MA5	0,003	106,9	0	159,9	0	0,073	5E-04	380,2	0	0	0,611	1E-04	0,007	0,022
M3MA6	0,002	108,3	0,05	161,25	0,002	0,089	4E-04	369,8	0	0	0,59	0	0,008	0,031
M3MA7	0,003	110,1	0,71	160,78	0,03	0,12	6E-04	364,6	0	0	0,6	0	0,01	0,074
M3MA8	0,003	114,6	0,47	157,97	0,019	0,099	6E-04	369,8	0	0	0,591	0	0,011	0,051
M3MAD	0,008	99,53	0	156,2	0,002	0,089	0,004	640,6	0	0	0,906	2E-04	0,006	0,028
M3MH1	0,01	97,55	0	168,12	0	0,083	0,005	645,8	0	0	0,588	3E-04	0,007	0,028
M3MH2	0,007	106,4	0,01	169,79	0,002	0,104	0,004	661,5	0	0	0,607	2E-04	0,007	0,031
M3MH3	0,005	105,9	0	167,97	0	0,109	0,004	640,6	0	0	0,576	2E-04	0,007	0,029
M3MH4	0,003	106,5	0	180,89	0	0,083	0,001	416,7	0	0	0,344	1E-04	0,007	0,029
M3MH5	0,003	109,5	0	184,84	0,001	0,099	7E-04	401	0	0	0,32	0	0,007	0,043
M3MH6	0,002	113,1	0,02	178,96	0,002	0,099	6E-04	390,6	0	0	0,27	5E-05	0,007	0,04
M3MH7	0,002	128,4	0,16	178,02	0,003	0,13	6E-04	395,8	0	0	0,232	0	0,017	0,027
M3MH8	0,002	129,4	0,05	173,75	0	0,089	6E-04	385,4	0	0	0,233	0	0,018	0,019
M3MHD	0,009	101,3	0	185,31	0	0,089	0,005	677,1	0	0	0,609	3E-04	0,007	0,031
M3MCH1	0,008	103	0,01	158,28	0,003	0,073	0,004	651	0	0	0,696	2E-04	0,007	0,024
M3MCH2	0,007	104,6	0	158,07	0,002	0,094	0,004	651	0	0	0,685	3E-04	0,007	0,101
M3MCH3	0,005	100,2	0	156,51	0,002	0,089	0,002	442,7	0	0	0,477	3E-04	0,007	0,03
M3MCH4	0,004	108,1	0	160,47	0,006	0,099	8E-04	390,6	0	0	0,459	2E-04	0,007	0,048
M3MCH5	0,004	109,3	0	159,74	0,002	0,089	8E-04	380,2	0	0	0,452	2E-04	0,007	0,046
M3MCH6	0,004	115,9	0	166,51	0,002	0,104	7E-04	375	0	0	0,446	1E-04	0,008	0,033
M3MCH7	0,005	119,4	0,08	153,7	0,006	0,083	7E-04	364,6	0	0	0,392	0	0,01	0,028
M3MCH8	0,006	128,2	0,1	162,5	0,006	0,099	9E-04	395,8	0	0	0,433	0	0,011	0,034
M3MCHD	0,008	100,7	0,01	149,32	0	0,089	0,004	630,2	0	0	0,687	2E-04	0,006	0,034

Elemento (ppm)	Al	As	B	Ba	Br	Ca	Co	Cs	Cu	Fe	Ga	In	K	La
Detection limit	1 ppb	0,5 ppb	5 ppb	0,05 ppb	5 ppb	0,05 ppm	0,02 ppb	0,01 ppb	0,1 ppb	10 ppb	0,05 ppb	0,01 ppb	0,05 ppm	0,01 ppb
M4C1	0,021	0	0	0,01	0,042	308,96	0,02	3E-04	0,01	0,057	3E-04	0	0,677	2E-04
M4C8	25,76	0,005	0	0,001	0,078	225,16	0,04	0	8,27	1	8E-04	0	0	0
M4CD	0,021	0	0	0,01	0,036	329,95	0,023	4E-04	0,01	0	3E-04	0	0,729	3E-04
M4MC1	0,01	0	0	0,027	0,036	528,28	0	4E-04	0,015	0	0	0	1,042	0
M4MC8	0,021	0	0	0,007	0,036	257,08	0,007	3E-04	0,012	0	0	0	0,833	0
M4MCD	0,01	0	0	0,027	0,036	554,17	0	4E-04	0,018	0	0	0	1,146	0
M4A1	0,031	0	0	0,006	0,057	323,59	0,015	0	0,012	0,083	0	0	0	1E-04
M4A8	24,6	0,005	0	0,001	0,073	219,11	0,03	0	7,497	0,948	7E-04	0	0	1E-04
M4AD	0,031	0	0	0,006	0,052	353,07	0,015	0	0,02	0	0	0	0	0
M4MA1	0,047	0	0	0,024	0,042	460,73	0	3E-04	0,016	0	0	0	0,573	0
M4MA8	0,016	0	0	0,005	0,036	172,81	0,001	0	0,01	0	0	0	0	0
M4MAD	0,01	0	0	0,029	0,042	576,93	0	3E-04	0,02	0	0	0	0,521	0
M4H1	0,021	0	0	0,013	0,042	326,87	0,007	0	0,009	0	0	0	0	0
M4H8	26,12	0,003	0	0,001	0,062	214,22	0,068	0	9,814	0,812	7E-04	0	0	1E-04
M4HD	0,016	0	0	0,013	0,031	352,19	0,01	0	0,011	0	0	0	0	0
M4MH1	0,026	0	0	0,027	0,042	537,86	0	5E-04	0,019	0	0	0	0,729	0
M4MH8	0,016	0	0	0,007	0,036	191,93	3E-04	1E-04	0,011	0	0	0	0,365	2E-04
M4MHD	0,016	0	0	0,026	0,042	549,69	0	5E-04	0,018	0	0	0	0,625	0
M4CH1	0,036	0	0	0,004	0,052	314,58	0,019	0	0,009	0,057	0	0	0	0
M4CH7	26,15	0,003	0	0,001	0,078	221,25	0,046	0	8,553	0,932	7E-04	0	0	0
M4CHD	0,026	0	0	0,005	0,042	339,32	0,015	0	0,01	0,109	0	0	0	0
M4MCH1	0,021	0	0	0,027	0,047	503,07	0	4E-04	0,02	0	0	0	0,625	0
M4MCH8	0,01	0	0,026	0,012	0,052	198,39	4E-04	1E-04	0,012	0	0	0	0,417	0
M4MCHD	0,01	0	0	0,028	0,047	541,09	0	4E-04	0,018	0	0	0	0,365	0
M5C1	0,021	0	0	0,008	0,047	326,61	0,026	4E-04	0,011	0	0	0	0,677	0
M5C2	0,016	0	0	0,008	0,057	325,42	0,04	5E-04	0,012	0	0	0	0,677	0
M5C3	0,021	0	0	0,008	0,057	318,49	0,043	4E-04	0,053	0	0	0	0,677	0
M5C4	0,016	0	0	0,007	0,057	311,51	0,046	5E-04	0,232	0	0	0	0,573	0
M5C5	0,016	0	0	0,007	0,057	326,25	0,047	4E-04	1,48	0	0	0	0,417	5E-05
M5C6	0,062	0	0	0,005	0,062	318,02	0,046	2E-04	3,142	0	0	0	0	3E-04
M5C7	24,37	0,004	0	0,002	0,068	216,93	0,044	0	6,703	0,552	5E-04	0	0	0
M5C8	25,76	0	0	9E-04	0,083	222,97	0,046	0	7,049	1,052	8E-04	0	0	0
M5CD	0,026	0	0	0,009	0,047	322,76	0,025	4E-04	0,012	0	3E-04	0	0,677	0
M5A1	0,026	0	0	0,006	0,057	346,61	0,02	0	0,012	0	0	0	0	0
M5A2	0,016	0	0	0,005	0,057	344,43	0,028	0	0,011	0	0	0	0	0,002
M5A3	0,026	0	0	0,005	0,062	355,52	0,029	0	0,015	0	0	0	0	0
M5A4	0,021	0	0	0,005	0,047	356,41	0,029	0	0,015	0	0	0	0	0
M5A5	0,026	0	0	0,005	0,057	360,21	0,029	0	0,026	0	0	0	0	0
M5A6	0,099	0	0	0,005	0,068	344,27	0,032	0	0,247	0	0	0	0	5E-05
M5A7	26,9	0	0	0,003	0,073	230,83	0,048	0	7,4	0,776	8E-04	0	0	2E-04

M5A8	26,53	0	0	9E-04	0,089	223,91	0,046	0	7,011	1,234	9E-04	0	0	0
M5AD	0,016	0	0	0,006	0,031	352,14	0,018	0	0,011	0	0	0	0	0
M5H1	0,016	0	0	0,014	0,047	329,84	0,027	0	0,011	0,068	0	0	0	0
M5H2	0,021	0	0	0,014	0,052	332,45	0,021	0	0,014	0,089	0	0	0	5E-05
M5H3	0,01	0	0	0,012	0,057	317,19	0,031	0	0,01	0	0	0	0	0
M5H4	0,016	0	0	0,013	0,057	320,42	0,045	0	0,022	0	0	1E-04	0	0
M5H5	0,016	0	0	0,012	0,062	325,83	0,045	0	0,426	0	0	0	0	0
M5H6	0,052	0	0	0,011	0,068	316,41	0,045	0	3,538	0	0	0	0	0
M5H7	25,71	0,007	0	0,001	0,052	220,99	0,047	0	7,11	0,547	7E-04	0	0	0
M5H8	26,03	0	0	1E-03	0,078	215,68	0,044	0	6,841	1,349	1E-03	0	0	0
M5HD	0,026	0	0	0,013	0,036	328,39	0,007	0	0,014	0	0	0	0,312	0
M5CH1	0,026	0	0	0,004	0,062	343,65	0,023	0	0,01	0	3E-04	0	0	0
M5CH2	0,026	0	0	0,003	0,068	321,35	0,036	0	0,013	0	0	0	0	0
M5CH3	0,031	0	0	0,003	0,068	337,55	0,042	0	0,017	0	0	0	0	0
M5CH4	0,031	0	0	0,002	0,073	348,75	0,041	0	0,062	0	0	0	0	0
M5CH5	0,089	0	0	0,002	0,073	321,35	0,039	0	0,483	0	0	1E-04	0	0
M5CH6	26,01	0,005	0	0,002	0,073	216,72	0,043	0	6,857	0,448	6E-04	0	0	0
M5CH7	25,11	0	0	0,001	0,089	214,64	0,044	0	6,714	1,125	8E-04	0	0	0
M5CHD	0,031	0	0	0,005	0,031	330,57	0,018	0	0,013	0,099	0	0	0	0
M5MC1	0,125	0	0	0,028	0,031	533,33	0	4E-04	0,017	0	0	0	0,99	5E-05
M5MC2	0,016	0	0	0,027	0,031	256,67	0	3E-04	0,011	0	0	0	0,833	0
M5MC3	0,016	0	0	0,023	0,031	225,21	0	3E-04	0,011	0	0	1E-04	0,781	0
M5MC4	0,016	0	0	0,021	0,047	212,66	0	3E-04	0,012	0	0	0	0,833	0
M5MC5	0,016	0	0	0,02	0,052	209,9	0	3E-04	0,011	0,12	0	0	0,937	0
M5MC6	0,016	0	0	0,012	0,047	203,54	0	3E-04	0,011	0	0	0	0,781	0
M5MC7	0,021	0	0	0,006	0,047	235,42	0,005	3E-04	0,011	0	0	0	0,729	0
M5MC8	0,016	0	0	0,005	0,042	227,29	0,005	3E-04	0,01	0	0	0	0,729	0
M5MCD	0,021	0	0	0,027	0,036	534,69	0	4E-04	0,019	0	0	0	1,042	0
M5MA1	0,021	0	0	0,027	0,031	523,75	0	3E-04	0,017	0	0	5E-05	0,417	0
M5MA2	0,016	0	0	0,027	0,036	223,8	0	2E-04	0,01	0	0	0	0	0
M5MA3	0,016	0	0	0,023	0,036	203,54	0	1E-04	0,011	0	0	1E-04	0	0
M5MA4	0,016	0	0	0,022	0,042	212,86	0	1E-04	0,011	0	0	2E-04	0	0
M5MA5	0,026	0	0	0,019	0,026	208,02	0	0	0,015	0	0	0	0,26	5E-05
M5MA6	0,021	0	0	0,008	0,031	206,25	0	0	0,012	0	0	0	0,312	0
M5MA7	0,021	0	0	0,006	0,036	233,85	0,003	0	0,014	0	0	0	0,312	5E-05
M5MA8	0,021	0	0	0,007	0,031	216,67	0,002	0	0,015	0	0	0	0,312	0
M5MAD	0,016	0	0	0,027	0,036	514,84	0	3E-04	0,016	0	0	0	0,417	0
M5MH1	0,01	0	0	0,026	0,036	545,52	0	5E-04	0,017	0	0	0	0,677	0
M5MH2	0,01	0	0	0,027	0,031	370,62	0	4E-04	0,016	0	0	0	0,469	0
M5MH3	0,01	0	0	0,025	0,031	213,54	0	2E-04	0,011	0	0	0	0,312	0
M5MH4	0,005	0	0	0,022	0,031	197,71	0	2E-04	0,009	0	0	1E-04	0,26	0
M5MH5	0,005	0	0	0,017	0,031	201,67	0	1E-04	0,01	0	0	0	0,26	0
M5MH6	0,01	0	0	0,009	0,026	197,86	0	5E-05	0,011	0	0	0	0	0

M5MH7	0,016	0	0	0,006	0,026	198,65	5E-04	1E-04	0,013	0	0	0	0,417	0
M5MH8	0,016	0	0	0,006	0,031	186,67	3E-04	1E-04	0,012	0	0	5E-05	0,312	0
M5MHD	0,005	0	0	0,027	0,036	543,12	0	5E-04	0,018	0	0	0	0,625	0
M5MCH1	0,01	0	0	0,027	0,036	252,55	0	2E-04	0,012	0	0	2E-04	0	0
M5MCH2	0,01	0	0	0,027	0,042	210,52	0	2E-04	0,01	0	0	5E-05	0	0
M5MCH3	0,016	0	0	0,026	0,036	208,39	0	2E-04	0,011	0	0	2E-04	0	0
M5MCH4	0,005	0	0	0,024	0,031	207,08	0	1E-04	0,01	0	0	1E-04	0	0
M5MCH5	0,016	0	0,026	0,021	0,031	206,82	0	2E-04	0,014	0	0	0,003	0	0
M5MCH6	0,021	0	0,031	0,011	0,031	175,83	3E-04	1E-04	0,011	0	0	1E-04	0	0
M5MCH7	0,016	0	0,036	0,011	0,036	179,27	3E-04	1E-04	0,01	0	0	0	0	0
M5MCH8	0,016	0	0,036	0,009	0,036	169,9	3E-04	1E-04	0,018	0	0	0,003	0	0
M5MCHD	0,01	0	0	0,027	0,036	269,9	0	3E-04	0,011	0	0	5E-05	0	0
M6C1	0,026	0	0	0,009	0,042	338,59	0,045	4E-04	0,024	0	0	5E-05	0,677	5E-05
M6C2	0,021	0	0	0,009	0,047	330,36	0,044	5E-04	0,023	0	0	0	0,677	5E-05
M6C3	0,021	0	0	0,009	0,042	322,24	0,042	5E-04	0,218	0	0	0	0,729	5E-05
M6C4	0,036	0	0	0,009	0,047	330,73	0,043	5E-04	0,472	0	3E-04	2E-04	0,937	1E-04
M6C5	0,031	0	0	0,009	0,042	324,37	0,043	4E-04	1,284	0	3E-04	0	0,885	1E-04
M6C6	0,094	0	0	0,006	0,042	319,48	0,044	2E-04	2,415	0	3E-04	0	0,729	3E-04
M6C7	23,8	0,008	0,031	0,002	0,047	201,04	0,056	5E-05	6,725	0,469	7E-04	0	0	1E-04
M6C8	24,36	0	0,042	0,002	0,062	172,03	0,064	2E-04	6,521	0,651	7E-04	0	0,365	1E-04
M6CD	0,052	0	0	0,01	0,036	311,61	0,037	5E-04	0,017	0	5E-04	0	0,781	1E-04
M6A1	0,026	0	0,026	0,005	0,047	339,06	0,022	0	0,011	0	3E-04	0	0	5E-05
M6A2	0,026	0	0	0,005	0,052	323,49	0,024	0	0,011	0	0	0	0	5E-05
M6A3	0,026	0	0	0,005	0,047	328,49	0,023	0	0,012	0	0	0	0	5E-05
M6A4	0,026	0	0	0,005	0,047	329,17	0,022	0	0,012	0	0	0	0	0
M6A5	0,042	0	0	0,005	0,036	312,66	0,019	0	0,03	0	0	0	0	5E-05
M6A6	0,094	0	0	0,005	0,036	304,37	0,031	0	0,31	0	3E-04	0	0,469	0
M6A7	24,05	0,004	0,026	0,003	0,047	198,39	0,062	2E-04	6,574	0,635	6E-04	0	0,312	0
M6A8	24,04	0	0,031	0,003	0,057	201,93	0,064	2E-04	6,626	0,661	7E-04	0	0,365	5E-05
M6AD	0,031	0	0	0,005	0,047	323,91	0,02	0	0,015	0	3E-04	0	0	1E-04
M6H1	0,036	0	0	0,039	0,042	338,8	0,037	5E-05	0,016	0,094	4E-04	0,002	0	0
M6H2	0,026	0	0	0,037	0,042	319,32	0,029	5E-05	0,011	0,099	3E-04	1E-04	0	0
M6H3	0,036	0	0	0,036	0,047	335,99	0,043	5E-05	0,017	0,125	3E-04	1E-04	0,312	0
M6H4	0,021	0	0	0,048	0,036	262,45	0,028	0	0,023	0	0	0	0	0
M6H5	0,021	0	0	0,046	0,042	314,22	0,039	0	0,643	0,068	0	0	0	0
M6H6	0,094	0	0	0,047	0,047	313,65	0,046	5E-05	3,507	0	3E-04	1E-04	0	1E-04
M6H7	24,43	0,007	0,031	0,068	0,042	214,53	0,063	1E-04	6,509	0,479	7E-04	0	0	0
M6H8	24,64	0	0,031	0,072	0,047	192,08	0,063	2E-04	6,514	0,734	7E-04	1E-04	0,312	5E-05
M6HD	0,026	0	0	0,036	0,042	310,68	0,021	5E-05	0,011	0	4E-04	2E-04	0	0
M6CH1	0,036	0	0	0,068	0,047	335,78	0,044	5E-05	0,014	0	3E-04	0	0	0
M6CH2	0,052	0	0	0,528	0,047	329,58	0,036	1E-04	0,027	0	3E-04	0,001	0	1E-04
M6CH3	0,036	0	0	0,229	0,047	306,51	0,029	0	0,046	0	0	0	0	0
M6CH4	0,042	0	0	0,003	0,052	327,86	0,035	1E-04	0,143	0,052	0	0	0,573	5E-05

M6CH5	0,13	0	0	0,003	0,047	302,71	0,033	5E-05	0,359	0	0	0	0,312	5E-05
M6CH6	25,11	0,01	0	0,003	0,052	252,29	0,055	1E-04	7,783	0,411	6E-04	5E-05	0,365	5E-05
M6CH7	15,4	0	0	0,002	0,036	168,33	0,039	1E-04	5,037	0,411	5E-04	0	0,26	1E-04
M6CHD	0,036	0	0	0,07	0,042	308,12	0,027	0	0,012	0	3E-04	4E-04	0	0
M6MC1	0,021	0	0	0,026	0,031	222,97	0	3E-04	0,01	0	0	5E-05	0,729	0
M6MC2	0,026	0	0	0,025	0,031	218,54	0	3E-04	0,011	0	0	0	0,677	0
M6MC3	0,016	0	0	0,023	0,026	210,21	0	3E-04	0,011	0	0	0	0,625	0
M6MC4	0,016	0	0	0,022	0,031	215,78	0	3E-04	0,009	0	0	0	0,677	0
M6MC5	0,021	0	0	0,021	0,031	213,18	0	3E-04	0,011	0	0	5E-05	0,677	0
M6MC6	0,016	0	0	0,01	0,036	216,04	5E-04	4E-04	0,013	0	0	0	0,729	0
M6MC7	0,026	0	0	0,016	0,031	259,79	0,018	4E-04	0,016	0	0	4E-04	0,729	0
M6MC8	0,021	0	0	0,008	0,031	258,49	0,019	4E-04	0,012	0	0	0	0,729	0
M6MCD	0,021	0	0	0,029	0,026	234,37	0	3E-04	0,01	0	0	0	0,833	0
M6MA1	0,026	0	0	0,03	0,031	208,33	0	2E-04	0,01	0	0	5E-04	0,26	0
M6MA2	0,031	0	0	0,031	0,031	206,72	0	1E-04	0,013	0	0	0	0,26	0
M6MA3	0,021	0	0	0,025	0,031	195,05	0	5E-05	0,01	0	0	0	0	0
M6MA4	0,021	0	0	0,025	0,026	195,31	0	5E-05	0,013	0	0	0	0	0
M6MA5	0,016	0	0	0,019	0,031	196,15	0	0	0,009	0	0	0	0	0
M6MA6	0,026	0	0	0,007	0,031	191,15	0	0	0,017	0	0	0	0	0
M6MA7	0,026	0	0	0,005	0,031	214,01	0,003	0	0,015	0	0	5E-05	0	0
M6MA8	0,026	0	0	0,006	0,031	206,87	0,002	0	0,012	0	0	1E-04	0	0
M6MAD	0,016	0	0	0,03	0,031	215,62	0	2E-04	0,01	0	0	0	0,26	0
M6MH1	0,01	0	0	0,027	0,036	233,91	0	4E-04	0,013	0	0	3E-04	0,365	0
M6MH2	0,01	0	0	0,028	0,036	223,18	0	3E-04	0,011	0	0	1E-04	0,312	0
M6MH3	0,016	0	0	0,024	0,036	202,97	0	2E-04	0,017	0	0	4E-04	0,312	0
M6MH4	0,016	0	0	0,024	0,031	210	0	2E-04	0,015	0	0	7E-04	0,365	0
M6MH5	0,026	0	0	0,018	0,031	197,24	0	1E-04	0,016	0	0	3E-04	0,312	0
M6MH6	0,031	0	0	0,01	0,031	197,71	2E-04	1E-04	0,017	0	0	2E-04	0,312	0
M6MH7	0,026	0	0	0,01	0,026	243,44	0,005	1E-04	0,012	0	0	1E-04	0,312	0
M6MH8	0,026	0	0	0,009	0,031	217,97	0,005	1E-04	0,011	0	0	0	0,312	1E-04
M6MHD	0,016	0	0	0,028	0,031	255,21	0	4E-04	0,012	0	0	5E-04	0,417	0
M6MCH1	0,016	0	0	0,027	0,042	191,3	0	2E-04	0,012	0	0	3E-04	0	0
M6MCH2	0,016	0	0	0,029	0,042	194,01	0	2E-04	0,01	0	0	2E-04	0	0
M6MCH3	0,005	0	0	0,027	0,036	192,19	0	2E-04	0,009	0	0	0	0	0
M6MCH4	0,021	0	0	0,026	0,036	186,41	0	2E-04	0,011	0	0	3E-04	0	0
M6MCH5	0,016	0	0	0,023	0,036	178,23	0	1E-04	0,012	0	0	6E-04	0	0
M6MCH6	0,016	0	0	0,022	0,042	197,14	0	1E-04	0,014	0	0	0,001	0	0
M6MCH7	0,026	0	0	0,014	0,036	177,45	6E-04	1E-04	0,018	0	0	0,005	0,26	0
M6MCH8	0,01	0	0	0,013	0,042	177,81	8E-04	1E-04	0,009	0	0	5E-05	0	0
M6MCHD	0,01	0	0	0,027	0,036	197,14	0	2E-04	0,009	0	0	2E-04	0	0

Elemento (ppm)	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Rb	S	Si	Sn	Sr	Tl	V	Zn
Detection limit	0,1 ppb	0,05 ppm	0,05 ppb	0,05 ppm	0,2 ppb	10 ppb	0,01 ppb	1 ppm	40 ppb	0,05 ppb	0,01 ppb	0,01 ppb	0,2 ppb	0,5 ppb
M4C1	0	59,427	7,145	166,72	0,041	0,078	0,005	380,2	2,521	0	0,169	0	0	0,707
M4C8	5E-04	62,969	7,198	174,17	0,028	0,099	2E-04	411,5	0	0	0,121	0	0	3,06
M4CD	5E-04	63,49	7,722	175,31	0,116	0,073	0,006	406,2	2,573	0	0,189	0	0	0,759
M4MC1	0,006	95,156	0,002	165,42	0	0,073	0,008	640,6	0	0	0,422	4E-04	0,006	0,023
M4MC8	0,001	90,677	2,885	172,4	0,042	0,099	0,006	406,2	1,594	0	0,156	0	0,003	0,255
M4MCD	0,007	100,57	0,006	172,14	0	0,073	0,009	666,7	0	0	0,449	3E-04	0,006	0,037
M4A1	0	58,906	5,262	167,19	0,113	0,219	2E-04	380,2	0	0	0,765	0	0	0,94
M4A8	0	59,427	6,887	164,01	0,028	0,078	1E-04	395,8	0	0	0,115	0	0	2,962
M4AD	0	65,469	5,768	175,78	0,241	0,208	3E-04	416,7	0	0	0,847	0	0	0,773
M4MA1	0,005	85,469	0,005	145,16	0	0,073	0,004	557,3	0	0	0,778	2E-04	0,005	0,028
M4MA8	0,001	92,552	0,486	143,12	0,017	0,094	6E-04	322,9	0	0	0,505	0	0,007	0,065
M4MAD	0,006	107,66	0,002	180,99	0	0,083	0,004	708,3	0	0	0,983	3E-04	0,006	0,025
M4H1	0	60,625	6,454	166,09	0,012	0,521	2E-04	401	0	0	0,415	0	0	0,114
M4H8	0	61,354	6,976	168,91	0,031	0,073	1E-04	416,7	0	0	0,108	0	0	3,015
M4HD	0	63,646	6,931	174,48	0,021	0,479	3E-04	416,7	0	0	0,447	0	0	0,126
M4MH1	0,007	102,03	0,003	166,67	0	0,089	0,004	651	0	0	0,607	3E-04	0,006	0,028
M4MH8	0,002	132,81	0,213	174,69	0,002	0,12	7E-04	411,5	0	0	0,239	5E-05	0,018	0,036
M4MHD	0,006	105,68	0,002	167,86	0	0,052	0,004	666,7	0	0	0,585	3E-04	0,006	0,023
M4CH1	5E-04	58,854	6,211	167,34	0,057	0,13	1E-04	375	0	0	0,491	0	0	0,484
M4CH7	0	61,094	7,176	171,56	0,03	0,068	5E-05	411,5	0	0	0,115	0	0	3,178
M4CHD	5E-04	64,635	6,697	176,09	0,132	0,125	1E-04	406,2	0	0	0,528	0	0	0,365
M4MCH1	0,006	97,865	0,005	165,99	0	0,073	0,004	619,8	0	0	0,642	3E-04	0,006	0,03
M4MCH8	0,003	116,87	0,144	172,14	0,003	0,099	9E-04	395,8	0	0	0,409	1E-04	0,009	0,032
M4MCHD	0,006	101,98	0,005	172,19	0	0,068	0,004	661,5	0	0	0,664	3E-04	0,005	0,029
M5C1	5E-04	60,729	7,399	171,72	0,038	0,089	0,005	401	2,547	0	0,171	0	0	1,014
M5C2	5E-04	60,885	7,432	172,03	0,055	0,089	0,005	406,2	1,937	0	0,169	0	0	1,887
M5C3	5E-04	60,677	7,326	166,82	0,056	0,073	0,005	395,8	1,505	0	0,165	0	0	2,166
M5C4	0	58,906	7,23	163,75	0,047	0,089	0,004	390,6	1,047	0	0,161	0	0	2,792
M5C5	0	62,917	7,566	173,28	0,032	0,104	0,003	416,7	0,693	0	0,173	0	0	2,966
M5C6	0	60,99	7,262	168,75	0,027	0,104	0,001	406,2	0,474	0	0,165	0	0	2,653
M5C7	0	59,635	6,86	137,29	0,027	0,073	1E-04	375	0	0	0,113	0	0	2,889
M5C8	0	62,24	7,108	136,87	0,027	0,078	2E-04	390,6	0,656	0	0,116	0	0	3,066
M5CD	5E-04	62,292	7,256	168,18	0,116	0,109	0,005	395,8	2,953	0	0,174	0	0	0,748
M5A1	0	61,719	4,967	174,27	0,109	0,208	2E-04	411,5	0	0	0,775	0	0	0,843
M5A2	0	61,354	4,832	172,29	0,12	0,182	1E-04	411,5	0	0	0,736	0	0	1,668
M5A3	0	63,229	4,921	177,14	0,093	0,161	2E-04	416,7	0	0	0,721	0	0	2,13
M5A4	0	64,01	5,065	180,78	0,075	0,125	2E-04	421,9	0	0	0,715	0	0	2,273
M5A5	0	63,906	5,438	178,96	0,052	0,12	2E-04	427,1	0	0	0,704	0	0	2,551
M5A6	0	61,51	5,494	172,5	0,041	0,109	3E-04	411,5	0	0	0,663	0	0	2,827
M5A7	0	62,917	7,413	128,39	0,031	0	4E-04	385,4	0	0	0,129	0	0	3,335

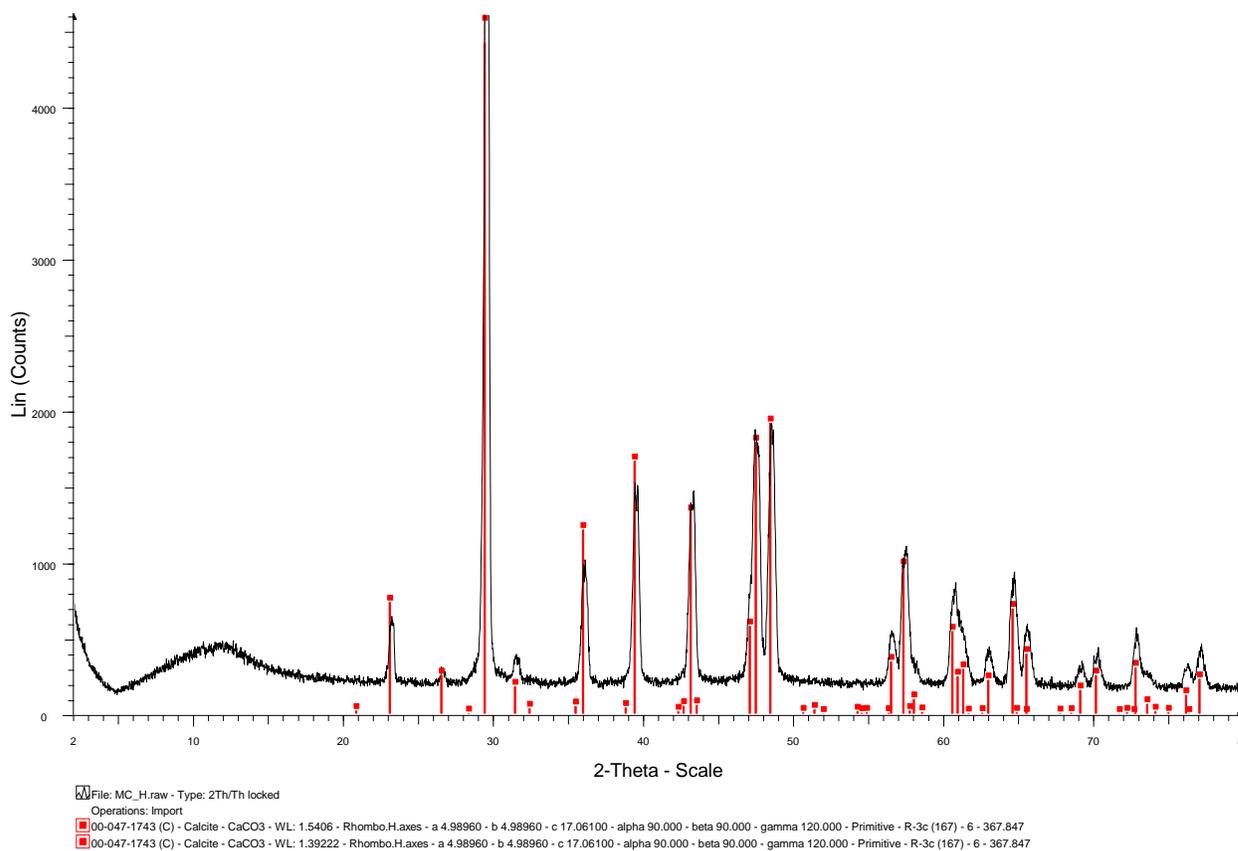
M5A8	0	62,917	7,257	121,67	0,028	0,099	2E-04	380,2	0	0	0,115	0	0	3,077
M5AD	0	62,917	5,207	177,19	0,119	0,198	2E-04	416,7	0	0	0,804	0	0	0,67
M5H1	0	61,771	7,026	168,75	0,032	0,448	2E-04	406,2	0	0	0,436	0	0	0,112
M5H2	0	63,906	7,267	171,87	0,027	0,37	3E-04	411,5	0	0	0,437	0	0	0,23
M5H3	0	60,729	6,854	166,04	0,042	0,271	1E-04	385,4	0	0	0,418	0	0	0,727
M5H4	0	62,083	7,087	169,53	0,047	0,234	2E-04	401	0	0	0,427	0	0	1,685
M5H5	0	62,865	7,065	170,68	0,04	0,151	2E-04	406,2	0	0	0,423	0	0	2,723
M5H6	0	61,25	6,814	168,85	0,027	0,104	1E-04	406,2	0	0	0,423	0	0	2,737
M5H7	0	61,771	7,134	166,04	0,024	0,068	5E-05	401	0	0	0,121	0	0	2,934
M5H8	0	60,312	7,047	91,25	0,025	0,073	1E-04	359,4	0	0	0,112	0	0	2,966
M5HD	0	61,562	6,921	168,12	0,012	0,495	3E-04	395,8	0	0	0,453	0	0	0,085
M5CH1	5E-04	60,833	6,816	170,16	0,063	0,13	5E-05	406,2	0	0	0,526	0	0	0,76
M5CH2	0	57,5	6,212	160,42	0,096	0,089	5E-05	380,2	0	0	0,471	0	0	1,897
M5CH3	0	60,312	6,465	168,39	0,087	0,078	1E-04	395,8	0	0	0,491	0	0	2,362
M5CH4	0	61,042	6,601	173,39	0,056	0,068	2E-04	406,2	0	0	0,515	0	0	2,783
M5CH5	0	60,365	6,334	169,58	0,036	0,062	2E-04	401	0	4E-04	0,459	0	0	2,695
M5CH6	0	59,323	6,897	157,92	0,026	0,078	2E-04	390,6	0	0	0,115	0	0	2,843
M5CH7	0	59,01	6,971	134,69	0,026	0,068	1E-04	375	0	0	0,112	0	0	2,917
M5CHD	5E-04	63,437	6,429	164,01	0,175	0,156	1E-04	395,8	0	0	0,567	0	0	0,826
M5MC1	0,006	96,875	0,01	165,89	0	0,083	0,008	635,4	0	0	0,424	3E-04	0,006	0,026
M5MC2	0,004	102,4	5E-04	166,77	0	0,083	0,006	427,1	0	0	0,181	4E-04	0,007	0,019
M5MC3	0,004	107,29	6E-04	169,53	0	0,089	0,006	406,2	0	0	0,149	3E-04	0,007	0,019
M5MC4	0,003	101,87	0,001	164,9	0	0,089	0,005	385,4	0	3E-04	0,134	3E-04	0,006	0,021
M5MC5	0,003	102,03	0,003	163,18	0	0,068	0,006	385,4	0	3E-04	0,13	2E-04	0,006	0,032
M5MC6	0,002	105,21	0,01	163,33	0	0,078	0,005	385,4	0	0	0,126	5E-05	0,006	0,033
M5MC7	0,001	93,646	1,654	161,93	0,024	0,089	0,005	385,4	1,193	0	0,133	0	0,003	0,171
M5MC8	0,001	95,885	1,413	164,01	0,023	0,083	0,005	380,2	1,135	0	0,131	0	0,003	0,147
M5MCD	0,006	95,729	0,004	167,29	0	0,083	0,008	635,4	0	0	0,422	3E-04	0,005	0,04
M5MA1	0,005	105	0,003	168,91	0	0,12	0,004	656,2	0	0	0,863	2E-04	0,005	0,016
M5MA2	0,003	111,56	9E-04	170,47	0	0,068	1E-03	421,9	0	0	0,626	2E-04	0,006	0,012
M5MA3	0,002	109,17	0,002	165,73	0	0,062	6E-04	390,6	0	0	0,59	2E-04	0,006	0,022
M5MA4	0,002	111,51	0,001	173,28	0	0,068	5E-04	406,2	0	0	0,625	2E-04	0,006	0,016
M5MA5	0,002	113,18	0,002	171,61	0	0,068	6E-04	390,6	0	0	0,62	1E-04	0,007	0,027
M5MA6	0,001	114,53	0,023	171,35	0	0,062	7E-04	390,6	0	0	0,601	0	0,008	0,033
M5MA7	0,001	105,1	0,896	173,65	0,028	0,099	6E-04	390,6	0	0	0,633	0	0,009	0,111
M5MA8	0,001	111,3	0,62	172,5	0,022	0,104	6E-04	390,6	0	3E-04	0,614	0	0,009	0,084
M5MAD	0,005	100,62	0,004	165,26	0	0,062	0,004	625	0	3E-04	0,823	2E-04	0,005	0,018
M5MH1	0,006	110,05	0,003	169,64	0	0,068	0,004	656,2	0	0	0,568	3E-04	0,006	0,015
M5MH2	0,004	103,44	0,002	161,87	0	0,062	0,002	520,8	0	3E-04	0,456	2E-04	0,006	0,015
M5MH3	0,003	110,16	0,002	168,54	0,002	0,078	8E-04	395,8	0	0	0,331	1E-04	0,007	0,012
M5MH4	0,002	105,94	0,001	161,93	0	0,057	6E-04	369,8	0	0	0,316	1E-04	0,006	0,015
M5MH5	0,002	108,44	0,001	164,06	0	0,073	4E-04	380,2	0	0	0,316	1E-04	0,006	0,02
M5MH6	0,001	112,81	0,029	164,79	0	0,068	4E-04	380,2	0	3E-04	0,292	1E-04	0,008	0,028

M5MH7	0,002	129,9	0,436	174,11	0,003	0,12	7E-04	406,2	0	4E-04	0,263	5E-05	0,016	0,033
M5MH8	0,002	131,51	0,14	174,06	0,002	0,083	6E-04	395,8	0	3E-04	0,249	5E-05	0,019	0,026
M5MHD	0,006	109,27	0,002	171,3	0,003	0,057	0,004	651	0	3E-04	0,573	3E-04	0,006	0,015
M5MCH1	0,004	104,84	0,003	169,06	0	0,068	0,002	411,5	0	0	0,462	3E-04	0,006	0,013
M5MCH2	0,003	104,74	0,001	164,79	0,001	0,052	8E-04	380,2	0	0	0,424	3E-04	0,006	0,041
M5MCH3	0,003	109,64	0,003	168,07	0,001	0	8E-04	385,4	0	0	0,43	3E-04	0,007	0,02
M5MCH4	0,003	108,85	0,001	167,71	0	0,052	5E-04	380,2	0	0	0,423	3E-04	0,006	0,019
M5MCH5	0,003	115,21	0,006	172,34	0,002	0,083	5E-04	390,6	0	3E-04	0,425	2E-04	0,007	0,024
M5MCH6	0,003	125,05	0,096	167,71	0,004	0,068	7E-04	380,2	0	0	0,361	2E-04	0,011	0,03
M5MCH7	0,003	126,93	0,09	169,27	0,003	0,062	7E-04	385,4	0	0	0,367	1E-04	0,01	0,032
M5MCH8	0,004	127,81	0,065	167,08	0,005	0,068	6E-04	380,2	0	0,005	0,342	1E-04	0,011	0,023
M5MCHD	0,004	106,35	0,005	171,61	0,002	0,052	0,002	437,5	0	3E-04	0,487	2E-04	0,006	0,017
M6C1	0,002	62,917	7,752	174,27	0,068	0,052	0,005	401	2,333	0	0,206	0	0	1,981
M6C2	0,001	60,104	7,69	169,74	0,051	0,073	0,005	395,8	2,292	0	0,202	0	0	2,465
M6C3	0,001	59,167	7,378	167,71	0,043	0,068	0,005	380,2	2,594	4E-04	0,196	0	0	2,251
M6C4	0,002	61,927	7,437	172,76	0,037	0,078	0,005	390,6	2,932	0	0,196	0	0	2,43
M6C5	0,001	60,312	7,307	169,84	0,026	0,057	0,004	390,6	2,562	0	0,193	0	0	2,473
M6C6	0,001	59,844	7,361	168,65	0,019	0,078	0,003	390,6	1,698	0	0,196	0	0	2,367
M6C7	0,002	59,427	6,904	143,33	0,014	0,073	4E-04	343,7	0,219	0	0,153	0	0	2,934
M6C8	0,003	59,531	6,75	99,375	0,017	0,089	8E-04	312,5	0,354	0	0,166	0	0	2,846
M6CD	0,002	59,375	7,385	171,87	0,059	0,089	0,004	375	2,193	0	0,187	0	0	1,798
M6A1	0,001	60,104	4,783	171,67	0,095	0,146	3E-04	380,2	0	0	0,72	0	0	1,424
M6A2	0,001	57,708	4,314	162,97	0,082	0,135	2E-04	369,8	0	0	0,691	0	0	1,776
M6A3	0,001	58,281	4,249	165,94	0,056	0,125	2E-04	375	0	0	0,69	0	0	2,058
M6A4	0,001	58,49	3,887	166,46	0,045	0,12	2E-04	369,8	0	0	0,686	0	0	1,993
M6A5	0,001	55,729	3,673	156,61	0,029	0,099	2E-04	349	0	3E-04	0,659	0	0	1,873
M6A6	0,002	56,198	5,331	142,34	0,023	0,078	3E-04	343,7	0	3E-04	0,601	0	0	2,264
M6A7	0,004	58,802	6,792	103,65	0,017	0,083	6E-04	333,3	0,318	0	0,179	0	0	2,831
M6A8	0,004	59,635	6,864	121,67	0,018	0,062	7E-04	338,5	0,333	0	0,187	0	0	2,975
M6AD	0,001	57,656	4,519	163,54	0,089	0,135	2E-04	364,6	0	0	0,691	0	0	1,229
M6H1	0,001	63,333	7,125	170,36	0,064	0,292	2E-04	395,8	0	4E-04	0,478	0	0	0,162
M6H2	0,001	58,802	6,521	161,82	0,038	0,271	3E-04	369,8	0	0	0,451	0	0	0,587
M6H3	0,001	61,562	6,834	170,05	0,045	0,234	3E-04	385,4	0	0	0,485	0	0	1,428
M6H4	0,001	48,437	5,062	133,12	0,025	0,182	2E-04	302,1	0	0	0,381	0	0	1,381
M6H5	0,001	58,646	6,319	161,61	0,018	0,151	2E-04	375	0	0	0,438	0	0	2,234
M6H6	0,001	60,99	6,821	165,94	0,012	0,125	3E-04	380,2	0	0	0,421	0	0	2,655
M6H7	0,004	60,365	6,742	132,76	0,02	0,089	4E-04	354,2	0,339	0	0,195	0	0	2,865
M6H8	0,004	59,687	6,825	121,77	0,017	0,083	7E-04	333,3	0,349	0	0,182	0	0	2,851
M6HD	0,001	57,292	6,465	156,98	0,03	0,302	2E-04	354,2	0	0	0,435	0	0	0,114
M6CH1	0,002	57,865	6,366	252,14	0,173	0,104	3E-04	432,3	0	0	0,52	0	0	2,253
M6CH2	0,002	57,031	6,171	243,91	0,099	0,115	3E-04	427,1	0	0	0,515	0	0	2,307
M6CH3	0,002	53,646	5,65	196,04	0,067	0,115	2E-04	369,8	0	0	0,484	0	0	1,923
M6CH4	0,002	57,812	6,162	195,31	0,052	0,115	4E-04	385,4	0	0	0,522	0	0	2,369

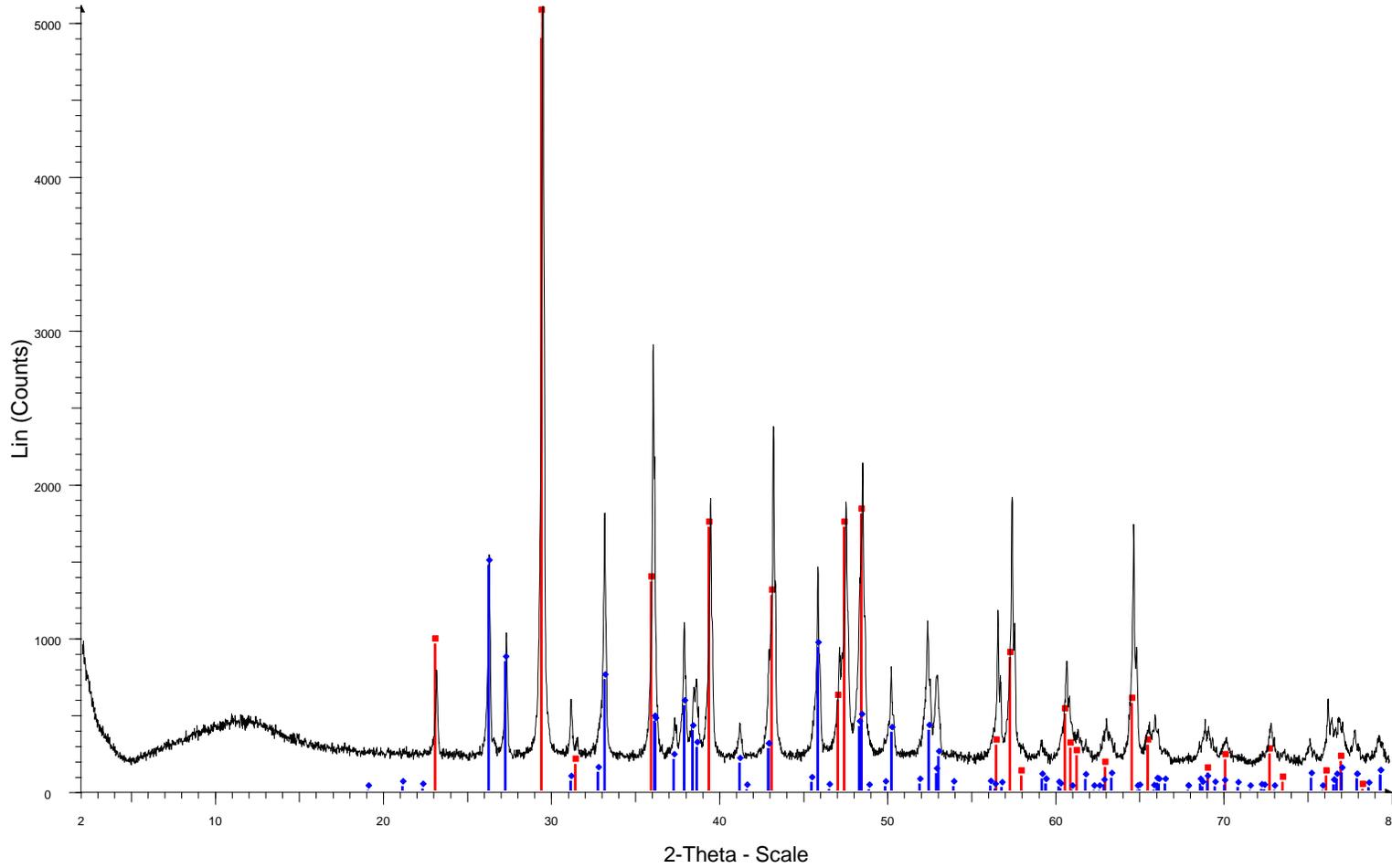
M6CH5	0,002	53,802	5,701	180,83	0,032	0,089	3E-04	359,4	0	0	0,483	0	0	2,127
M6CH6	0,003	58,698	6,655	446,3	0,025	0,068	5E-04	588,5	0,229	0	0,2	0	0	2,822
M6CH7	0,002	37,917	4,325	214,58	0,016	0,083	4E-04	322,9	0	0	0,135	0	0	2,059
M6CHD	0,001	55,365	5,98	173,8	0,079	0,109	2E-04	359,4	0	0	0,491	0	0	1,539
M6MC1	0,004	94,271	0,002	170	0	0,057	0,005	369,8	0	0	0,156	4E-04	0,006	0,016
M6MC2	0,003	97,76	0,001	169,48	0	0,068	0,005	369,8	0	0	0,148	4E-04	0,007	0,015
M6MC3	0,003	92,5	9E-04	161,82	0	0,062	0,005	354,2	0	0	0,139	3E-04	0,006	0,016
M6MC4	0,002	98,542	7E-04	168,96	0	0,052	0,005	369,8	0	0	0,145	2E-04	0,006	0,012
M6MC5	0,002	97,604	0,002	169,58	0	0,068	0,005	364,6	0	0	0,147	2E-04	0,006	0,018
M6MC6	0,002	106,35	0,097	175,26	0,001	0,057	0,005	380,2	0	0	0,15	5E-05	0,006	0,031
M6MC7	0,002	78,906	3,665	168,07	0,06	0,094	0,005	364,6	1,661	0	0,168	0	0,002	0,761
M6MC8	0,002	79,583	3,734	168,75	0,053	0,094	0,005	369,8	1,484	0	0,168	0	0,002	0,834
M6MCD	0,004	98,125	0,005	176,2	0	0,094	0,006	385,4	0	0,001	0,162	4E-04	0,006	0,021
M6MA1	0,004	97,812	0,002	158,7	0,003	0,068	0,001	354,2	0	3E-04	0,597	2E-04	0,005	0,017
M6MA2	0,003	102,34	0,001	167,6	0,012	0,062	8E-04	364,6	0	3E-04	0,593	3E-04	0,006	0,026
M6MA3	0,003	99,115	8E-04	159,32	0,002	0,099	7E-04	349	0	0	0,565	2E-04	0,006	0,037
M6MA4	0,003	103,07	7E-04	162,4	0,01	0,073	6E-04	354,2	0	0	0,583	2E-04	0,006	0,018
M6MA5	0,003	105,57	3E-04	166,51	0	0,083	5E-04	359,4	0	0	0,585	1E-04	0,006	0,011
M6MA6	0,002	105,31	0,012	164,17	0,014	0,062	5E-04	349	0	3E-04	0,557	0	0,009	0,04
M6MA7	0,002	95,781	0,744	161,3	0,035	0,099	4E-04	343,7	0	3E-04	0,572	0	0,006	0,167
M6MA8	0,002	97,344	0,586	160	0,017	0,083	4E-04	343,7	0	0	0,569	0	0,007	0,111
M6MAD	0,004	100,73	0,002	159,79	0,003	0,083	0,001	364,6	0	0	0,59	2E-04	0,005	0,016
M6MH1	0,004	102,81	0,003	164,95	0,002	0,068	0,002	385,4	0	3E-04	0,351	2E-04	0,005	0,012
M6MH2	0,003	116,46	0,002	182,03	0,002	0,052	8E-04	401	0	0	0,357	2E-04	0,006	0,013
M6MH3	0,003	105,05	0,003	164,74	0,009	0,057	7E-04	359,4	0	3E-04	0,326	2E-04	0,005	0,017
M6MH4	0,003	112,14	0,002	171,67	0,003	0,073	6E-04	380,2	0	0	0,344	2E-04	0,006	0,02
M6MH5	0,003	110,36	0,003	162,86	0	0,073	5E-04	364,6	0	0	0,315	1E-04	0,006	0,025
M6MH6	0,002	116,41	0,093	166,72	0,002	0,083	5E-04	369,8	0	3E-04	0,286	1E-04	0,007	0,032
M6MH7	0,002	104,64	2,155	171,35	0,012	0,146	4E-04	375	0	0	0,339	5E-05	0,01	0,065
M6MH8	0,002	109,17	1,656	165,73	0,012	0,135	5E-04	364,6	0	3E-04	0,302	0	0,013	0,037
M6MHD	0,004	101,15	0,003	160,26	0,004	0,078	0,002	401	0	3E-04	0,372	3E-04	0,005	0,017
M6MCH1	0,003	97,031	0,002	154,95	0,006	0,083	9E-04	338,5	0	3E-04	0,394	3E-04	0,006	0,018
M6MCH2	0,003	100,36	9E-04	162,4	0,002	0,073	7E-04	349	0	0	0,409	4E-04	0,006	0,048
M6MCH3	0,003	100,99	4E-04	158,28	0	0,057	6E-04	343,7	0	0	0,407	3E-04	0,006	0,011
M6MCH4	0,003	97,656	0,002	150,47	0	0,068	7E-04	328,1	0	3E-04	0,4	3E-04	0,006	0,014
M6MCH5	0,003	93,49	0,005	142,76	0,004	0,062	6E-04	312,5	0	4E-04	0,379	2E-04	0,006	0,016
M6MCH6	0,003	105,94	0,004	159,43	0,002	0,099	6E-04	349	0	0	0,421	2E-04	0,007	0,018
M6MCH7	0,003	100,78	0,106	150,52	0,005	0,089	7E-04	322,9	0	3E-04	0,38	2E-04	0,007	0,039
M6MCH8	0,003	100,52	0,138	148,8	0,004	0,073	7E-04	322,9	0	0	0,375	1E-04	0,008	0,04
M6MCHD	0,004	97,448	0,002	143,49	0,002	0,083	9E-04	328,1	0	0	0,396	3E-04	0,005	0,013

Anexo E: Difracción de rayos X

Resultados DRX cáscara de huevo



Resultados DRX conchillas de choritos

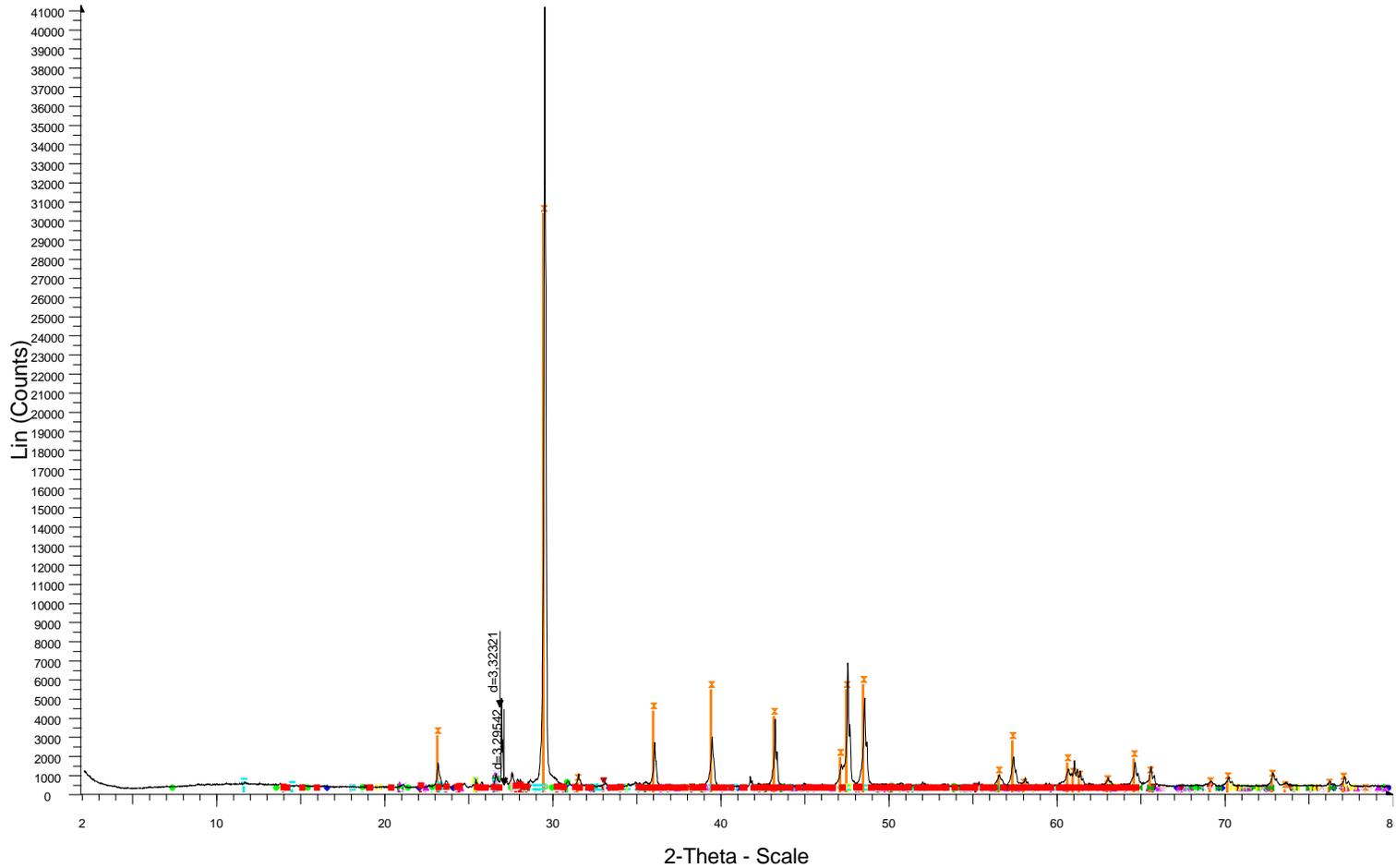


121

File: MC_CH.raw - Type: 2Th/Th locked
Operations: Import

01-072-1937 (C) - Calcite - CaCO₃ - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.99400 - b 4.99400 - c 17.08100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 368.927
01-075-2230 (C) - Aragonite - Ca(CO₃) - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.96100 - b 7.96700 - c 5.74100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pmcn (62) - 4 - 226.909

Resultados DRX calcita

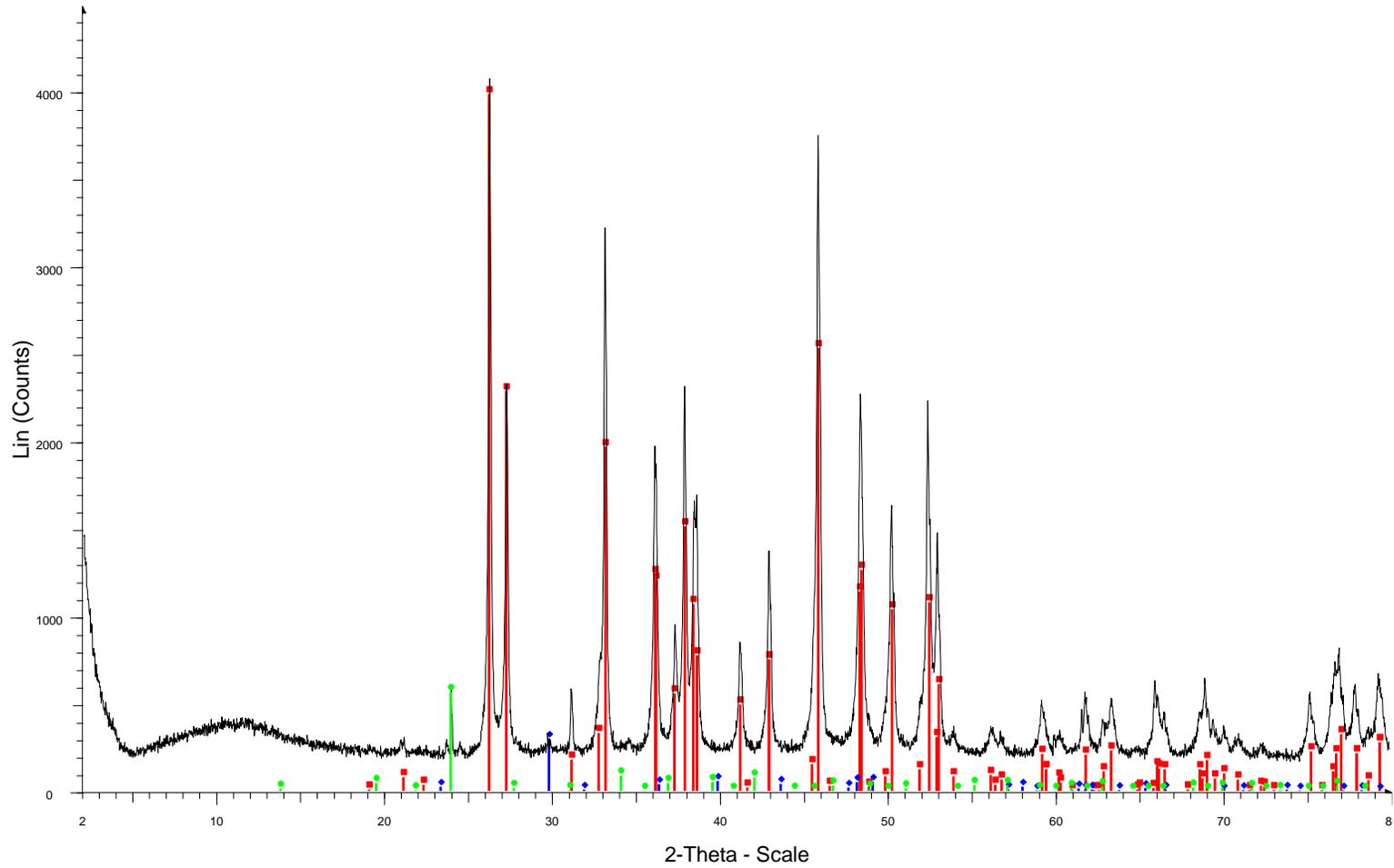


File: MC_CaCO3.raw - Type: 2Th/Th locked
Operations: Import

- 01-089-6423 (C) - Albite - Na(AlSi3O8) - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13300 - b 12.77300 - c 7.15900 - alpha 94
- ◆ 00-041-0586 (*) - Ankerite - Ca(Fe+2,Mg)(CO3)2 - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.82870 - b 4.82870 - c 1
- 00-041-1359 (N) - Ashoverite - Zn(OH)2 - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 6.82500 - b 6.82500 - c 33.36000 - alph
- ▲ 01-076-0226 (C) - Berlinite, syn - AlPO4 - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.93700 - b 4.93700 - c 10.94300 - alph
- ▼ 00-024-0508 (C) - Bixbyite-O, syn - Mn2O3 - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 9.41610 - b 9.42370 - c 9.40510 -
- ⊠ 01-072-1937 (C) - Calcite - CaCO3 - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.99400 - b 4.99400 - c 17.08100 - alph

- 01-072-1937 (C) - Calcite - CaCO3 - WL: 1.39222 - Rhombo.H.axes - a 4.99400 - b 4.99400 - c 17.08100 - alp
- 00-028-2002 (*) - Hoelite, syn - C6H4(CO)2C6H4 - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 15.81000 - b 3.96700 - c 7.876
- 01-070-1580 (C) - Pseudoecryptite, syn - Li2O(Al2O3)SiO2 - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.24090 - b 5.2409
- ⊠ 01-081-0065 (C) - Quartz - SiO2 - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.88610 - b 4.88610 - c 5.49440 - alpha 90.000
- 00-044-1486 (*) - Wulfenite, syn - PbMoO4 - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 5.43300 - b 5.43300 - c 12.11000 - al

Resultados DRX conchillas de almejas

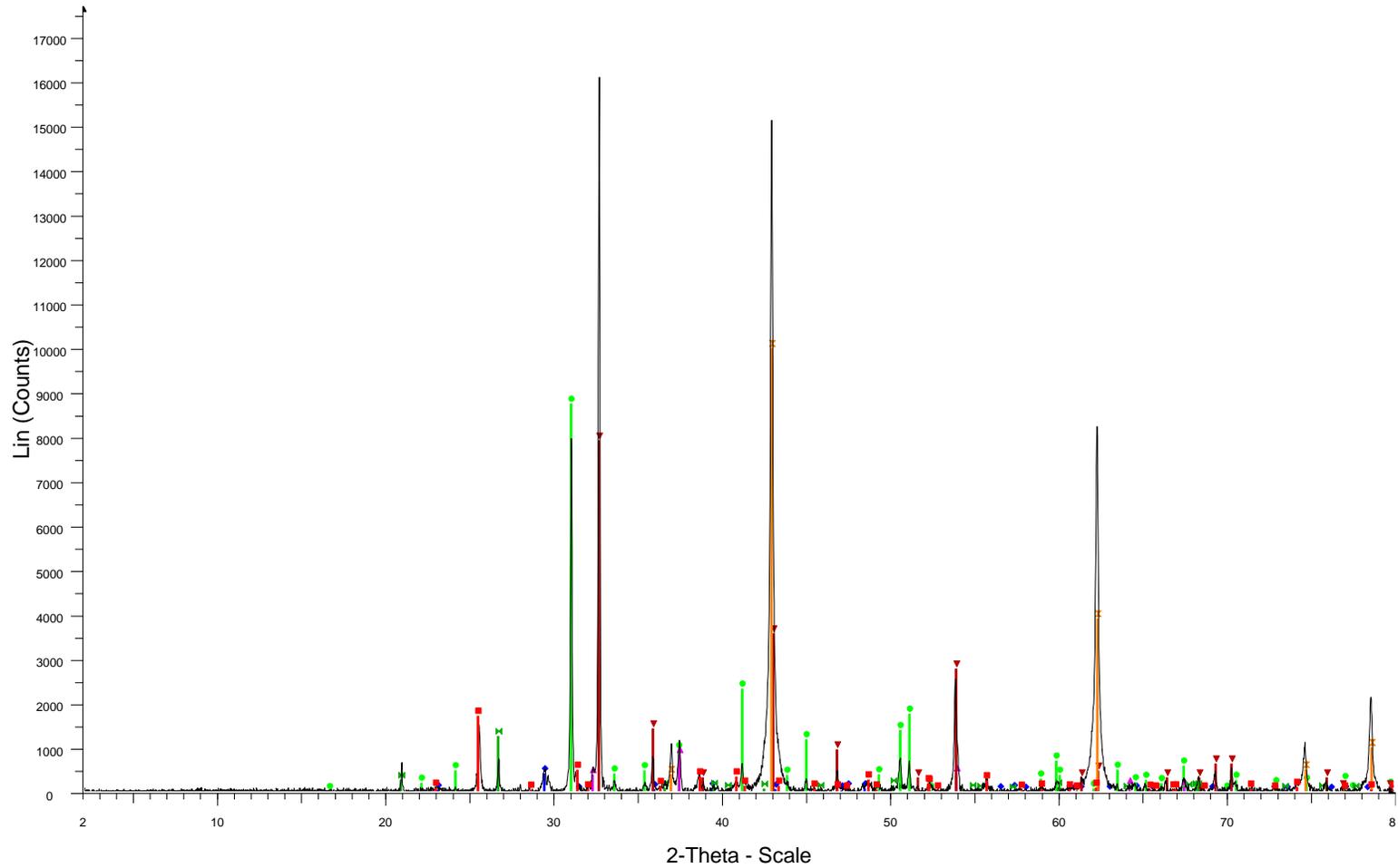


123

File: MC_ALM.raw - Type: 2Th/Th locked
Operations: Import

- 01-075-2230 (C) - Aragonite - $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ - Orthorhombic - a 4.96100 - b 7.96700 - c 5.74100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pmcn (62) - 4 - 226.909
- 01-086-2336 (C) - Calcite magnesiumian - $(\text{Mg}_{1.29}\text{Ca}_{0.871})(\text{CO}_3)$ - Rhombo.H.axes - a 4.93820 - b 4.93820 - c 16.83200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 355.471
- 01-082-1813 (C) - Sodalite - $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{MnO}_4)_2$ - Cubic - a 9.10811 - b 9.10811 - c 9.10811 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - P-43n (218) - 1 - 755.588

Resultados DRX periclase



File: MC_MgO.raw - Type: 2Th/Th locked
 Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import

- 00-037-1496 (*) - Anhydrite, syn - CaSO4 - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99330 - b 7.00170 - c 6.24110 - al
- 01-072-1937 (C) - Calcite - CaCO3 - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.99400 - b 4.99400 - c 17.08100 - alph
- 01-079-1342 (C) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80640 - b 4.80640 - c 16.0060
- 01-082-1690 (C) - Lime - CaO - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.80490 - b 4.80490 - c 4.80490 - alpha 90.000 - beta
- 00-008-0479 (I) - Magnesite, syn - MgCO3 - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.63320 - b 4.63320 - c 15.0150
- 00-045-0946 (*) - Periclase, syn - MgO - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21120 - b 4.21120 - c 4.21120 - alpha 90.00
- 01-079-1910 (C) - Quartz - SiO2 - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 - c 5.40600 - alpha 90.000