

**PREDICCIÓN DEL POTENCIAL DE FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE
MINA EN TUNELES ANTIGUOS BAJO LA LICENCIA DE AUX COLOMBIA EN
EL MUNICIPIO DE CALIFORNIA (SANTANDER)**

JOSSIE ESTEBAN MESA ESCANDÓN

HÉCTOR MAURICIO ACEVEDO PÉREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2013

**PREDICCIÓN DEL POTENCIAL DE FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE
MINA EN TUNELES ANTIGUOS BAJO LA LICENCIA DE AUX COLOMBIA EN
EL MUNICIPIO DE CALIFORNIA (SANTANDER)**

JOSSIE ESTEBAN MESA ESCANDÓN

HÉCTOR MAURICIO ACEVEDO PÉREZ

Trabajo de grado requisito parcial para optar al título de ingeniero químico

Directores:

JULIO ANDRES PEDRAZA AVELLA

Ingeniero Químico, Dr.

JULIO ELIAS PEDRAZA ROSAS

Ingeniero Metalúrgico, M.Sc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

A mis padres ARTURO JAVIER MESA y SONIA ESCANDÓN por el infinito amor y la confianza brindada durante estos años...

A mi hermano JORDY JAVIER MESA, por su aprecio y ayuda.

A mi hija ISABELLA MESA MURCIA, quien es mi motivación principal para alcanzar este logro.

A mi esposa YHOKLETSY MURCIA TAPIAS, por estar a mi lado en los momentos difíciles, por quererme y ayudarme.

A mi MAMITA DORA, Tío RICARDO y Tío CHECHE por su apoyo y consejos dados.

JOSSIE ESTEBAN MESA ESCANDÓN.

*A Dios todopoderoso y la Santísima Virgen de Monguí por haberme
permitido obtener este importante logro.*

*A mis padres HÉCTOR ACEVEDO y ROSITA PÉREZ por su infinito amor,
la confianza y el gran apoyo brindado durante estos años...*

*A mis hermanos ya que son parte fundamental de mi vida, por estar a mi
lado en las buenas y en las malas.*

*A mi Abuelita ANITA, mi madrina ROSARIO, Tíos y primos por tanto
amor, apoyo y colaboración durante toda mi vida*

*A mi sobrino NICOLAS por haberse convertido en el eje principal de toda
la familia.*

*A Diana, la Flaca, Paolita, Eliana, amigos y demás compañeros por su
amistad expresada en tanto cariño e incondicionalidad durante estos años
de vida universitaria.*

HÉCTOR MAURICIO ACEVEDO PÉREZ.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de proyecto Julio Andrés Pedraza por convertirse en un apoyo indispensable para la consolidación de este proyecto.

A nuestro co-director de proyecto Julio Elías Pedraza por su tiempo y dedicación además de su apoyo indispensable para la consolidación de este proyecto.

A todos los profesores y amigos que han hecho parte de nuestra formación como futuros profesionales en Ingeniería Química.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEORICO.....	18
1.1. FORMACIÓN DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA	18
1.1.1. OXIDACIÓN NATURAL.....	18
1.1.2. OXIDACIÓN BACTERIANA NATURAL.....	19
1.1.3. NEUTRALIZACIÓN NATURAL	19
1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DRENAJES DE MINA	20
1.3. PRUEBAS PARA PREDECIR LA FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS	20
1.3.1. ENSAYOS ESTÁTICOS	20
1.3.1.1. Ensayo de pH PASTA	21
1.3.1.2. Test ABA	21
1.3.2. ENSAYOS CINÉTICOS	22
1.3.2.1. CELDAS HÚMEDAS	22
1.3.2.2. COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN	22
1.3.2.3. ENSAYO EN BATCH.....	23
1.3.2.4. ENSAYO BRITISH COLUMBIA	23
1.4. METODOS DE TRATAMIENTO DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA	23
1.4.1. Métodos preventivos	23
1.4.2. Métodos de contención	24
1.4.3. Métodos de remediación	24
2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	25
2.1. MUESTRAS DE EXPERIMENTACIÓN	25
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS Y PRUEBAS PARA PREDECIR LA FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA.....	26
2.2.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y MINERALOGICA	26

2.2.2. ENSAYO DE pH PASTA DE LAS MUESTRAS.....	26
2.2.3. PREDICCIÓN DE LA FORMACIÓN DE DRENAJES ACIDOS DE MINA CON BASE EN LA MINERALOGIA Y EL ENSAYO DE pH PASTA.....	26
2.3. PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN EN COLUMNAS	27
2.3.1 ENSAMBLE DE LAS COLUMNAS.....	28
2.3.2. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE PERCOLACIÓN	28
2.3.3. CARGUE DE LAS COLUMNAS CON LAS MUESTRAS DE EXPERIMENTACIÓN.....	29
2.3.4. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN GENERADORA DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA.....	29
2.3.4. SELECCIÓN Y CONTROL DEL CICLO DE PERCOLACIÓN.....	30
2.3.6. EVALUACIÓN DE LA FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA	30
2.3.7. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN	32
3. ANALISIS DE RESULTADOS	43
4. CONCLUSIONES.....	47
5. RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFIA.....	50
ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución granulométrica de las muestras en estudio.....	25
Tabla 2. Características de las muestras de estudio.	27
Tabla 3. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P1	33
Tabla 4. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P2.....	34
Tabla 5. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P3.....	35
Tabla 6. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P4.....	36
Tabla 7. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P5.....	37
Tabla 8. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P6.....	38
Tabla 9. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P7.....	39
Tabla 10. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra ACR-P2	40
Tabla 11. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra ACR-P5	41
Tabla 12. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra CHUCHO2-P1	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Columnas de lixiviación	28
Figura 2. Soporte para columnas.....	28

LISTAS DE ANEXOS

ANEXO A: PROCEDIMIENTO PARA LLEVAR A CABO LA EXTRACCION DEL MATERIAL.....	53
ANEXO B: CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS (FLUORECENCIA Y DIFRACCION DE RAYOS X).....	56
ANEXO C: PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE Y RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS.	71
ANEXO D: CALCULOS PARA PREPARAR LA SOLUCIÓN LIXIVIANTE DE ACIDO SULFURICO Y PROCEDIMIENTO PARA SU VALORACIÓN.	72
ANEXO E. RESULTADOS PARA LOS PUNTOS ACR-P3, ACR-P4 Y ACR-P6... ..	74
ANEXO F: RESULTADOS DEL ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X PARA LAS COLAS DE LA LIXIVIACION EN COLUMNAS	77
ANEXO G: COMPORTAMIENTO DEL pH PARA LAS SERIES 1 Y 2.....	78
ANEXO H: CONCENTRACIÓN DE SULFATOS Y SULFATOS ACUMULADOS PARA LAS SERIES 1 Y 2.....	81
ANEXO I: CONCENTRACIÓN DE HIERRO Y HIERRO ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.	86
ANEXO J: CONCENTRACIÓN DE COBRE Y COBRE ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.	91
ANEXO K: CONCENTRACIÓN DE CALCIO Y CALCIO ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.	96
ANEXO L: CONCENTRACIÓN DE MAGNESIO Y MAGNESIO ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.....	101
ANEXO M: GRAFICAS COMPARATIVAS SULFATOS, HIERRO Y COBRE Vs. pH PARA LAS SERIES 1 Y 2.	106

RESUMEN

TITULO

PREDICCIÓN DEL POTENCIAL DE FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA EN TUNELES ANTIGUOS BAJO LA LICENCIA DE AUX COLOMBIA EN EL MUNICIPIO DE CALIFORNIA (SANTANDER)

AUTORES

HECTOR MAURICIO ACEVEDO PEREZ

JOSSIE ESTEBAN MESA ESCANDON

PALABRAS CLAVE

Lixiviación, Ácido sulfúrico, Percolación

DESCRIPCIÓN

En el presente documento se realiza una descripción teórica del potencial de formación de los drenajes ácidos de mina (DAM) o de roca (DAR), producidos principalmente en túneles antiguos, así como un análisis de los procesos químicos, biológicos y físicos, involucrados en la generación de dichos drenajes.

Adicionalmente se realiza una descripción de los principales ensayos de laboratorio, tanto estáticos como cinéticos, utilizados en la caracterización y predicción de los drenajes. Finalmente se describe el trabajo experimental realizado, el cual consiste en someter material de varias boca minas a un ensayo cinético (ensayo de columnas de lixiviación) con el fin de estudiar la evolución y características que presenta el drenaje teniendo en cuenta el tiempo de experimentación.

Los resultados se dan a conocer utilizando gráficas para comparar los cambios ocurridos en las propiedades de nuestras aguas, en donde se destacan los cambios en lo que concierne a metales disueltos contra el tiempo, pH contra el tiempo y graficas acumulativas de algunos de los metales para algunas de las muestras en estudio.

Por último se puede establecer a partir de los resultados que durante el tiempo de experimentación no se presentó algún indicio en la formación de drenajes ácidos de mina.

Proyecto de grado

Facultad de ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería Química. Director: Julio Andrés

Pedraza. Codirector: Julio Elias Pedraza.

ABSTRACT

TITLE

PREDICTION FORMING POTENTIAL ACID MINE DRAINAGE TUNNEL OLD UNDER LICENSE FROM COLOMBIA AUX IN THE DISTRICT OF CALIFORNIA (SANTANDER)

AUTHORS

HECTOR MAURICIO ACEVEDO PEREZ

JOSSIE ESTEBAN MESA ESCANDON

KEYWORDS

Leaching, sulfuric acid, Percolation

DESCRIPTION

This document is a description of the potential theoretical formation of acid mine drainage (AMD) or rock (DAR), produced mainly in ancient tunnels, as well as an analysis of the chemical, biological and physical, involved in the generation of such drains. Additionally there is a description of the main laboratory tests, static and kinetic, used in the characterization and prediction of drains. Finally, it describes the experimental work, which involves subjecting materials to various mines mouth kinetic assay (test leaching columns) in order to study the evolution and drainage characteristics presented considering experimental time. The results are disclosed using graphs to compare the changes in the properties of our waters, which highlights the changes with respect to dissolved metals against time, pH against time and cumulative graphs of some of the metals to some of the samples under study. Finally you can set from the results that during the time of testing did not show any indication in the formation of acid mine drainage.

Work Degree

Physical-chemical Engineering faculty, Department of Chemical Engineering. Director: Julio Andrés Pedraza. Codirector. Julio Elías Pedraza.

INTRODUCCIÓN

Los drenajes ácidos de mina son un grave problema ambiental provocado por la industria minera, afectando especialmente los recursos hídricos presentes en la zona de influencia. Se denominan drenajes ácidos de mina (DAM) o de roca (DAR) a las soluciones acuosas cuyo pH está en el rango de 1,5 a 5, tienen altos contenidos de sulfatos (SO_4^-), y por lo general poseen gran cantidad de metales pesados disueltos. Estos DAM son originados por la oxidación química y biológica de minerales sulfurados, siendo la pirita (FeS_2) uno de los principales. Cuando estos minerales se encuentran bajo tierra y en algunos casos cubiertos por aguas subterráneas, en donde el contacto con el oxígeno de la atmósfera es mínimo (ambiente poco reactivo), no se presenta ninguna clase de oxidación. La intervención de la industria minera fractura y retira gran cantidad de materiales con minerales sulfurados a la atmósfera, exponiéndolos al contacto con el oxígeno y por tanto provocando las reacciones de oxidación.

La empresa AUX Colombia S.A.S. al adquirir algunos títulos mineros para la explotación del oro y de la plata en el municipio de California (Santander) también adquirió algunos pasivos ambientales originados por la antigua explotación minera artesanal que tuvo lugar en esa región, entre los cuales se destacan los drenajes de mina que actualmente están generando algunos túneles antiguos.

La industria minera realiza hoy por hoy considerables inversiones, reflejadas en estudios e implementaciones tecnológicas que permitan mitigar o eliminar estos impactos; es así que la empresa AUX Colombia encomendó a la UIS el desarrollo de este trabajo; cuyo objetivo general fue predecir el potencial de formación de drenajes ácidos de mina en varios túneles antiguos de explotación de minerales auroargentíferos en el municipio de California (Santander). Los objetivos específicos fueron seleccionar y montar un sistema experimental para evaluar la formación de drenajes ácidos de mina, y además evaluar el potencial de formación de DAM de muestras tomadas de los túneles H2, Acabarropas y Chucho 2.

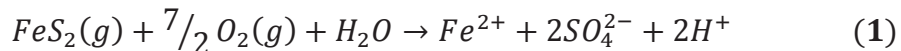
1. MARCO TEORICO

1.1. FORMACIÓN DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA

Los DAM, se generan cuando los minerales sulfurados como la pirita (FeS_2) son expuestos a la atmosfera reaccionando junto con el aire y el agua. El drenaje resultante del proceso de oxidación puede ser neutro o ácido, con o sin metales pesados disueltos, pero siempre con contenido de sulfatos. No todos los minerales sulfurados son igualmente reactivos, ni se produce la acidez en proporciones iguales. Además, no todos los minerales sulfurados o rocas con contenido de sulfuro son potencialmente generadores de ácido. Asimismo cabe destacar que debido a la alta cantidad de hierro oxidado, el drenaje ácido de la mina es a menudo de un tono rojizo coloreado. En ciertos depósitos mineros, el drenaje ácido se manifiesta desde el comienzo de las operaciones, mientras que en otros pueden pasar desde 10 hasta 60 años antes de que se observe algún indicio de dicho drenaje ^{[1][2]}.

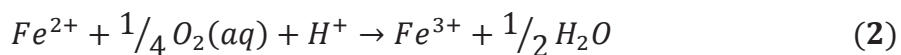
1.1.1. OXIDACIÓN NATURAL

La aparición, generación y consumo de ácido son la consecuencia de una serie de reacciones químicas interrelacionadas. Dichas reacciones se expresan generalmente como la oxidación de la pirita, uno de los minerales sulfurados más comunes. La reacción general que controla este proceso ^[3]:

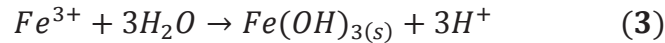


En la reacción de oxidación de la pirita (1) se produce Fe^{2+} , SO_4^{2-} e H^+ . Esta reacción provoca un incremento en el total de sólidos disueltos y un aumento de la acidez, que irá asociado a una disminución del pH.

Si el ambiente circundante es lo suficientemente oxidante, entonces muchos iones ferrosos se oxidarán a iones férricos dando origen a la reacción (2).

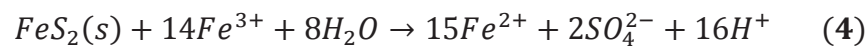


Dependiendo del pH presente en el ambiente y más aún alrededor del sitio de oxidación, el hierro férrico (Fe^{3+}) se precipita en la forma de hidróxido, reacción (3).



Además, por encima de un pH alrededor de 3, el ion férrico formado se precipita mediante hidrólisis como hidróxido presente en la reacción (3), disminuyendo por tanto el Fe^{3+} en solución, mientras que el pH baja simultáneamente.

Por último el hierro férrico que se produce puede oxidar nueva pirita, reacción (4).



Algunos cationes férricos que se mantienen en solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita y formar Fe^{2+} , SO_4^{2-} y H^+ .

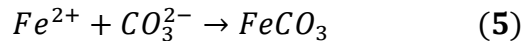
1.1.2. OXIDACIÓN BACTERIANA NATURAL

Es común observar que la disolución de los metales pesados, y en consecuencia la generación de ácido, está fuertemente ligada a un grupo de bacterias que habita en las cercanías de las minas, del tipo de las mesofílicas, como la *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Dicho microorganismo interviene en el proceso de oxidación, acelerándolo de diez a un millón de veces. Sin contar que además a las bacterias, bajo un ambiente adecuado, les lleva aproximadamente 10 semanas en incrementar la acidez del agua, y con ello producir drenaje ácido. Lo cual significa que los microorganismos tienen una rápida adaptación al medio y pueden reproducirse en éste ^[4] ^[5].

1.1.3. NEUTRALIZACIÓN NATURAL

Las reacciones que componen la neutralización, eliminarán una porción de la acidez y el hierro de la solución, dando como resultado un elevado valor en el pH. En las situaciones en las que el tiempo de permanencia de los minerales consumidores de ácido es largo, el pH puede llegar a tomar valores de neutralización de 7. De los minerales presentes en la neutralización uno de los más comunes es la calcita ($CaCO_3$), quien consume acidez a través de la

formación de bicarbonatos (HCO_3) o ácido carbónico (H_2CO_3). La calcita es el mineral carbonatado más abundante de los yacimientos mineralizados, es el más reactivo de los minerales consumidores de ácido. La liberación de bicarbonato y carbonato a través de la disolución de la calcita puede resultar en la formación de minerales carbonatados secundarios como la siderita (FeCO_3), mediante la siguiente reacción:



Dicho mineral a su vez puede estar presente como mineral principal en la roca. Es menos soluble que la calcita, pero puede llevar el pH a un rango de 4.5 a 6.0. Mientras que la calcita tiende a neutralizar soluciones llevándolas hasta un pH entre 6.0 y 8.0.

1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DRENAJES DE MINA

Dentro de la clasificación de los drenajes ácidos de mina (DAM), cabe mencionar los diferentes nombres que adoptan dichos drenajes dependiendo de su composición y sus características

- **Drenaje ácido de mina (DAM), drenaje metalífero y ácido (DMA) o drenaje ácido de roca (DAR):** Resulta de una serie de reacciones y etapas que típicamente proceden de condiciones de pH casi neutras a más ácidas.
- **Drenaje salino (DS):** Contiene altos niveles de sulfatos representados en pH neutro sin importantes concentraciones de metales disueltos.
- **Drenaje neutro de mina (DNM):** Se caracteriza por contener metales elevados en solución con pH casi neutro.

1.3. PRUEBAS PARA PREDECIR LA FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS

Con el fin de determinar estos aspectos, existe una serie de ensayos químicos y bioquímicos denominados como ensayos estáticos y ensayos cinéticos [6].

1.3.1. ENSAYOS ESTÁTICOS

Son el primer paso de todo programa de pruebas de predicción de drenaje ácido. Son ensayos químicos simples, económicos y rápidos, que determinan las propiedades geoquímicas del material, mediante la caracterización del potencial

de generación de ácido de una muestra. La mayoría de los ensayos estáticos definen el balance entre los minerales potencialmente generadores de ácido (minerales sulfurados reactivos) y aquellos potencialmente consumidores de ácido en la muestra (carbonatos, hidróxidos, silicatos y arcillas). Así, una muestra será generadora neta de ácido sólo si su potencial de acidificación (PA) excede a su potencial de neutralización (PN) ^[3]. Los ensayos estáticos más utilizados son el pH Pasta y el Test ABA.

1.3.1.1. Ensayo de pH PASTA

El pH pasta es una prueba que proporciona una indicación de la acidez total almacenada en una muestra. La ejecución de este ensayo se realiza moliendo 10 g de muestra a granulometría de malla 100, la cual se mezcla con agua desionizada para formar una pasta con aproximadamente 66% de sólido. Luego a ésta pasta se le mide el pH y se evalúa según el siguiente criterio:

- Si el pH es menor a 3, indica que el material es altamente ácido.
- Si el pH se encuentra entre 3 y 5, indica que el material es ácido.
- Si el pH se encuentra entre 5 y 8 indica que el material no es ácido.
- Si el pH es mayor que 8, indica que en la muestra hay carbonatos altamente reactivos, por lo que la muestra es neutralizante de acidez ^[3] ^[6].

1.3.1.2. Test ABA

El Test de Balance Ácido Base (ABA, *Acid-Base Accounting*), es un ensayo estático que realiza una comparación entre la capacidad de generar ácido, y la capacidad de neutralizar ácido que presenta una muestra. El PA indica la capacidad de los minerales sulfurados para generar ácido y generalmente se estima utilizando el contenido total de azufre de la muestra, por medio de la relación %S * 31,25. El PN por su parte, se mide por titulación y se expresa en términos del equivalente en kg de CaCO₃ / tonelada de muestra.

El PA y el PN se relacionan por medio del Potencial Neto de Neutralización (PNN), el cual se expresa como:

$$PNN = PN - PA$$

Según el valor obtenido se puede determinar si una muestra presenta o no la capacidad de generar drenaje ácido en base al siguiente criterio ^{[3] [7]}:

- $NNP > 20$, no genera acidez.
- $-20 < NNP < 20$, la generación de acidez es incierta.
- $-60 < NNP < -20$, si genera acidez.
- $NNP < -60$, generación significativa de acidez.

1.3.2. ENSAYOS CINÉTICOS

El objetivo de las pruebas cinéticas es confirmar el potencial de generación de ácido y predecir la calidad del agua de drenaje. Las pruebas cinéticas comprenden someter a las muestras bajo condiciones controladas de laboratorio, con el fin de confirmar el potencial para generar acidez. Entre los principales ensayos cinéticos se encuentran los test de celdas húmedas, las columnas de lixiviación, ensayo en batch y el ensayo British Columbia ^{[3] [7]}.

1.3.2.1. CELDAS HÚMEDAS

Las pruebas convencionales de celda de humedad son pruebas de laboratorio de pequeña escala, diseñadas para simular los procesos de intemperismo geoquímico para una muestra específica de roca, bajo condiciones de oxidación óptimas, aunque no necesariamente representativas de las condiciones de campo, los productos de oxidación son periódicamente lavados y sometidos a análisis. Los parámetros típicos que se controlan incluyen el pH, potencial redox, acidez, alcalinidad, sulfatos, conductividad y metales disueltos. El Test de Celda Húmeda es un ensayo que dura al menos 10 semanas, con ciclos de 7 días. ^[6]

1.3.2.2. COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN

Este tipo de prueba permite analizar el comportamiento de la muestra en distintos rangos, de modo que se puede trabajar las columnas con sólo algunos gramos de material, y con granulometría muy fina, hasta columnas con toneladas de material en su estado natural. Se coloca una cantidad conocida del material en la columna y se hace correr agua destilada o solución acuosa, a través de la muestra, o se

empeza en la parte superior de ésta y se permite que drene con el tiempo. Periódicamente, se recolectan muestras del agua de lavado o de la porción sobrenadante, las cuales se analizan químicamente [3].

1.3.2.3. ENSAYO EN BATCH

Consiste en suspender una cantidad determinada de muestra en una solución, que puede ser agua destilada, para posteriormente someterla a agitación. Luego se van retirando muestras a intervalos regulares, a fin de determinar los parámetros de interés, como pH, sulfato y metales disueltos. A medida que se va retirando muestra, se debe ingresar más solución a fin de mantener el volumen de ésta [3].

1.3.2.4. ENSAYO BRITISH COLUMBIA

Consiste en un test cinético microbiológico, cuyo objetivo es determinar si el material analizado puede generar drenaje ácido por acción de bacterias acidófilas. El test considera incorporar bacterias a la muestra y mantenerlas en condiciones óptimas para su proliferación, monitoreando si el pH llega a un valor inferior a 3,5. [3]

1.4. METODOS DE TRATAMIENTO DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA

Los métodos para el tratamiento controlado de los DAM se pueden clasificar en tres categorías: preventivos, de contención y de remediación [6], [8], [9].

1.4.1. Métodos preventivos

El objetivo de los métodos preventivos es detener o reducir drásticamente la velocidad de la generación de ácido, lo cual se puede obtener mediante:

- Remoción de sulfuros/aislamiento
- Bactericidas
- Aditivos Alcalinos

1.4.2. Métodos de contención

Se ayuda a prevenir o reducir la migración de Drenajes Ácidos de Mina al ambiente, utilizándose fundamentalmente para remover los iones metálicos que migran al ambiente:

- Desviación del agua superficial
- Interceptación de aguas subterráneas
- Reducción de infiltración

1.4.3. Métodos de remediación

Constituyen el tercer nivel de control y su objetivo es recolectar y tratar el drenaje contaminado. Los métodos que lo constituyen pueden ser:

- **Sistemas activos:**

Estos consisten de un tratamiento químico del DAM. Es una tecnología ampliamente conocida y aceptada. Por lo general, el tratamiento consiste en un circuito de neutralización y precipitación química para extraer de la solución:

- La acidez - por neutralización
- Los metales pesados - por hidrólisis y precipitación
- Otros contaminantes como sólidos suspendidos, arseniatos, antimoniatos por formación de un complejo y precipitación.

Los agentes de neutralización más comunes son:

Caliza (CaCO_3), Cal viva (CaO), Cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Soda cáustica (NaOH), Ceniza de soda (NaCO_3), Hidrosulfuro de sodio (NaHS).

- **Sistemas pasivos:**

Se basan en la degradación natural que se produce en los suelos pantanosos en donde se tienen condiciones anaeróbicas que permiten el desarrollo de bacterias sulfatorreductoras, tal como los humedales aeróbicos y anaeróbicos (Wetland). Dentro de estos métodos pasivos también están los drenajes anóxicos de caliza.

2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

2.1. MUESTRAS DE EXPERIMENTACIÓN

Cada una de las muestras fue extraída directamente del depósito mineral, de diferentes frentes y cotas con el fin de obtener un perfil representativo del mismo (Ver Anexo A). Para los ensayos objeto del presente proyecto se muestrearon 13 puntos, de los cuales se obtuvieron las correspondientes 13 muestras del material a trabajar extraídas directamente de tres túneles; túnel H2 con siete puntos (H2-P1, H2-P2, H2-P3, H2-P4, H2-P5, H2-P6, H2-P7), túnel Acabarropas con cinco puntos (ACR-P2, ACR-P3, ACR-P4, ACR-P5, ACR-P6) y túnel Chucho 2 con un punto (CHUCHO 2-P1).

En las muestras se evidenció un alto contenido de humedad ya que la zona presenta constantes lluvias durante todo el año. El material de experimentación fue sometido a un proceso de secado y posteriormente a trituración y molienda, con el fin de que la roca tuviera un diámetro menor a 3 mm, en su mayor parte, de acuerdo a lo recomendado en referencias bibliográficas ^[3].

En la Tabla 1 se presenta la distribución granulométrica de las 13 muestras molidas. La última fila de esta tabla contiene el porcentaje acumulado de finos ($\leq 40\mu$), los cuales en alta proporción, mayor al 10%, influirán para que se obtenga una cinética química de disolución más favorable pero una baja velocidad de percolación del lixiviante; por el contrario, un bajo porcentaje de finos, alrededor de 1%, presentarán una cinética química lenta con una velocidad de percolación alta.

Tabla 1. Distribución granulométrica de las muestras en estudio.

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA (%)														
TAMIZ ASTM E-11/95	ABERTURA (mm)	TÚNEL H2							TÚNEL ACABARROPAS					TÚNEL CHUCHO2
		H2-P1	H2-P2	H2-P3	H2-P4	H2-P5	H2-P6	H2-P7	ACR-P2	ACR-P3	ACR-P4	ACR-P5	ACR-P6	CHUCHO2-P1
4	4,75	0,00	0,22	0,00	0,49	0,36	0,60	0,00	0,31	0,01	2,29	0,19	2,59	0,50
6	3,35	33,63	46,42	15,01	21,44	32,63	89,43	25,25	31,19	34,67	23,70	29,25	10,00	25,80
8	2,36	22,16	20,92	20,72	64,72	19,26	8,40	22,77	17,23	25,16	18,09	15,75	21,39	22,48
16	1,18	27,00	23,94	32,12	8,18	24,13	0,62	31,42	21,15	19,41	25,92	20,38	32,62	25,54
30	0,6	8,84	7,24	15,78	2,06	9,70	0,30	16,54	13,43	10,14	16,90	14,30	16,50	13,42
40	0,425	2,29	0,17	4,18	0,59	4,34	0,10	1,19	5,14	3,56	6,90	6,10	3,70	2,43
Fondo	-	6,07	1,10	12,20	2,53	9,58	0,54	2,82	11,55	7,05	6,20	14,02	13,20	9,83
Total	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
% Finos (malla 40+ bandeja)		8,36	1,27	16,37	3,12	13,92	0,64	4,01	16,69	10,61	13,10	20,13	16,90	12,26

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS Y PRUEBAS PARA PREDECIR LA FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA

2.2.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y MINERALOGICA

La caracterización de las 13 muestras, con respecto a su química y mineralogía, consistió en realizar análisis por Fluorescencia y Difracción de Rayos X. Teniendo en cuenta los elementos químicos y las especies mineralógicas que se involucran en la formación de los DAM, en la Tabla 2 se presenta un resumen de las características químicas y mineralógicas de las muestras en estudio. En el Anexo B se presentan los resultados completos de estos análisis.

2.2.2. ENSAYO DE pH PASTA DE LAS MUESTRAS

De los ensayos estáticos disponibles para predecir la formación de drenajes ácidos se seleccionó el ensayo de pH_{pasta} , por ser un ensayo simple, rápido y de bajo costo. En la penúltima columna de la Tabla 2 se presenta los resultados de las pruebas de pH_{pasta} realizadas a las 13 muestras en estudio.

2.2.3. PREDICCIÓN DE LA FORMACIÓN DE DRENAJES ACIDOS DE MINA CON BASE EN LA MINERALOGIA Y EL ENSAYO DE pH PASTA

Teniendo en cuenta los contenidos de Azufre, Pirita, feldespatos alcalinos y el pH_{pasta} , se determinó la probabilidad de formación de drenajes ácidos en cada muestra, cuyos resultados se presentan en la última columna de la Tabla 2.

Se dedujo que las muestras H2-P4, H2-P5, H2-P6 y CHUCHO 2-P1 presentaran alta probabilidad de formación de drenajes ácidos; mientras que las muestras H2-P1, H2-P2, H2-P7, ACR-P2, ACR-P3, ACR-P5 y ACR-P6 no presentarán la formación de drenajes ácidos.

Por otra parte las muestras H2-P3 y ACR-P4 presentan un comportamiento incierto frente a la formación de drenajes ácidos.

Tabla 2. Características de las muestras de estudio.

		(%) AZUFRE	(%) PIRITA	(%) HIERRO	(%) COBRE	(%) CALCIO	(%) MAGNESIO	(%) ALUMINIO	% FELDESPATOS ALCALINOS	pH PASTA	Probabilidad formacion DAM
TUNEL H2	PUNTO 1	0,251	0	9,06	0,021	0,379	2,13	10,5	11,1 Ortoclasa	6,82	NO
	PUNTO 2	0,136	0	10,196	0,026	0,289	2,482	11,143	9,8 Ortoclasa	7,02	NO
	PUNTO 3	4,49	3,1	7,72	0,015	0,07	0,54	9,7	5,6 Ortoclasa	3,39	INCIERTO
	PUNTO 4	6,95	6,5	5,509	0,013	0,126	0,2	10	0,6 Ortoclasa	2,94	SI
	PUNTO 5	8,2	14,6	8,11	0,097	0,083	0,19	6,23	0	3,05	SI
	PUNTO 6	8,31	10,4	8,39	0,066	0,081	0,18	7,61	0	3,28	SI
	PUNTO 7	0,145	0	4,688	0,012	0,314	1,042	9,78	19,3 Ortoclasa	3,3	NO
TUNEL ACABARR OPAS	PUNTO 2	0,89	1,1	14,72	0,065	0,169	1,26	9,6	7,6 Albita, 7,6 Ortoclasa, 6,1 Sanidina	4,46	NO
	PUNTO 3	1,11	1,1	12,6	0,018	0,174	0,88	6,52	17,5 Ortoclasa, 13,7 albita	4,62	NO
	PUNTO 4	1,76	4,1	10,74	0,028	0,229	1,24	8	5,6 Albita, 23,4 Ortoclasa	5,01	INCIERTO
	PUNTO 5	0,655	< 1%	8,24	0,02	0,647	1,68	8,7	24 Albita, 17,1 Microclina	6,99	NO
	PUNTO 6	1,39	0	4,37	0,028	0,206	1,1	12,14	7,5 Ortoclasa, 9,6 Albita	5,8	NO
TUNEL CHUCHO 2	PUNTO 1	0,662	2,4	4,048	0,016	0,174	1,21	11,4	0,9 Ortoclasa	3,88	SI

2.3. PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN EN COLUMNAS

Si a un material rocoso de túnel se le han aplicado pruebas estáticas, y los resultados de éstas indican que pueden presentar potencial de generar drenaje ácido, resulta de interés conocer la forma en que se manifestaría este drenaje, es decir la cinética que presentaría.

Dentro de las numerosas pruebas cinéticas disponibles para evaluar la formación de drenajes ácidos, en este trabajo se seleccionó este tipo de ensayos, debido a que esta prueba es simple, de bajo costo y se desarrolla en un tiempo relativamente corto. Por otra parte puesto que esta prueba no está normalizada se puede manipular las diferentes variables ajustándolas a condiciones más cercanas a las reales a que estarían expuestas las rocas en los yacimientos minerales, como periodos secos y húmedos, niveles de pluviosidad, etc.

2.3.1 ENSAMBLE DE LAS COLUMNAS

Cada columna fue ensamblada empleando un tubo de PVC de 2", como se puede ver en la Figura 1, la parte inferior de este tubo se unió a un acople de PVC (sifón de prueba), en el cual, en su parte superior se ensambló un falso fondo constituido de un disco perforado de acrílico y sobre éste una cama de lana de vidrio, con el fin de retener las partículas finas las cuales son más propensas a formar drenaje ácido. Por la parte inferior de este acople se instaló una manguera para drenar el lixiviado, regulado por una llave de paso para la recolección del líquido saliente. Las columnas fueron soportadas en una malla metálica como se puede apreciar en la Figura 2, de tal manera que facilitara tanto la alimentación de la solución de percolación como la recolección del lixiviado.

Figura 1. Columnas de lixiviación.

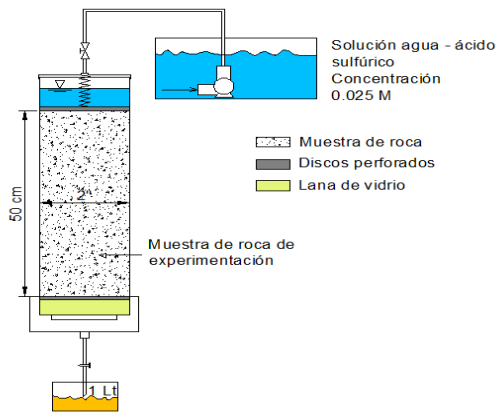
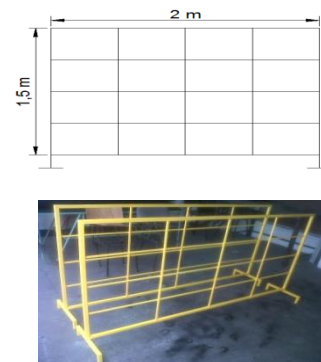


Figura 2. Soporte para columnas.



2.3.2. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE PERCOLACIÓN

Puesto que las muestras presentan diferente distribución granulométrica, se decidió hallar la permeabilidad. Esta se realizó usando un permeámetro de carga constante ^{[10], [11]} como el de la Figura C.1, cuyos resultados se presentan en la Tabla C.1, del Anexo C. De los resultados de permeabilidad se puede observar que, en la mayoría de las muestras el caudal diario para cada una es demasiado grande, con lo que al momento de montar las columnas de lixiviación y trabajar directamente con estos caudales la demanda de solución de trabajo sería extremadamente grande, lo cual no es razonable en la práctica. Los máximos

caudales con los que se recomienda trabajar están entre 1 a 3 L/día, y comparando con el menor caudal obtenido en los ensayos, corresponde a la muestra CHUCHO 2-P1, por lo cual se decidió trabajar con un caudal de 1 L/día, ya que debido al número de muestras de experimentación fue la opción más viable económicamente.

2.3.3. CARGUE DE LAS COLUMNAS CON LAS MUESTRAS DE EXPERIMENTACIÓN

Luego de tener claro el ciclo de trabajo, se procedió a armar las columnas empacando 1 kg de la roca ya triturada y homogeneizada que constara tanto de partículas finas, como de partículas gruesas. El material se empacó en las torres por medio de un embudo de vástago largo de 40 cm de largo con el fin de que la distribución de material fino y grueso a través de toda la torre fuera homogénea.

2.3.4. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN GENERADORA DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA

Las columnas se trabajaron con una disolución de agua-ácido sulfúrico (J.T. Baker analítico). Según la bibliografía consultada ^[3], la utilización de una solución ácida provoca en el proceso un incremento en la velocidad de acidificación de un año ambiente a una semana laboratorio. La solución de ácido sulfúrico 0,5 M, se preparó de acuerdo con los cálculos presentados en el Anexo D. Ya con el ácido en estas condiciones, se procedió a preparar la disolución lixivante que finalmente alimentaría las columnas. El procedimiento consistió en tomar 5 mL de la solución ácida 0,5 M, y por medio de un matraz aforado llevarla hasta un litro con agua destilada, dando como resultado una disolución de concentración final 0,0025 M.

La solución lixivante utilizada se caracterizó por presentar un pH entre 2,10 y 2,21, con contenidos de Sulfatos (SO_4^-) de 259 ppm y de Cloruros (Cl^-) de 1,5 ppm, no presentando contenido de metales.

2.3.4. SELECCIÓN Y CONTROL DEL CICLO DE PERCOLACIÓN

Debido a que es un método aún no estandarizado, existen diferentes modos de operar las columnas de lixiviación:

- Percolación continua a flujo constante con muestreo periódico ^[4].
- Percolación continua con recirculación y muestreo por periodos específicos de tiempo ^[4].
- Inundación, descarga y muestreo por periodos fijos de tiempo ^[3]; siendo este el ciclo seleccionado para la experimentación de este trabajo.

Después de inyectar ascendentemente el litro de la disolución, inundando la superficie del mineral a un nivel de 3 cm durante 24 h, se procedió a la recolección del lixiviado; la cual se llevó a cabo extrayendo medio litro en la mañana desde su parte inferior teniendo especial cuidado en alimentar en la misma proporción la cantidad extraída, para evitar que la muestra tuviera contacto directo con el aire. En la tarde se realizaba el mismo procedimiento recolectando otro medio litro de lixiviado, dando como resultado 1L al día. La recolección de las muestras de lixiviados fue establecida en dos series.

Para la primera se tomó un litro de muestra diariamente durante las dos semanas iniciales, posterior a esto se recolectó un litro de lixiviado cada diez días hasta llegar al día 90, día en el cual terminó el periodo de pruebas (Serie 1). Para la segunda la recolección de muestras se realizó cada diez días hasta completar los 3 meses de experimentación, con excepción de la primera muestra que se tomó a las 24 horas de iniciada la prueba (Serie 2).

2.3.6. EVALUACIÓN DE LA FORMACIÓN DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA

La puesta en operación de las columnas se realizó secuencialmente, iniciando con una sola. Luego de tenerse estabilizada y controlada esta columna, se procedió a montar 4 columnas más. Estabilizadas y controladas las columnas anteriores se montaron las últimas 8 columnas, para completar un total de 13 para la Serie 1.

Después de 2 meses de seguimiento de estas 13 columnas se procedió a montar otras 13 columnas replica de las anteriores, con el fin de realizar la Serie 2 de pruebas experimentales.

Por parte de la empresa se decidió parar la experimentación con las muestras de 3 puntos: ACR-P3, ACR-P4 y ACR-P6, debido a que los puntos de infiltración donde se extrajeron estas rocas se secaron. Así que finalmente se terminó la experimentación solo con 10 muestras.

Las tres columnas excluidas de la experimentación completa no se desmontaron, sino que se dejaron inundadas con la solución lixivante hasta el final de las otras pruebas, cuando entonces se tomó una última muestra a los 90 días para comprobar que no se generaba DAM. Los resultados correspondientes a estos tres puntos eliminados de la experimentación se presentan en el Anexo E.

Con el fin de contrastar los resultados de los lixiviados con la variación de la composición mineralógica de las rocas se decidió que al terminar la experimentación se realizara análisis de DRX a los residuos sólidos de roca del punto que más variación presentó en cada túnel durante la lixiviación. Los resultados se presentan en el Anexo F.

Específicamente el procedimiento experimental seguido fue el siguiente:

1. Cargue de las columnas con las muestras de rocas ya preparadas.
2. Inundación ascendente de las columnas con 1 litro de solución
3. Lixiviación estática por 24 horas
4. Toma de 250ml de lixiviado y su reemplazo con solución lixivante fresca
5. Toma a las 2 horas de otros 250ml de lixiviado y su reemplazo con solución lixivante fresca
6. Lixiviación estática por 10 horas
7. Toma de 250ml de lixiviado y su reemplazo con solución lixivante fresca
8. Toma a las 2 horas de otros 250ml de lixiviado y su reemplazo con solución lixivante fresca, completando 1 litro de lixiviado por día.

9a. Serie 1: toma de muestra de 1 litro diario hasta el día 14. A partir del día 14 toma de muestra cada 10 días, muestreando como se menciona anteriormente, hasta completar 90 días.

9b. Serie 2: después del primer día, toma de un (1) litro de muestra cada 10 días, hasta un total de 90 días.

10. Análisis de las características fisicoquímicas de los lixiviados: pH, Sulfatos, Cloruros.

11. Análisis de metales disueltos en los lixiviados: Fe, Cu, Ca, Mg, Zn y Al.

2.3.7. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS COLUMNAS DE LIXIVIACIÓN

Los resultados obtenidos de las diferentes muestras recolectadas se presentan en las tablas 3 a 12, en donde la primera fila de datos, para todas las tablas, corresponde al Valor Limite Permisible (VLP) fijado por la normatividad ambiental colombiana vigente para aguas superficiales¹. También en todas las tablas, se presenta en color rojo, todos los valores de los parámetros analizados que se salen de la norma ambiental, con excepción del pH que siempre es ácido, debido a que la solución de lixiviación empleada fue ácida con un pH entre 2.10 y 2.21.

Todos los análisis tanto fisicoquímicos como de metales se realizaron en el laboratorio del grupo de investigaciones en minerales, Biohidrometalurgia y medio ambiente: GIMBA.

¹ Artículo 42, Proyecto de Resolución para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales 2012, de acuerdo con Artículo 28 del Decreto 3930 de 2010, modificado por el artículo 1 del Decreto 4728 de 2010, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Republica de Colombia.

Tabla 3. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P1

H2-P1											
	DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
SERIE 1	VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
	1	4,24	41,04	160,00	199,30	0,20	0,26	51,42	20,22	-	-
	2	3,78	55,22	49,47	89,91	3,08	0,44	35,56	0,29	-	-
	3	3,95	41,04	63,95	94,44	6,05	0,57	18,55	13,74	-	-
	4	3,74	33,95	4,87	211,24	20,79	0,52	70,34	10,11	-	-
	5	3,49	62,31	36,24	137,98	13,76	0,45	43,26	8,53	-	-
	6	3,40	211,20	1164,28	115,96	12,85	0,68	41,31	3,63	-	-
	7	3,24	104,85	1326,42	176,75	28,05	0,64	59,62	7,92	-	-
	8	3,15	83,58	33,41	189,73	37,34	0,68	66,51	6,70	-	-
	9	3,05	140,30	70,24	155,28	23,33	0,42	53,90	5,87	-	-
	10	3,03	97,76	103,95	140,34	22,93	0,51	47,44	6,22	-	-
	11	3,02	69,40	107,28	42,73	205,03	0,62	12,34	3,40	-	-
	12	3,06	104,85	184,00	63,28	8,97	0,64	12,16	9,40	-	-
	13	3,03	33,95	97,28	70,04	10,28	0,54	16,34	8,34	-	-
	14	3,23	69,40	150,64	318,89	5,78	0,60	105,35	15,87	-	-
	24	2,60	112,23	658,47	330,40	21,64	0,17	104,36	19,86	-	-
	34	2,52	78,78	439,23	326,72	36,27	0,24	105,32	18,12	-	-
	44	2,56	132,30	429,70	327,25	42,18	0,24	102,95	19,96	-	-
	54	2,56	105,54	245,41	320,58	46,77	0,20	102,72	18,22	-	-
	64	2,94	118,92	136,71	68,49	50,92	0,45	22,28	3,65	-	-
74	3,24	132,30	130,56	111,92	17,67	0,45	17,15	19,73	-	-	
84	3,34	118,92	93,63	101,89	3,83	0,52	16,01	17,68	-	-	
90	3,12	138,99	62,32	76,03	5,40	0,50	11,69	13,38	0,868	0,481	
SERIE 2	1	4,65	47,72	465,22	249,03	0,46	0,11	59,65	28,54	-	-
	10	3,56	112,23	444,45	391,56	2,03	0,15	112,74	31,35	-	-
	20	3,84	132,72	269,05	318,14	0,15	0,35	91,49	25,55	-	-
	30	3,75	52,02	127,49	226,70	0,03	0,56	63,84	19,17	-	-
	40	3,45	58,71	276,36	197,73	0,00	0,00	55,07	17,16	-	-
	50	3,50	58,71	69,98	263,72	0,00	0,00	76,24	20,89	-	-
	60	3,90	100,82	0,00	221,25	0,00	0,00	65,00	16,79	-	-
	70	3,67	45,33	10,89	206,84	0,20	0,00	58,92	17,01	-	-
	80	3,20	143,70	32,36	187,36	0,00	0,05	52,70	15,89	-	-
	90	3,15	58,71	63,78	158,56	0,54	0,08	43,50	14,23	0,804	0

Tabla 4. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P2

H2-P2										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
1	4,03	48,13	145,80	181,41	0,49	0,00	71,98	0,42	-	-
2	4,58	33,95	82,84	163,24	1,34	0,17	64,85	0,32	-	-
3	4,82	41,04	139,51	117,24	1,67	0,19	23,55	16,68	-	-
4	4,34	33,95	130,06	166,96	6,23	0,10	49,45	12,39	-	-
5	3,93	33,95	57,65	179,11	25,42	0,34	55,47	11,55	-	-
6	3,91	140,30	0,00	207,49	20,37	0,34	69,92	9,34	-	-
7	3,68	90,67	334,70	227,11	36,32	0,42	78,27	8,98	-	-
8	3,52	83,58	79,69	180,15	39,10	0,43	61,19	7,77	-	-
9	3,32	69,40	92,28	215,13	37,65	0,44	74,77	8,06	-	-
10	3,25	83,58	97,28	158,84	34,02	0,40	52,75	7,71	-	-
11	3,24	140,30	107,28	39,62	12,47	0,44	0,00	11,32	-	-
12	3,29	69,40	103,95	89,12	17,70	0,44	19,49	11,55	-	-
13	3,25	69,40	97,28	93,31	23,51	0,35	22,70	10,45	-	-
14	3,07	58,77	70,59	230,08	19,66	0,66	78,97	9,33	-	-
24	2,57	179,13	91,43	318,49	26,27	0,08	98,99	20,29	-	-
34	2,63	118,92	537,73	311,71	59,63	0,11	94,36	21,66	-	-
44	2,60	159,06	388,39	317,51	66,55	0,19	94,35	23,32	-	-
54	2,54	98,85	401,10	305,32	75,52	0,14	93,55	20,42	-	-
64	2,89	132,30	242,24	39,82	9,81	0,37	0,04	11,35	-	-
74	3,00	145,68	164,40	76,83	46,75	0,33	0,75	21,41	-	-
84	3,20	112,23	78,24	74,22	6,87	0,38	0,58	20,79	-	-
90	3,04	105,54	118,25	61,52	2,86	0,29	2,34	15,91	2,161	1,147
SERIE 1										
1	4,04	97,16	165,88	203,56	0,41	0,04	80,23	0,86	-	-
10	3,74	118,92	250,58	391,71	0,48	0,02	112,94	31,25	-	-
20	3,74	78,78	185,96	314,33	0,15	0,13	88,98	26,25	-	-
30	3,1	99,23	65,94	234,97	4,33	0,09	63,94	21,46	-	-
40	3,85	72,09	131,89	202,98	0,00	0,00	52,24	20,68	-	-
50	3,7	92,16	75,87	179,10	0,00	0,00	45,31	18,81	-	-
60	3,01	138,72	16,81	217,62	0,00	0,00	61,75	18,07	-	-
70	3,62	58,71	4,87	213,49	1,22	0,00	63,25	15,82	-	-
80	3,76	52,02	73,11	171,18	4,17	0,06	46,73	15,53	-	-
90	3,73	58,71	36,40	144,31	6,65	0,04	38,06	14,04	1,265	0
SERIE 2										

Tabla 5. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P3.

H2-P3											
	DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
SERIE 1	VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
	1	3,26	175,75	363,04	196,70	87,63	0,46	68,79	7,07	-	-
	2	2,95	140,30	391,37	122,77	60,40	0,24	37,90	8,01	-	-
	3	2,76	147,39	120,62	76,90	53,62	0,17	27,11	2,61	-	-
	4	2,63	104,85	117,47	17,66	41,89	0,10	4,81	1,61	-	-
	5	2,59	111,94	79,69	26,17	27,40	0,74	8,54	1,38	-	-
	6	2,59	140,30	73,31	15,27	47,13	0,87	5,14	0,69	-	-
	7	2,6	140,30	230,70	4,92	14,58	0,74	0,46	1,08	-	-
	8	2,6	104,85	214,02	2,98	17,50	0,57	0,00	0,85	-	-
	9	2,59	69,40	60,58	27,55	15,62	0,45	10,08	0,67	-	-
	10	2,58	97,76	150,64	73,25	14,41	0,43	26,56	1,96	-	-
	11	2,58	104,85	120,62	46,85	34,97	0,43	17,33	1,01	-	-
	12	2,59	83,58	187,34	27,55	18,47	0,49	10,51	0,36	-	-
	13	2,61	104,85	74,97	12,30	62,29	0,34	4,63	0,21	-	-
	14	2,63	90,67	97,31	2,27	16,51	0,28	0,20	0,51	-	-
	24	2,14	185,82	121,36	281,85	17,69	0,08	95,04	12,65	-	-
	34	2,07	225,96	699,77	283,78	79,70	0,17	95,85	12,62	-	-
	44	2,05	252,72	483,71	275,05	71,73	0,48	91,57	13,18	-	-
	54	2,05	185,82	448,76	274,88	47,98	0,16	92,40	12,54	-	-
	64	2,40	159,06	391,57	37,85	27,33	0,57	1,55	9,71	-	-
74	2,52	165,75	505,97	9,08	57,01	0,52	0,21	2,44	-	-	
84	2,78	132,30	572,13	24,86	32,15	0,64	0,27	6,91	-	-	
90	2,77	125,61	182,87	17,19	49,73	0,41	2,78	2,93	0,411	0,460	
SERIE 2	1	2,59	163,72	448,36	216,77	62,36	0,36	71,02	11,21	-	-
	10	2,70	172,44	561,39	193,96	73,56	0,18	52,26	18,09	-	-
	20	3,50	121,15	355,21	109,41	59,40	0,18	27,56	11,58	-	-
	30	3,04	105,54	332,13	61,47	77,45	0,15	13,33	8,04	-	-
	40	2,84	85,47	137,79	53,45	10,36	0,18	13,43	5,68	-	-
	50	2,89	118,92	93,56	53,66	41,83	0,23	13,78	5,49	-	-
	60	2,57	132,30	34,23	43,31	6,35	0,14	11,96	3,83	-	-
	70	2,82	125,61	82,45	36,32	34,69	0,21	10,73	2,71	-	-
	80	2,87	112,23	73,11	18,33	36,13	0,28	3,81	2,52	-	-
	90	2,74	92,16	138,45	14,57	22,91	0,22	4,69	0,82	0,262	0,407

Tabla 6. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P4

H2-P4										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
1	2,67	154,48	290,74	17,31	0,40	0,33	0,11	4,87	-	-
2	2,67	119,03	187,34	1,45	8,57	0,67	0,00	0,41	-	-
3	2,59	69,40	100,61	2,43	9,52	0,45	0,00	0,70	-	-
4	2,63	80,04	123,96	69,06	6,97	0,36	26,06	1,12	-	-
5	2,61	90,67	32,23	54,71	20,41	0,25	20,56	0,94	-	-
6	2,64	111,94	15,31	66,08	12,73	0,26	25,19	0,89	-	-
7	2,72	111,94	48,17	1,89	50,05	0,22	0,50	0,18	-	-
8	2,56	126,12	110,07	1,40	8,20	0,23	0,25	0,22	-	-
9	2,46	62,31	97,31	5,25	4,07	0,17	0,32	1,27	-	-
10	2,54	90,67	113,26	2,96	5,22	0,12	0,32	0,62	-	-
11	2,57	97,76	135,60	1,30	3,67	0,12	0,32	0,14	-	-
12	2,59	48,13	144,61	0,66	14,89	0,12	0,09	0,13	-	-
13	2,56	111,94	91,75	0,62	4,93	0,09	0,11	0,10	-	-
14	2,59	104,85	119,73	0,64	4,98	0,13	0,13	0,09	-	-
24	2,04	199,20	442,41	286,77	28,79	0,09	96,29	13,16	-	-
34	2,05	138,99	267,66	279,29	29,84	0,09	92,96	13,40	-	-
44	2,03	205,89	312,14	281,43	28,14	0,09	93,90	13,34	-	-
54	2,42	132,30	239,06	10,17	21,49	0,12	0,73	2,38	-	-
64	2,40	165,75	244,41	9,28	22,30	0,23	0,50	2,30	-	-
74	2,78	138,99	207,49	9,20	30,22	0,25	0,41	2,33	-	-
84	2,78	112,23	173,64	13,61	22,43	0,14	2,14	2,36	-	-
90	2,75	132,30	161,33	14,49	17,96	0,13	2,68	2,23	0,358	0,592
SERIE 1										
1	2,71	163,80	225,68	0,00	12,01	0,67	0,00	3,22	-	-
10	2,60	179,13	750,64	84,17	96,04	0,63	20,63	9,31	-	-
20	2,97	118,92	570,62	236,31	88,00	0,28	87,83	4,78	-	-
30	3,01	159,06	251,51	17,82	73,98	0,18	1,27	4,19	-	-
40	2,87	125,61	155,48	21,62	35,28	0,13	4,79	2,76	-	-
50	2,87	165,75	123,05	25,88	64,43	0,40	6,59	2,69	-	-
60	2,56	138,99	60,67	28,24	32,78	0,49	9,25	1,47	-	-
70	2,74	145,68	49,47	6,06	33,90	0,67	1,07	0,97	-	-
80	2,77	132,00	79,34	6,25	41,67	0,66	0,67	1,31	-	-
90	2,74	105,54	141,56	6,62	29,39	0,51	0,30	1,68	0	0
SERIE 2										

Tabla 7. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P5.

H2-P5											
	DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
SERIE 1	VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
	1	3,03	175,75	278,65	113,72	300,56	0,26	31,84	9,75	-	-
	2	2,93	175,75	199,33	27,79	136,43	0,44	2,80	5,94	-	-
	3	2,75	154,48	287,48	3,77	105,13	0,21	0,65	0,62	-	-
	4	2,70	140,30	92,28	16,23	76,44	0,15	6,04	0,33	-	-
	5	2,62	140,30	63,95	2,05	56,36	0,13	0,21	0,44	-	-
	6	2,61	119,03	148,95	8,74	33,76	0,21	1,66	1,31	-	-
	7	2,60	111,94	173,99	3,58	0,34	0,14	0,17	0,90	-	-
	8	2,60	140,30	197,34	23,98	23,85	0,93	7,66	1,38	-	-
	9	2,61	97,76	22,56	1,31	9,27	0,84	0,00	0,38	-	-
	10	2,59	76,49	167,32	2,70	15,29	0,11	0,00	0,77	-	-
	11	2,58	80,04	26,23	46,21	26,59	0,85	17,46	0,73	-	-
	12	2,61	90,67	45,57	23,09	33,85	0,12	8,46	0,56	-	-
	13	2,61	97,76	126,03	0,78	50,16	0,81	0,19	0,09	-	-
	14	2,59	104,85	78,16	3,24	16,36	0,68	0,19	0,79	-	-
	24	2,23	205,89	121,34	278,24	25,54	0,16	93,53	12,69	-	-
	34	2,03	179,13	515,49	286,17	43,85	0,45	96,99	12,48	-	-
	44	2,01	165,75	493,25	277,08	56,66	0,46	93,25	12,56	-	-
	54	1,99	179,13	461,47	276,00	39,18	0,45	92,53	12,76	-	-
	64	2,42	145,68	229,53	4,09	25,89	0,52	0,66	0,70	-	-
74	2,44	159,06	287,49	7,48	28,29	0,34	0,55	1,75	-	-	
84	2,73	205,89	484,43	6,49	34,44	0,23	0,44	1,54	-	-	
90	2,78	118,92	161,33	22,58	26,37	0,62	6,09	2,10	0,390	0,779	
SERIE 2	1	2,94	128,36	145,25	111,56	200,67	0,09	25,02	14,00	-	-
	10	2,65	138,99	210,58	16,99	107,43	0,32	1,36	3,88	-	-
	20	2,83	159,06	447,53	17,24	165,91	0,33	1,64	3,76	-	-
	30	2,95	105,54	370,60	16,20	178,09	0,27	1,86	3,30	-	-
	40	2,79	112,23	164,32	27,75	40,57	0,40	7,38	2,66	-	-
	50	2,82	118,92	164,32	24,64	58,64	0,30	6,77	2,21	-	-
	60	2,55	138,99	51,34	6,75	24,58	0,42	0,96	1,25	-	-
	70	2,90	159,06	73,11	5,39	80,08	0,37	0,81	0,96	-	-
	80	2,95	98,85	57,56	4,09	77,89	0,44	0,35	0,92	-	-
	90	2,86	85,47	110,45	3,12	57,92	0,46	0,32	0,66	0,126	0

Tabla 8. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P6

H2-P6										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
1	2,64	147,39	43,76	122,74	93,98	0,61	41,98	5,08	-	-
2	2,54	161,57	193,03	362,56	41,08	0,17	142,78	1,61	-	-
3	2,50	154,48	101,73	7,61	23,77	0,78	2,41	0,45	-	-
4	2,50	161,57	79,69	25,71	26,26	0,58	9,77	0,37	-	-
5	2,62	232,47	98,58	4,90	16,13	0,44	1,31	0,46	-	-
6	2,47	140,30	98,58	3,69	8,78	0,34	0,79	0,49	-	-
7	2,49	140,30	397,48	2,28	4,71	0,35	0,40	0,37	-	-
8	2,51	111,94	200,68	90,92	13,28	0,28	35,75	0,44	-	-
9	2,54	104,85	93,94	2,88	27,04	0,21	0,00	0,82	-	-
10	2,69	90,67	163,99	53,71	5,58	0,29	19,99	1,07	-	-
11	2,52	83,58	90,60	78,17	8,37	0,23	30,38	0,64	-	-
12	2,57	126,12	120,62	33,48	16,45	0,25	10,97	1,73	-	-
13	2,57	133,21	126,03	2,08	50,17	0,20	0,67	0,12	-	-
14	2,55	133,21	132,41	0,40	9,32	0,18	0,10	0,05	-	-
24	2,12	159,06	201,35	290,72	15,72	0,07	98,40	12,78	-	-
34	2,00	185,82	556,79	276,06	50,10	0,22	92,89	12,53	-	-
44	1,90	159,06	521,84	284,03	45,71	0,22	96,46	12,25	-	-
54	1,98	199,20	445,59	277,22	33,03	0,20	93,32	12,55	-	-
64	2,44	219,27	286,72	4,22	28,04	0,32	0,60	0,78	-	-
74	2,40	165,75	210,56	6,34	26,55	0,53	0,73	1,29	-	-
84	2,76	165,75	376,73	5,21	31,17	0,75	0,71	0,98	-	-
90	2,75	132,30	158,25	25,08	40,97	0,54	6,33	2,64	0,375	0,355
SERIE 1										
1	2,58	143,03	121,23	158,98	73,55	0,71	57,22	4,55	-	-
10	2,43	152,37	462,92	72,66	69,23	0,74	19,40	6,91	-	-
20	2,91	98,85	259,81	19,31	69,70	0,39	2,68	3,60	-	-
30	2,70	145,68	462,92	9,48	64,34	0,53	0,11	2,63	-	-
40	2,70	138,99	479,80	30,89	106,15	0,54	7,18	3,69	-	-
50	2,75	179,13	323,54	27,35	112,04	0,42	7,95	2,13	-	-
60	2,59	172,44	129,11	6,57	72,84	0,25	1,00	1,16	-	-
70	2,71	132,30	85,56	8,58	44,95	0,23	1,15	1,63	-	-
80	2,76	125,61	104,22	6,12	24,11	0,27	0,54	1,36	-	-
90	2,73	118,92	135,33	5,57	27,04	0,31	0,53	1,21	0,192	0
SERIE 2										

Tabla 9. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra H2-P7.

H2-P7											
	DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
SERIE 1	VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
	1	3,61	48,13	127,30	196,51	0,25	0,05	67,58	7,88	-	-
	2	3,51	41,04	41,57	94,73	0,11	0,12	30,81	5,06	-	-
	3	3,51	83,58	37,57	12,77	1,56	0,19	0,56	3,25	-	-
	4	2,99	80,04	25,89	57,32	4,07	0,22	19,75	2,27	-	-
	5	2,96	76,49	48,24	99,44	17,40	0,21	37,10	1,91	-	-
	6	2,91	119,03	0,00	72,42	16,68	0,25	26,95	1,44	-	-
	7	2,87	126,12	81,36	9,55	50,15	0,17	2,31	1,07	-	-
	8	2,73	76,49	71,78	3,82	10,51	0,10	1,27	0,19	-	-
	9	2,72	83,58	42,75	6,74	7,76	0,12	1,07	1,17	-	-
	10	2,65	111,94	116,45	4,56	7,99	0,11	0,82	0,72	-	-
	11	2,70	76,49	0,00	3,56	10,08	0,11	0,82	0,43	-	-
	12	2,63	90,67	97,97	1,58	20,50	0,15	0,14	0,35	-	-
	13	2,68	133,21	113,51	1,69	14,97	0,09	0,22	0,33	-	-
	14	2,66	147,39	101,07	1,58	16,38	0,05	0,18	0,32	-	-
	24	2,25	145,68	319,03	286,98	42,16	0,05	94,48	14,51	-	-
	34	2,18	165,75	270,83	283,95	31,30	0,10	93,04	14,68	-	-
	44	2,14	145,68	458,30	277,28	24,36	0,07	90,46	14,61	-	-
	54	2,45	179,13	220,00	4,79	19,84	0,23	0,50	1,01	-	-
	64	2,47	225,96	136,71	10,48	8,61	0,10	0,53	2,62	-	-
74	2,81	138,99	176,71	8,59	9,51	0,08	0,48	2,11	-	-	
84	2,81	125,61	164,40	11,72	9,96	0,03	0,51	2,99	-	-	
90	2,78	138,99	45,32	12,00	10,17	0,03	0,51	3,06	0,332	0,490	
SERIE 2	1	3,62	108,75	98,55	221,25	0,54	0,00	74,22	10,20	-	-
	10	4,69	120,82	247,50	423,51	2,23	0,15	107,21	44,43	-	-
	20	5,66	149,86	109,03	43,57	0,11	0,20	3,42	10,00	-	-
	30	6,05	133,62	87,48	195,38	0,03	0,26	64,72	9,59	-	-
	40	5,47	137,61	1,87	143,97	4,21	0,04	47,40	7,28	-	-
	50	3,75	182,75	23,39	134,02	0,00	0,07	44,00	6,87	-	-
	60	4,08	143,75	0,00	142,72	0,00	0,04	50,64	4,61	-	-
	70	3,70	185,76	0,00	108,59	0,26	0,08	36,79	4,75	-	-
	80	3,43	163,82	17,74	64,70	0,70	0,21	18,35	5,38	-	-
	90	3,08	87,45	20,43	55,87	1,48	0,26	16,66	4,06	1,735	0

Tabla 10. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra ACR-P2

ACR-P2										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
1	3,51	48,13	200,68	150,92	1,23	0,25	37,15	16,58	-	-
2	3,57	55,22	150,64	83,74	1,75	0,23	19,99	9,65	-	-
3	3,26	69,40	20,92	22,79	2,38	0,30	0,37	6,25	-	-
4	3,13	87,13	65,92	75,38	1,45	0,23	23,96	4,42	-	-
5	3,09	76,49	33,57	89,38	3,19	0,26	31,04	3,37	-	-
6	3,07	90,67	3,50	77,57	3,68	0,25	27,27	2,69	-	-
7	3,03	111,94	52,96	14,99	2,32	0,25	2,62	2,41	-	-
8	2,90	62,31	54,87	12,51	2,32	0,27	2,05	2,11	-	-
9	2,76	111,94	90,93	12,52	4,77	0,26	1,55	2,47	-	-
10	2,82	133,21	65,40	11,05	3,00	0,25	1,36	2,19	-	-
11	2,76	62,31	106,88	12,91	3,05	0,20	1,36	2,72	-	-
12	2,81	48,13	119,73	32,32	12,59	0,20	1,79	7,95	-	-
13	2,84	83,58	104,18	8,27	13,64	0,28	0,71	1,86	-	-
14	2,80	97,76	85,53	7,83	18,66	0,27	0,61	1,81	-	-
24	2,46	105,54	372,51	297,77	36,64	0,35	94,13	17,85	-	-
34	2,46	132,30	391,57	296,13	31,17	0,69	92,95	18,22	-	-
44	2,52	138,99	258,12	303,03	25,58	0,74	94,91	18,79	-	-
54	2,72	185,82	162,80	5,47	63,03	0,73	0,12	1,48	-	-
64	2,76	138,99	118,25	39,36	21,16	0,37	1,34	10,29	-	-
74	2,97	159,06	312,11	37,20	5,67	0,33	1,32	9,69	-	-
84	3,03	112,23	161,33	31,53	6,99	0,40	1,41	8,00	-	-
90	3,05	105,54	99,78	30,94	7,03	0,26	1,43	7,82	0,292	1,290
SERIE 1										
1	3,3	64,4	112,6	158,0	1,0	0,11	45,0	13,0	-	-
10	3,1	72,1	546,0	302,8	3,2	0,24	78,2	30,7	-	-
20	3,9	78,8	139,8	256,3	0,7	0,13	76,6	18,5	-	-
30	3,4	72,1	247,5	164,2	1,3	0,16	44,4	15,2	-	-
40	3,3	97,1	111,3	108,9	1,6	0,18	28,9	10,5	-	-
50	3,3	97,8	40,5	103,9	0,0	0,24	27,3	10,2	-	-
60	3,2	121,8	54,7	93,3	0,8	0,32	27,1	7,3	-	-
70	3,0	152,5	16,8	56,9	3,5	0,34	14,6	5,8	-	-
80	3,1	165,1	27,1	43,6	3,2	0,29	10,0	5,3	-	-
90	3,1	185,8	49,5	51,5	3,8	0,23	13,1	5,3	0,611	0,474
SERIE 2										

Tabla 11. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra ACR-P5

ACR-P5											
	DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
SERIE 1	VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
	1	3,42	303,37	167,84	166,62	0,32	0,13	66,30	0,25	-	-
	2	3,74	26,86	70,24	110,69	0,51	0,54	43,93	0,25	-	-
	3	3,62	33,95	39,71	238,01	1,38	0,91	85,90	6,65	-	-
	4	3,33	48,13	44,74	128,81	2,71	0,09	43,29	5,89	-	-
	5	3,62	83,58	120,62	130,89	4,36	0,82	46,24	4,37	-	-
	6	3,06	331,73	104,88	149,95	6,09	0,14	54,77	3,73	-	-
	7	2,94	104,85	167,84	93,02	13,11	0,38	30,33	4,91	-	-
	8	2,86	104,85	60,80	109,07	0,33	0,13	37,67	4,26	-	-
	9	2,79	140,30	89,13	74,43	18,19	0,43	23,99	4,13	-	-
	10	2,76	126,12	137,20	65,90	11,64	0,33	21,04	3,80	-	-
	11	2,78	104,85	12,45	15,93	3,68	0,25	0,00	4,55	-	-
	12	2,77	104,85	177,23	19,75	5,04	0,31	0,00	5,64	-	-
	13	2,77	104,85	163,89	12,71	7,07	0,29	0,00	3,63	-	-
	14	2,73	126,12	117,19	35,41	4,71	0,32	9,10	3,62	-	-
	24	2,35	172,44	191,16	298,37	15,06	0,06	96,46	16,35	-	-
	34	2,27	152,37	413,81	300,05	11,44	0,16	94,99	17,88	-	-
	44	2,26	145,68	410,64	296,77	16,95	0,17	93,09	18,30	-	-
	54	2,25	199,20	356,62	293,38	16,99	0,12	87,61	21,24	-	-
	64	2,55	159,06	200,93	82,61	55,03	0,42	0,81	23,02	-	-
74	2,56	152,37	109,01	40,69	2,72	0,32	0,07	11,58	-	-	
84	2,96	159,06	139,79	40,32	4,85	0,28	1,30	10,60	-	-	
90	2,93	105,54	87,47	38,72	5,66	0,26	0,17	10,94	0,287	1,285	
SERIE 2	1	3,56	103,83	100,24	191,26	0,32	0,11	65,02	8,21	-	-
	10	3,00	109,75	121,34	202,75	0,60	0,12	62,15	13,53	-	-
	20	5,12	125,61	0,40	175,46	0,15	0,16	48,72	15,33	-	-
	30	4,08	85,47	130,57	125,73	0,56	0,22	34,62	11,20	-	-
	40	3,88	98,82	46,39	155,99	0,37	0,27	45,91	11,78	-	-
	50	3,49	65,40	34,60	110,68	0,00	0,30	34,51	6,97	-	-
	60	3,71	58,71	0,00	159,74	0,15	0,52	49,59	10,22	-	-
	70	3,30	72,09	0,00	134,62	0,59	0,57	39,86	9,99	-	-
	80	3,18	52,02	60,67	84,90	0,63	0,30	22,07	8,49	-	-
	90	3,03	78,78	88,67	93,46	1,57	0,13	23,90	9,63	0,713	0,506

Tabla 12. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra CHUCHO2-P1

CHUCHO2-P1										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm CaCO3)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
1	2,60	165,75	396,47	38,02	45,37	0,55	2,21	9,29	-	-
2	2,45	179,13	287,64	119,20	31,33	0,47	41,54	4,39	-	-
3	2,34	205,89	194,36	73,45	36,87	0,33	23,45	4,24	-	-
4	2,38	192,51	520,85	65,99	42,23	0,33	21,50	3,50	-	-
5	2,50	165,75	365,38	54,18	26,01	0,36	17,26	3,16	-	-
6	2,40	179,13	216,12	68,08	43,17	0,30	23,42	2,73	-	-
7	2,47	145,68	122,84	57,33	49,43	0,25	19,59	2,39	-	-
8	2,33	219,27	278,31	45,12	29,68	0,31	15,13	2,09	-	-
9	2,03	205,89	312,52	37,56	33,10	0,18	11,94	2,20	-	-
10	2,10	165,75	287,64	52,58	36,19	0,30	17,89	2,24	-	-
11	2,08	172,44	318,74	57,90	45,04	0,30	19,68	2,48	-	-
22	2,21	179,13	474,18	313,96	50,34	0,30	104,20	15,28	-	-
32	2,25	199,20	521,84	314,88	51,98	0,22	103,87	15,78	-	-
42	2,12	165,75	515,49	303,09	39,59	0,16	100,93	14,51	-	-
52	2,50	212,58	305,78	127,64	32,29	0,57	20,65	21,72	-	-
62	2,56	232,65	158,25	60,26	29,66	0,63	18,61	3,93	-	-
72	2,83	105,54	490,59	58,69	8,48	0,64	18,33	3,68	-	-
82	2,87	1403,40	367,50	19,08	19,26	0,62	2,01	4,01	-	-
90	2,90	145,68	355,19	16,52	21,80	0,62	0,31	4,50	0,740	0,458
SERIE 1										
1	3,05	127,16	762,25	59,87	40,01	1,40	7,06	12,07	-	-
10	2,67	132,30	882,97	238,30	51,58	1,42	66,89	20,31	-	-
20	2,90	145,68	81,33	127,01	38,38	0,47	29,03	15,56	-	-
30	3,06	118,92	406,91	91,65	12,35	0,26	24,02	9,03	-	-
40	2,94	125,61	261,62	215,58	7,38	0,55	73,14	9,35	-	-
50	2,89	118,92	187,91	138,04	7,45	0,47	44,54	7,62	-	-
60	2,80	105,54	104,22	93,68	0,19	0,47	31,31	4,41	-	-
70	2,91	98,85	101,11	95,60	4,70	0,47	31,20	5,03	-	-
80	2,99	118,92	107,34	90,52	22,15	0,72	31,01	3,71	-	-
90	2,86	105,54	126,00	55,18	0,20	0,68	18,21	2,76	4,338	0
SERIE 2										

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Al analizar las tablas de composición química y mineralógica de las muestras (Anexo B), se puede observar que en todas las muestras se evidenció la presencia de azufre, sin embargo 4 de ellas no contenían pirita (H2-P1, H2-P2, H2-P7 y ACR-P6); así como en algunas muestras el contenido de azufre fue mayor al del contenido de la pirita, lo cual indica que el azufre puede encontrarse formando otras especies. También se comprobó que todas las muestras carecían de carbonatos y en su lugar, a excepción de las muestras H2-P5 y H2-P6, se encontraron varios feldespatos alcalinos, especies que a la postre fueron los responsables de la neutralización de la acidez producida por la pirita al lixivarse.

En los resultados de las columnas de lixiviación (tablas 3-12) se observa que todas las muestras presentaron contenido de cloruros, aunque con valores por debajo del límite permisible por la normatividad ambiental, y puesto que en los análisis de DRX no se detectó la presencia de especies con cloro, sugiere que este elemento podría encontrarse en especies en baja cantidad no detectables por los rayos X o en especies amorfas no cristalinas de las rocas.

De las tablas 3 a 12 y gráficas 1 a 10 del Anexo G, donde se presenta la variación del pH de los lixiviados en función del tiempo (litros de solución lixivante), se puede observar que todas las muestras de experimentación para la Serie 1 mostraron un comportamiento similar a lo largo de todo el ensayo, evolucionando en tres etapas. En la primera, después de aumentar el primer día hasta incluso valores de 4, para algunas muestras, se mantiene más o menos constante durante aproximadamente los primeros 14 días, descendiendo ligeramente. En una segunda etapa, entre los 14 y aproximadamente los 60 días, desciende a valores cercanos al de la solución lixivante (pH 2,21), incluso para algunas muestras ligeramente por debajo de este valor. En una tercera etapa, generalmente entre los 60 y 90 días, el valor del pH se incrementa hasta valores

entre 2,2 y 3,0. Este comportamiento podría deberse a que existan dos clases de especies neutralizantes de la acidez (feldespatos alcalinos), unas más reactivas que otras. Las más reactivas actuarán tan pronto se inicie la prueba, primera etapa, y al irse agotando disminuirá el pH (segunda etapa); en tanto las especies menos reactivas actuarán en la tercera etapa. Del anterior análisis se puede deducir que las rocas de los 10 puntos no son potenciales generadoras de drenajes ácidos.

Para la Serie 1 se observó en las tablas 3 a 12 y las gráficas 11 a 30 que la presencia de Sulfatos fue relativamente baja, no sobrepasando el valor límite permisible por la norma ambiental, excepto para unos casos puntuales presentes en las rocas de H2-P1 correspondientes a las muestras de los días 6 y 7. En general como era de esperarse los valores más altos corresponden a los valores de pH más bajos.

De los resultados de los ensayos de lixiviación, tablas 3 a 12 y gráficas del Anexo G, para la Serie 1, se evidencia que hubo una relativa baja disolución de metales. El hierro presentó un comportamiento disperso durante el tiempo de experimentación; en los primeros 14 días del ensayo su disolución fue bastante baja; luego entre los días 15 a 55 o 60 fue mayor, coincidiendo con los valores más bajos de pH; y posteriormente los últimos 30 días de pruebas tendió a disminuir notoriamente hasta valores cercanos a las 10 ppm, indicando que el hierro lixiviable presente en las muestras se estaría agotando. El cobre, a pesar de que las concentraciones registradas fueron relativamente bajas, inferiores a 1 ppm, en un alto número de muestras sus cantidades superaron los valores límites permisibles por la normatividad ambiental. En cuanto al zinc y al aluminio, analizados solo en la última muestra de cada columna de experimentación, se puede observar que mientras el contenido de zinc, en varios casos, superó el valor límite permisible por la norma ambiental, el contenido de aluminio siempre estuvo por debajo de su límite máximo permisible.

Según los resultados presentados en las tablas 3 a 12 y gráficas de los Anexos K y L, se evidenció la presencia de Ca y Mg en los lixiviados, lo cual indica la disolución de especies con estos metales responsables de contrarrestar la acidificación derivada del proceso de oxidación de la Pirita. Para la Serie 1, es notoria en la mayoría de muestras que la mayor disolución de Ca y Mg se presenta entre los días 14 y 50. En las gráficas de metal acumulado, se puede observar claramente que estos metales se disuelven siguiendo tres tipos de cinética; durante los primeros 14 días siguen una cinética alta, luego entre los 14 y 50 días presentan una cinética un poco más lenta, y entre los 50 y 90 días disminuye notablemente, llegándose en algunos casos a obtener curvas cinéticas con pendientes casi nulas, indicando que el Ca y el Mg presente en las muestras sólidas se está agotando, por ende las reacciones de neutralización que aportan las especies con estos metales estarían terminando.

Como se estimó en la mineralogía y el ensayo de pH_{pasta} , las rocas de los puntos H2-P1, H2-P2, H2-P7, ACR-P2 y ACR-P5, por contener un bajo o nulo contenido de pirita, altos contenidos de feldespatos alcalinos, y además en el ensayo de pH_{pasta} , no se generó acidez, estas rocas no tienen tendencia a la formación de drenajes ácidos, lo cual se corroboró con los resultados obtenidos en las columnas de lixiviación presentados en las tablas 3, 4, 9, 10, 11. Para las muestras H2-P4, H2-P5, H2-P6 y CHUCHO2-P1, que con los datos de composición mineralógica y pH_{pasta} se dedujo que probablemente estas rocas formarían DAM, y que para las rocas del punto H2-P3 era incierta su formación, los resultados de los ensayos de lixiviación, tablas 5, 6, 7, 8, y 12, indicaron que las rocas de estos puntos tampoco formaron drenaje ácido.

Los resultados obtenidos para la Serie 2 de todos los puntos en estudio no evidenciaron la formación de DAM durante el tiempo de experimentación. La Serie 2 mostró un comportamiento diferente a la Serie 1 debido a las velocidades de muestreo y reemplazo de las soluciones lixiviantes en las columnas. Como era de esperarse, las curvas cinéticas mostradas del Anexo H al Anexo M, para los

resultados de Sulfatos, Hierro y Cobre presentaron una menor pendiente (menor velocidad), comparadas con las obtenidas para la Serie 1, a excepción de algunos puntos como el H2-P4, H2-P5 y H2-P6. En ningún caso de las muestras de lixiviados de esta serie se evidenció valores bajos de pH ni tampoco altas concentraciones de sulfatos, hierro y cobre, excepto en algunas muestras de los puntos H2-P5, H2-P6 y CHUCHO2-P1 donde se registraron concentraciones de cobre por encima del límite permisible.

Los puntos de mayor variación en todas las muestras experimentales para la Serie 1 fueron H2-P5, ACR-P2 y CHUCHO2-P1, por tanto se realizaron pruebas de DRX a las colas de estas muestras sólidas (Anexo F). Los resultados indican que el contenido de Pirita para el punto ACR-P2 se redujo pasando de 5,3% a 1,3%, por lo tanto se observa que para este punto hubo condiciones de lixiviación y tendencia a la generación de DAM, pero fue contrarrestada por el potencial de neutralización de los feldespatos alcalinos. La cantidad de pirita contenida en las rocas del punto H2-P5 disminuyó de 14,6 a 13,3%, valor bastante bajo, que al no contener feldespatos se esperaba la formación de DAM, con lo cual se puede deducir que el tipo de Pirita que contiene esta muestra tiene baja reactividad con la solución lixivante o que estas rocas contenían otras especies neutralizantes de la acidez, que no se detectaron por el análisis de DRX. Lo mismo se puede deducir con respecto a las rocas de CHUCHO2-P1, en las cuales la Pirita bajo de 2,4 a 1,9%.

4. CONCLUSIONES

De los resultados de los análisis composicionales de las rocas en estudio se pudo deducir que, las muestras de los puntos H2-P3, H2-P4, H2-P5 y H2-P6 contenían pirita entre 3,1 y 14,6%; las de los puntos ACR-P2, ACR-P3, ACR-P4 y ACR-P5 entre <1 y 4,1%; y las del punto P1 del túnel Chucho2 0,662%; mientras que las rocas de los puntos H2-P1, H2-P2, H2-P7 y ACR-P6 no contenían pirita, aun cuando todas las muestras contenían azufre, variando entre 0,136 y 8,31%. Se evidenció que todas las muestras carecían de carbonatos y en su lugar, a excepción de las muestras H2-P5 y H2-P6, se encontraron varios feldespatos alcalinos (ortoclasa, albita, sanidina) especies que también neutralizan la acidez producida por la Pirita al oxidarse y disolverse.

Teniendo como referencia el pH de la solución lixivante, 2.21, se evidenció que el pH en todas las pruebas experimentales evolucionó en tres etapas; una primera caracterizada por un incremento, desde 2.21 hasta un valor cercano a 4 (neutralización); seguido por un leve descenso, incluso ligeramente por debajo de 2.21 para algunas muestras; pero que finalmente en una tercera etapa volvió a incrementar hasta valores aproximados a 3 en todas las muestras; lo cual indicaría que la acidez generada por la Pirita se está contrarrestando con la disolución de los feldespatos alcalinos.

Como era de esperarse debido a que las velocidades de muestreo y reemplazo de las soluciones lixiviantes en las columnas fueron diferentes en las dos series, tal como se puede observar en las gráficas acumulativas de Sulfatos, Hierro y Cobre (Anexo G), en las pruebas de lixiviación en columna se presentaron tres cinéticas diferentes; dos para la Serie 1, con una cinética de lixiviación rápida para los primeros 14 días, seguida de una más lenta para el resto del ensayo. El tercer comportamiento corresponde a la Serie 2, cuya cinética o velocidad de disolución fue menor a las dos anteriores.

Se esperaba que en algunas muestras existiera la formación de DAM por el alto contenido de Pirita y la ausencia de feldespatos y carbonatos, tal como el caso de las rocas del punto H2-P5, lo cual no llegó a suceder, debido a la baja disolución de la Pirita que paso de 14,6% en la roca fresca a 13,3% en los residuos de lixiviación, conllevando a deducir que esta Pirita tiene baja reactividad y que el alto contenido de Pirita en una roca no significa que pueda ser generadora de DAM.

Los análisis mineralógicos, junto con la prueba de pH_{pasta} y los ensayos de columnas de lixiviación, constituyen un sistema apropiado para estudiar la formación de DAM, ya que en un periodo relativamente corto de tiempo (3 meses), se pudo predecir y evaluar la formación de este tipo de drenajes con las rocas en estudio.

En general se puede establecer que en los próximos años ninguna roca de las experimentadas generará drenajes ácidos, aun cuando si habrá disoluciones relativamente bajas de Sulfatos y metales pesados como Hierro, Cobre y Zinc.

5. RECOMENDACIONES

Efectuar ensayos con:

- a) diferentes grados de molienda.
- b) tiempos más prolongados de experimentación (mayores a 90 días).
- c) flujos de lixiviante similares a los flujos de campo en cada túnel.

Realizar estudios más detallados sobre la composición química y mineralógica de las muestras, así como también estudiar la reactividad de la pirita.

Hacer seguimiento en las pruebas de lixiviación en columna a metales como sodio y potasio ya que estos están presentes en los feldespatos alcalinos responsables de la neutralización de la acidez.

BIBLIOGRAFIA

1. ROCKEFELLER BROTHERS. Drenaje ácido de la minería. Canadá. 24 p.
2. GAMONAL, Priscila. Tratamiento de drenajes ácidos de minas en humedales construidos. Perú. 16 p.
3. QUIROZ ARAVENA, Claudio Andrés. Drenaje ácido: estudio y tentativa de seguimiento del transporte de solutos. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santiago de Chile. Universidad Santiago de Chile. 2007. 145 p.
4. MERUANE, Gabriel, VARGAS Tomás. Criterios de diseño del circuito de soluciones en la lixiviación bacteriana de sulfuros de cobre en pilas. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 6 p.
5. MENADIER, Maurice. Biolixiviación de piritas por *Acidithiobacillus Ferrooxidans* y cepas nativas. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Abril 2009. 69 p.
6. Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas. Perú. 50 p.
7. Guía metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera. Acuerdo marco de producción limpia sector gran minería buenas prácticas y gestión ambiental. Santiago de Chile. 2002. 39 p.
8. HUANCA, Rosario. Tratamiento de aguas de drenaje ácido de mina (DAM). La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 2003. 13 p.
9. LOPEZ PANO E. tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina. Madrid – España. Universidad Politécnica de Madrid. 2002. 19 p.
10. ANGELONE, Silvia, GARIBAY, María, CAHUAPE, Marina. Permeabilidad de suelos. Rosario, Argentina. Universidad nacional de Rosario. 2006. 39 p.

11. TAIT, Baldeon. CALDERON, Karla. HUILLCA, Lizbeth. Diseño de un permeámetro-ley de Darcy. Lima Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2010. 31 p.
12. BALLESTER, Antonio, GONZALEZ, Felisa. Estudio del mecanismo de generación de drenajes ácidos en una presa de estériles periticos. Madrid. Universidad complutense de Madrid. 1998. 296 p.
13. ALARCÓN, Yngrid, ALVA, Jorge. Ensayos de permeabilidad en suelos compactados. Trujillo, Perú. Universidad nacional de ingeniería. 1998. 36 p.
14. MERUANE, Gabriel. Oxidación Bacteriana de sulfato ferroso con Acidithiobacillus Ferrooxidans. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 2002. 239 p.
15. Artículo 42, Proyecto de Resolución para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales 2012, de acuerdo con Artículo 28 del Decreto 3930 de 2010, modificado por el artículo 1 del Decreto 4728 de 2010, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Republica de Colombia. 52p.

ANEXOS

ANEXO A: PROCEDIMIENTO PARA LLEVAR A CABO LA EXTRACCION DEL MATERIAL.



Imagen 1. Toma de muestras de material de estudio

El muestreo de roca se realiza por lo general por el control estructural, geomorfología, y accesibilidad de los afloramientos (Vetas, estructuras, fracturas, fallas, estratificación, etc.).

En el caso de columnas de lixiviación se define por los puntos de infiltración que presente el túnel y sea representativo para el drenaje. El responsable de definir el tipo y toma de muestra será la persona de campo que está capacitada para realizar dicha actividad y conoce el interés del muestreo.

La toma de muestra se divide en diferentes tipos, los cuales pueden ser:

- Panel Chip
- Canal Chip
- Canal Continuo
- Muestra Selectiva

Definiciones importantes

MUESTRA: Es una parte o porción extraída de un conjunto, del modo que nos permita considerarla representativa del mismo.

MUESTREO: Es la acción de recoger muestras representativas de calidad, que nos permitan inferir el valor de una o varias características del conjunto.

Canal Chip

Cuando tomamos muestras de esquirlas, siguiendo una dirección determinada (Por lo general, transversalmente a una estructura definida).

Los intervalos de muestreo dentro de la longitud de muestra deben de ser lo más uniforme posible, La dirección y longitud de muestra (No mayor a 0.5 m), la determina la persona encargada del muestreo en campo, Colectar cada Chip o esquirla de 3 cm de diámetro, la longitud del canal debe ser máximo de 2 metros por 10 cm de profundidad, teniendo en cuenta que hay que limpiar los óxidos de la roca ya que estos contaminan la muestra para el objetivo previsto

Panel Chip

- Un panel es un área de forma circular, rectangular, cuadrada o irregular, donde tomamos una muestra.
- Por lo general el área a cubrir, no debe de ser mayor a 3x3 m, y dentro de la superficie seleccionada, tomamos una muestra representativa.
- Usualmente tomamos panel, cuando es difícil de determinar, el control estructural del afloramiento a muestrear (Veta, fractura, falla, estratificación, etc.).
- Otra circunstancia, por la cual tomamos panel, es cuando la geomorfología y la posición topográfica del área a muestrear, sólo facilita la construcción de panel.

Canal Continuo

- Se debe tener una orientación de donde se quiere muestrear
- Se selecciona la línea a muestrear (máx. 2m)
- Se muestrea la roca continuamente manteniendo el ancho y la profundidad de la línea
- Se colecta siempre la misma cantidad de material por distancia

Muestra Selectiva

Se muestrea únicamente el canal o punto de interés (punto de infiltración), teniendo en cuenta si es la misma roca, si es diferente, en este caso se realizaría un muestreo según el objetivo, basándose según los diferentes tipos de muestreo anteriormente nombrados

Factores a tener en cuenta para realizar un buen muestreo:

- Capacitar al personal involucrado en el muestreo.
- Supervisar las operaciones de muestreo.
- Evitar la contaminación manual.
- Observar y verificar que la muestra es correcta.
- Fotografíar y/o filmar, el área muestreada y las operaciones de muestreo.
- Respetar las reglas establecidas para efectuar el muestreo.
- Identificar correctamente las muestras.

Por último el embalaje de la muestra se aconseja que sea en bolsa de plástica gruesa o doble, y sea sellada por sunchos con el de que no se salga la muestra o rompa la bolsa y se contamine la muestra.

ANEXO B: CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS (FLUORECENCIA Y DIFRACCION DE RAYOS X)

A continuación se presenta los resultados de los análisis realizados por Fluorescencia de Rayos X y Difracción de Rayos X a 13 muestras pertenecientes a los túneles H2, Acabarropas y Chucho 2, pertenecientes a la compañía minera AUX Colombia LTDA.

Métodos y equipos

Fluorescencia de Rayos X

- Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X de Energía Dispersiva.
- *Software:*
- La cuantificación de los elementos se realizó empleando el método de parámetros fundamentales mediante el software DXP-700E Versión 1.00 Rel. 014.

Difracción de Rayos X

- Las muestras fueron pulverizadas en un mortero de Ágata y llevadas a un tamaño de 38 μm (400 mesh). El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un porta muestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal.

Resultados.

Tabla B.1. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 1 del túnel H2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	54.2	Si	25.3	0.1
Aluminio	Al ₂ O ₃	19.8	Al	10.5	0.1
Hierro	Fe ₂ O ₃	12.95	Fe	9.06	0.03
Potasio	K ₂ O	6.13	K	5.11	0.03
Magnesio	MgO	2.67	Mg	2.13	0.08
Titanio	TiO ₂	1.293	Ti	1.154	0.016
Manganeso	MnO	1.283	Mn	0.995	0.009
Azufre	SO ₃	0.628	S	0.251	0.013
Calcio	CaO	0.530	Ca	0.379	0.012

Fósforo	P ₂ O ₅	0.236	P	0.102	0.019
Cobre	CuO	0.049	Cu	0.021	0.002
Vanadio	V ₂ O ₅	0.049	V	0.027	0.007
Zinc	ZnO	0.047	Zn	0.038	0.001
Zirconio	ZrO ₂	0.044	Zr	0.025	0.001
Rubidio	Rb ₂ O	0.043	Rb	0.039	0.001
Arsénico	As ₂ O ₃	0.037	As	0.027	0.001
Plomo	PbO	0.013	Pb	0.056	0.002
Estroncio	SrO	0.010	Sr	0.009	0.001

Tabla B.2. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 1 del túnel H2

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	SiO ₂	010-75-0443	Cuarzo	22.8%(0.2)
	Mg ₅ (Si ₄ O ₁₀) ₂ (OH) ₂ (H ₂ O) ₈	010-88-1951	Paligorskita	1.4%(0.1)
	(K _{0.94} Na _{0.06})AlSi ₃ O ₈	010-76-0823	Ortoclasa	11.1%(0.2)
	Mg _{3.41} Si _{2.86} Al _{1.14} O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) _{3.72}	010-76-0847	Vermiculita	N.C
	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	010-29-0701	Clinocloro	14.9%(0.4)
	TiO ₂	010-71-1166	Anatasa	0.8%(0.0)
	Fe ₂ O ₃	010-80-2377	Hematita	1.9%(0.0)
	(K _{0.80} Na _{0.02} Ca _{0.01})(Al _{1.66} Fe _{0.08} Mg _{0.28})(Si _{3.41} Al _{0.59})O ₁₀ (OH) ₂	010-78-1928	Moscovita	37.5%(0.3)
Total especies cristalinas				90.4%
Total compuestos amorfos y otros				9.6%

Tabla B.3. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 2 del túnel H2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	50.286	Si	23.498	0.134
Aluminio	Al ₂ O ₃	21.060	Al	11.143	0.118
Hierro	Fe ₂ O ₃	14.580	Fe	10.196	0.026
Potasio	K ₂ O	7.319	K	6.099	0.029
Magnesio	MgO	3.103	Mg	2.482	0.085
Titanio	TiO ₂	1.302	Ti	1.163	0.017
Manganeso	MnO	0.841	Mn	0.652	0.007
Calcio	CaO	0.404	Ca	0.289	0.012
Bario	BaO	0.383	Ba	0.334	0.032

Azufre	SO ₃	0.341	S	0.136	0.010
Fósforo	P ₂ O ₅	0.074	P	0.102	0.018
Zinc	ZnO	0.068	Zn	0.055	0.002
Cobre	CuO	0.061	Cu	0.026	0.002
Rubidio	Rb ₂ O	0.046	Rb	0.042	0.001
Plomo	PbO	0.045	Pb	0.056	0.002
Zirconio	ZrO ₂	0.037	Zr	0.021	0.001
Cromo	Cr ₂ O ₃	0.036	Cr	0.025	0.004
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Itrio	Y ₂ O ₃	87	Y	69	6
Estroncio	SrO	59	Sr	55	6

Tabla B.4. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 2 del túnel H2.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	SiO ₂	010-85-0796	Cuarzo	6.8%(0.1)
	MgSiO ₃	010-75-1335	Enstatita	13.6%(0.5)
	K Al Si ₃ O ₈	000-22-1212	Ortoclasa	9.8%(0.2)
	Mg _{3.41} Si _{2.86} Al _{1.14} O ₁₀ (OH) ₂ (H ₂ O) _{3.72}	010-76-0847	Vermiculita	N.C
	(Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-29-0701	Clinocloro	14.1%(0.6)
	TiO ₂	010-84-1285	Anatasa	0.5%(0.0)
	Fe ₂ O ₃	010-73-2234	Hematita	2.8%(0.0)
	(K _{0.80} Na _{0.02} Ca _{0.01})(Al _{1.66} Fe _{0.08} Mg _{0.28})(Si _{3.41} Al _{0.59})O ₁₀ (OH) ₂	010-78-1928	Moscovita	4.7%(0.0)
	K _{0.93} Na _{0.07} Al _{1.80} Fe _{0.2} Mg _{0.07} (Al _{1.13} Si _{2.87} O ₁₀)(OH) ₂	010-73-9866	Moscovita Férrica	25.6%(0.3)
Total especies cristalinas				77.9%
Total compuestos amorfos y otros				22.1%

Tabla B.5. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 3 del túnel H2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	50.6	Si	23.6	0.1
Aluminio	Al ₂ O ₃	18.4	Al	9.7	0.1
Azufre	SO ₃	11.23	S	4.49	0.04
Hierro	Fe ₂ O ₃	11.05	Fe	7.72	0.02
Potasio	K ₂ O	6.59	K	5.50	0.03
Titanio	TiO ₂	1.029	Ti	0.919	0.014
Magnesio	MgO	0.67	Mg	0.54	0.06

Calcio	CaO	0.098	Ca	0.070	0.009
Arsénico	As ₂ O ₃	0.097	As	0.072	0.001
Vanadio	V ₂ O ₅	0.074	V	0.041	0.006
Plomo	PbO	0.050	Pb	0.056	0.002
Cobre	CuO	0.034	Cu	0.015	0.002
Rubidio	Rb ₂ O	0.030	Rb	0.028	0.001
Manganeso	MnO	0.027	Mn	0.021	0.003
Zirconio	ZrO ₂	0.021	Zr	0.012	0.001
Estroncio	SrO	0.014	Sr	0.013	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Antimonio	Sb ₂ O ₃	87	Sb	73	19
Zinc	ZnO	58	Zn	46	11
Molibdeno	MoO ₃	42	Mo	29	5
Itrio	Y ₂ O ₃	30	Y	23	5

Tabla B.6. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 3 del túnel H2.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	SiO ₂	010-850930	Cuarzo	23.1%(0.2)
	K Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	000-47-1884	Alunita	6.5%(0.1)
	K Al Si ₃ O ₈	010-75-1592	Ortoclasa	5.6%(0.3)
	(K _{0.86} (H ₃ O) _{0.14})Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	010-75-9735	Jarosita	11.0%(0.1)
	FeS ₂	010-71-1680	Pirita	3.1%(0.1)
	Fe ₂ O ₃	000-33-0664	Hematita	N.C
	K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂	000-07-0025	Moscovita	24.0%(0.2)
K _{0.92} Na _{0.08} Al _{1.78} Fe _{0.22} Mg _{0.1} (Al _{0.83} Si _{3.17} O ₁₀)(OH) ₂	010-73-9865	Moscovita Férrica	12.2%(0.2)	
Total especies cristalinas				85.5%
Total compuestos amorfos y otros				14.5%

Tabla B.7. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 4 del túnel H2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	48.2	Si	22.5	0.1
Aluminio	Al ₂ O ₃	19.0	Al	10.0	0.1
Azufre	SO ₃	17.37	S	6.95	0.05
Hierro	Fe ₂ O ₃	7.878	Fe	5.509	0.018
Potasio	K ₂ O	5.21	K	4.34	0.02

Fósforo	P ₂ O ₅	0.54	P	0.10	0.03
Titanio	TiO ₂	0.438	Ti	0.391	0.010
Bario	BaO	0.42	Ba	0.33	0.02
Plomo	PbO	0.387	Pb	0.056	0.003
Magnesio	MgO	0.25	Mg	0.20	0.05
Calcio	CaO	0.176	Ca	0.126	0.008
Cromo	Cr ₂ O ₃	0.054	Cr	0.037	0.003
Estroncio	SrO	0.046	Sr	0.043	0.001
Cobre	CuO	0.030	Cu	0.013	0.001
Manganeso	MnO	0.016	Mn	0.012	0.002
Vanadio	V ₂ O ₅	0.014	V	0.008	0.005
Zirconio	ZrO ₂	0.012	Zr	0.007	<0.001
Rubidio	Rb ₂ O	0.012	Rb	0.011	<0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Zinc	ZnO	35	Zn	28	9
Molibdeno	MoO ₃	29	Mo	29	4

Tabla B.8. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 4 del túnel H2.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	SiO ₂	010-85-0796	Cuarzo	31.3%(0.2)
	K (Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆)	010-72-1630	Alunita	20.8%(0.2)
	K Al Si ₃ O ₈	010-75-1592	Ortoclasa	0.2%(0.0)
	(K _{0.95} (H ₃ O) _{0.05})Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	010-75-9736	Jarosita	2.2%(0.1)
	FeS ₂	010-71-1680	Pirita	6.5%(0.1)
	K Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	000-14-0136	Alunita	N.C
	Al ₂ Si O ₅	000-16-0602	Aluminosilicato	N.C
	K _{0.93} Na _{0.07} Al _{1.80} Fe _{0.2} Mg _{0.07} (Al _{1.13} Si _{2.87} O ₁₀)(OH) ₂	010-73-9866	Moscovita Férrica	19.4%(0.1)
Total especies cristalinas				80.4%
Total compuestos amorfos y otros				19.6%

Tabla B.9. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 5 del túnel H2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	51.2	Si	23.9	0.1
Azufre	SO ₃	20.50	S	8.20	0.05

Aluminio	Al ₂ O ₃	11.77	Al	6.23	0.09
Hierro	Fe ₂ O ₃	11.59	Fe	8.11	0.02
Potasio	K ₂ O	2.599	K	2.166	0.018
Fósforo	P ₂ O ₅	0.63	P	0.27	0.03
Bario	BaO	0.583	Ba	0.351	0.018
Plomo	PbO	0.297	Pb	0.252	0.003
Magnesio	MgO	0.24	Mg	0.19	0.05
Cobre	CuO	0.225	Cu	0.097	0.003
Calcio	CaO	0.116	Ca	0.083	0.007
Arsénico	As ₂ O ₃	0.082	As	0.061	0.002
Titanio	TiO ₂	0.054	Ti	0.048	0.009
Estroncio	SrO	0.033	Sr	0.031	0.001
Antimonio	Sb ₂ O ₃	0.030	Sb	0.025	0.002
Cromo	Cr ₂ O ₃	0.023	Cr	0.016	0.003
Manganeso	MnO	0.018	Mn	0.014	0.002
Vanadio	V ₂ O ₅	0.016	V	0.009	0.005
Molibdeno	MoO ₃	0.015	Mo	0.010	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Zirconio	ZrO ₂	66	Zr	37	5
Rubidio	Rb ₂ O	54	Rb	49	4
Niobio	NbO	9	Nb	8	3

Tabla B.10. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 5 del túnel H2.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-85-0796	Cuarzo	44.3 % (0.3)
	(K _{0.805} Na _{0.132} (H ₂ O) _{0.063}) Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	010-75-9141	Alunita	11.8 % (0.3)
	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-46-1308	Pirofilita	N.C
	K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂	000-07-0025	Moscovita	N.C
	Fe S ₂	010-71-1680	Pirita	14.6 % (0.2)
	K Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	000-14-0136	Alunita	N.C
	Al ₂ Si O ₅	000-16-0602	Aluminosilicato	N.C
	K ₂ (Al _{3.74} Fe _{0.26}) (Si ₆ Al ₂ O ₂₀) (OH) ₄	010-76-0668	Moscovita	20.3 % (0.6)
Total especies cristalinas				91.0 %
Total compuestos amorfos y otros				9.0 %

Tabla B.11. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 6 del túnel H2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	46.6	Si	21.8	0.1
Azufre	SO ₃	20.76	S	8.31	0.06
Aluminio	Al ₂ O ₃	14.37	Al	7.61	0.10
Hierro	Fe ₂ O ₃	11.99	Fe	8.39	0.02
Potasio	K ₂ O	4.14	K	3.45	0.02
Fósforo	P ₂ O ₅	0.51	P	0.22	0.03
Bario	BaO	0.414	Ba	0.249	0.019
Plomo	PbO	0.270	Pb	0.229	0.003
Titanio	TiO ₂	0.247	Ti	0.221	0.010
Magnesio	MgO	0.22	Mg	0.18	0.06
Cobre	CuO	0.152	Cu	0.066	0.002
Calcio	CaO	0.113	Ca	0.081	0.008
Arsénico	As ₂ O ₃	0.080	As	0.059	0.002
Estroncio	SrO	0.040	Sr	0.037	0.001
Antimonio	Sb ₂ O ₃	0.034	Sb	0.029	0.002
Vanadio	V ₂ O ₅	0.022	V	0.012	0.005
Cromo	Cr ₂ O ₃	0.020	Cr	0.014	0.003
Molibdeno	MoO ₃	0.016	Mo	0.011	0.001
Manganeso	MnO	0.015	Mn	0.012	0.003
Zinc	ZnO	0.014	Zn	0.011	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Rubidio	Rb ₂ O	68	Rb	63	5
Zirconio	ZrO ₂	49	Zr	27	5

Tabla B.12. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 6 del túnel H2.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo	42.0 % (0.2)
	K (Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆)	010-72-1630	Alunita	12.9 % (0.1)
	(K _{0.95} (H ₃ O) _{0.05}) Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	010-75-9736	Jarosita	9.2 % (0.1)

	Fe S_2	010-71-1680	Pirita	10.4 % (0.1)
	$\text{K Al}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$	000-14-0136	Alunita	N.C
	$\text{K}_{0.93} \text{Na}_{0.07} \text{Al}_{1.80} \text{Fe}_{0.2} \text{Mg}_{0.07} (\text{Al}_{1.13} \text{Si}_{2.87} \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-73-9866	Moscovita Férrica	16.9 % (0.3)
Total especies cristalinas				91.4%
Total compuestos amorfos y otros				8.6%

Tabla B.13. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 7 del túnel H2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	62.5	Si	29.2	0.1
Aluminio	Al ₂ O ₃	18.486	Al	9.78	0.10
Potasio	K ₂ O	8.519	K	7.10	0.03
Hierro	Fe ₂ O ₃	6.704	Fe	4.688	0.017
Magnesio	MgO	1.302	Mg	1.042	0.008
Manganeso	MnO	1.05	Mn	0.82	0.05
Calcio	CaO	0.440	Ca	0.314	0.011
Bario	BaO	0.432	Ba	0.260	0.017
Azufre	SO ₃	0.363	S	0.145	0.009
Titanio	TiO ₂	0.036	Ti	0.032	0.001
Rubidio	Rb ₂ O	0.032	Rb	0.029	0.008
Cobre	CuO	0.027	Cu	0.012	0.001
Zinc	ZnO	0.022	Zn	0.018	0.001
Cromo	Cr ₂ O ₃	0.017	Cr	0.012	0.003
Estroncio	SrO	0.016	Sr	0.015	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Plomo	PbO	87	Pb	74	15
Zirconio	ZrO ₂	62	Zr	35	5
Itrio	Y ₂ O ₃	18	Y	14	5
Molibdeno	MoO ₃	16	Mo	11	5

Tabla B.14. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 7 del túnel H2.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo	22.0 % (0.2)
	K Al Si ₃ O ₈	010-75-1190	Ortoclasa	19.3 % (0.3)
	Fe ₂ O ₃	010-79-1741	Hematita	1.5 % (0.1)

	$K Al_2 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_2$	000-58-2037	Moscovita	N.C
	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-07-0025	Moscovita	41.9 % (0.6)
Total especies cristalinas				84.7%
Total compuestos amorfos y otros				15.3%

Tabla B.15. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 2 del túnel Acabarropas

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	48.1	Si	22.2	0.1
Hierro	Fe ₂ O ₃	21.04	Fe	14.72	0.04
Aluminio	Al ₂ O ₃	18.1	Al	9.6	0.1
Potasio	K ₂ O	5.67	K	4.72	0.03
Azufre	SO ₃	2.22	S	0.89	0.02
Magnesio	MgO	1.58	Mg	1.26	0.08
Manganeso	MnO	1.247	Mn	0.967	0.010
Titanio	TiO ₂	0.969	Ti	0.865	0.015
Bario	BaO	0.28	Ba	0.17	0.03
Calcio	CaO	0.236	Ca	0.169	0.010
Cobre	CuO	0.151	Cu	0.065	0.003
Fósforo	P ₂ O ₅	0.11	P	0.05	0.02
Vanadio	V ₂ O ₅	0.050	V	0.028	0.007
Arsénico	As ₂ O ₃	0.047	As	0.035	0.001
Rubidio	Rb ₂ O	0.034	Rb	0.031	0.001
Zirconio	ZrO ₂	0.033	Zr	0.018	0.001
Zinc	ZnO	0.028	Zn	0.023	0.002
Estroncio	SrO	0.026	Sr	0.024	0.001
Plomo	PbO	0.014	Pb	0.012	0.002
Molibdeno	MoO ₃	0.011	Mo	0.007	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Itrio	Y ₂ O ₃	68	Y	53	7
Niobio	NbO	33	Nb	28	5

Tabla B.16. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 2 del túnel Acabarropas.

Especies	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa
----------	-------------------	--------	--------------------------

				(D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-75-0443	Cuarzo	14.0 % (0.3)
	(K _{0.86} (H ₃ O) _{0.14}) Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	010-75-9735	Jarosita	1.8 % (0.1)
	K (Al Si ₃ O ₈)	010-86-0101	Sanidina	3.9 % (0.2)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-73-9850	Albita	7.1 % (0.2)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-75-0938	Caolinita	2.9 % (0.4)
	Fe O (OH)	000-17-0536	Goetita	4.3 % (0.1)
	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-29-0701	Clinocloro	7.8 % (0.2)
	K (Al, Fe) Si ₂ Al O ₈	000-08-0048	Ortoclasa	7.6 % (0.2)
	Fe S ₂	030-65-3321	Pirita	5.3 % (0.1)
	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	000-06-0263	Moscovita	36.3 % (0.3)
Total especies cristalinas				91.0 %
Total compuestos amorfos y otros				9.0 %

Tabla B.17. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 3 del túnel Acabarropas.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	55.8	Si	26.1	0.1
Hierro	Fe ₂ O ₃	18.1	Fe	12.6	0.1
Aluminio	Al ₂ O ₃	12.33	Al	6.52	0.03
Potasio	K ₂ O	8.12	K	6.76	0.03
Azufre	SO ₃	2.77	S	1.11	0.02
Magnesio	MgO	1.10	Mg	0.88	0.06
Titanio	TiO ₂	0.630	Ti	0.563	0.014
Bario	BaO	0.35	Ba	0.21	0.03
Manganeso	MnO	0.312	Mn	0.242	0.005
Calcio	CaO	0.244	Ca	0.174	0.011
Zirconio	ZrO ₂	0.096	Zr	0.054	0.001
Vanadio	V ₂ O ₅	0.054	V	0.030	0.007
Cobre	CuO	0.042	Cu	0.018	0.002
Plomo	PbO	0.039	Pb	0.033	0.002
Rubidio	Rb ₂ O	0.034	Rb	0.031	0.001
Estroncio	SrO	0.027	Sr	0.025	0.001
Arsénico	As ₂ O ₃	0.017	As	0.013	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Zinc	ZnO	87	Zn	70	12
Itrio	Y ₂ O ₃	73	Y	58	6

Molibdeno	MoO ₃	61	Mo	40	7
------------------	------------------	----	----	----	---

Tabla B.18. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 3 del túnel Acabarropas.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-75-0443	Cuarzo	12.7 % (0.2)
	Fe O (OH)	000-03-0251	Goetita	1.8 % (0.1)
	K Al Si ₃ O ₈	010-76-0825	Ortoclasa	20.4 % (0.4)
	Fe S ₂	000-42-1340	Pirita	4.9 % (0.1)
	Fe ₂ O ₃	010-89-0596	Hematita	N.C
	(K _{0.7} (H ₃ O) _{0.3}) Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	010-75-9734	Jarosita	4.8 % (0.1)
	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	010-75-1593	Caolinita	1.0 % (0.1)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-89-6427	Albita	14.6 % (0.4)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Moscovita	22.7 % (0.2)
Total especies cristalinas				82.9%
Total compuestos amorfos y otros				17.1%

Tabla B.19. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 4 del túnel Acabarropas.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	54.0	Si	25.2	0.1
Hierro	Fe ₂ O ₃	15.35	Fe	10.74	0.03
Aluminio	Al ₂ O ₃	15.1	Al	8.0	0.1
Potasio	K ₂ O	6.59	K	5.49	0.03
Azufre	SO ₃	4.41	S	1.76	0.03
Magnesio	MgO	1.55	Mg	1.24	0.07
Titanio	TiO ₂	1.381	Ti	1.233	0.017
Manganeso	MnO	0.770	Mn	0.597	0.007
Calcio	CaO	0.321	Ca	0.229	0.011
Bario	BaO	0.32	Ba	0.19	0.03
Cobre	CuO	0.065	Cu	0.028	0.002
Estroncio	SrO	0.050	Sr	0.046	0.001
Zirconio	ZrO ₂	0.046	Zr	0.026	0.001
Rubidio	Rb ₂ O	0.040	Rb	0.037	0.001
Plomo	PbO	0.040	Pb	0.034	0.002

Vanadio	V ₂ O ₅	0.035	V	0.020	0.007
Arsénico	As ₂ O ₃	0.028	As	0.021	0.001
Zinc	ZnO	0.012	Zn	0.010	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Molibdeno	MoO ₃	58	Mo	38	7
Itrio	Y ₂ O ₃	40	Y	31	7

Tabla B.20. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 4 del túnel Acabarropas.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo	4.5 % (0.2)
	Fe ₂ O ₃	000-33-0664	Hematita	1.5 % (0.1)
	K Al Si ₃ O ₈	010-76-0825	Ortoclasa	23.4 % (0.4)
	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-29-0701	Clinocloro	3.6 % (0.1)
	Fe S ₂	010-71-1680	Pirita	4.1 % (0.1)
	(K _{0.84} (H ₃ O) _{0.16}) Fe _{2.73} (SO ₄) ₂ ((OH) _{5.19} (H ₂ O) _{0.81})	010-75-9739	Jarosita	4.0 % (0.1)
	Na Al Si ₃ O ₈	010-73-3992	Albita	5.6 % (0.4)
	K _{0.92} Na _{0.08} Al _{1.86} Fe _{0.14} (Al _{0.92} Si _{3.03} O ₁₀) (OH) ₂	010-73-9860	Moscovita Férrica	31.2 % (0.2)
Total especies cristalinas				77.9%
Total compuestos amorfos y otros				22.1%

Tabla B.21. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 5 del túnel Acabarropas.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	60.8	Si	28.4	0.1
Aluminio	Al ₂ O ₃	16.4	Al	8.7	0.1
Hierro	Fe ₂ O ₃	11.78	Fe	8.24	0.02
Potasio	K ₂ O	3.85	K	3.21	0.02
Magnesio	MgO	2.11	Mg	1.68	0.07
Azufre	SO ₃	1.637	S	0.655	0.017
Titanio	TiO ₂	1.417	Ti	1.265	0.016
Calcio	CaO	0.906	Ca	0.647	0.011
Manganeso	MnO	0.851	Mn	0.660	0.007
Vanadio	V ₂ O ₅	0.066	V	0.037	0.007

Cobre	CuO	0.046	Cu	0.020	0.002
Arsénico	As ₂ O ₃	0.029	As	0.021	0.001
Estroncio	SrO	0.026	Sr	0.024	0.001
Zinc	ZnO	0.023	Zn	0.019	0.001
Rubidio	Rb ₂ O	0.020	Rb	0.018	0.001
Zirconio	ZrO ₂	0.017	Zr	0.009	0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Molibdeno	MoO ₃	63	Mo	42	6
Itrio	Y ₂ O ₃	26	Y	21	5

Tabla B.22. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 5 del túnel Acabarropas.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo	21.1 % (0.1)
	K _{0.96} Na _{0.04} Al Si ₃ O ₈	010-83-1895	Microclina	17.1 % (0.2)
	Fe S ₂	000-01-1295	Pirita	<1 % (0.1)
	(K, H ₃ O) Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	000-36-0427	Jarosite	4.2 % (0.1)
	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-29-0701	Clinocloro	11.0 % (0.2)
	(Na _{0.98} Ca _{0.02}) Al Si ₃ O ₈	010-70-3752	Albita	25.3 % (0.2)
	K _{0.93} Na _{0.07} Al _{1.80} Fe _{0.2} Mg _{0.07} (Al _{1.13} Si _{2.87} O ₁₀) (OH) ₂	010-73-9866	Moscovita Férrica	13.0 % (0.2)
Total especies cristalinas				94.7%
Total compuestos amorfos y otros				5.3%

Tabla B.23. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 6 del túnel Acabarropas.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	56.4	Si	26.4	0.1
Aluminio	Al ₂ O ₃	22.94	Al	12.14	0.10
Potasio	K ₂ O	8.15	K	6.79	0.03
Hierro	Fe ₂ O ₃	6.249	Fe	4.370	0.016
Azufre	SO ₃	3.48	S	1.39	0.02
Magnesio	MgO	1.38	Mg	1.10	0.06
Manganeso	MnO	0.373	Mn	0.289	0.005
Bario	BaO	0.310	Ba	0.187	0.016
Calcio	CaO	0.288	Ca	0.206	0.009
Titanio	TiO ₂	0.176	Ti	0.157	0.009

Cobre	CuO	0.064	Cu	0.028	0.002
Vanadio	V ₂ O ₅	0.044	V	0.025	0.005
Rubidio	Rb ₂ O	0.033	Rb	0.030	0.001
Plomo	PbO	0.024	Pb	0.020	0.001
Estroncio	SrO	0.024	Sr	0.022	0.001
Zirconio	ZrO ₂	0.011	Zr	0.006	<0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Zinc	ZnO	84	Zn	68	0
Molibdeno	MoO ₃	30	Mo	20	6
Itrio	Y ₂ O ₃	14	Y	11	5

Tabla B.24. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 6 del túnel Acabarropas.

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-75-0443	Cuarzo	22.9 % (0.2)
	K Al Si ₃ O ₈	010-71-1540	Ortoclasa	7.5 % (0.2)
	Fe ₂ O ₃	010-72-6226	Hematita	2.0 % (0.1)
	(K _{0.84} (H ₃ O) _{0.16}) Fe _{2.73} (SO ₄) ₂ ((OH) _{5.19} (H ₂ O) _{0.81})	010-75-9739	Jarosita	7.5 % (0.1)
	Na Al Si ₃ O ₈	000-09-0466	Albita	9.6 % (0.2)
	(K _{0.80} Na _{0.02} Ca _{0.01}) (Al _{1.66} Fe _{0.08} Mg _{0.28}) (Si _{3.41} Al _{0.59}) O ₁₀ (OH) ₂	010-78-1928	Moscovita	N.C
	K Al _{2.9} Si _{3.1} O ₁₀ (OH) ₂	010-84-1302	Moscovita	43.3 % (0.2)
Total especies cristalinas				92.8%
Total compuestos amorfos y otros				7.2%

Tabla B.25. Resultados de FRX obtenidos de la muestra del Punto 1 del túnel Chucho 2.

Nombre	Analito Óxido	Resultado (%)	Analito Elemento	Resultado (%)	Desviación Estándar
Silicio	SiO ₂	61.5	Si	28.72	0.12
Aluminio	Al ₂ O ₃	21.55	Al	11.40	0.09
Potasio	K ₂ O	6.72	K	5.60	0.02
Hierro	Fe ₂ O ₃	5.788	Fe	4.048	0.015
Azufre	SO ₃	1.655	S	0.662	0.015
Magnesio	MgO	1.51	Mg	1.21	0.05
Titanio	TiO ₂	0.814	Ti	0.727	0.012

Calcio	CaO	0.244	Ca	0.174	0.008
Manganeso	MnO	0.074	Mn	0.057	0.003
Vanadio	V ₂ O ₅	0.045	V	0.025	0.006
Cobre	CuO	0.038	Cu	0.016	0.001
Rubidio	Rb ₂ O	0.036	Rb	0.033	0.001
Zirconio	ZrO ₂	0.024	Zr	0.013	0.001
Zinc	ZnO	0.017	Zn	0.014	0.001
Estroncio	SrO	0.016	Sr	0.015	<0.001
Nombre	Analito Óxido	Resultado [ppm]	Analito	Resultado [ppm]	Desviación Estándar
Itrio	Y ₂ O ₃	39	Y	31	5
Arsénico	As ₂ O ₃	35	As	26	0

Tabla B.26. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 1 del túnel Chucho 2

Especies		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	Composición cuantitativa (D.E)
Cristalinas	Si O ₂	010-78-1253	Cuarzo	28.0 % (0.2)
	K Al Si ₃ O ₈	000-19-0931	Ortoclasa	0.9 % (0.1)
	Fe ₂ O ₃	010-73-0603	Hematita	3.8 % (0.1)
	Fe S ₂	010-71-1680	Pirita	2.4 % (0.1)
	(K _{0.80} Na _{0.02} Ca _{0.01}) (Al _{1.66} Fe _{0.08} Mg _{0.28}) (Si _{3.41} Al _{0.59}) O ₁₀ (OH) ₂	010-78-1928	Moscovita	N.C
	K _{0.96} Na _{0.04} Al _{1.71} Fe _{0.29} (Al _{0.91} Si _{3.09} O ₁₀) (OH) ₂	010-73-9861	Moscovita Férrica	43.9 % (0.5)
Total especies cristalinas				79.0%
Total compuestos amorfos y otros				21.0%

ANEXO C: PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE Y RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS.

El sistema consta de 2 recipientes cilíndricos de acrílico, conectados en su parte inferior por una manguera plástica, y con una determinada diferencia de alturas. El recipiente de mayor tamaño debe estar provisto de una tapa superior acoplada a una manguera de alimentación del líquido de prueba. La muestra de experimentación en el recipiente mayor estará dentro de 2 discos perforados de acrílico. Entre la tapa y el disco de acrílico superiores irá un resorte metálico que evitará el desplazamiento ascendente de las partículas, especialmente las finas, al momento del ensayo. El derrame del líquido de prueba en el recipiente menor será por desborde [8, 9].

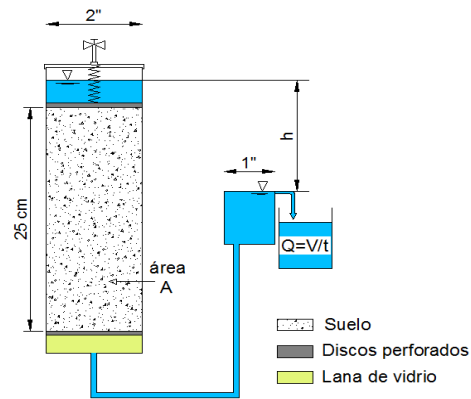


Figura C.1. Sistema de carga constante.

MUESTRA	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)	CAUDAL L/día
H2-P1	0,06	88,20
H2-P2	0,03	47,89
H2-P3	0,01	15,44
H2-P4	0,26	257,82
H2-P5	0,14	210,84
H2-P6	0,20	199,07
H2-P7	0,26	255,16
ACABARROPAS-P2	0,09	133,25
ACABARROPAS-P3	0,14	133,34
ACABARROPAS-P4	0,22	213,92
ACABARROPAS-P5	0,10	122,46
ACABARROPAS-P6	0,08	125,03
CHUCHO 2-P1	0,00084	3,100

Tabla C.1. Resultados de la permeabilidad de las 13 muestras en estudio

ANEXO D: CALCULOS PARA PREPARAR LA SOLUCIÓN LIXIVIANTE DE ACIDO SULFURICO Y PROCEDIMIENTO PARA SU VALORACIÓN.

PESO MOLECULAR ACIDO SULFURICO = 98 g/mol

DENSIDAD ACIDO SULFURICO = $1,8 \text{ g/ml}$

PUREZA ACIDO SULFURICO = 98%

BASE DE CALCULO = 100 g DE SOLUCION

$$\frac{98 \text{ g H}_2\text{SO}_4}{100 \text{ g SLN}} * \frac{1,8 \text{ g}}{1 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ MOL}}{98 \text{ g}} = 18\text{M}$$

18M ES LA CONCENTRACION A LA QUE SE ENCUENTRA NUESTRO ACIDO PURO, PARA

EL PROCEDIMIENTO SE DEBE LLEVAR A 0,5M;

POR MEDIO DE LA FORMULA:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{DONDE: } C_1 = 18; \quad V_1 = ?; \quad C_2 = 0,5; \quad V_2 = 1\text{L}$$

$$\frac{0,5 * 1}{18} = 0,027 \text{ L} * \frac{1000\text{ml}}{1\text{L}}$$

$$V_1 = 27,78 \text{ ml}$$

ACONTINUACION DE 1 LITRO DE AGUA RESTAMOS EL VOLUMEN DE ACIDO OBTENIDO ANTERIORMENTE (27,78), LO CUAL NOS DA 972,22 ml_{AGUA} QUE SERA LO REQUERIDO PARA COMPLETAR UN LITRO. AHORA DE ESTA DISOLUCION AGUA~ ACIDO SULFURICO LO QUE ACEMOS ES EXTRAER 5 ml PARA ADICIONARCELOS A CADA LITRO DE AGUA QUE SERA USADA EN LAS COLUMNAS.

- 1) Se toma 4g de carbonato de sodio y se coloca a secar por 4 horas a 250°C en un horno y posteriormente llevar a un desecador por 2 horas para su acondicionamiento.
- 2) Pesar 2.5g +- 0.2g y llevar a 100 ml en un balón aforado con agua destilada.
- 3) Tomar 40 ml de la solución preparada (Na₂CO₃) y aforar a 100ml en un balón con agua destilada. Seguidamente llevar a un vaso de precipitado y agregar 2 gotas de fenolftaleína.

Por último titular hasta decoloración

$$N = \frac{A * B}{53 * C}$$

donde; $M = \frac{N}{2}$

Donde el valor (2), corresponde a los equivalentes gramo presentes en una mol de H₂SO₄

A = g de carbonato de sodio usado (2.5)

B = ml de carbonato de calcio, (40).

C = ml de solución de ácido usado con concentración 0.5M

53.00 = factor de conversion.

ANEXO E. RESULTADOS PARA LOS PUNTOS ACR-P3, ACR-P4 Y ACR-P6.

Tabla 13. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra ACR-P3.

ACR-P3										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
1	3,22	283,60	467,97	143,50	0,55	0,33	57,07	0,24	-	-
2	3,19	120,53	316,85	64,87	3,02	0,48	25,75	0,14	-	-
3	3,04	177,25	282,53	63,52	6,16	0,37	5,63	14,13	-	-
4	3,20	85,08	250,74	167,13	23,35	0,22	47,57	13,78	-	-
5	3,03	141,80	300,48	153,55	27,17	0,24	41,89	13,95	-	-
6	2,72	177,25	430,19	202,15	17,17	0,81	66,33	10,38	-	-
7	2,69	155,98	304,26	70,90	24,13	0,70	25,28	2,20	-	-
8	2,63	191,43	261,76	53,37	21,65	0,61	19,14	1,58	-	-
9	2,59	191,43	309,61	34,14	21,15	0,65	12,44	0,87	-	-
10	2,56	85,08	366,48	27,78	17,66	0,52	9,40	1,23	-	-
11	2,60	106,35	339,80	5,36	3,68	0,12	0,00	1,53	-	-
12	2,60	113,44	459,88	78,72	5,07	0,17	29,01	1,77	-	-
13	2,59	106,35	322,79	5,29	4,75	0,46	0,00	1,51	-	-
14	2,58	85,08	419,85	48,93	4,77	0,25	17,45	1,52	-	-
24	2,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	2,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	2,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	2,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
84	2,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	2,84	172,44	179,790	21,412	14,777	0,307	0,706	5,613	0,426	0,421

Tabla 14.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra ACR-P4.

ACR-P4										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
1	3,22	283,60	467,97	143,50	0,55	0,33	57,07	0,24	-	-
2	3,19	120,53	316,85	64,87	3,02	0,48	25,75	0,14	-	-
3	3,04	177,25	282,53	63,52	6,16	0,37	5,63	14,13	-	-
4	3,20	85,08	250,74	167,13	23,35	0,22	47,57	13,78	-	-
5	3,03	141,80	300,48	153,55	27,17	0,24	41,89	13,95	-	-
6	2,72	177,25	430,19	202,15	17,17	0,81	66,33	10,38	-	-
7	2,69	155,98	304,26	70,90	24,13	0,70	25,28	2,20	-	-
8	2,63	191,43	261,76	53,37	21,65	0,61	19,14	1,58	-	-
9	2,59	191,43	309,61	34,14	21,15	0,65	12,44	0,87	-	-
10	2,56	85,08	366,48	27,78	17,66	0,52	9,40	1,23	-	-
11	2,60	106,35	339,80	5,36	3,68	0,12	ND	1,53	-	-
12	2,60	113,44	459,88	78,72	5,07	0,17	29,01	1,77	-	-
13	2,59	106,35	322,79	5,29	4,75	0,46	ND	1,51	-	-
14	2,58	85,08	419,85	48,93	4,77	0,25	17,45	1,52	-	-
24	2,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	2,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	2,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	2,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
84	2,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	2,84	98,85	90,550	34,649	16,728	0,284	0,303	9,683	0,245	0,870

Tabla E.315. Resultados de los análisis fisicoquímicos y del contenido de metales en el lixiviado obtenido con la muestra ACR-P6

ACR-P6										
DIA	pH	CLORUROS (ppm)	SULFATOS (ppm)	DUREZA (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
VLP	-	800	1000	-	-	0,30	-	-	0,5	3,0
1	3,28	42,54	339,80	37,54	0,53	0,41	0,58	10,31	-	-
2	2,97	106,35	333,13	55,51	1,29	0,59	16,17	4,31	-	-
3	2,75	70,90	273,75	14,92	2,34	0,55	0,00	4,26	-	-
4	2,73	99,26	309,78	84,18	3,07	0,42	29,54	2,96	-	-
5	2,71	106,35	273,09	76,65	2,93	0,19	28,07	1,85	-	-
6	2,72	120,53	268,12	56,14	3,08	0,10	20,62	1,31	-	-
7	2,9	85,08	313,11	7,24	1,75	0,10	0,24	1,89	-	-
8	2,66	127,62	321,41	74,01	1,77	0,58	14,68	10,66	-	-
9	2,64	127,62	410,75	49,30	1,89	0,09	17,94	1,27	-	-
10	2,6	141,80	353,32	9,20	2,55	0,47	2,56	0,80	-	-
11	2,54	127,62	404,37	10,88	1,64	0,37	2,56	1,28	-	-
12	2,62	127,62	360,27	7,09	3,46	0,39	1,56	0,91	-	-
13	2,57	99,26	329,18	7,08	2,83	0,41	1,60	0,88	-	-
14	2,61	120,53	378,93	5,11	2,54	0,36	0,99	0,76	-	-
24	2,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	2,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	2,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	2,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
84	2,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	2,76	145,68	112,090	7,638	18,923	0,848	1,289	1,262	0,366	0,888

ANEXO F: RESULTADOS DEL ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X PARA LAS COLAS DE LA LIXIVIACION EN COLUMNAS

Tabla F.1. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 5 del túnel H2.

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO (D.E)
Cristalinos	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo	50.0 % (0.2)
	K (Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆)	010-72-1630	Alunita	18.5 % (0.1)
	Fe S ₂	010-71-1680	Pirita	13.3 % (0.1)
	K Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	000-14-0136	Alunita	N.C
	Al ₂ Si O ₅	000-16-0602	Aluminosilicato	N.C
	(K _{0.80} Na _{0.02} Ca _{0.01}) (Al _{1.66} Fe _{0.08} Mg _{0.28}) (Si _{3.41} Al _{0.59}) O ₁₀ (OH) ₂	010-78-1928	Moscovita	13.2 % (0.1)
Total Cristalino				95.0 %
Amorfos y otros				5.0 %

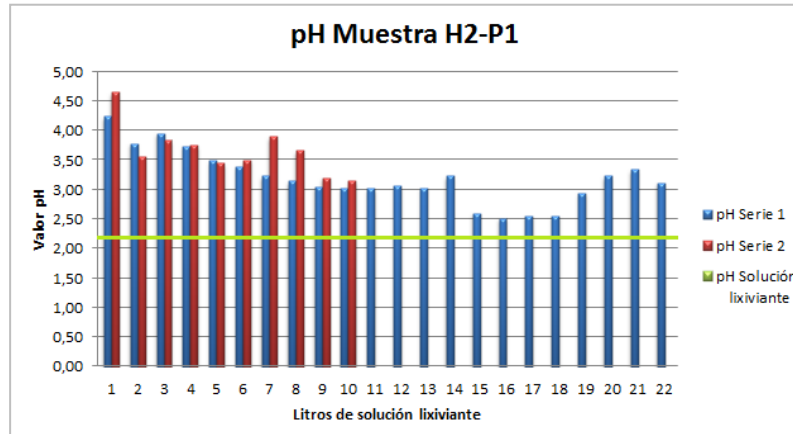
Tabla F.2. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 2 del túnel Acabarropas.

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO (D.E)
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0795	Cuarzo	14.2 % (0.2)
	(K _{0.87} (H ₃ O) _{0.13}) Fe _{2.58} (SO ₄) ₂ (OH) ₆	010-75-9737	Jarosita	1.7 % (0.1)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-89-6423	Albita	13.5 % (0.3)
	Fe O (OH)	010-81-0462	Goetita	4.1 % (0.1)
	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₃	000-29-0701	Clinocloro	17.9 % (0.3)
	K Al Si ₃ O ₈	000-19-0931	Ortoclasa	<1 %
	Fe S ₂	000-42-1340	Pirita	1.3 % (0.2)
	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	010-89-6216	Moscovita	23.9 % (0.5)
Total Cristalino				77.0 %
Amorfos y otros				23.0 %

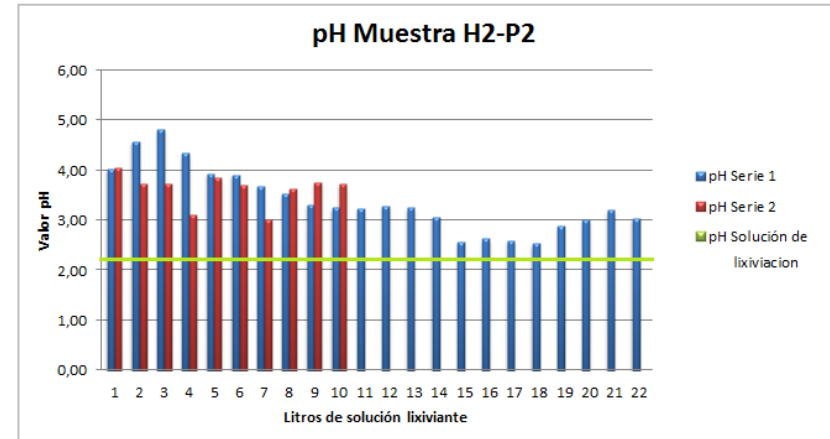
Tabla F.3. Resultados de DFRX obtenidos de la muestra del Punto 1 del túnel Chucho 2.

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO (D.E)
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0796	Cuarzo	30.7 % (0.2)
	K Al Si ₃ O ₈	000-19-0931	Ortoclasa	N.C
	Na Al Si ₃ O ₈	000-09-0466	Albita	N.C
	Fe ₂ O ₃	010-73-0603	Hematita	3.8 % (0.1)
	Fe S ₂	000-42-1340	Pirita	1.9 % (0.1)
	(K _{0.80} Na _{0.02} Ca _{0.01}) (Al _{1.66} Fe _{0.08} Mg _{0.28}) (Si _{3.41} Al _{0.59}) O ₁₀ (OH) ₂	010-78-1928	Moscovita	49.7 % (0.4)
Total Cristalino				86.1 %
Amorfos y otros				13.9 %

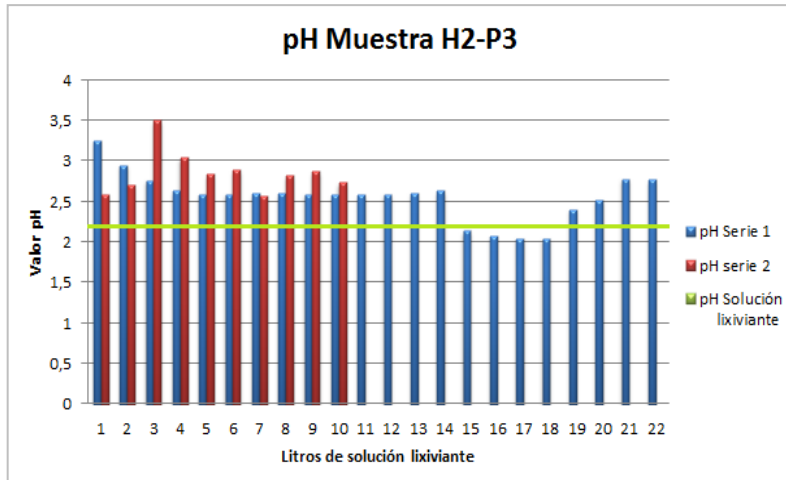
ANEXO G: COMPORTAMIENTO DEL pH PARA LAS SERIES 1 Y 2.



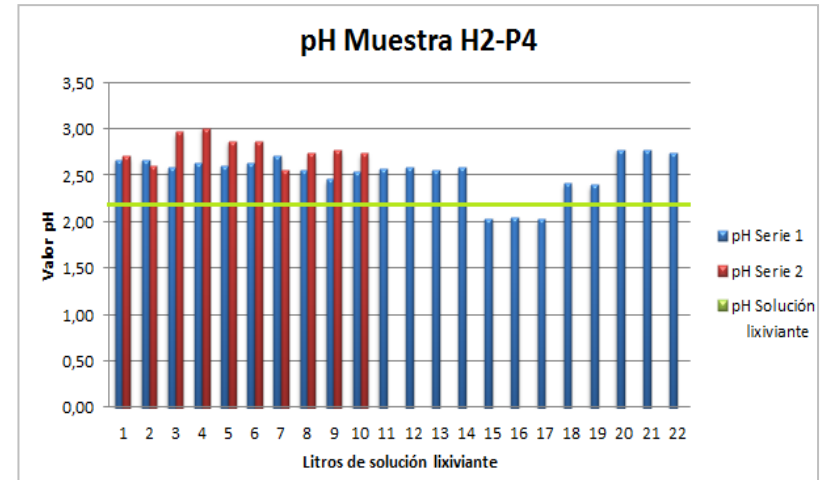
Gráfica G.1. Muestra H2-P1.



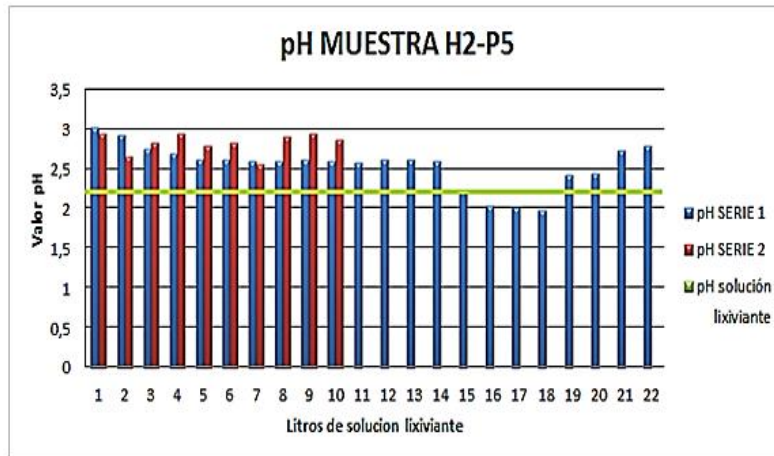
Gráfica G.2. Muestra H2-P2.



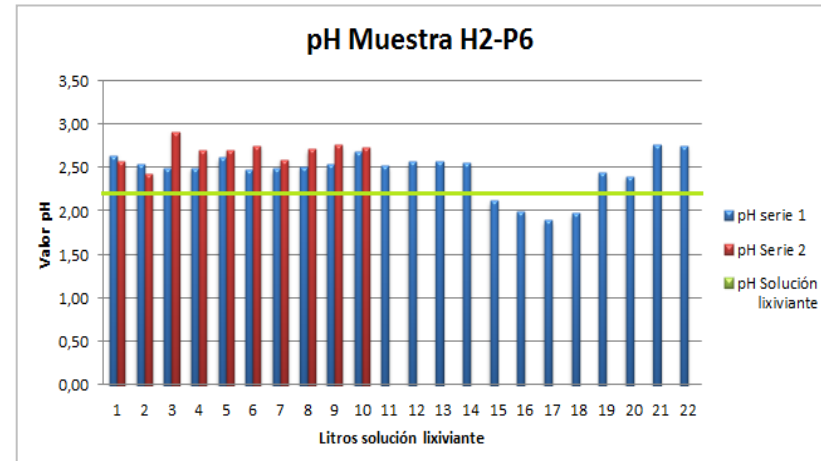
Gráfica G.3. Muestra H2-P3.



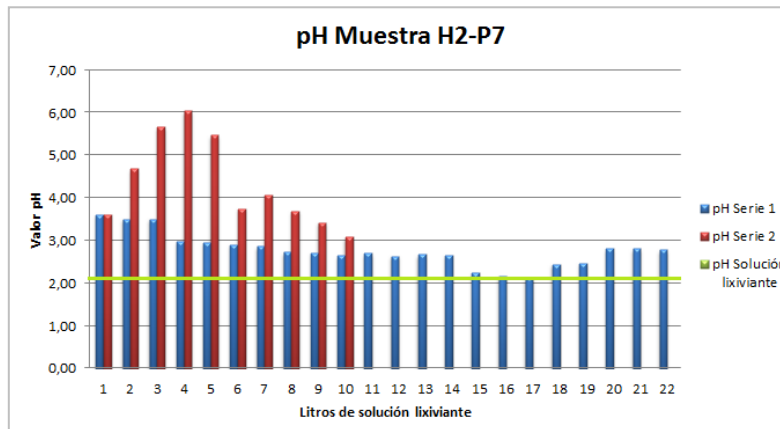
Gráfica G.4. Muestra H2-P4.



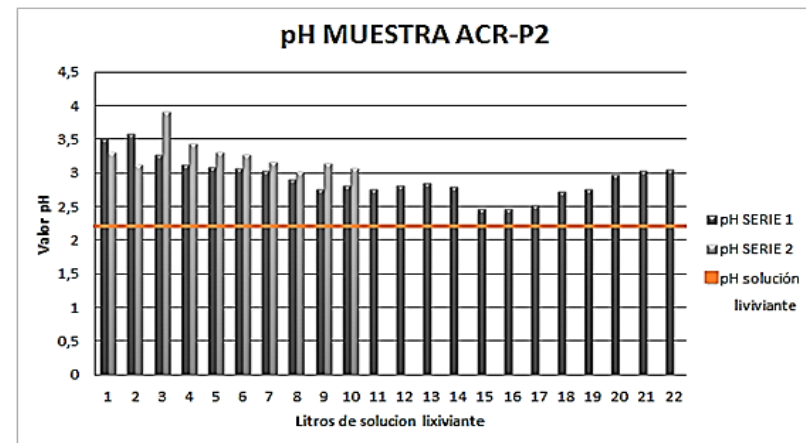
Gráfica G.5. Muestra H2-P5.



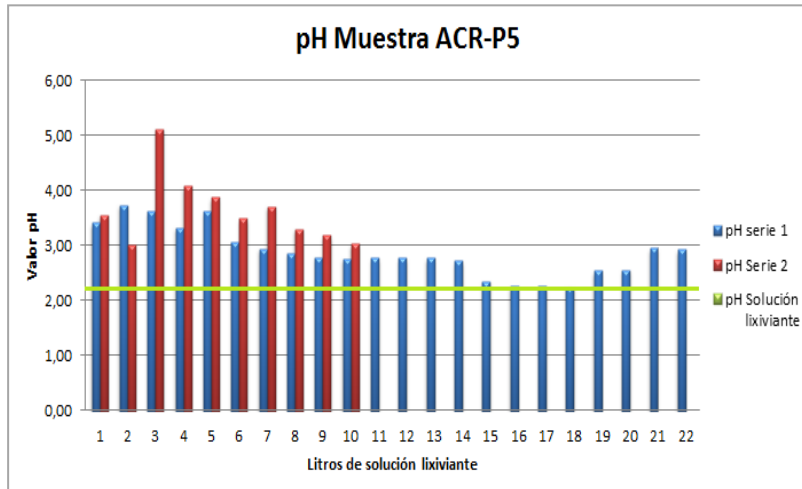
Gráfica G.6. Muestra H2-P6.



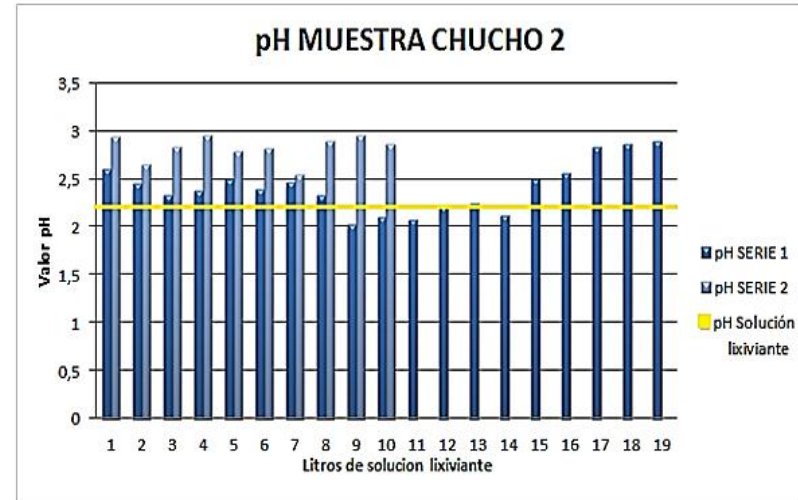
Gráfica G.7. Muestra H2-P7.



Gráfica G.8. Muestra ACR-P2.

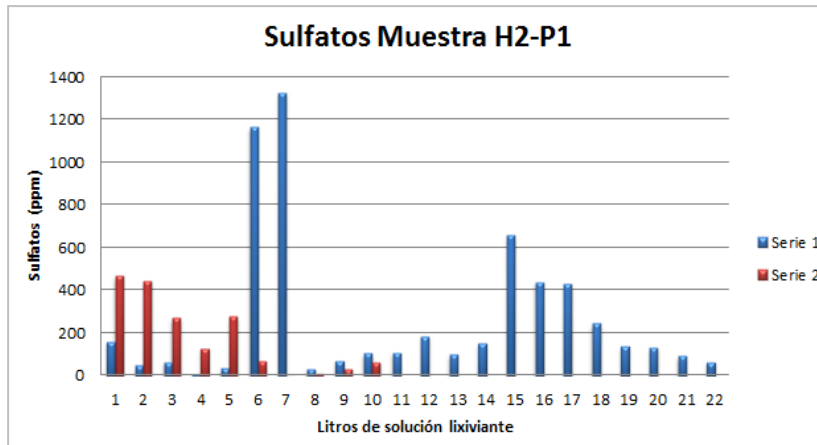


Gráfica G.9. Muestra ACR-P5.

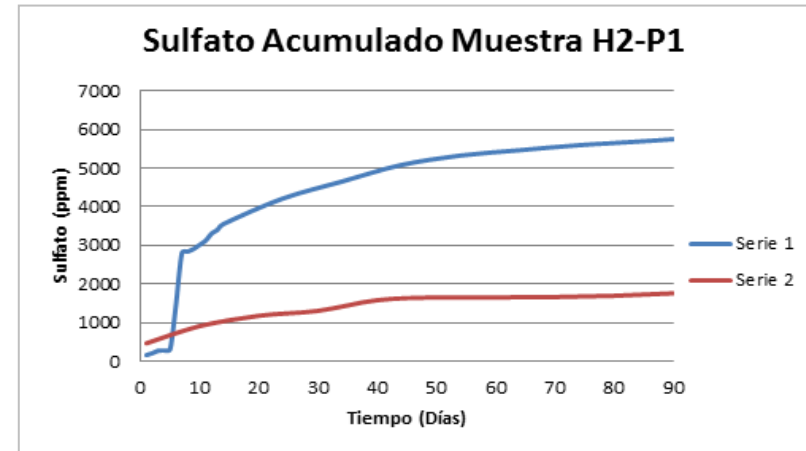


Gráfica G.10. Muestra CHUCHO 2.

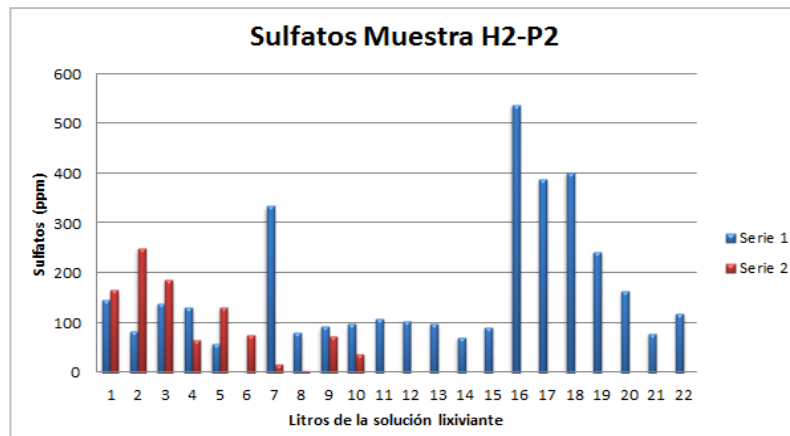
ANEXO H: CONCENTRACIÓN DE SULFATOS Y SULFATOS ACUMULADOS PARA LAS SERIES 1 Y 2.



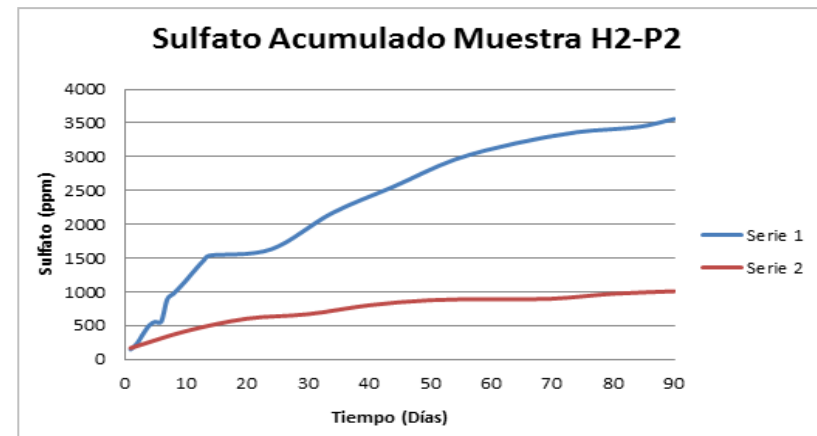
Gráfica H.1. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1.



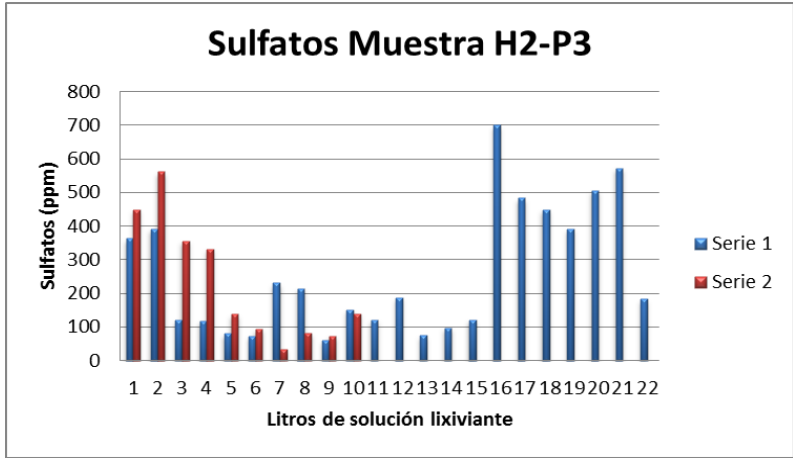
Gráfica H.2. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1.



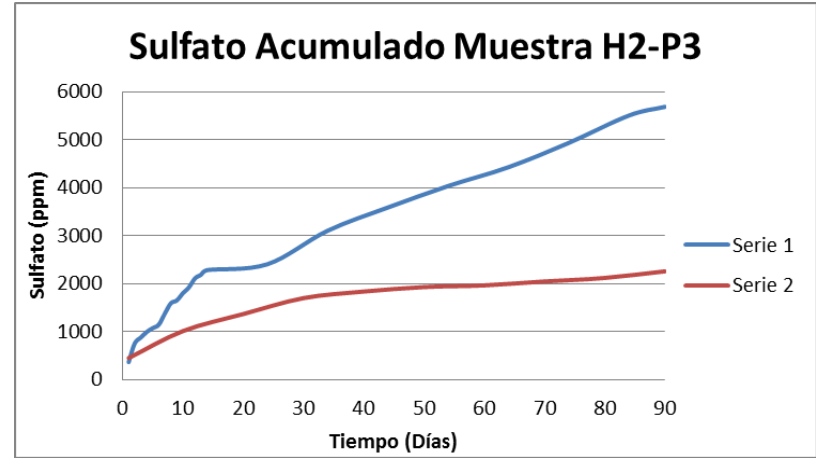
Gráfica H.3. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2.



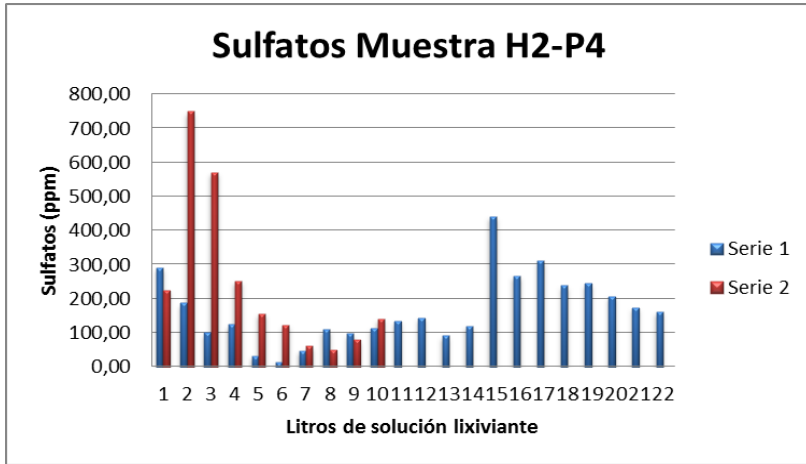
Gráfica H.4. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2.



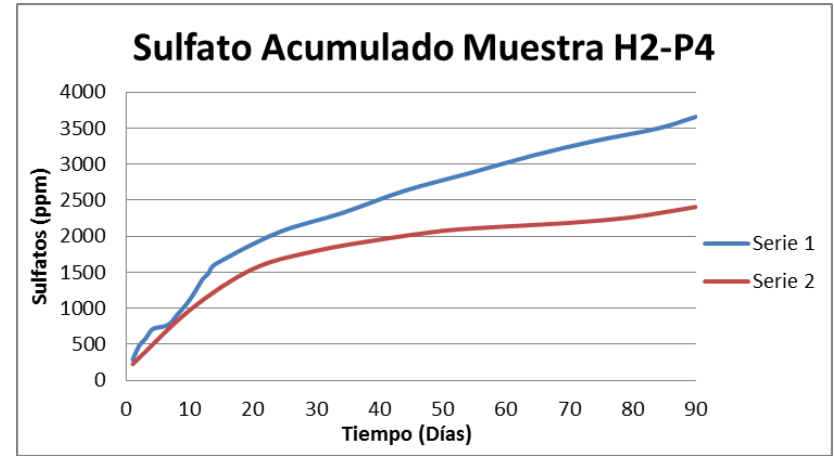
Gráfica H.5. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3.



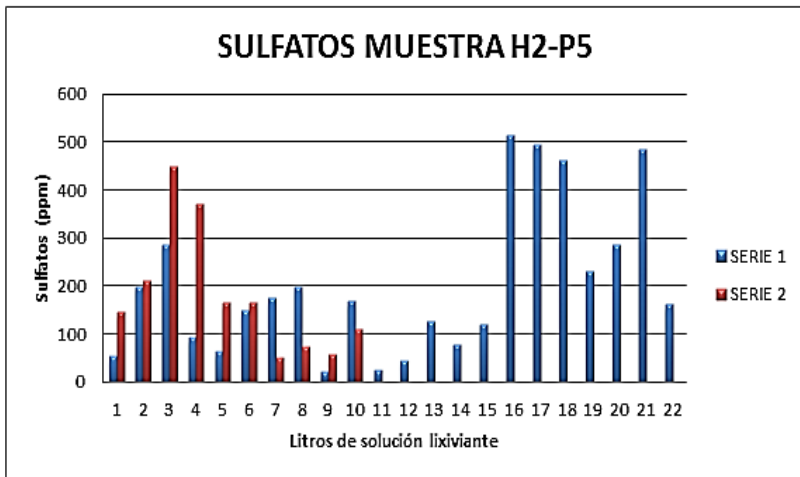
Gráfica H.6. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3.



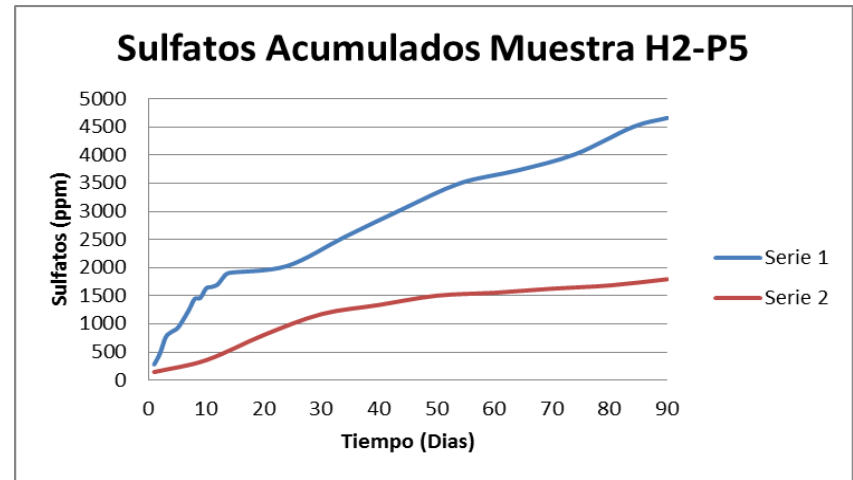
Gráfica H.7. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4.



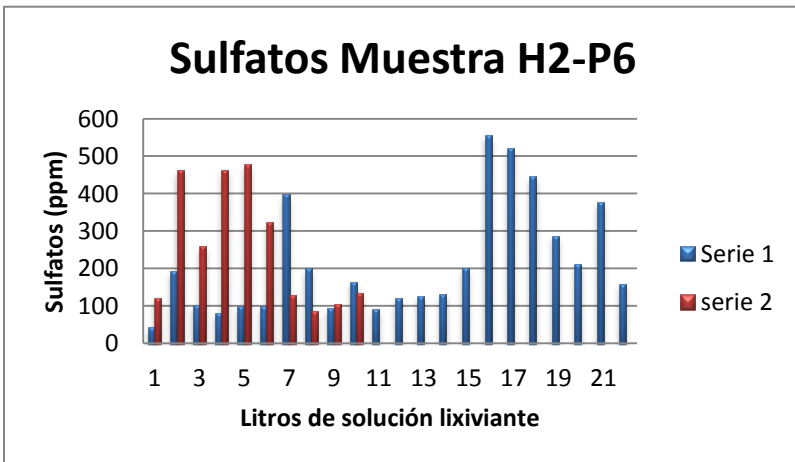
Gráfica H.8. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4.



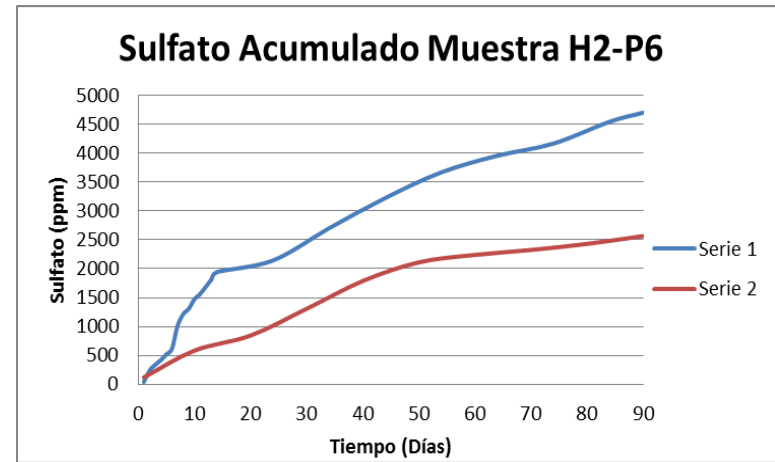
Gráfica H.9. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5.



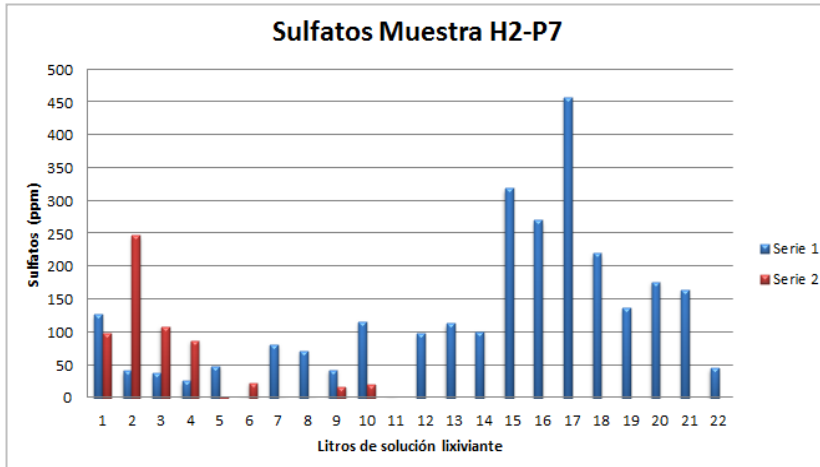
Gráfica H.10. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5.



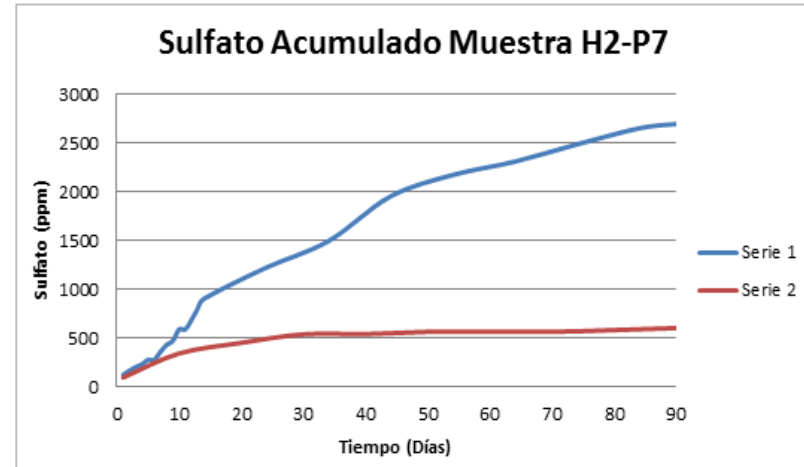
Gráfica H.11. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6.



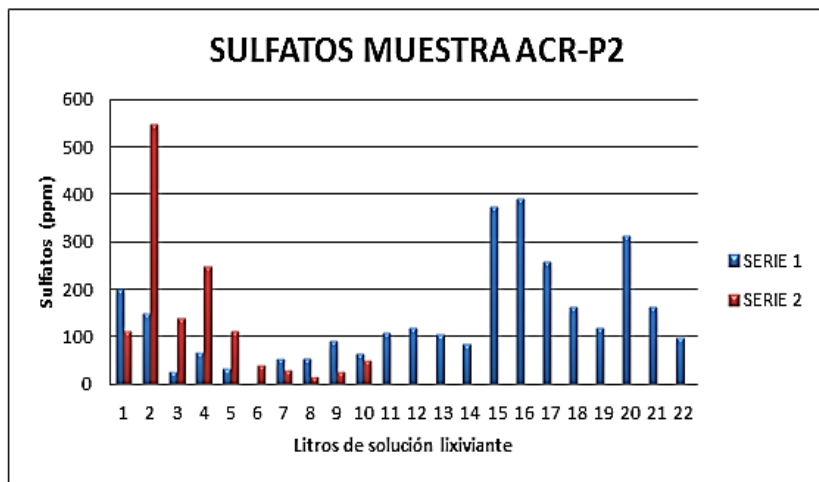
Gráfica H.12. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6.



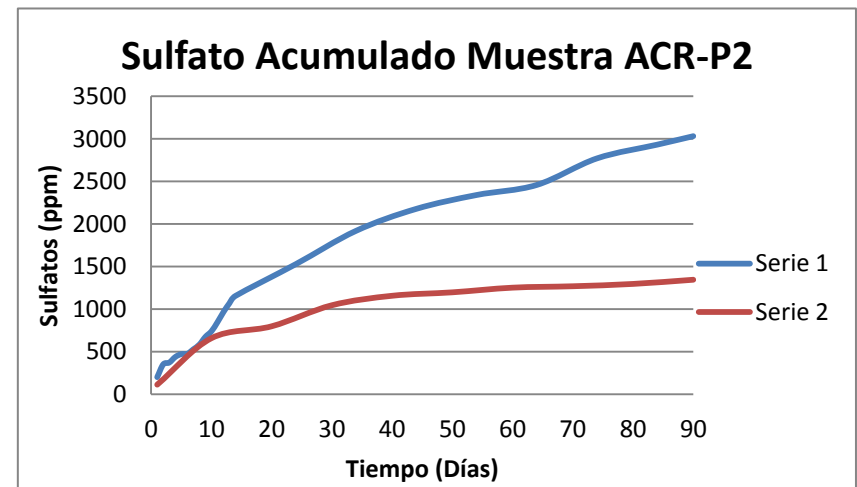
Gráfica H.13. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7.



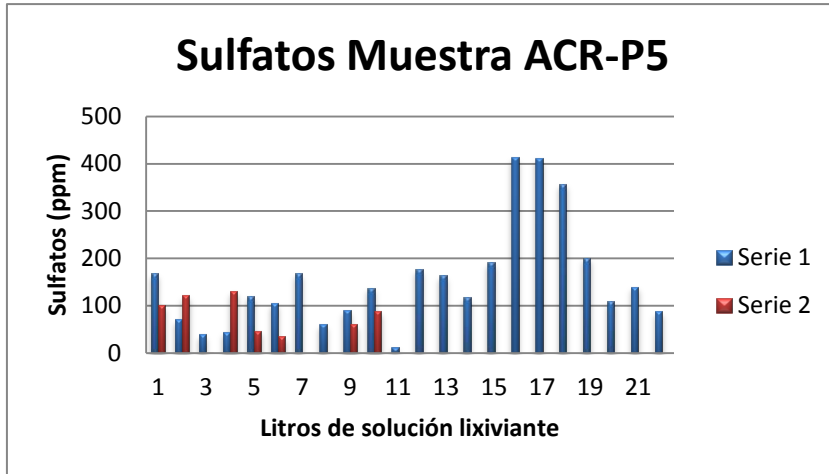
Gráfica H.14. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7.



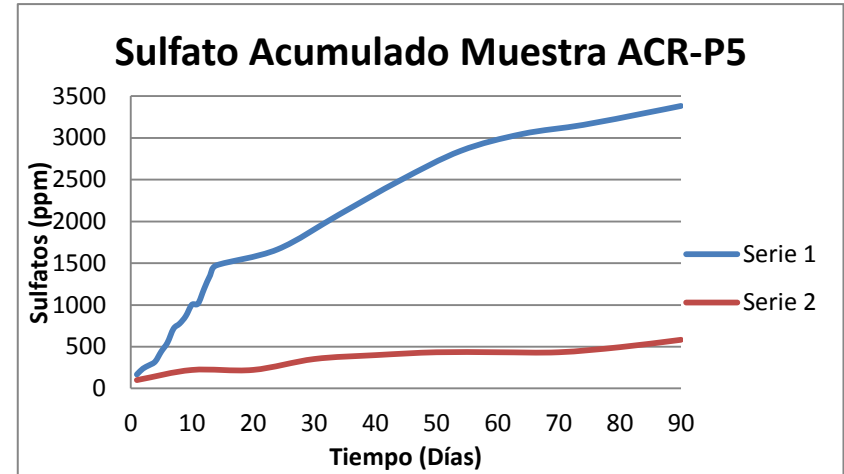
Gráfica H.15. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2.



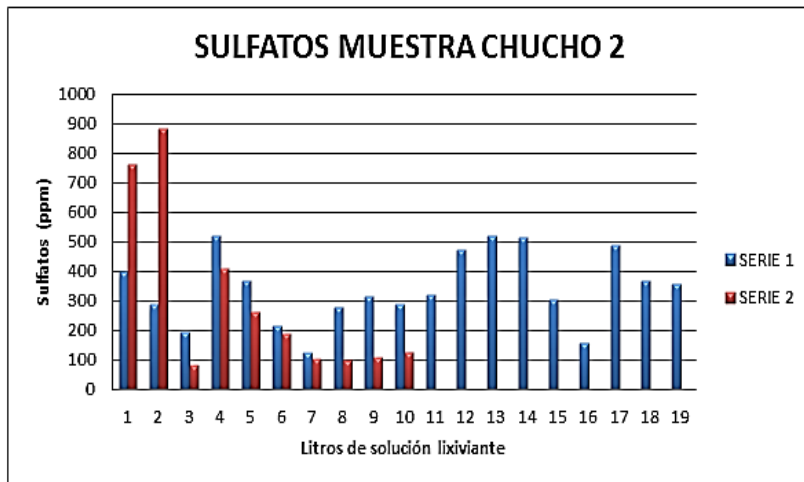
Gráfica H.16. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2.



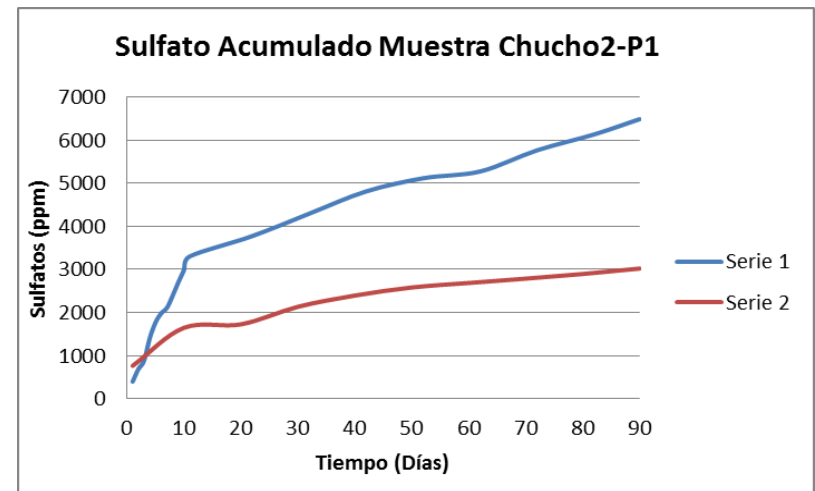
Gráfica H.17. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5.



Gráfica H.18. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5.

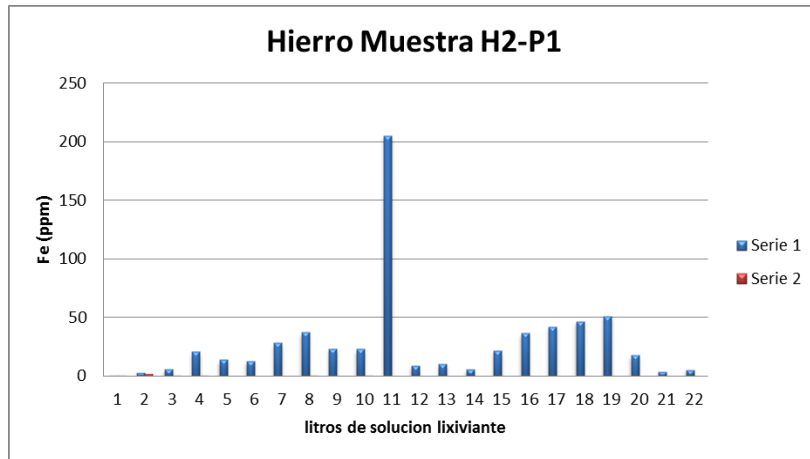


Gráfica H.19. Concentración de Sulfatos para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO 2.

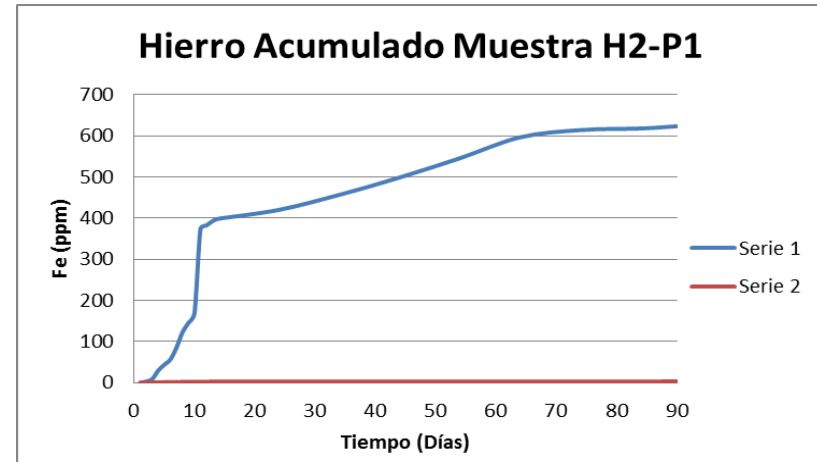


Gráfica H.20. Sulfatos acumulados para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO 2.

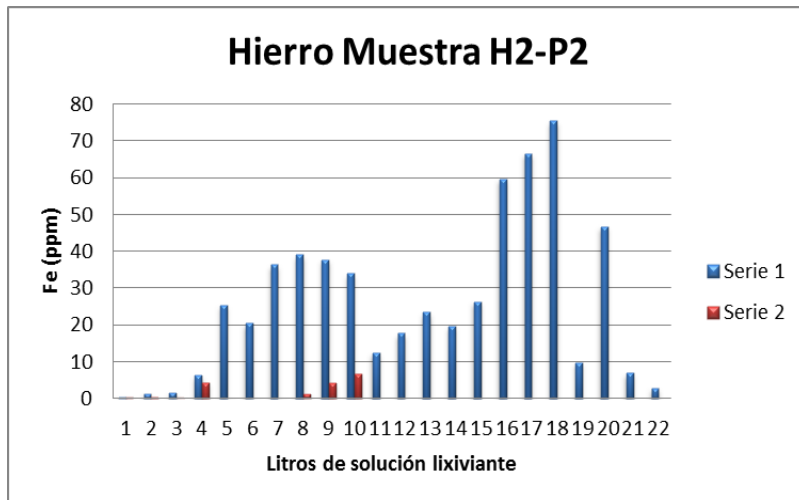
ANEXO I: CONCENTRACIÓN DE HIERRO Y HIERRO ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.



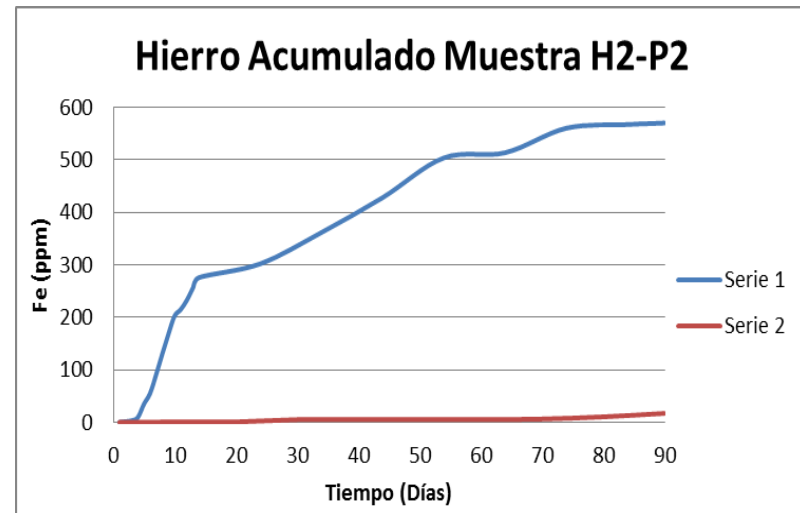
Gráfica I.1. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1.



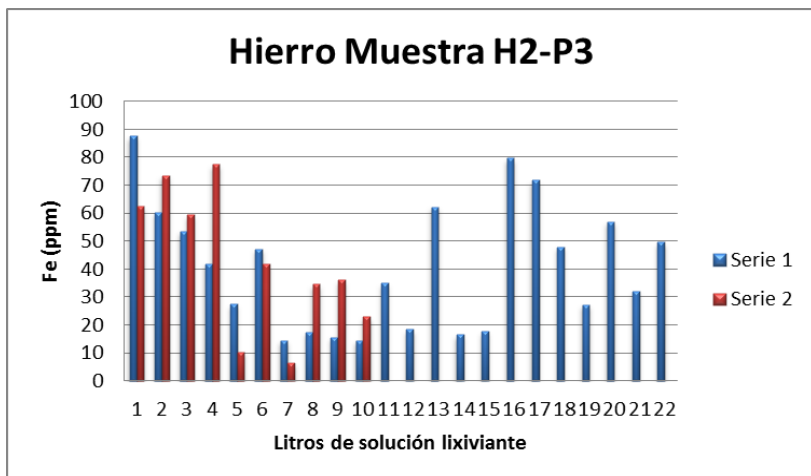
Gráfica I.2. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1.



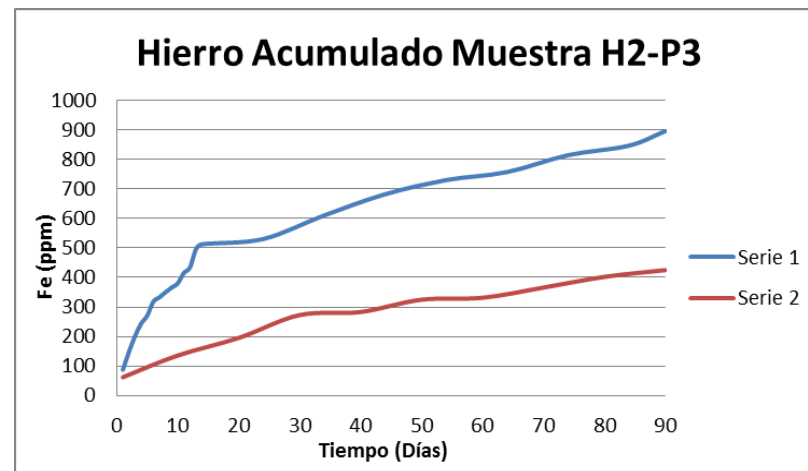
Gráfica I.3. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2.



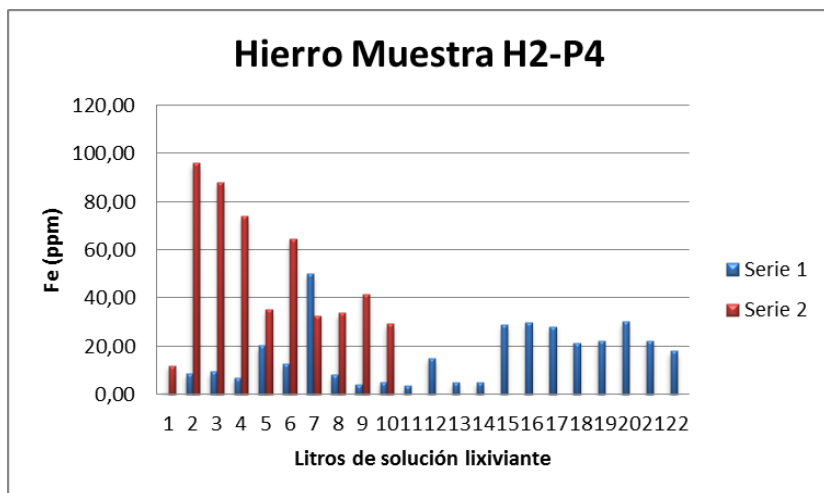
Gráfica I.4. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2.



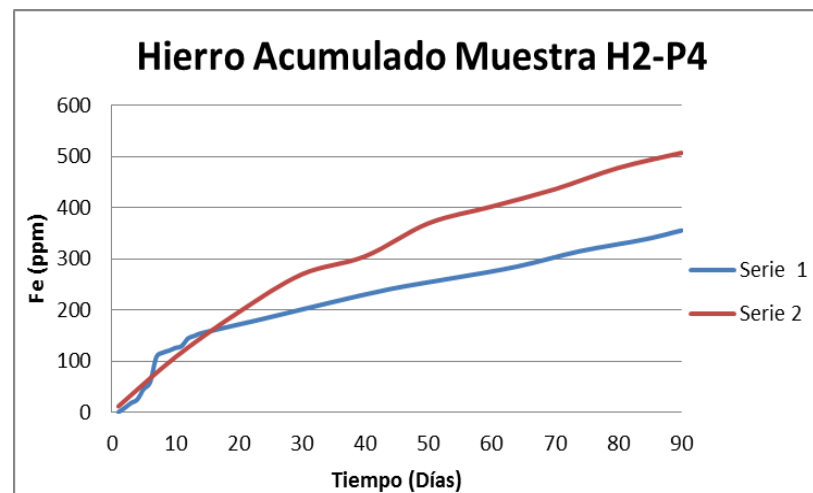
Gráfica I.5. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3.



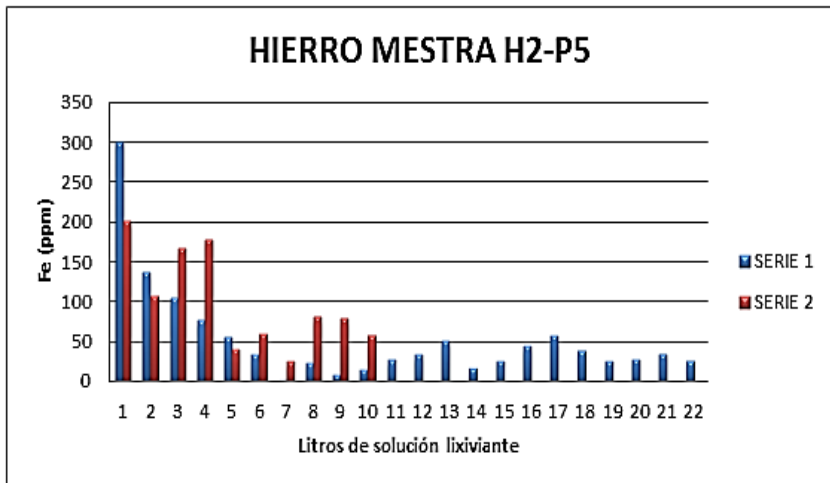
Gráfica I.6. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3.



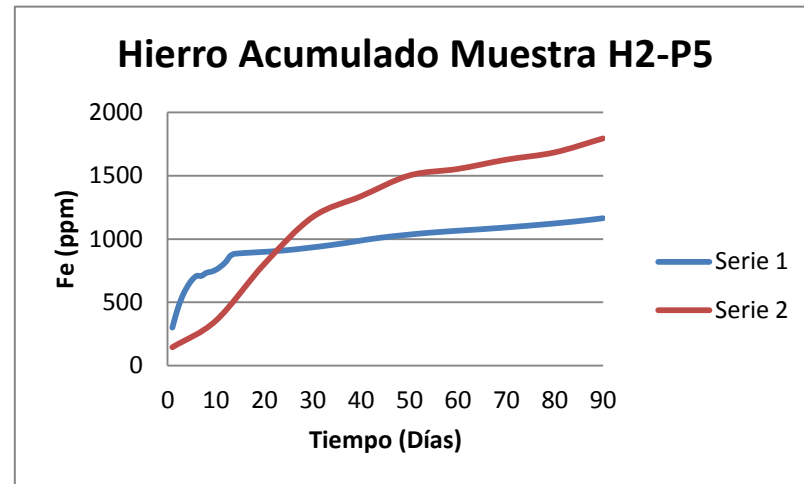
Gráfica I.7. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4.



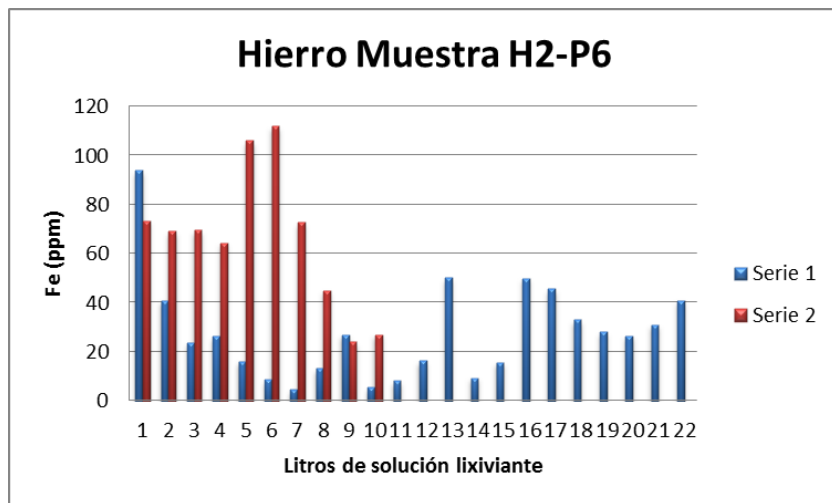
Gráfica I.8. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4.



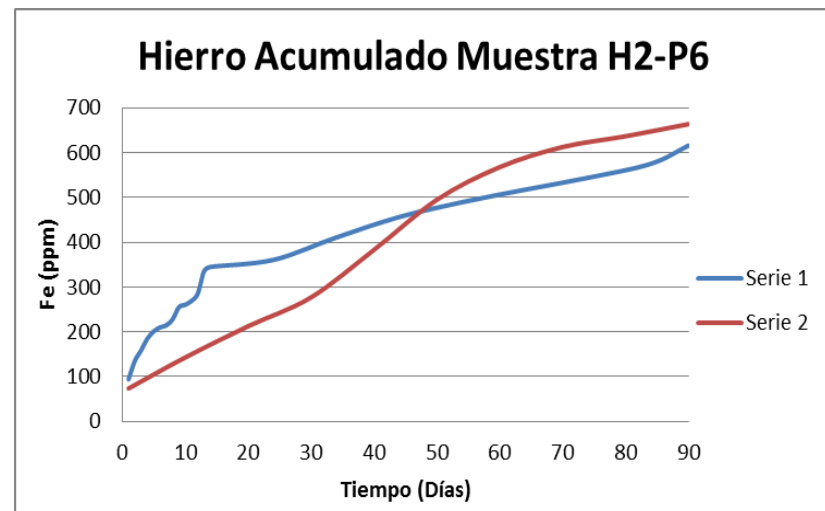
Gráfica I.9. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5.



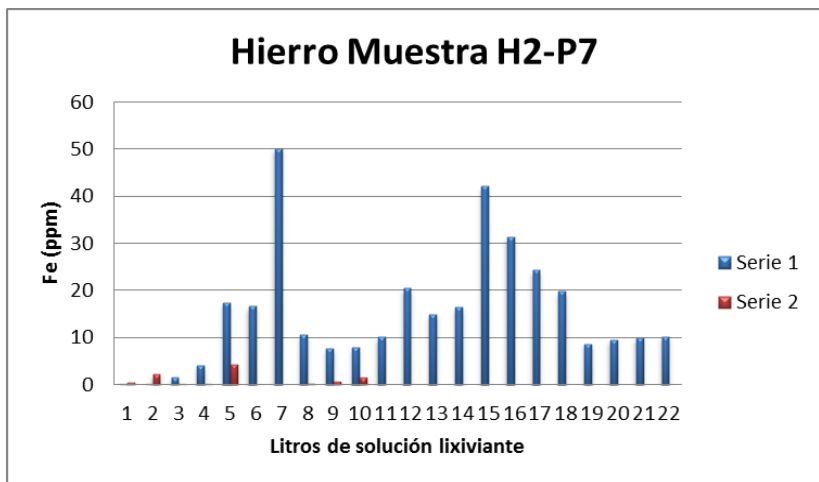
Gráfica I.10. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5.



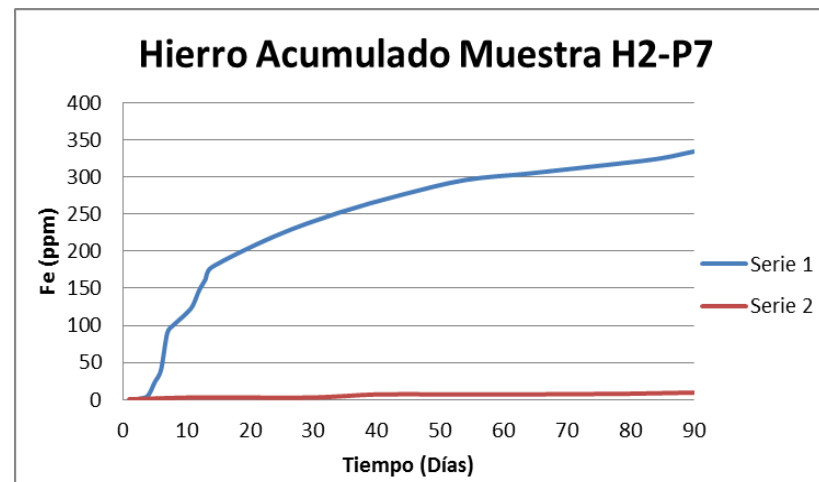
Gráfica I.11. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6.



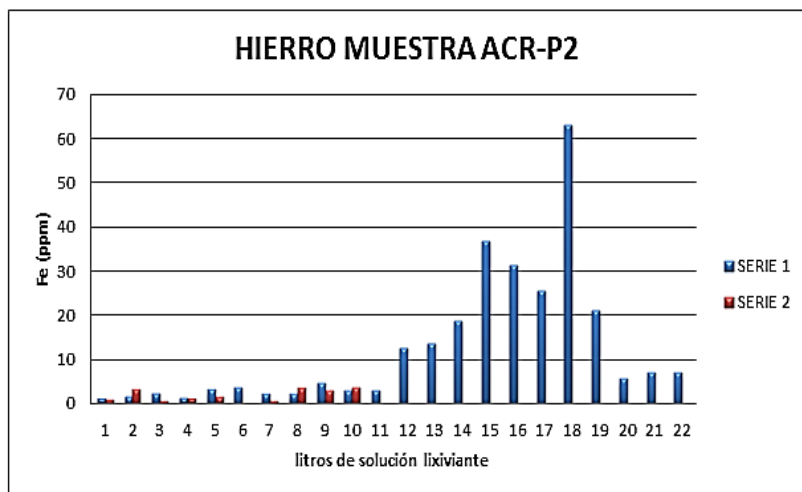
Gráfica I.12. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6.



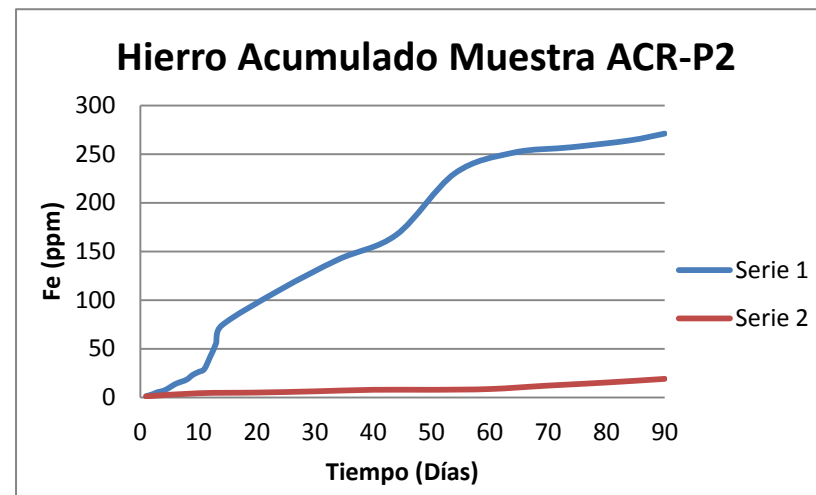
Gráfica I.13. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7.



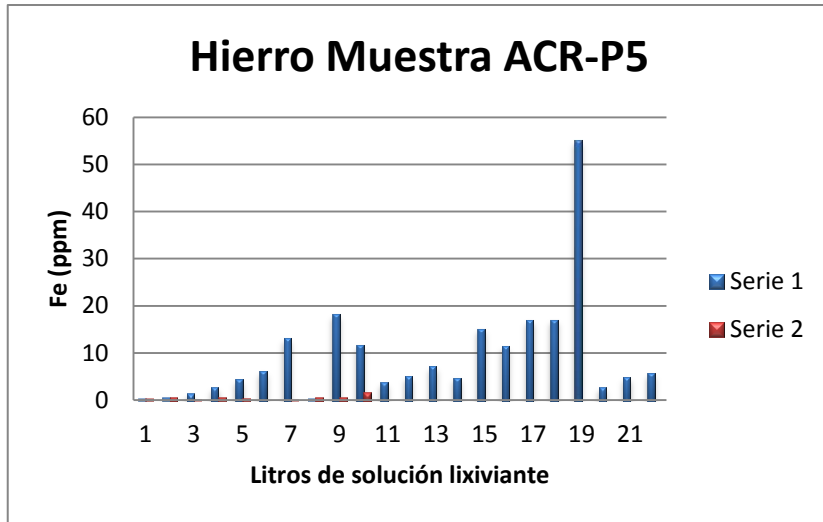
Gráfica I.14. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7.



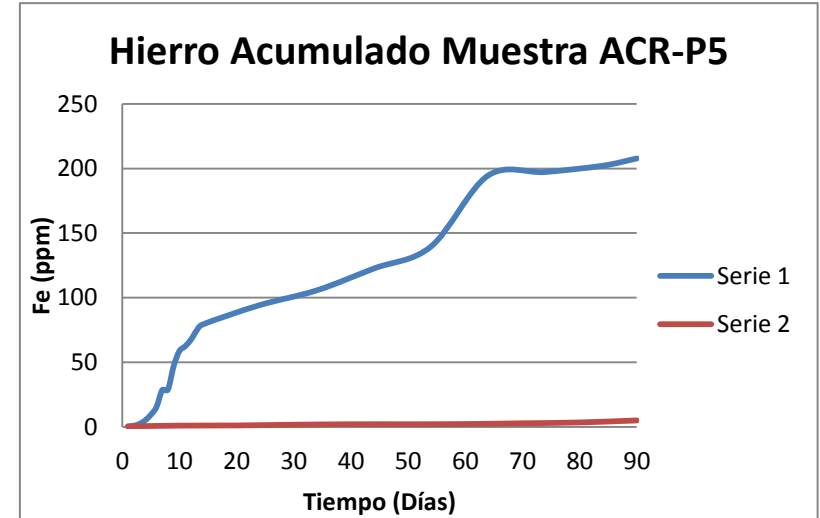
Gráfica I.15. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2.



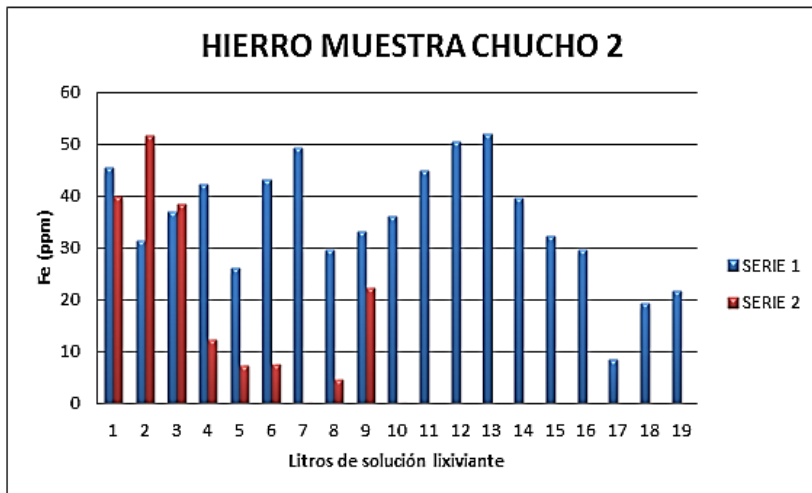
Gráfica I.16. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2.



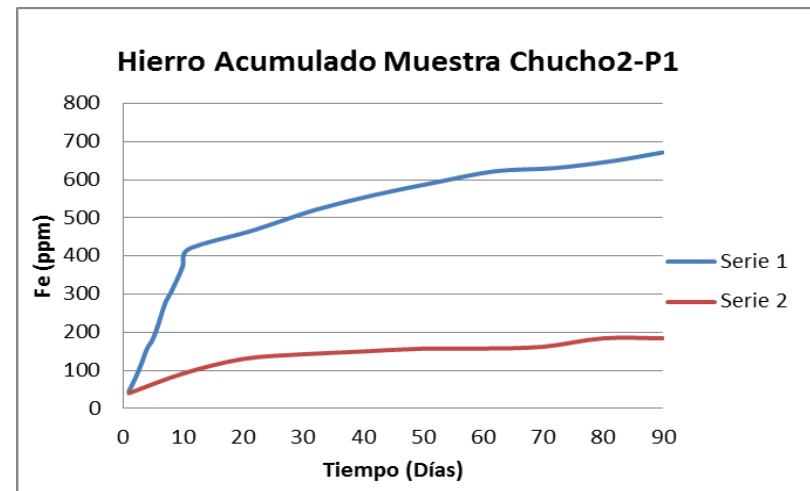
Gráfica I.17. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5.



Gráfica I.18. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5.

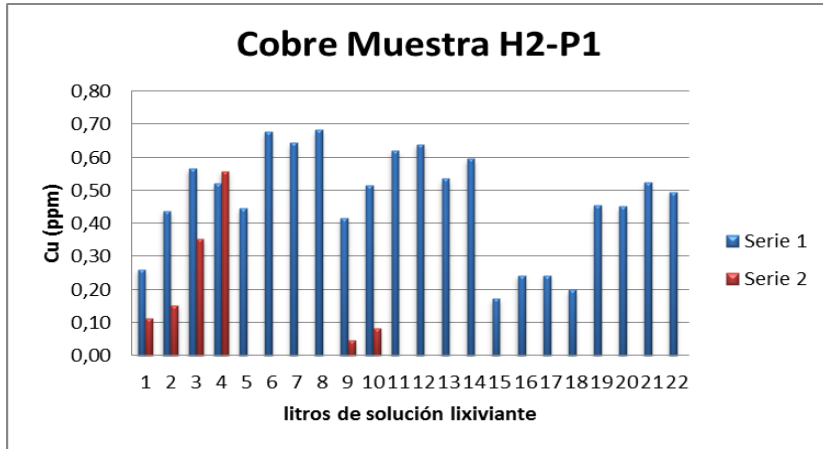


Gráfica I.19. Concentración de Hierro para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO 2.

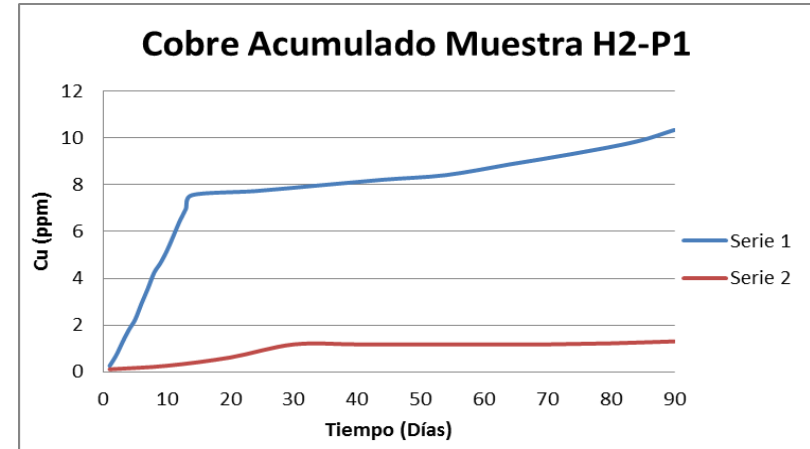


Gráfica I.20. Hierro acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO 2.

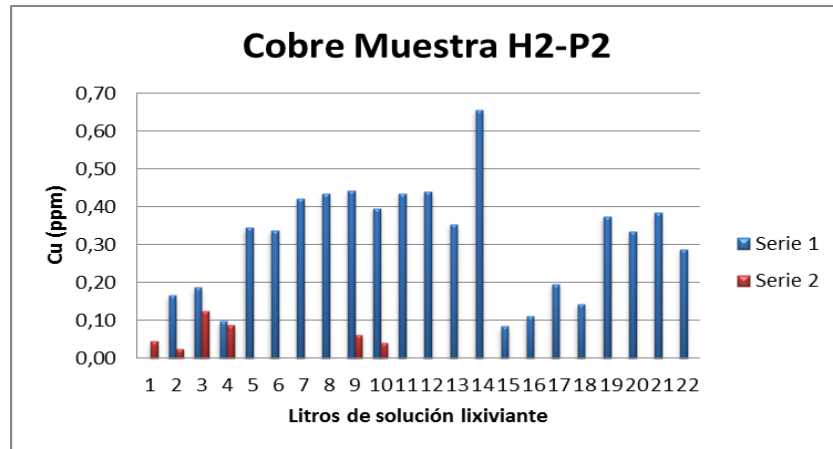
ANEXO J: CONCENTRACIÓN DE COBRE Y COBRE ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.



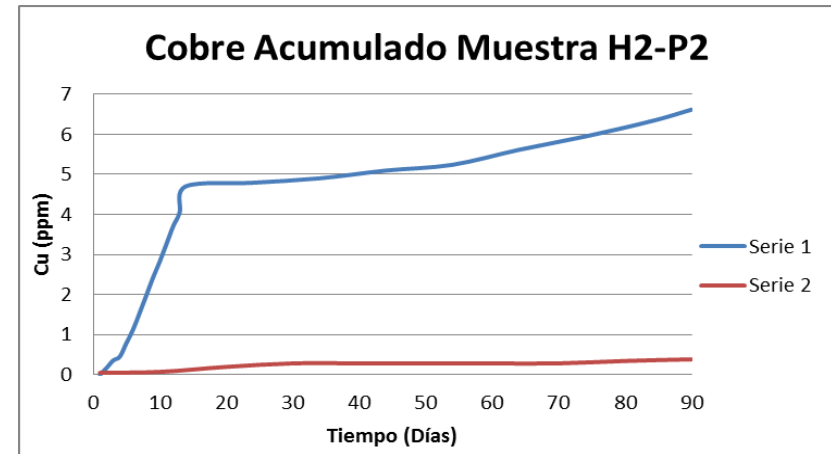
Gráfica J.1. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1.



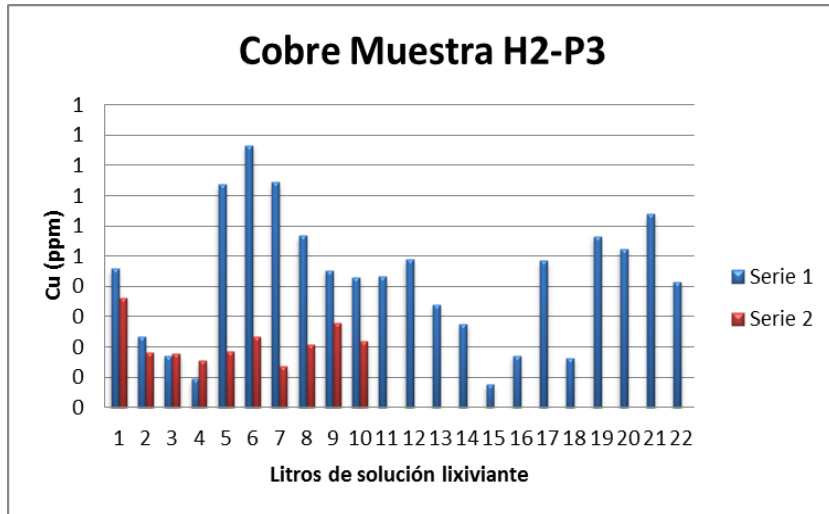
Gráfica J.2. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1.



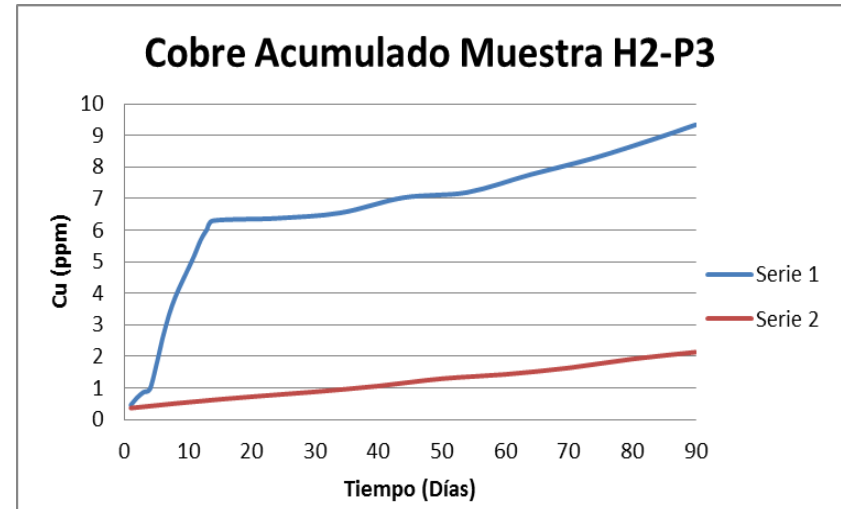
Gráfica J.3. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2.



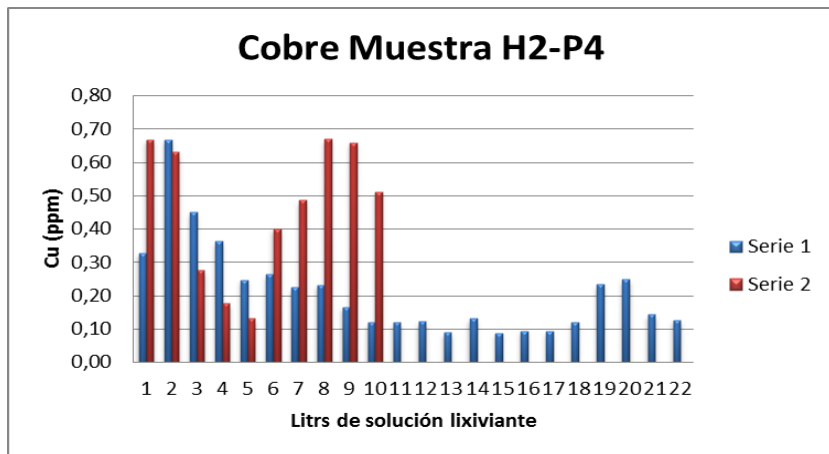
Gráfica J.4. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2.



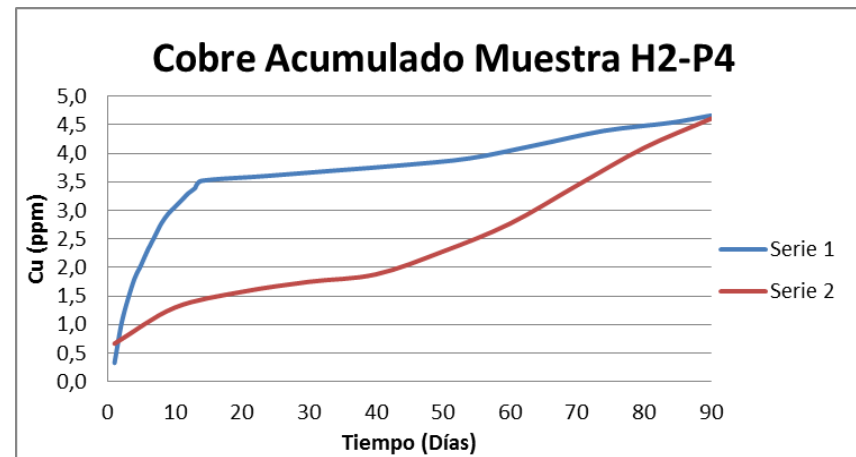
Gráfica J.5. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3.



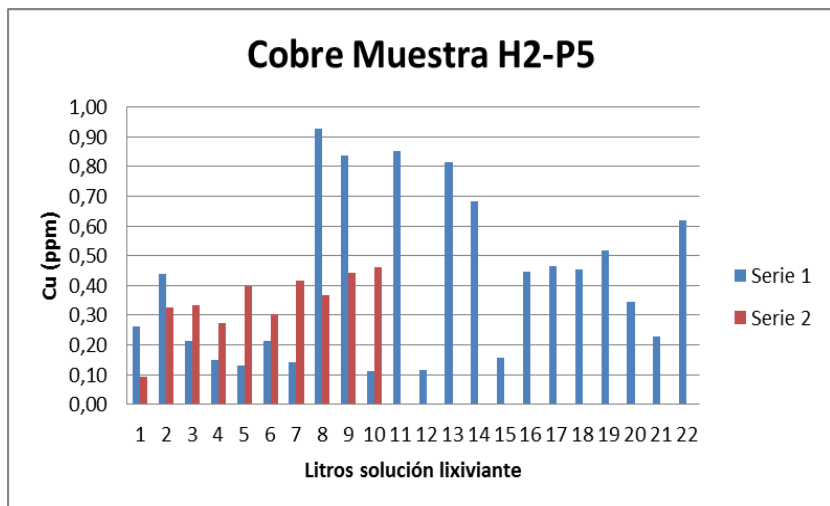
Gráfica J.6. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3.



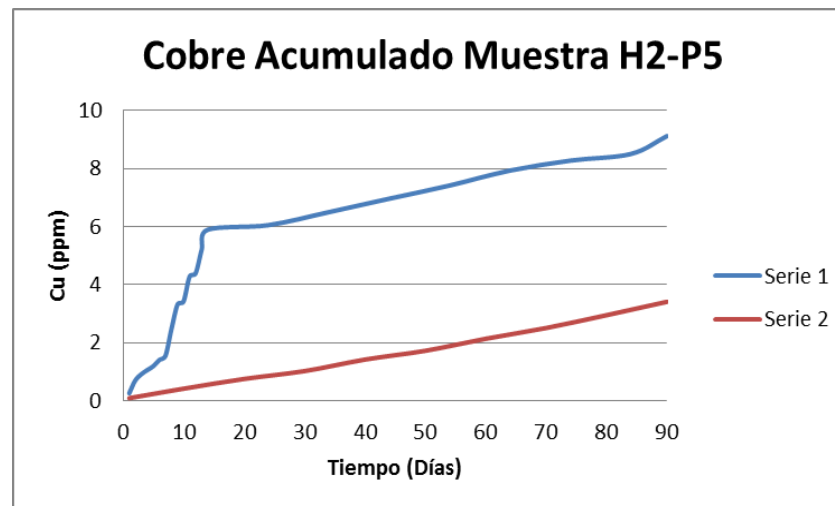
Gráfica J.7. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4.



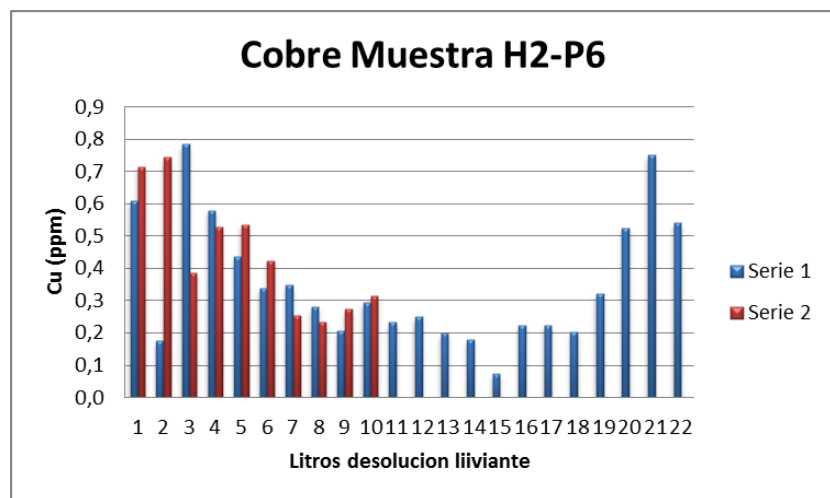
Gráfica J.8. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4.



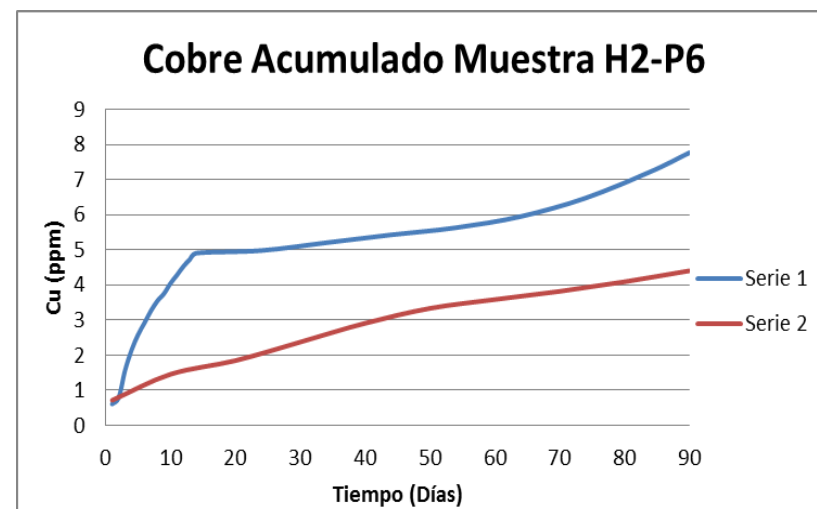
Gráfica J.9. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5.



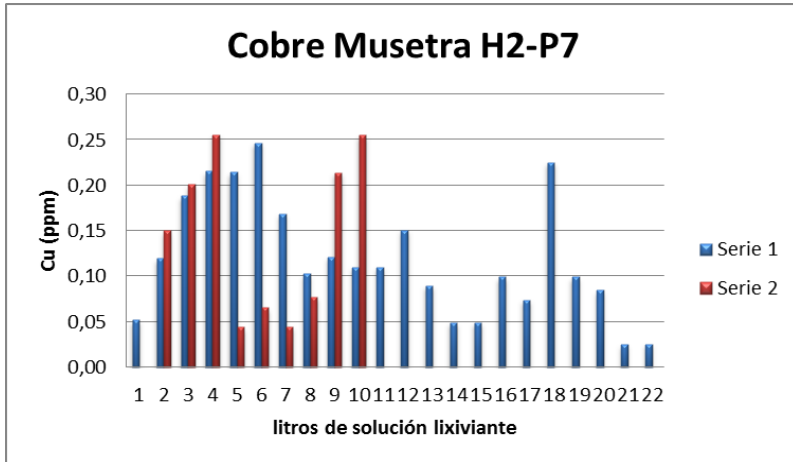
Gráfica J.10. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5.



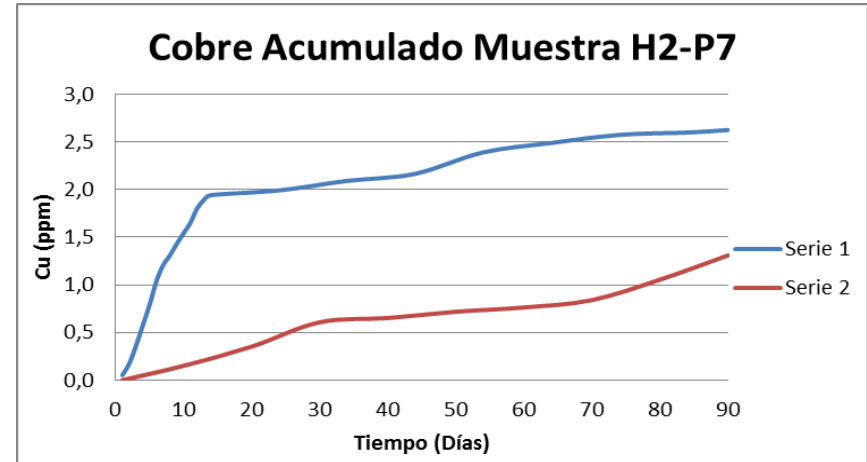
Gráfica J.11. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6.



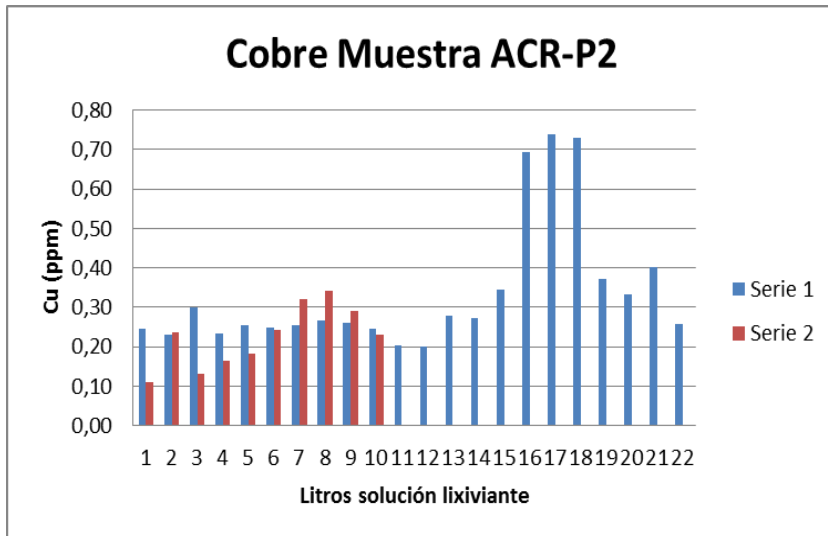
Gráfica J.12. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6.



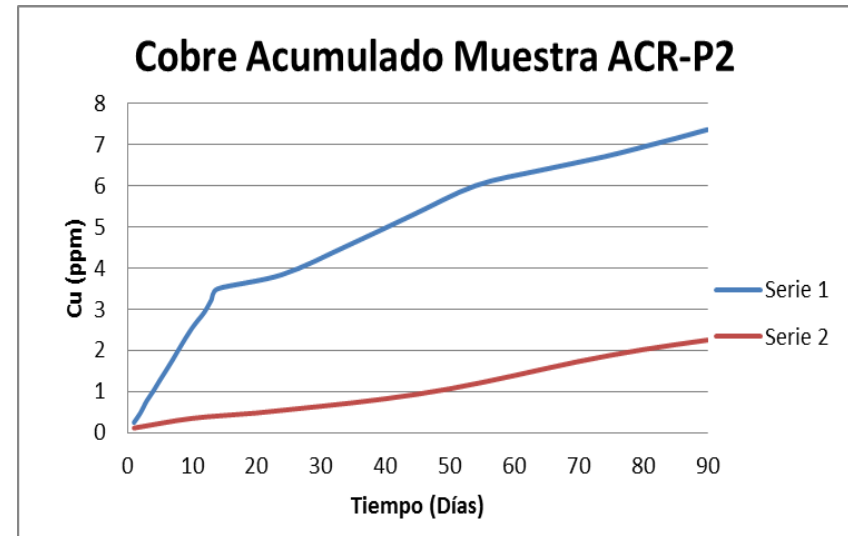
Gráfica J.13. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7.



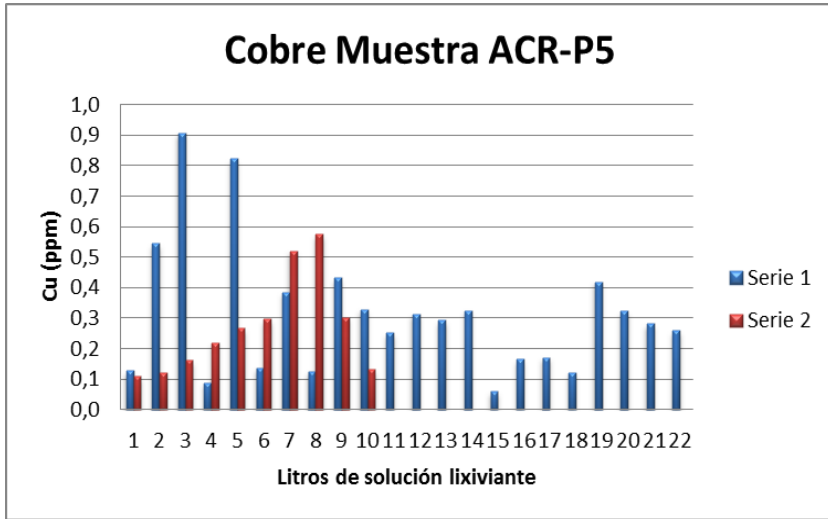
Gráfica J.14. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7.



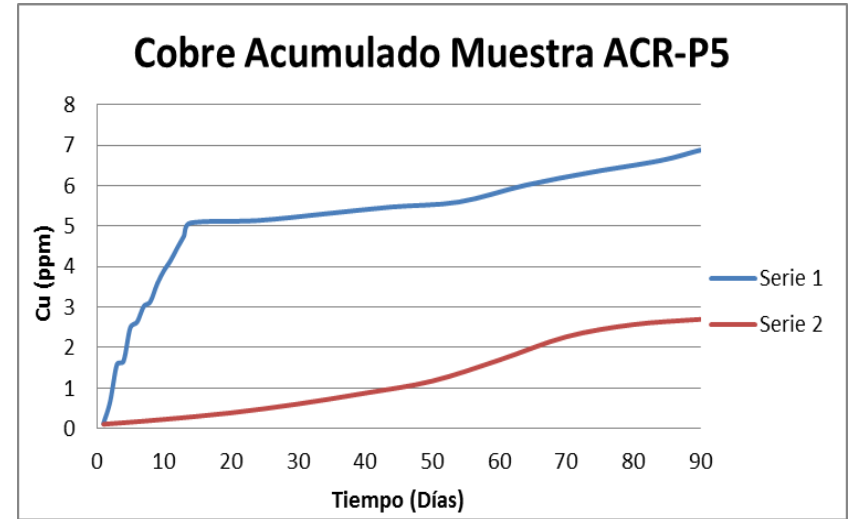
Gráfica J.15. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2.



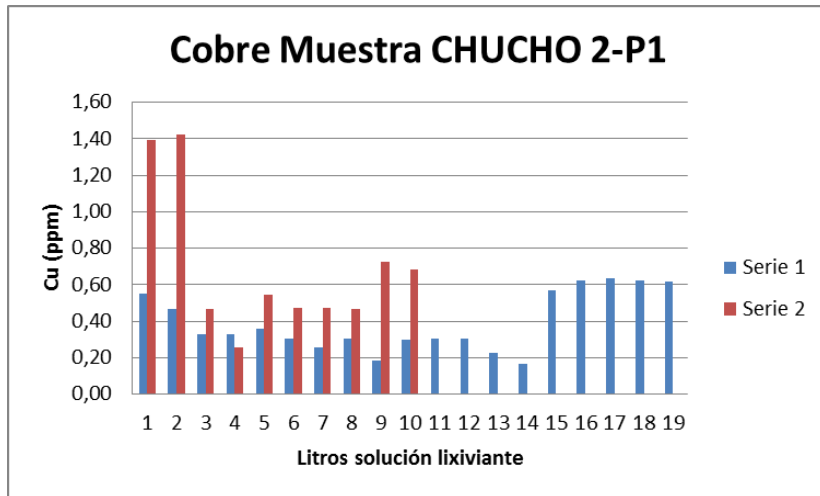
Gráfica J.16. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2.



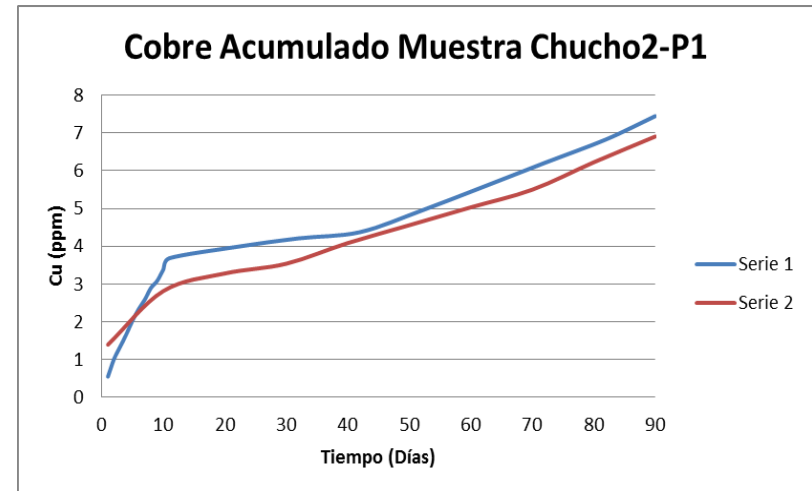
Gráfica J.17. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5.



Gráfica J.18. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5.

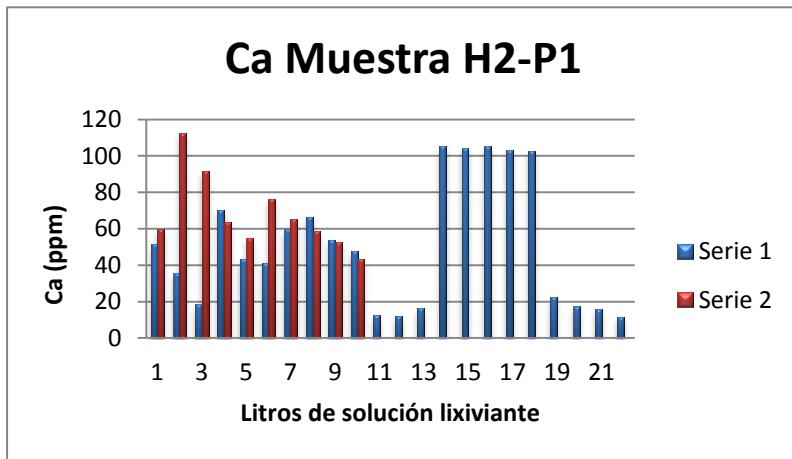


Gráfica J.19. Concentración de Cobre para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO 2.

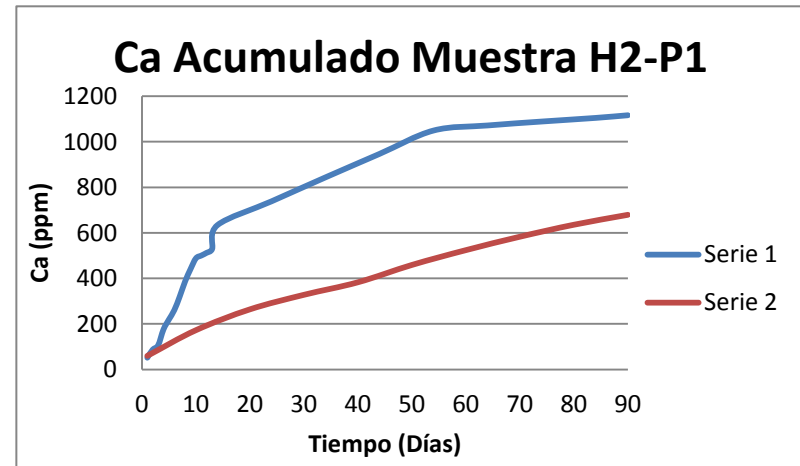


Gráfica J.20. Cobre acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO 2.

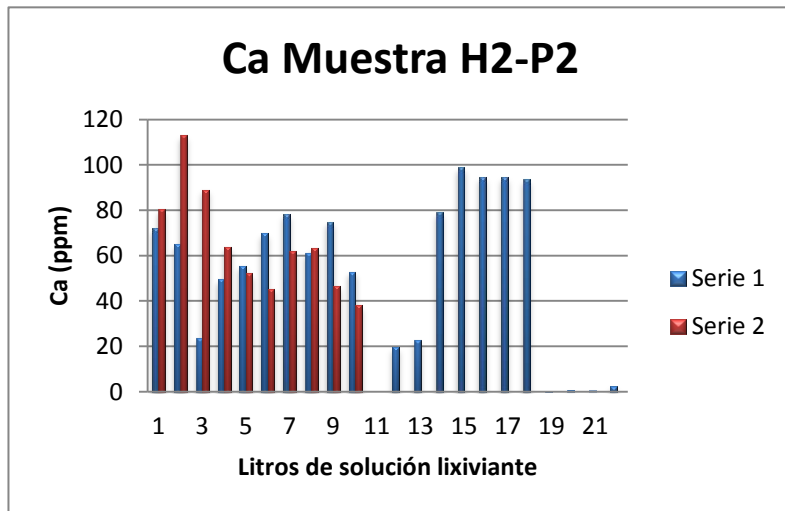
ANEXO K: CONCENTRACIÓN DE CALCIO Y CALCIO ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.



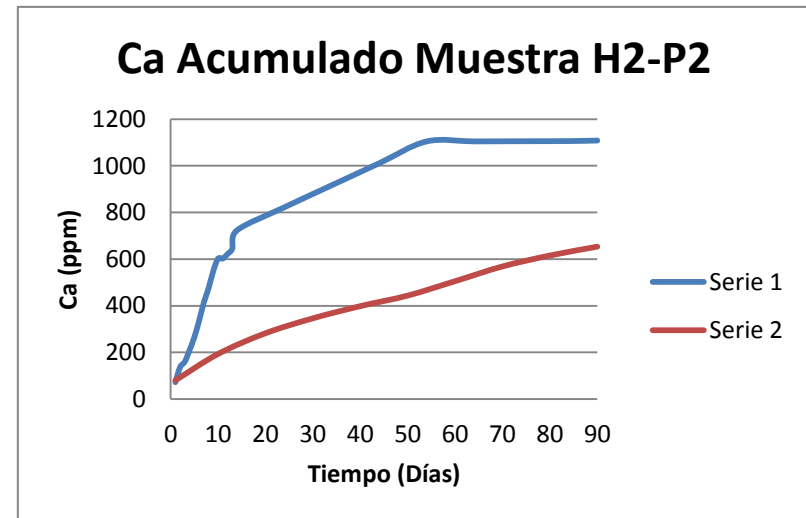
Gráfica K.1. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1.



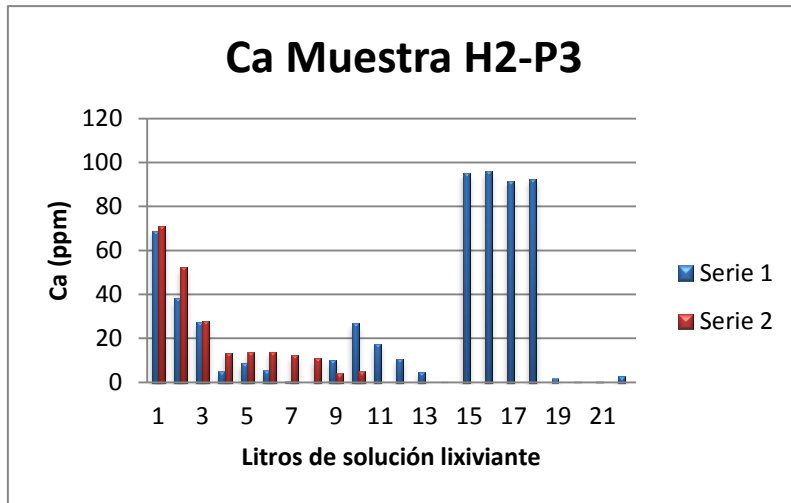
Gráfica K.2. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1



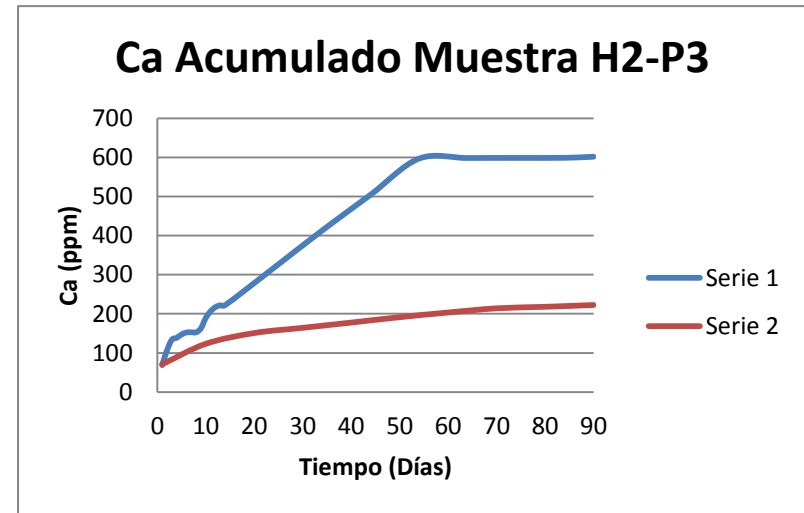
Gráfica K.3. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2.



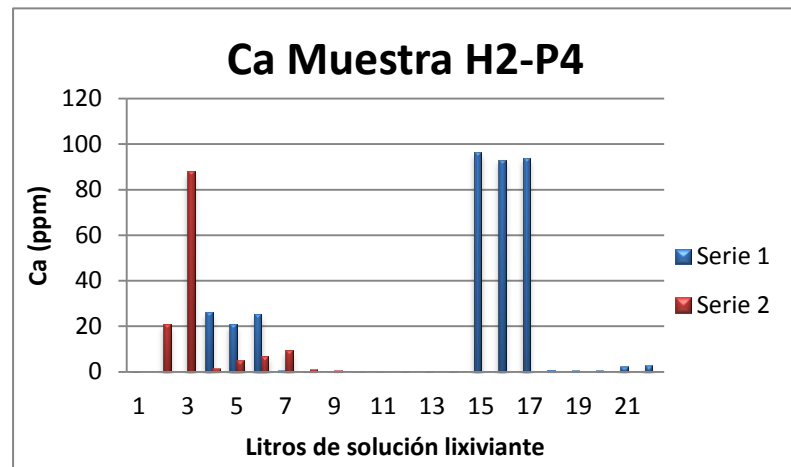
Gráfica K.4. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2



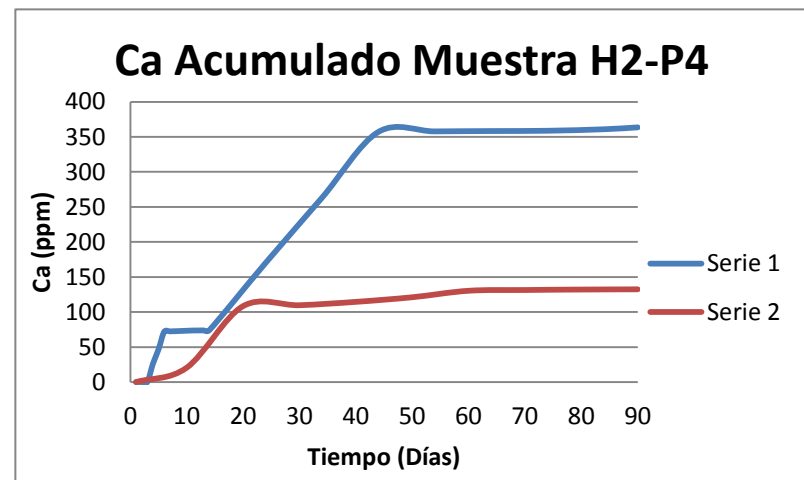
Gráfica K.5. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3.



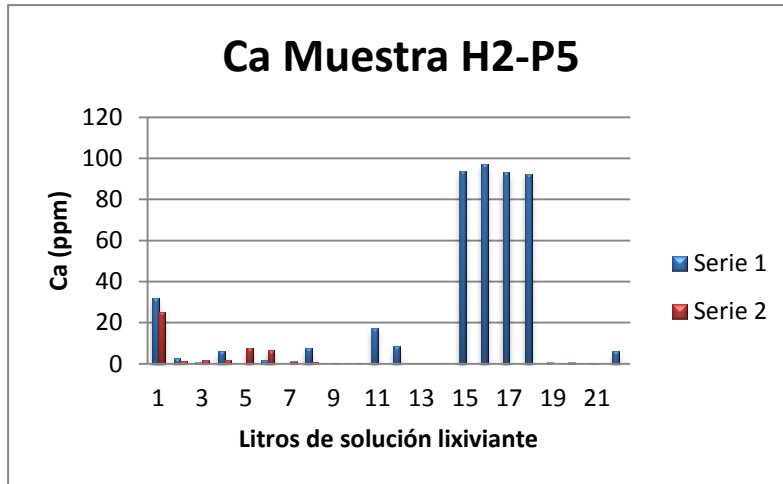
Gráfica K.6. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3



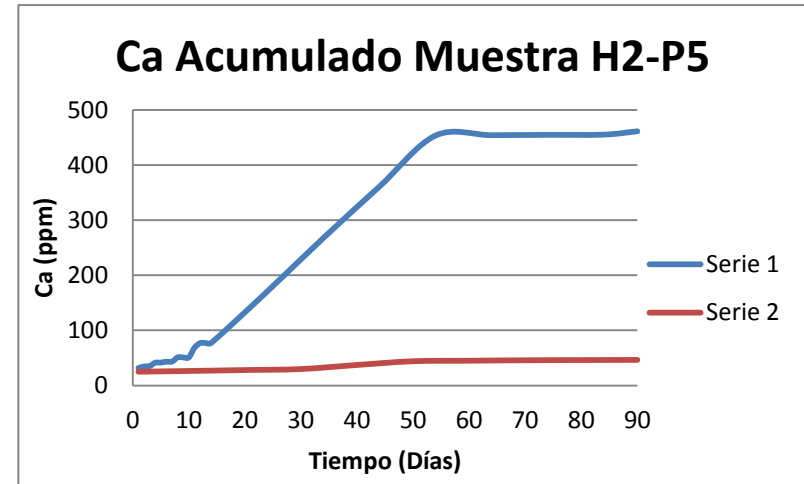
Gráfica K.7. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4.



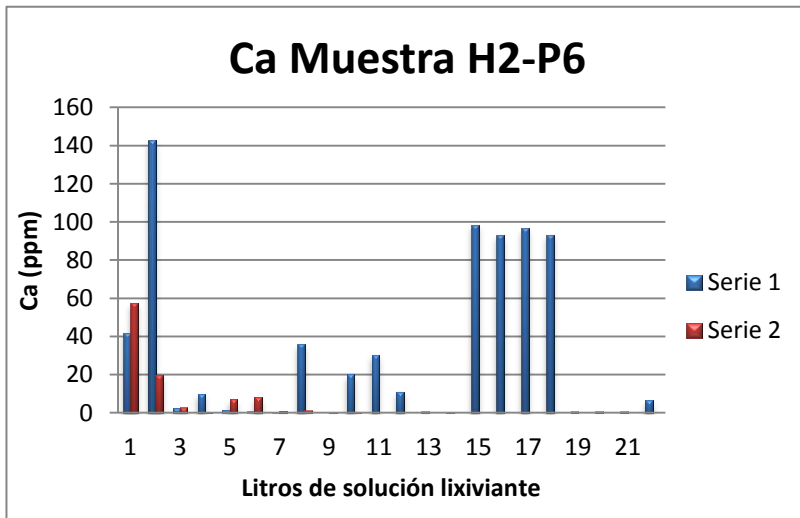
Gráfica K.8. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4



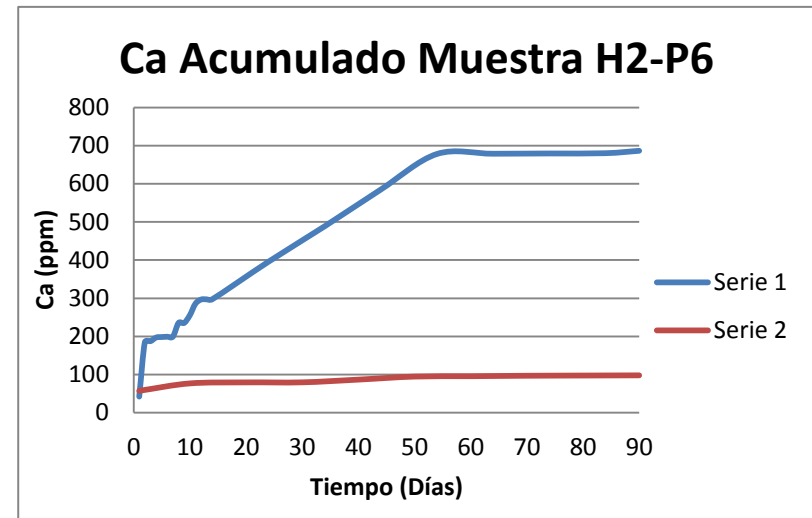
Gráfica K.9. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5.



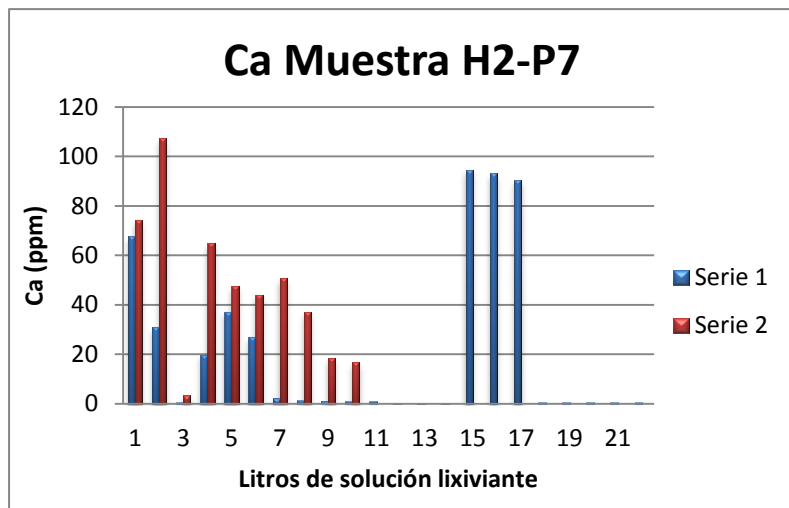
Gráfica K.10. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5



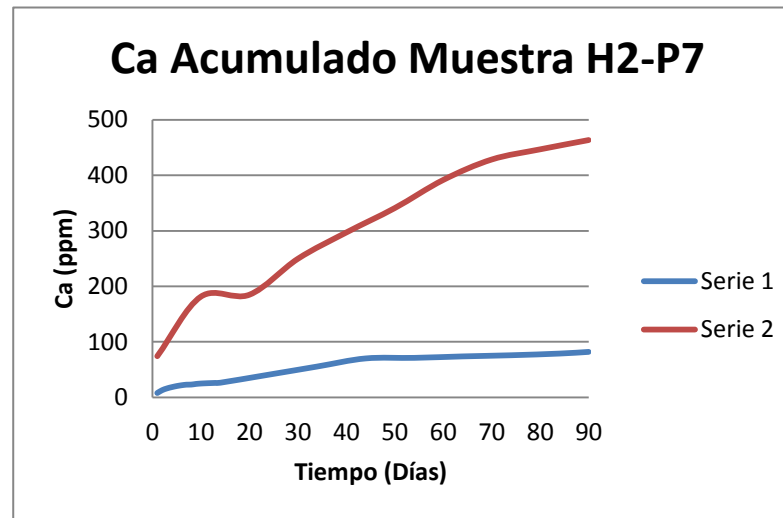
Gráfica K.11. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6.



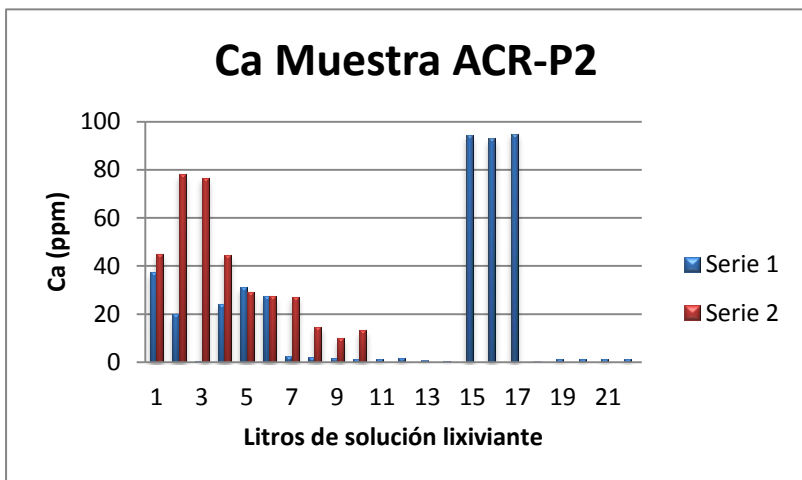
Gráfica K.12. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6



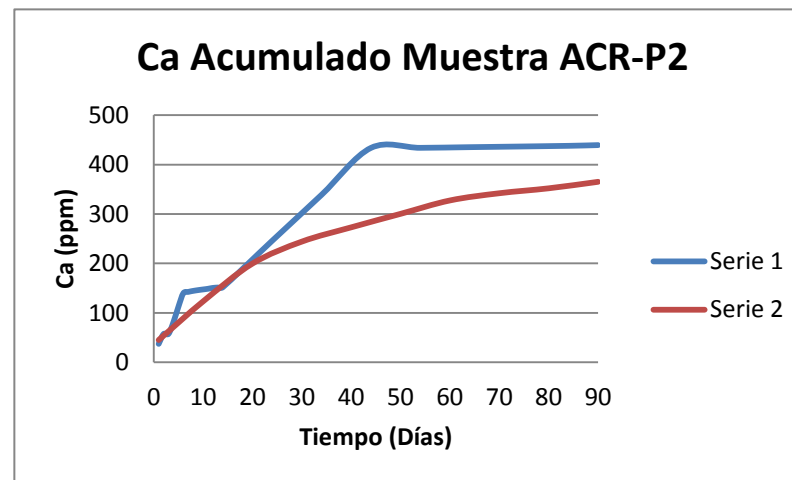
Gráfica K.13. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7.



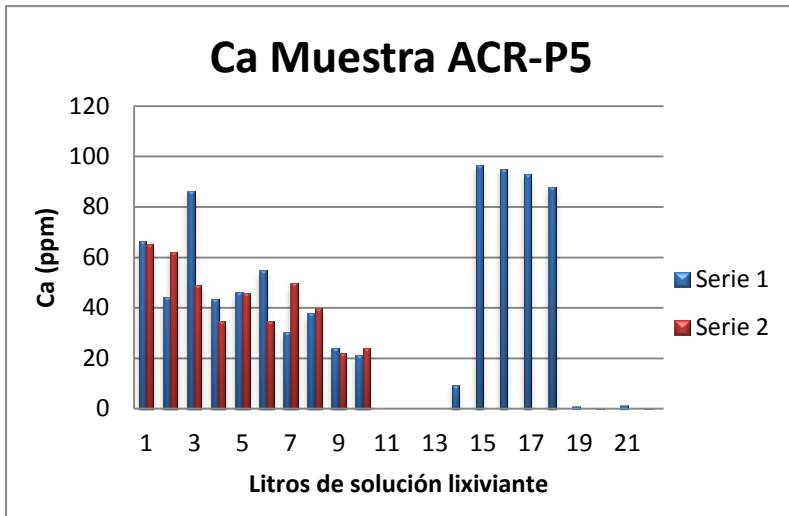
Gráfica K.14. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7



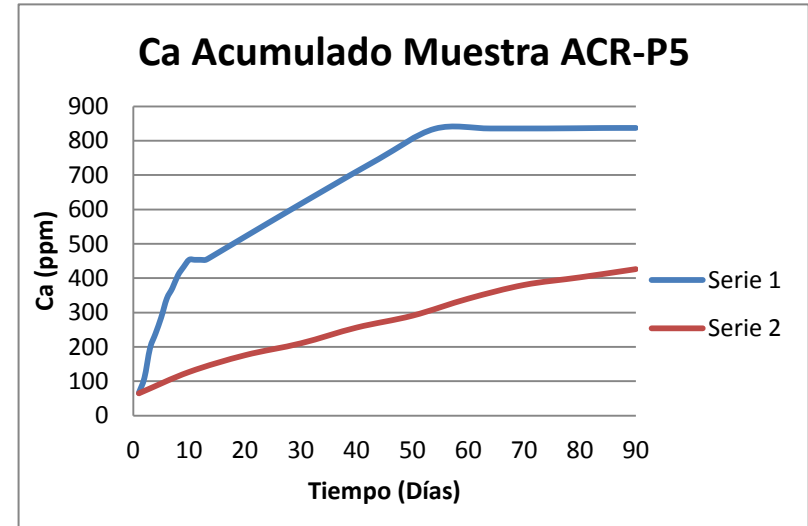
Gráfica K.15. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2



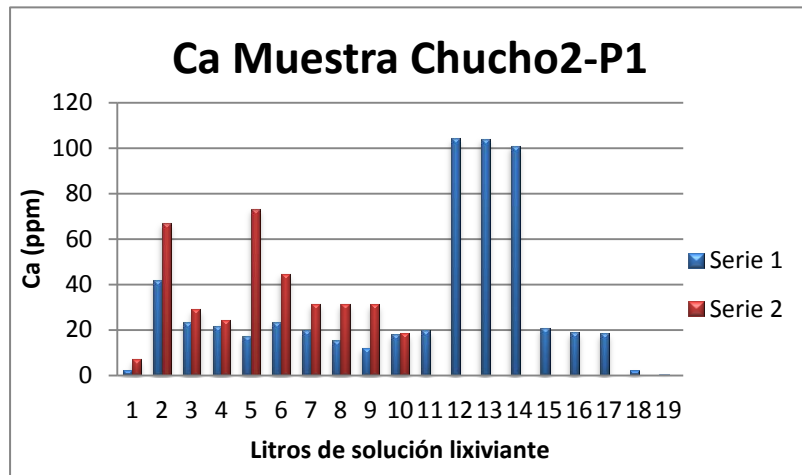
Gráfica K.16. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2



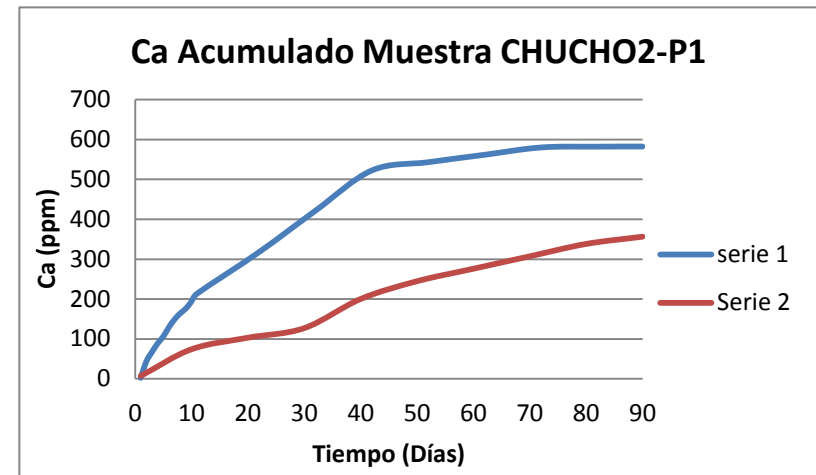
Gráfica K.17. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5



Gráfica K.18. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5

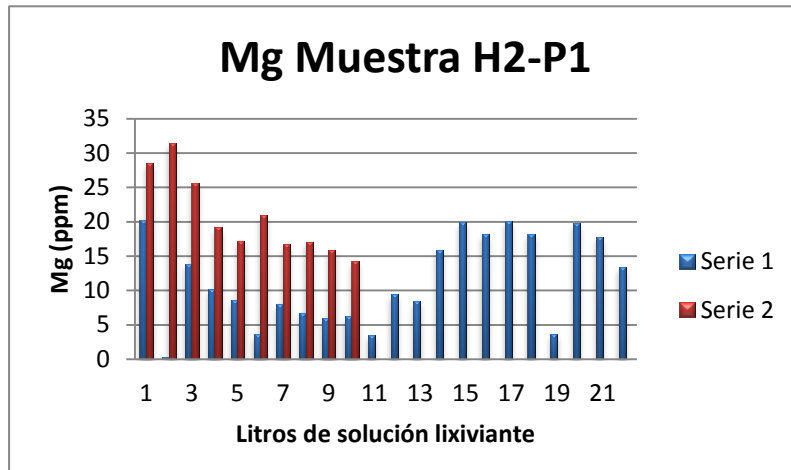


Gráfica K.19. Concentración de Calcio para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO2

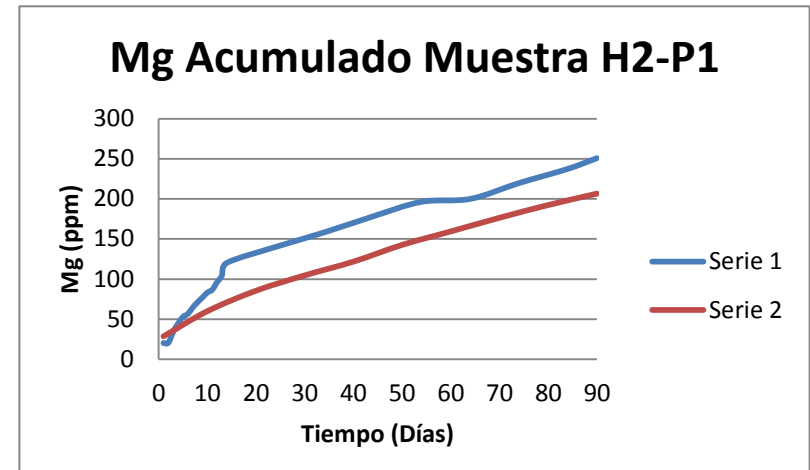


Gráfica K.20. Calcio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO2

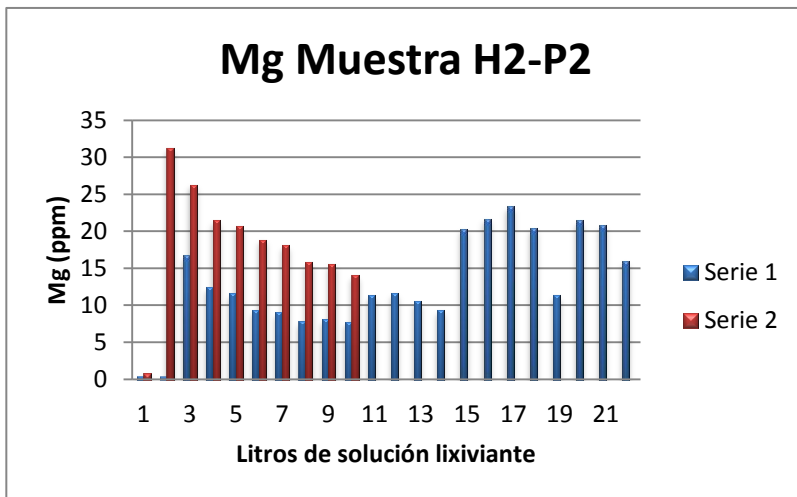
ANEXO L: CONCENTRACIÓN DE MAGNESIO Y MAGNESIO ACUMULADO PARA LAS SERIES 1 Y 2.



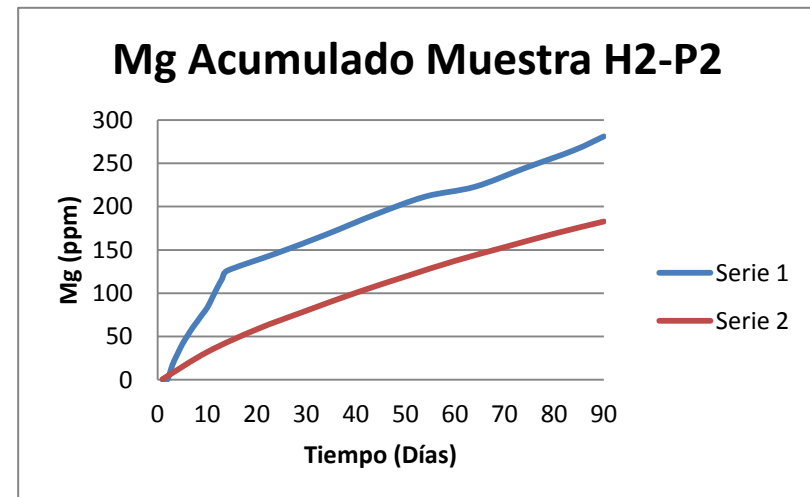
Gráfica L.1. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1



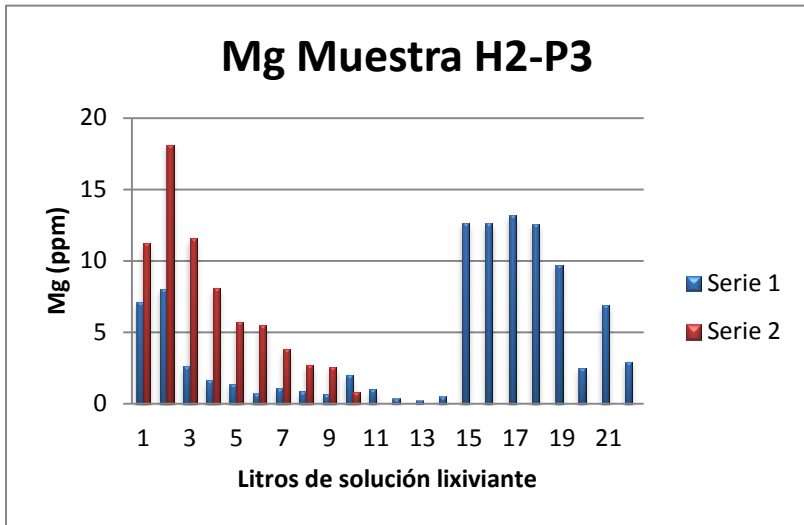
Gráfica L.2. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P1



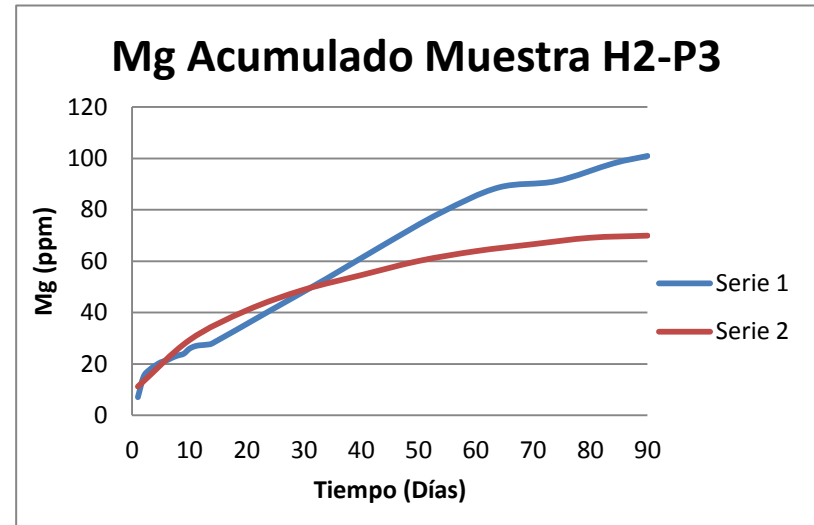
Gráfica L.3. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2



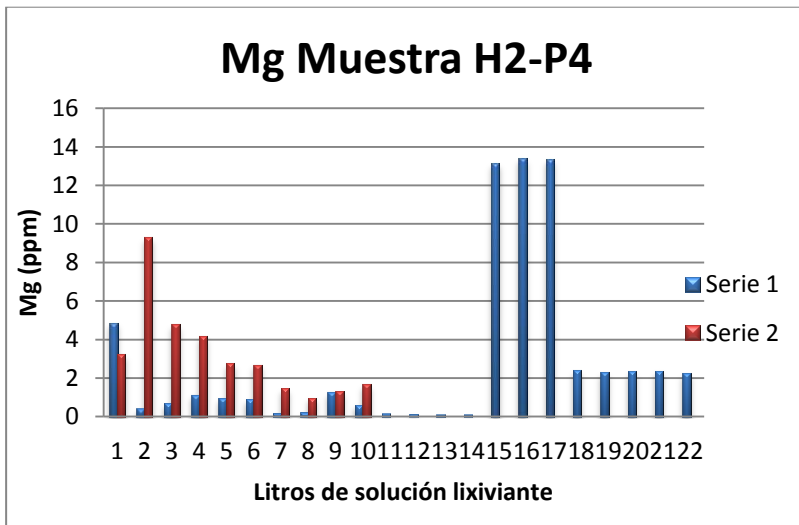
Gráfica L.4. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P2



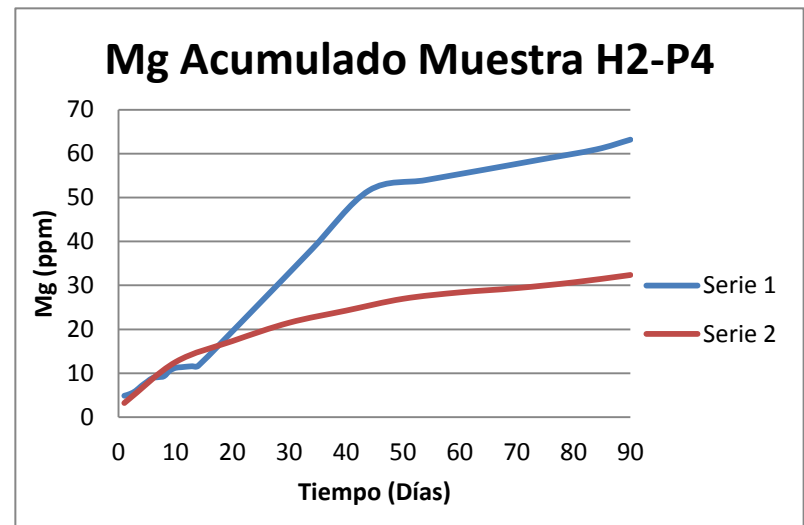
Gráfica L.5. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3



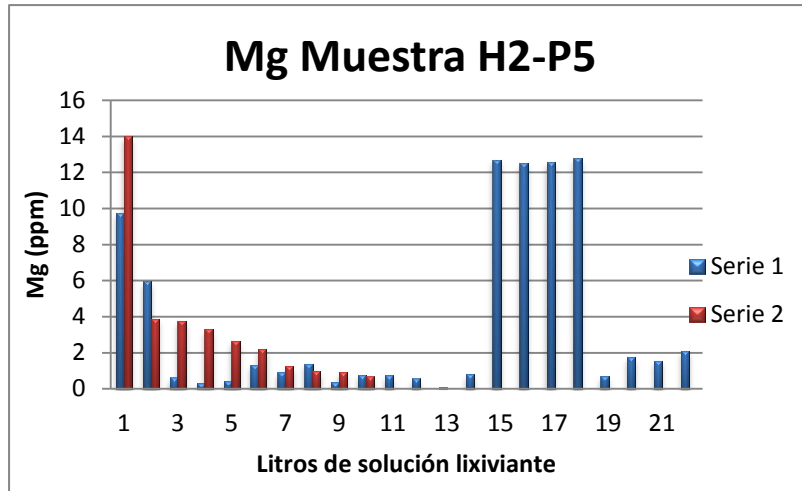
Gráfica L.6. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P3



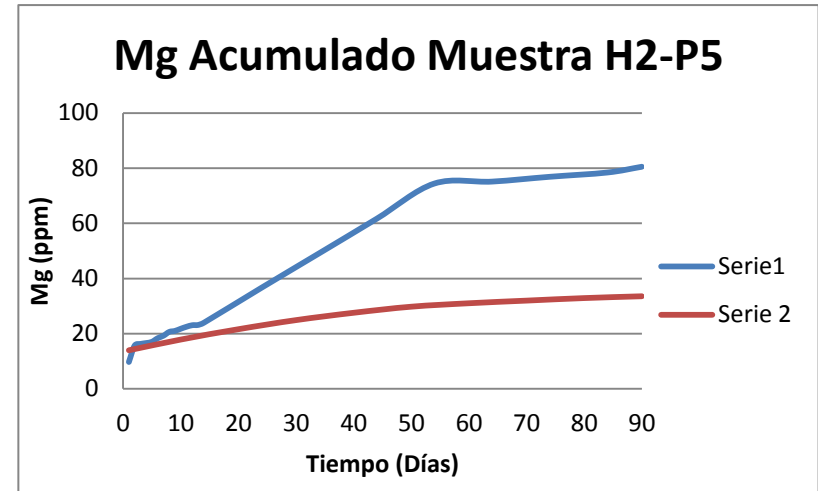
Gráfica L.7. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4



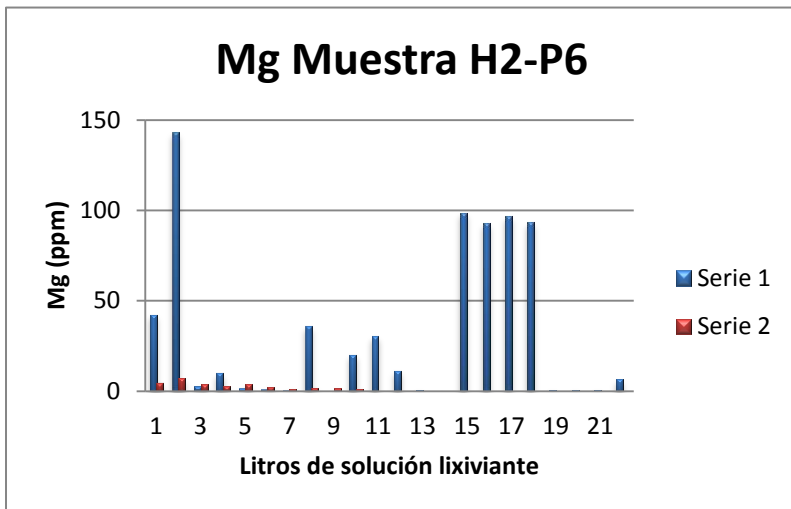
Gráfica L.8. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P4



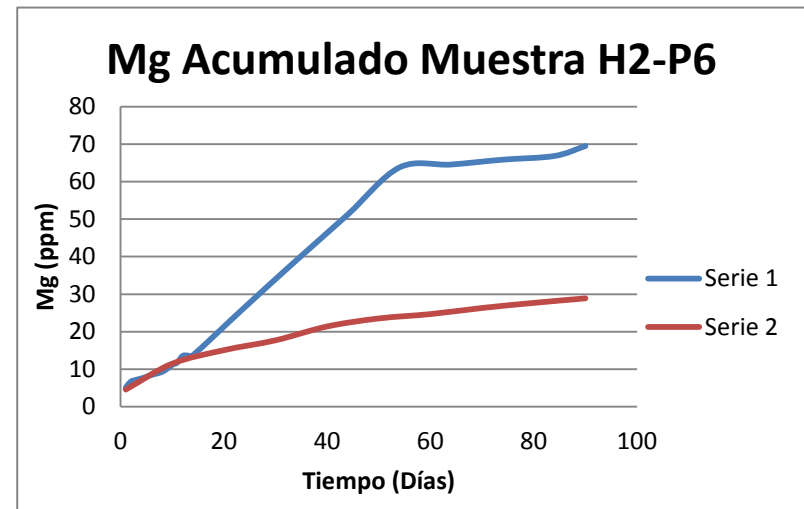
Gráfica L.9. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5



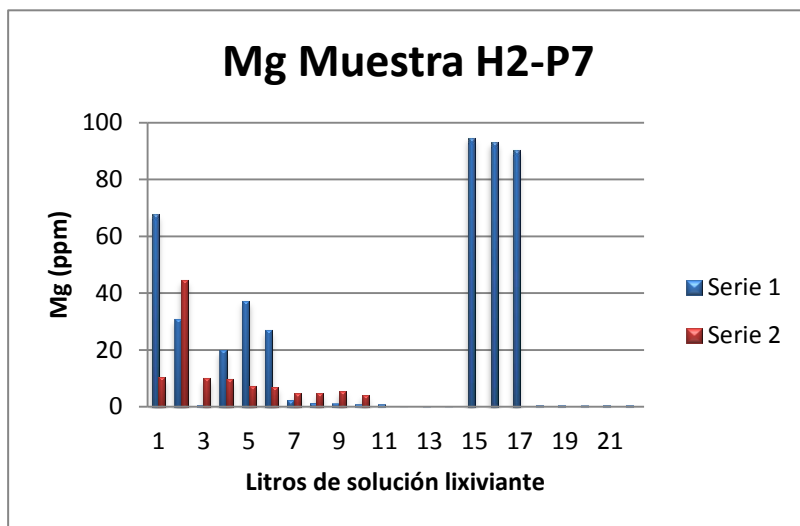
Gráfica L.10. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P5



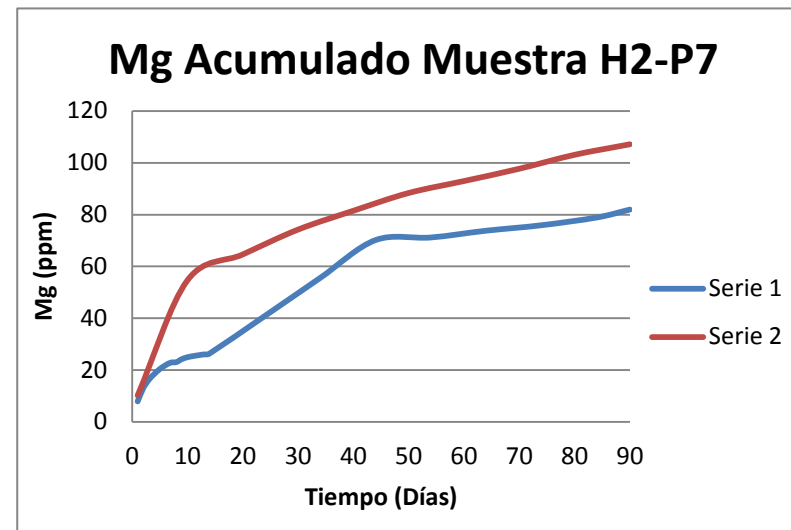
Gráfica L.11. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6



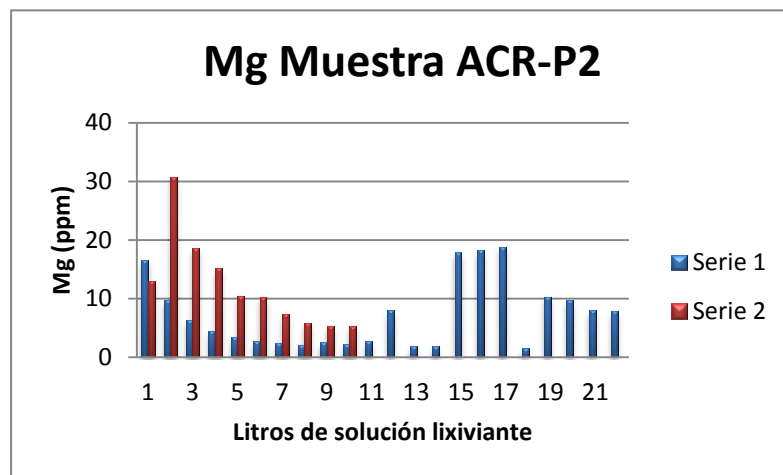
Gráfica L.12. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P6



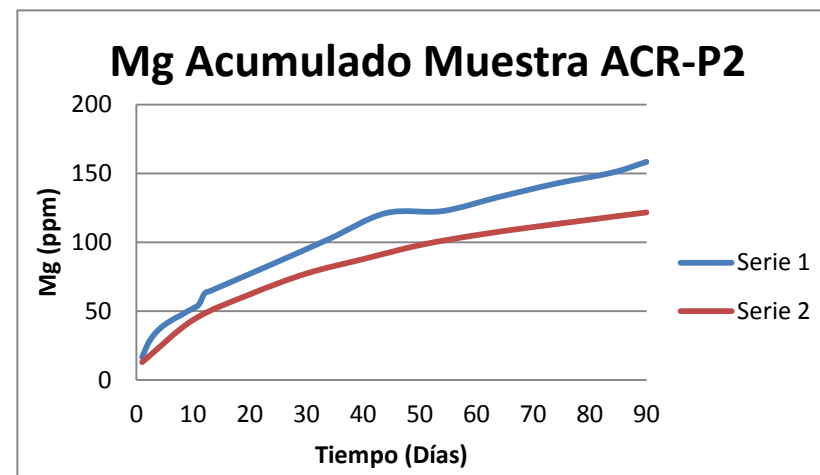
Gráfica L.13. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7



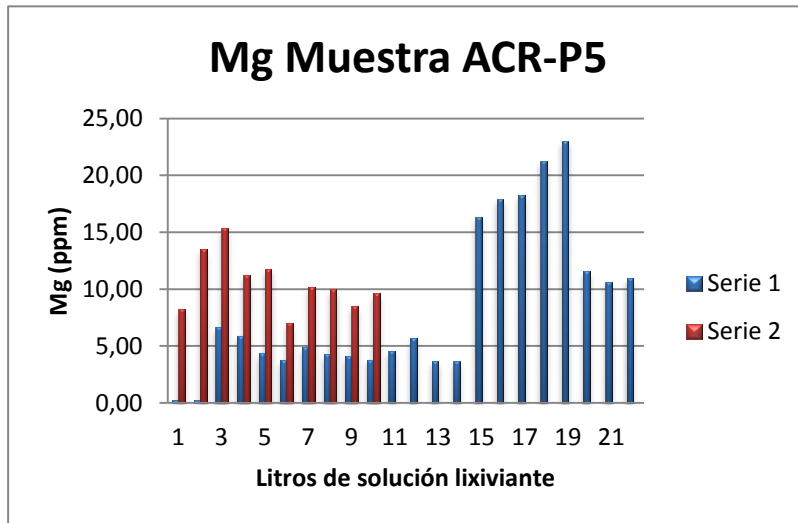
Gráfica L.14. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra H2-P7



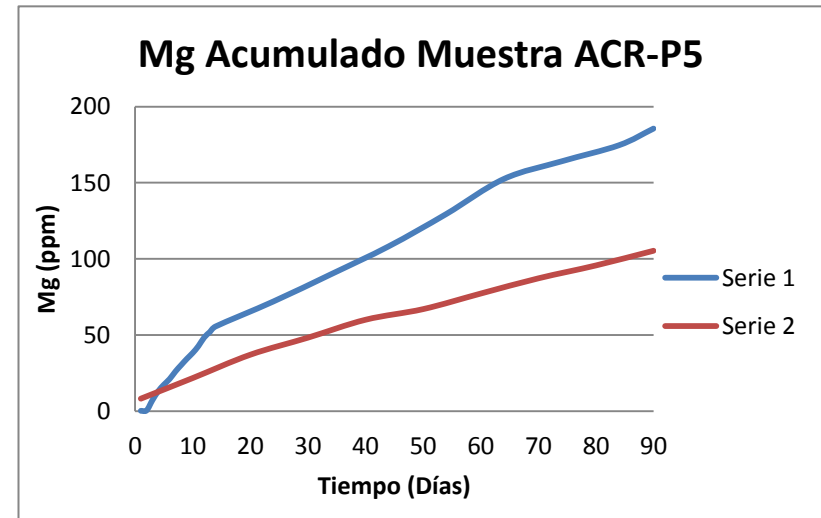
Gráfica L.15. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2



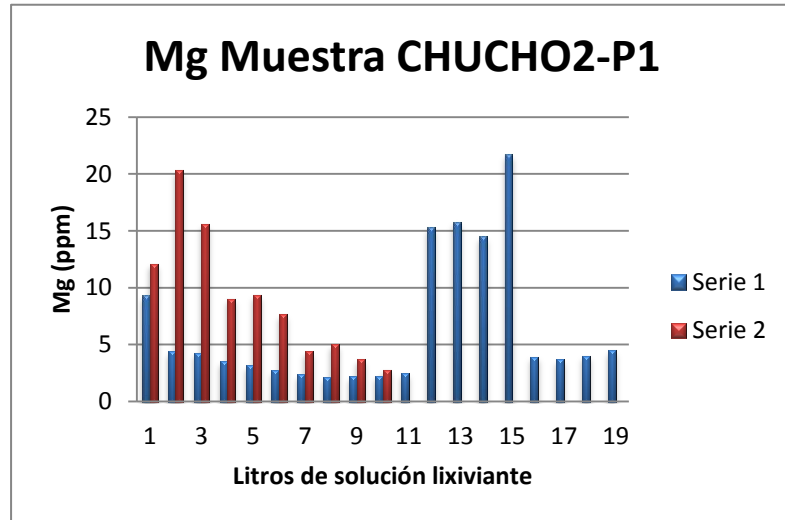
Gráfica L.16. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P2



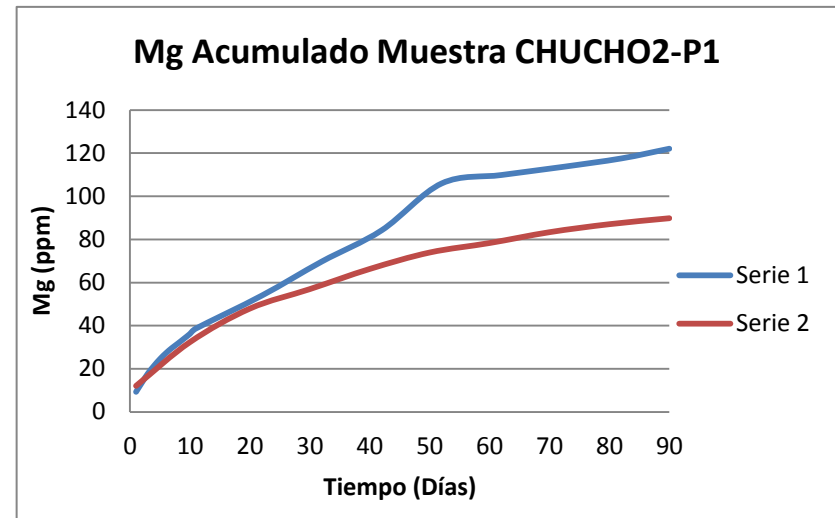
Gráfica L.17. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5



Gráfica L.18. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra ACR-P5

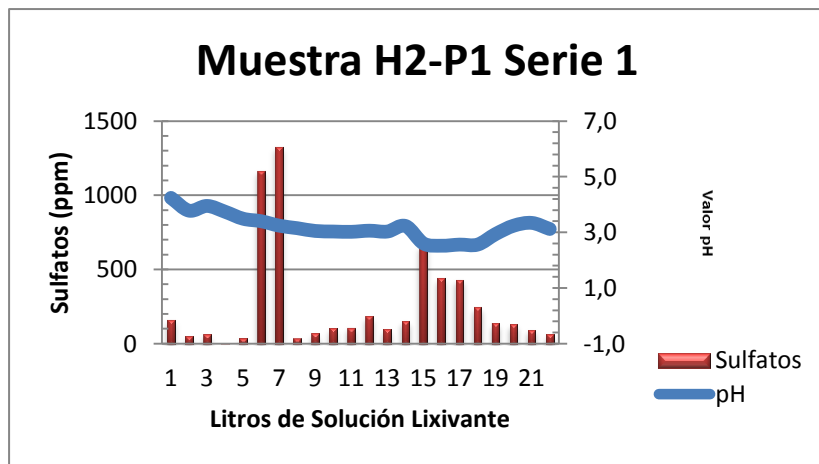


Gráfica L.19. Concentración de Magnesio Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO2

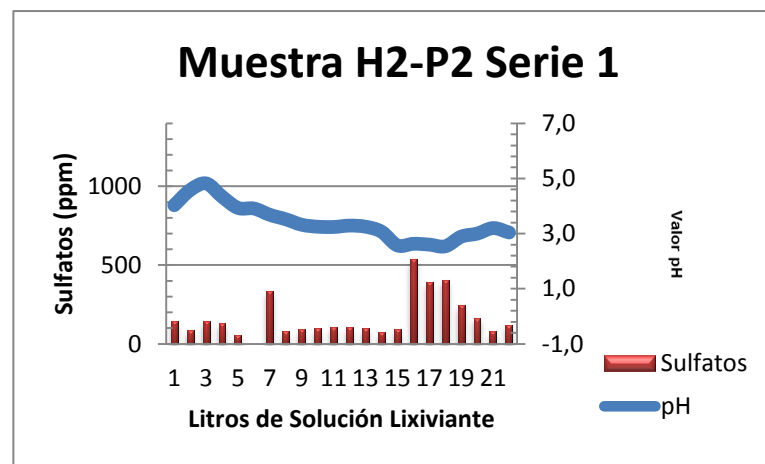


Gráfica L.20. Magnesio acumulado para la Serie 1 y 2 de la muestra CHUCHO2

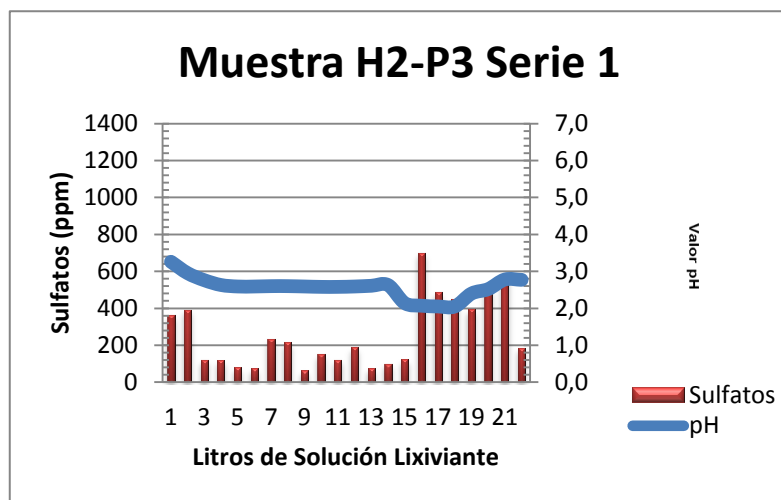
ANEXO M: GRAFICAS COMPARATIVAS SULFATOS, HIERRO Y COBRE Vs. pH PARA LAS SERIES 1 Y 2.



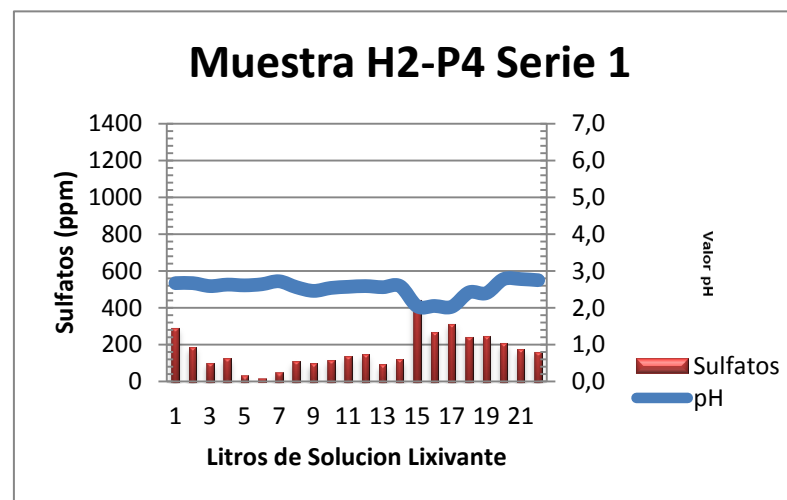
Gráfica M.1. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P1 Serie



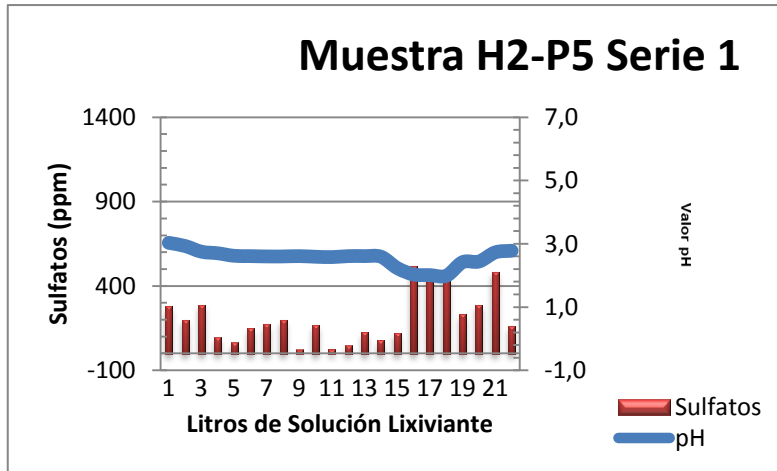
Gráfica M.2. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P2 Serie



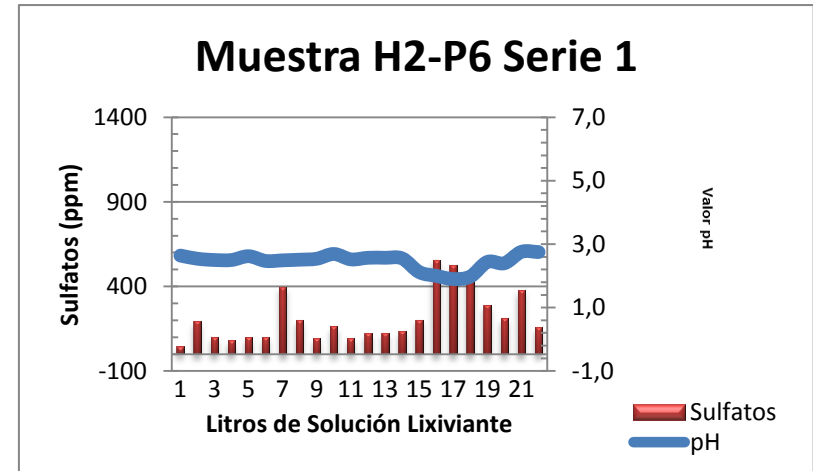
Gráfica M.3. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P3 Serie



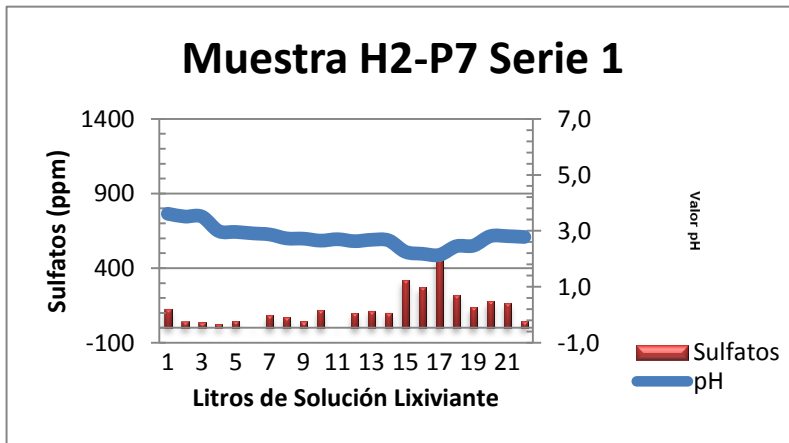
Gráfica M.4. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P4 Serie



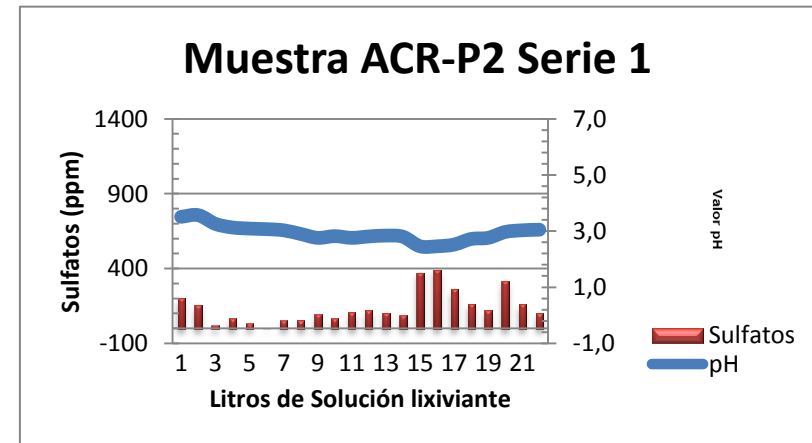
Gráfica M.5. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P5 Serie



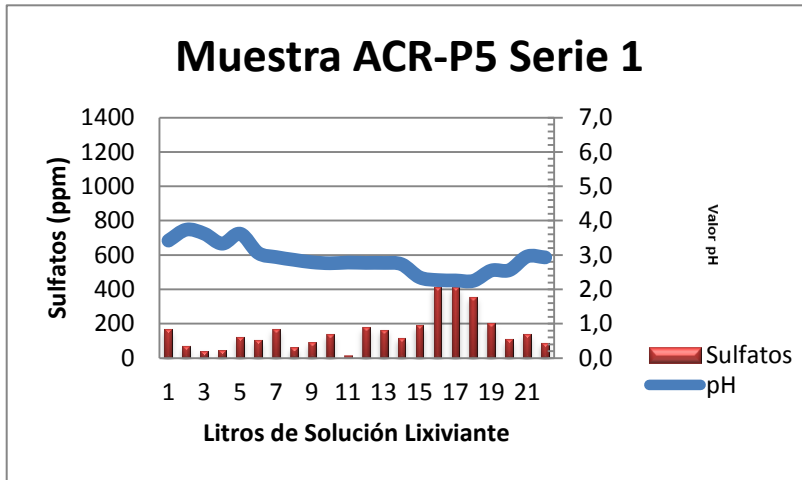
Gráfica M.6. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P6 Serie



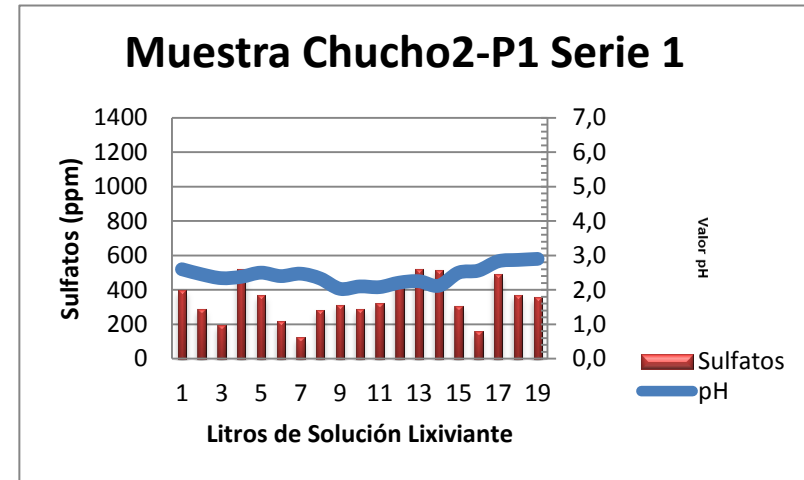
Gráfica M.7. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P7 Serie



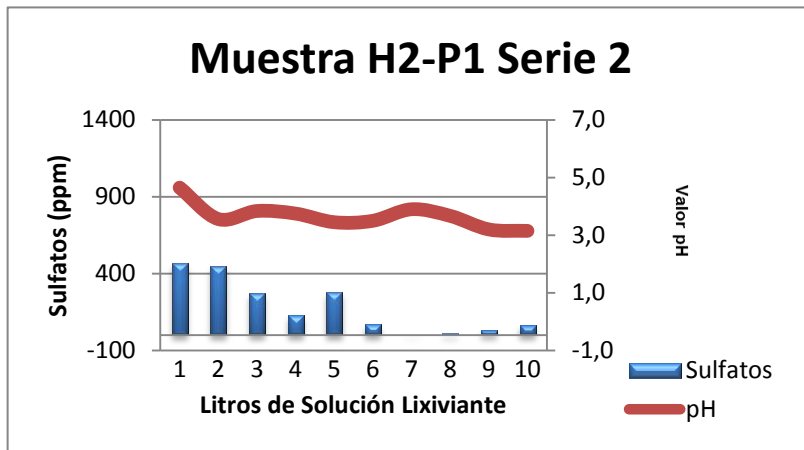
Gráfica M.8. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P2 Serie



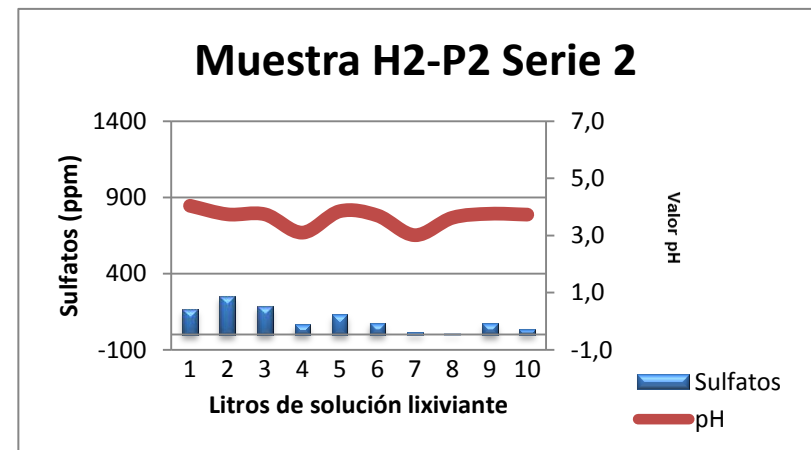
Gráfica M.9. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra ACR-P5 Serie



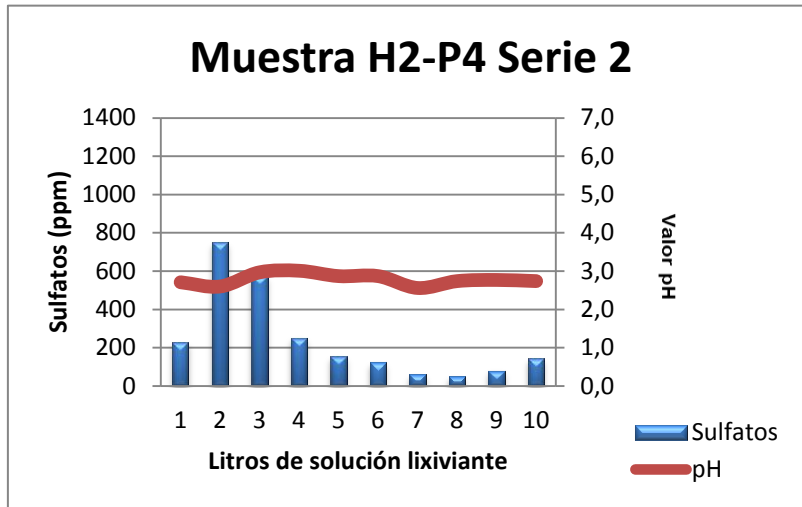
Gráfica M.10. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra CHUCHO2 Serie



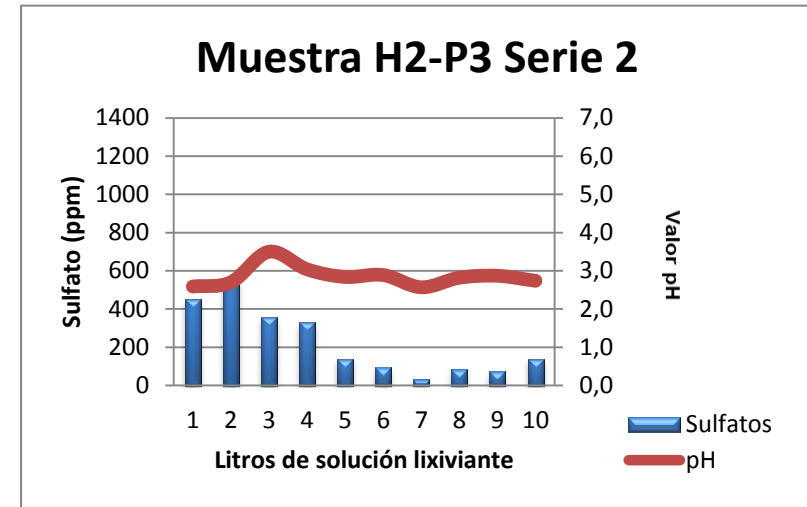
Gráfica M.11. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P1 Serie



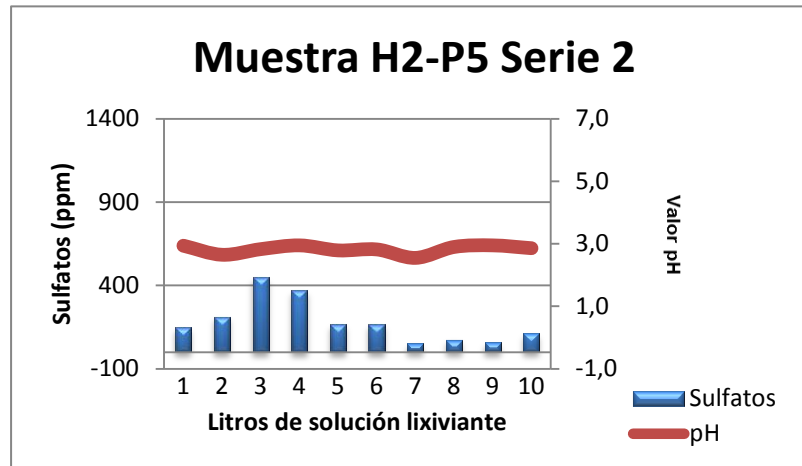
Gráfica M.12. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P2 Serie



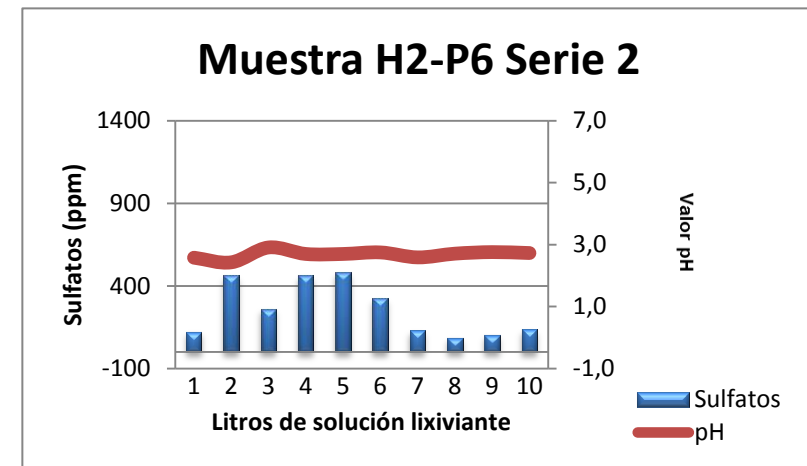
Gráfica M.13. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P4



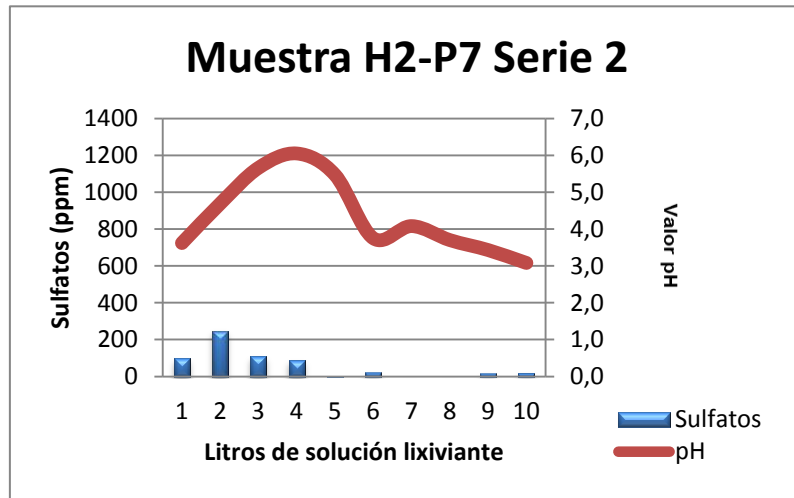
Gráfica M.14. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P3



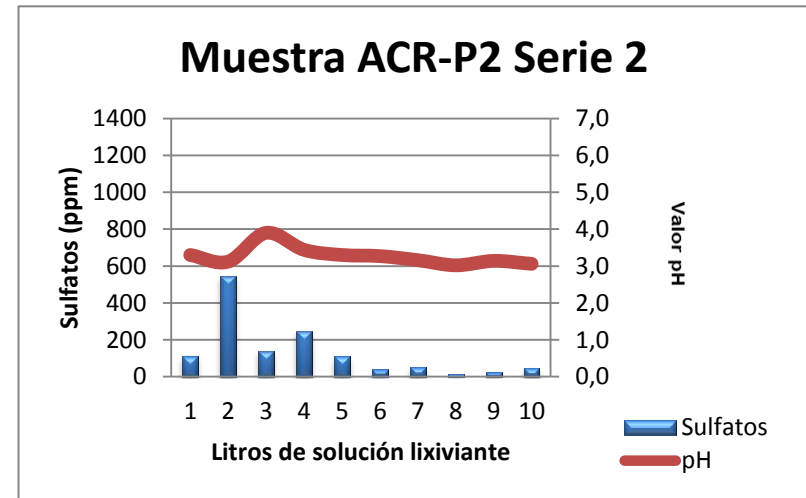
Gráfica M.15. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P5



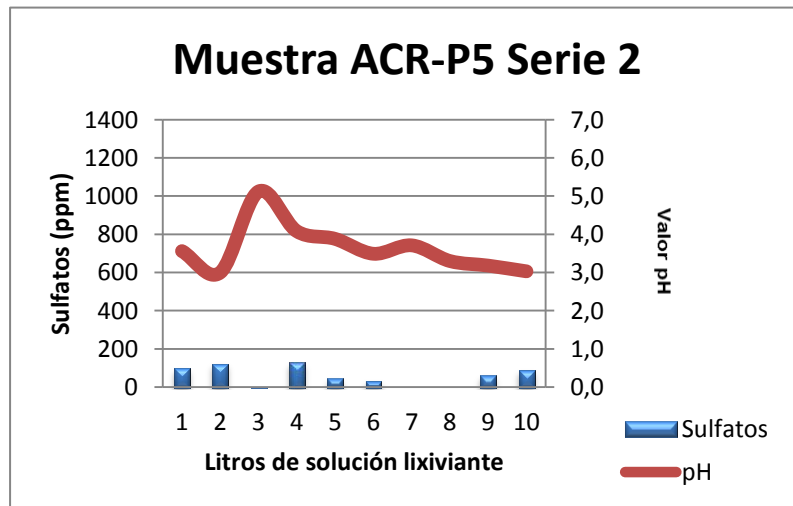
Gráfica M.16. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P6



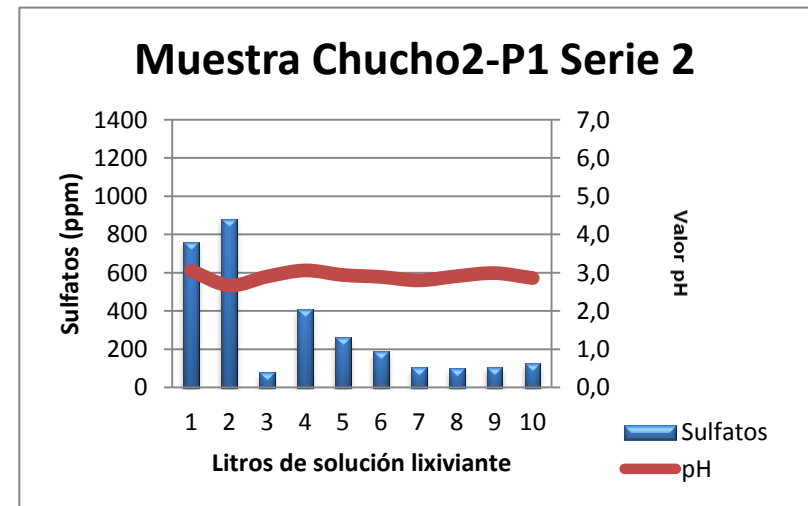
Gráfica M.17. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P7



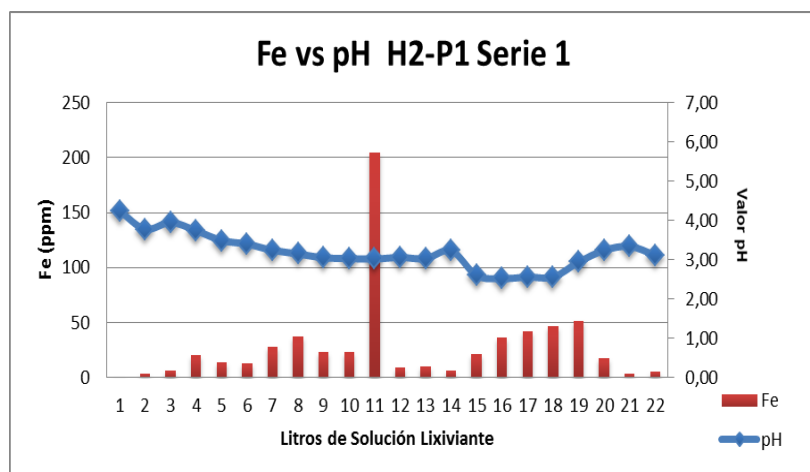
Gráfica M.18. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P2 Serie



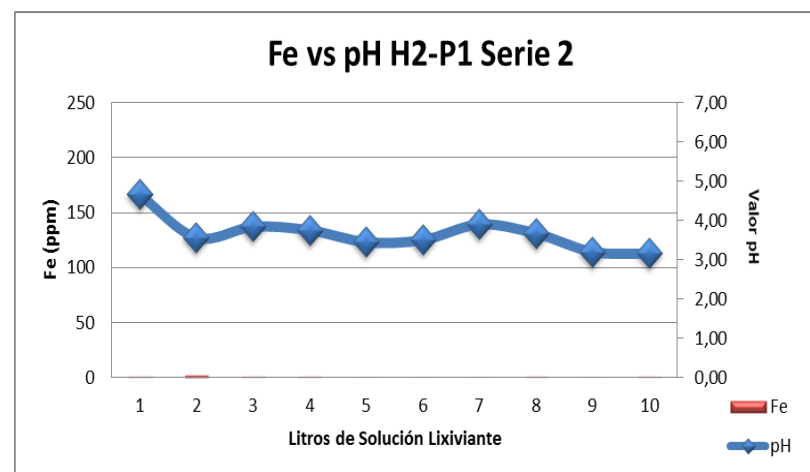
Gráfica M.19. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P5



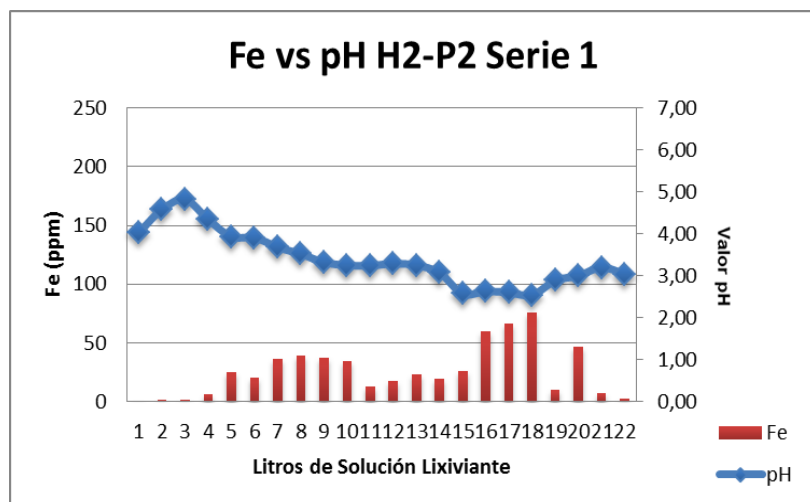
Gráfica M.20. Sulfatos, pH Vs Litros de solución lixivante muestra CHUCHO 2



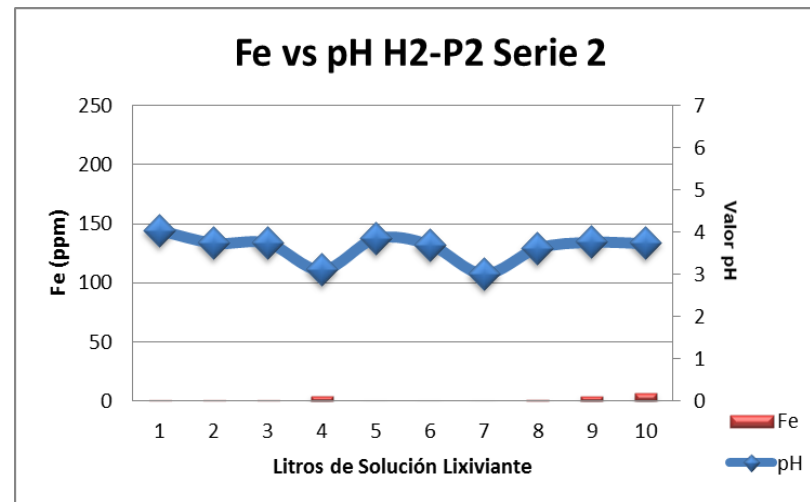
Gráfica M.21. Hierro, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P1 Serie 1



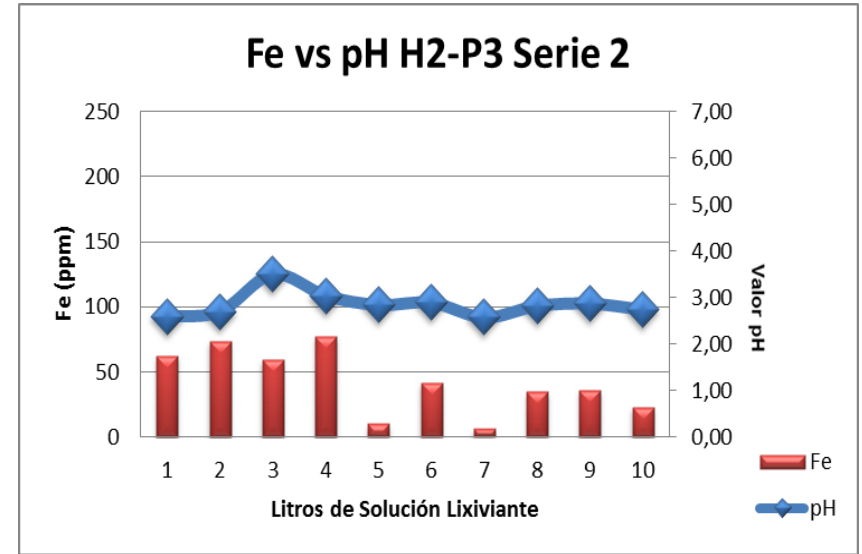
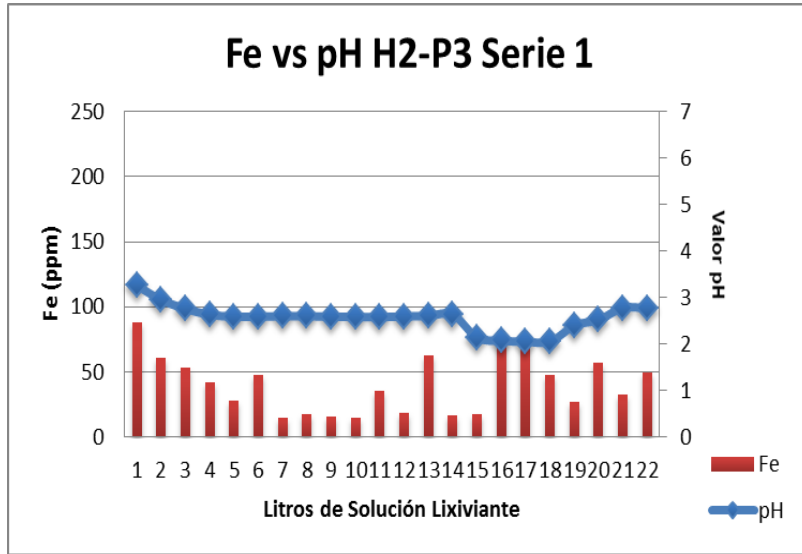
Gráfica M.22. Hierro, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P1 Serie 2



Gráfica M.23. Hierro, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P2 Serie 1

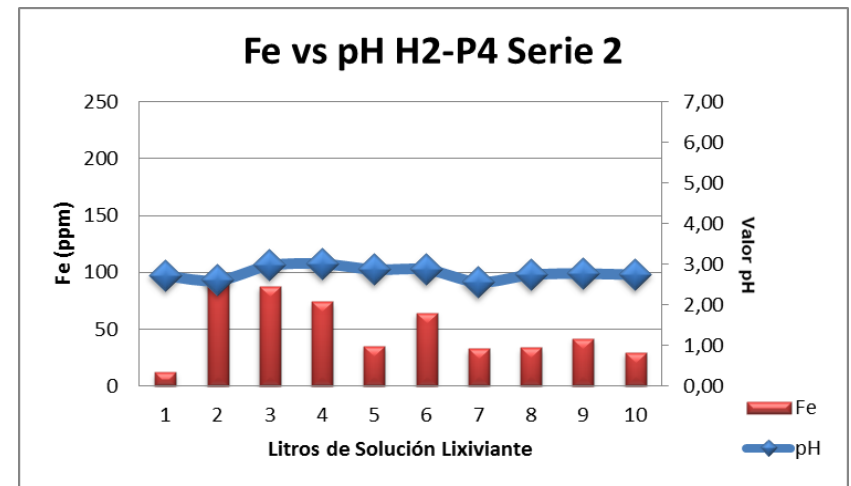
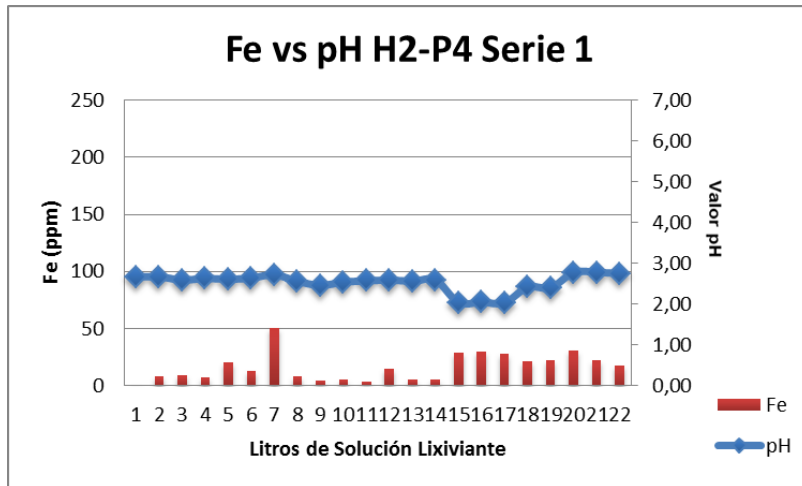


Gráfica M.24. Hierro, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P2 Serie 2



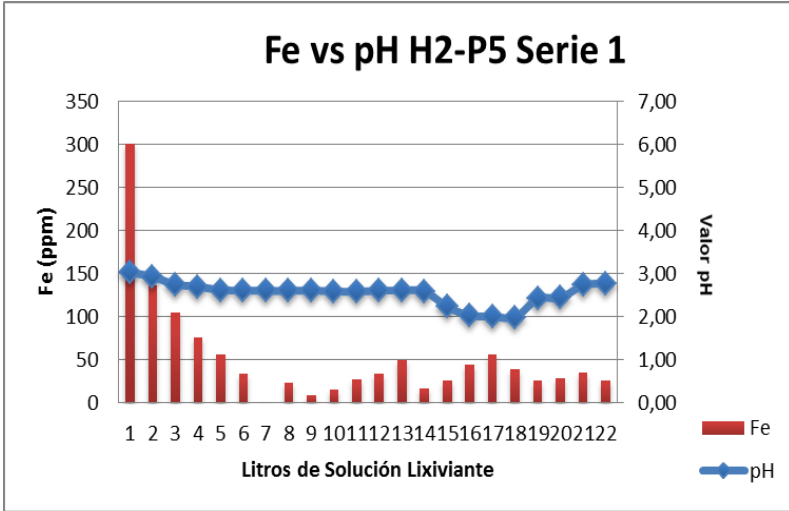
Gráfica M.25. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P3 Serie 1

Gráfica M.26. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P3 Serie 2

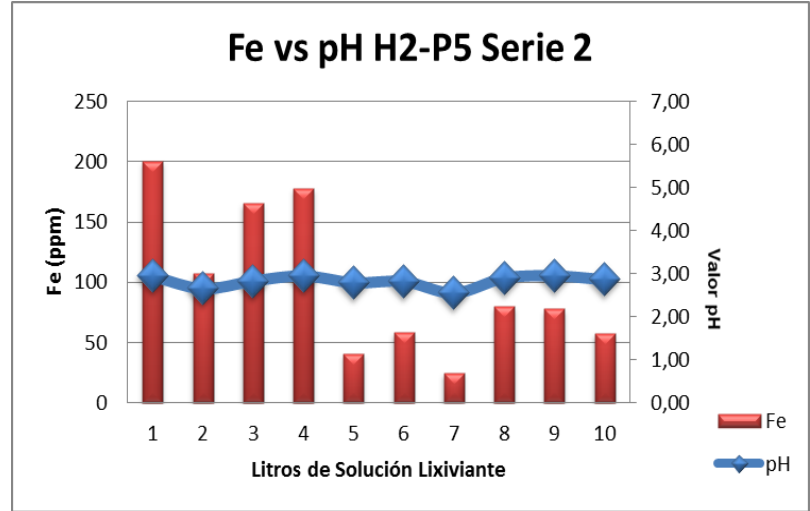


Gráfica M.27. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P4 Serie 1

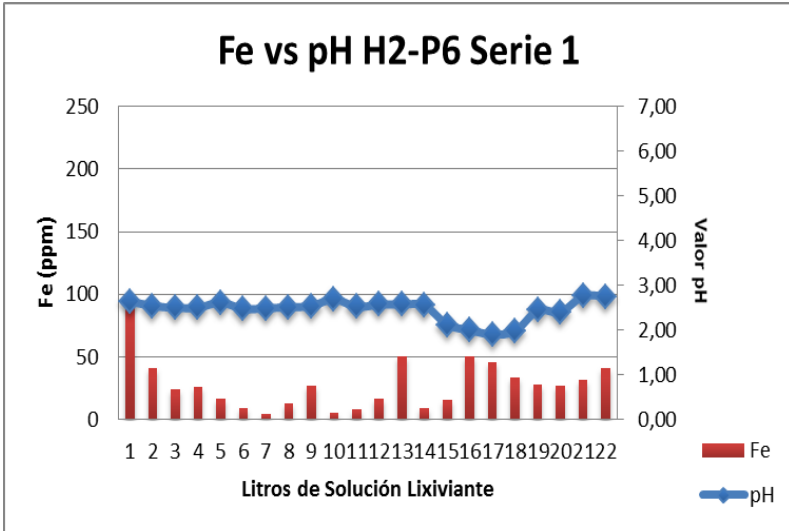
Gráfica M.28. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P4 Serie 1



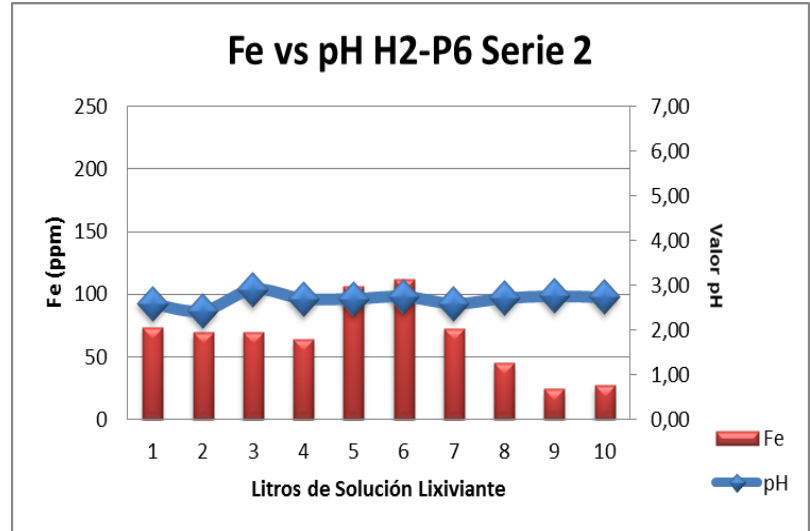
Gráfica M.29. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P5



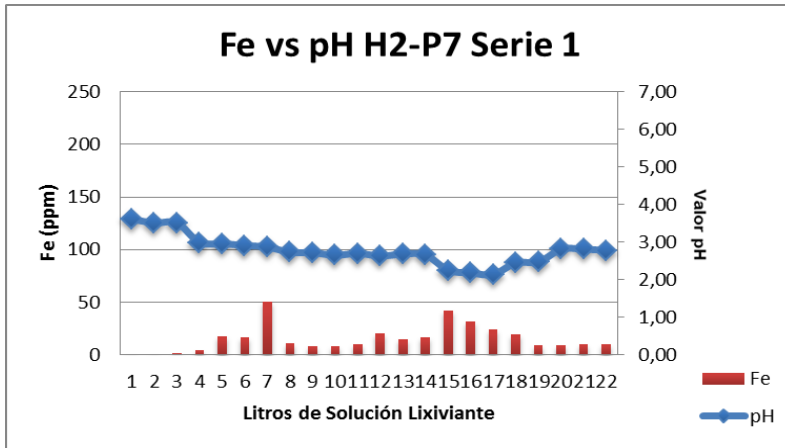
Gráfica M.30. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P5 Serie 2



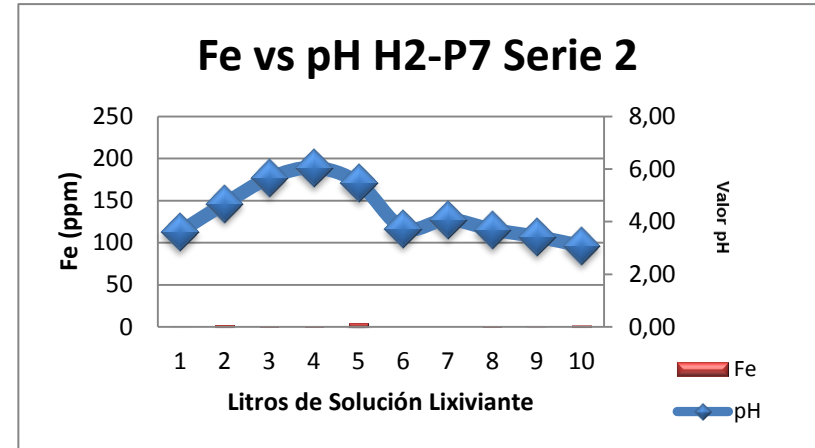
Gráfica M.31. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P5 Serie



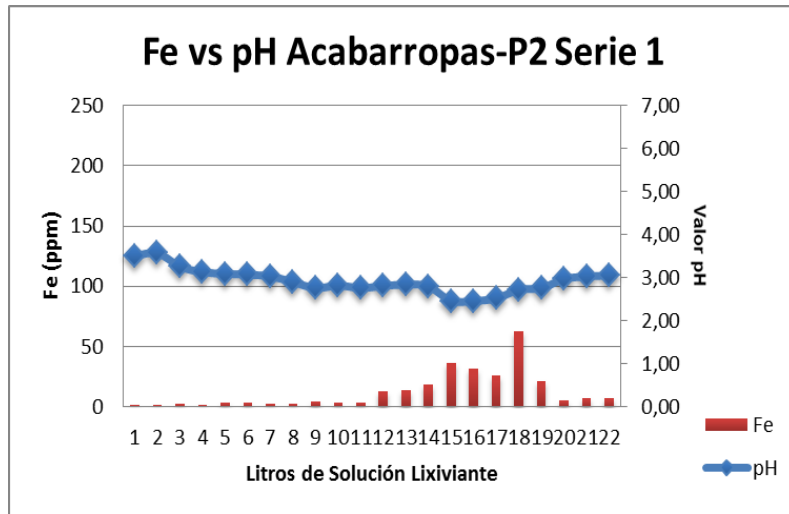
Gráfica M.32. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P6 Serie 2



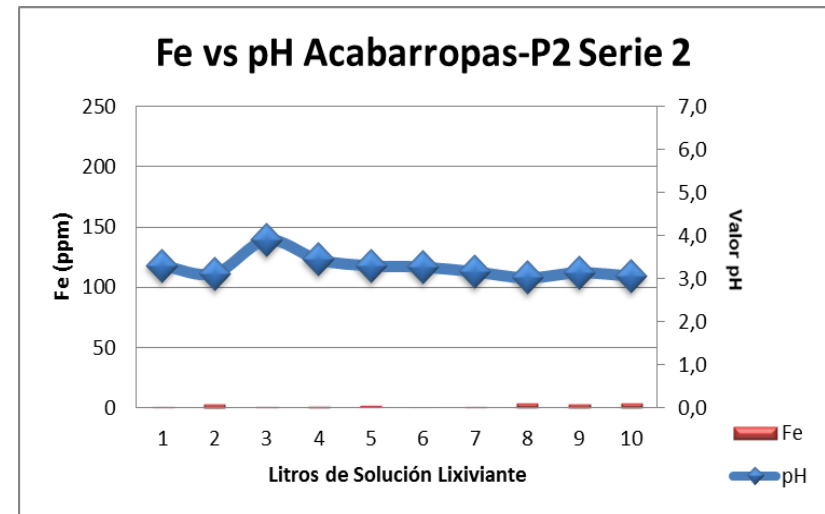
Gráfica M.33. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P7 Serie 2



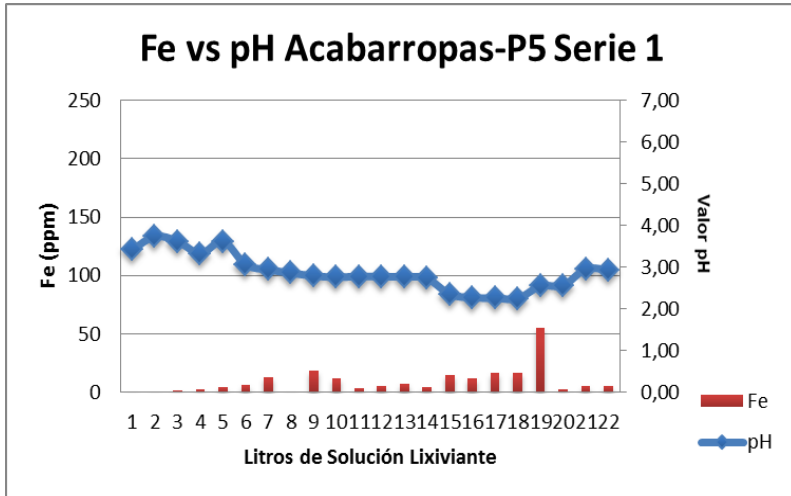
Gráfica M.34. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P7 Serie 1



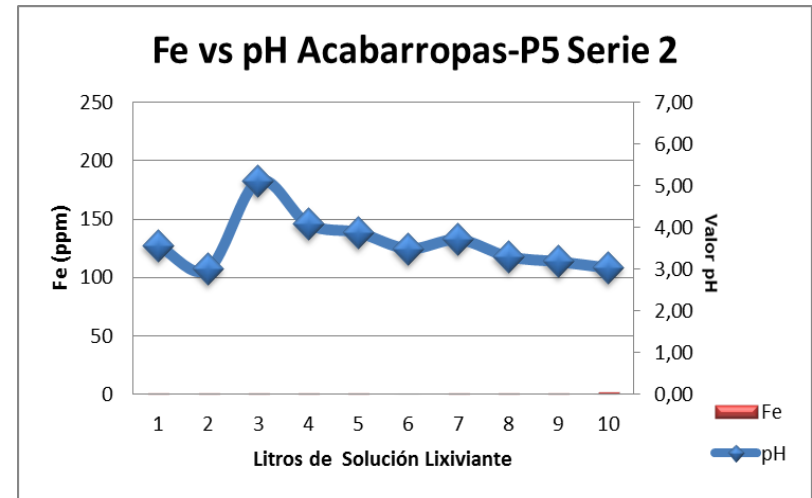
Gráfica M.35. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P2 Serie



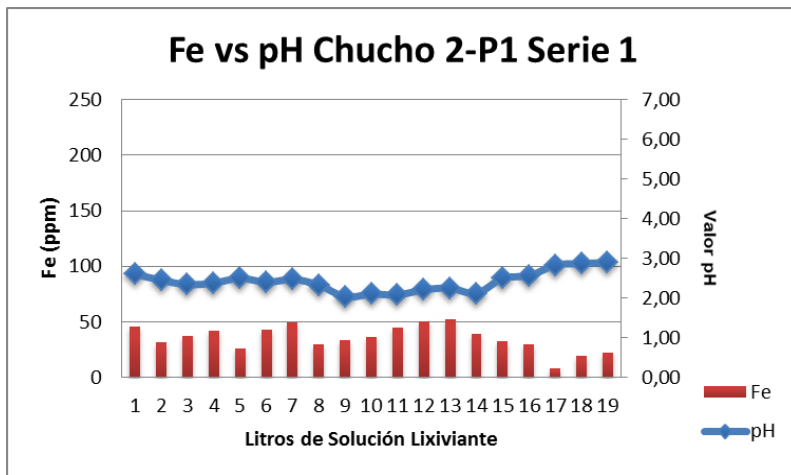
Gráfica M.36. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P2 Serie



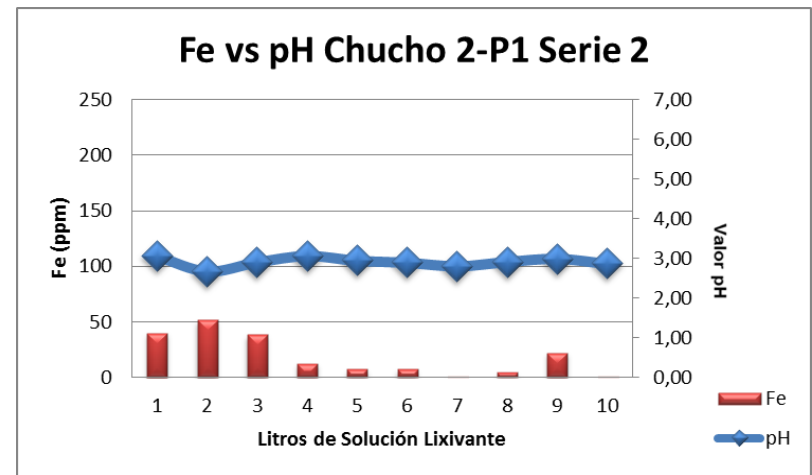
Gráfica M.37. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P5 Serie



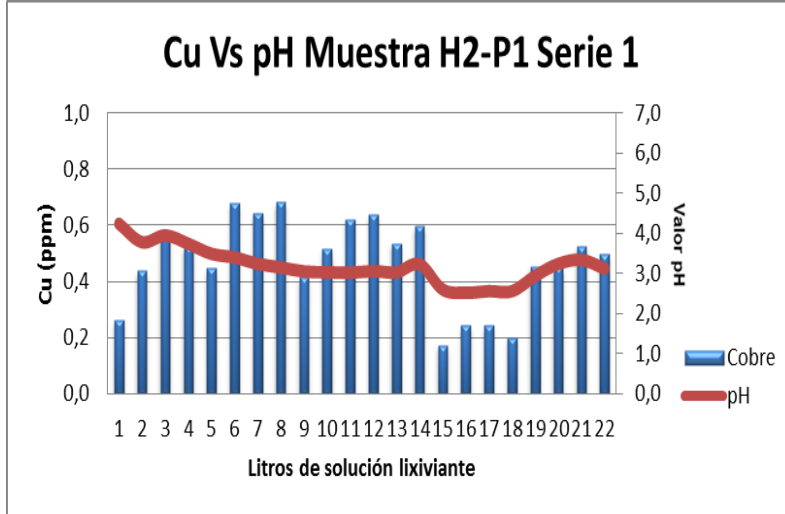
Gráfica M.38. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P5 Serie



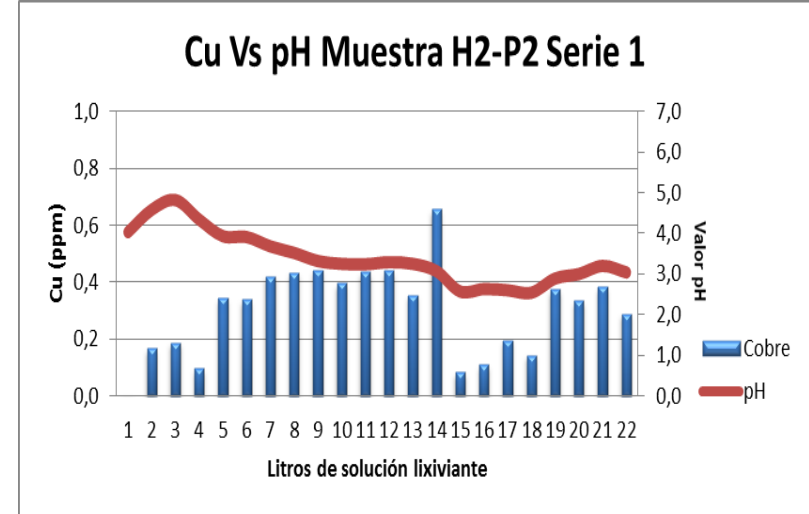
Gráfica M.39. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra CHUCHO2 Serie



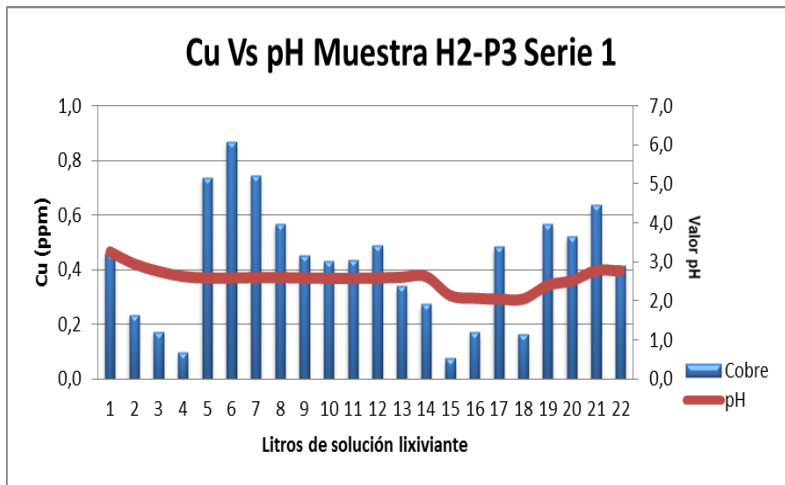
Gráfica M.40. Hierro, pH Vs Litros de solución lixivante muestra CHUCHO2



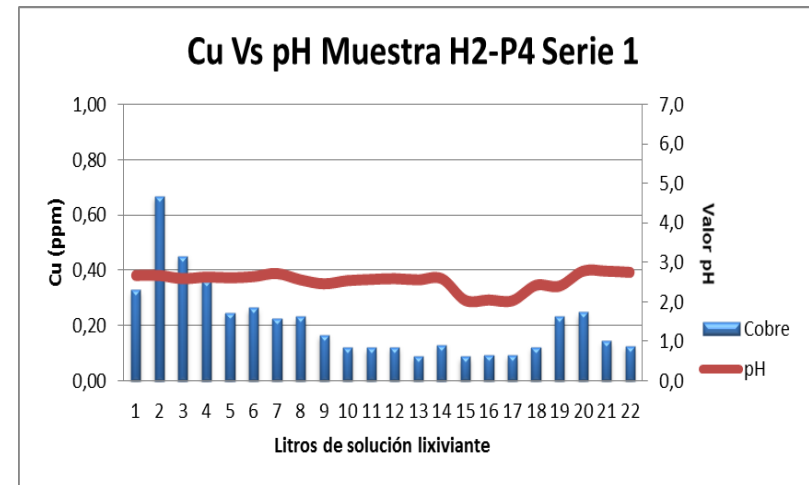
Gráfica M.41. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P1



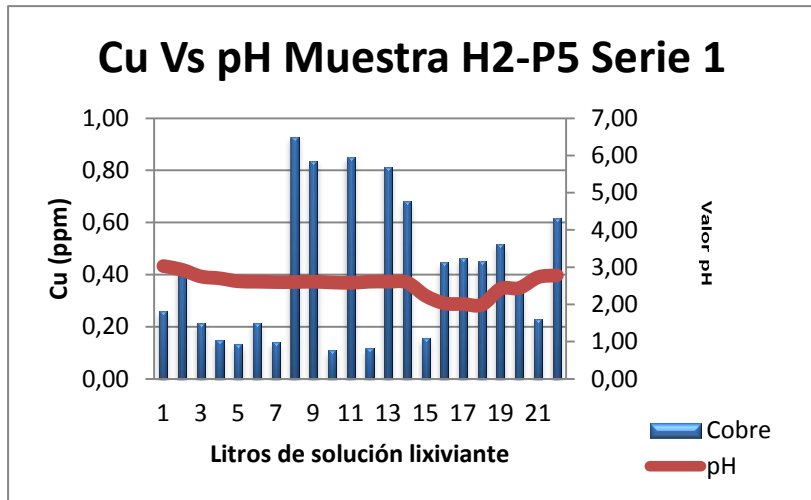
Gráfica M.42. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P2



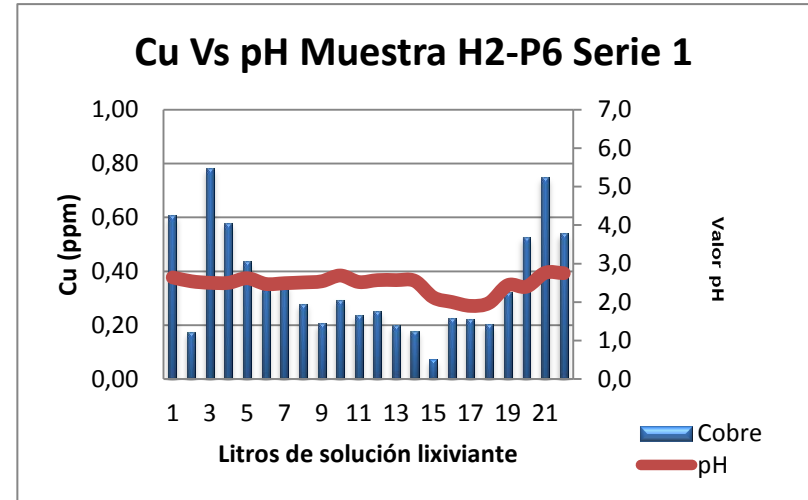
Gráfica M.43. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P3



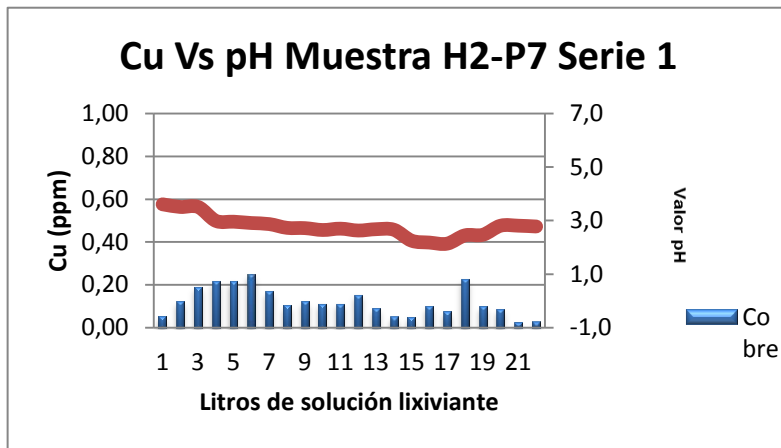
Gráfica M.44. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P4



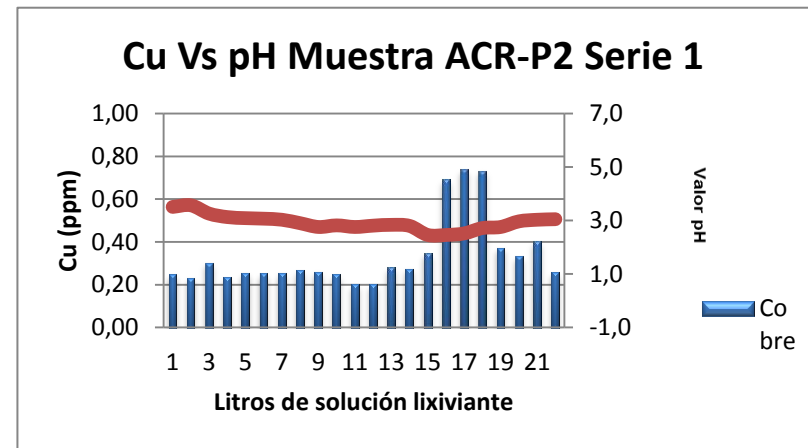
Gráfica M.45. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P5



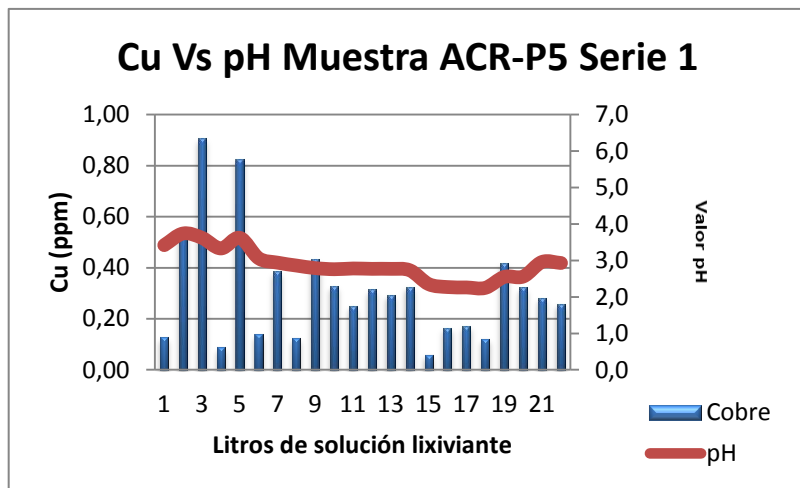
Gráfica M.46. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P6



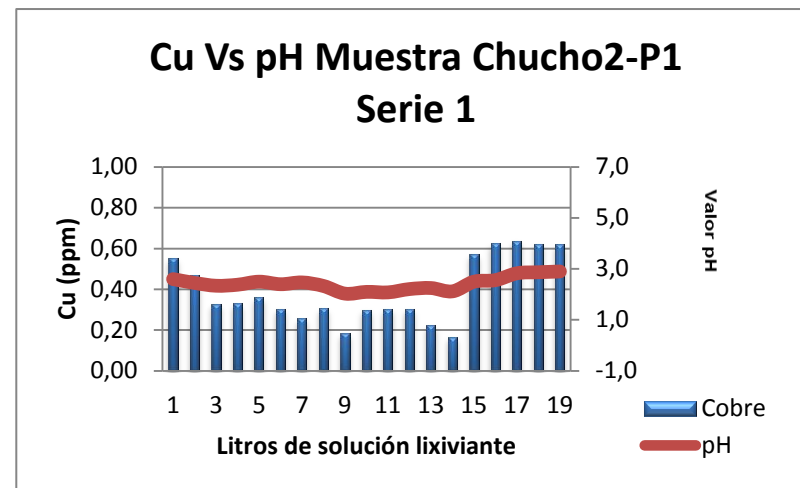
Gráfica M.47. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P6



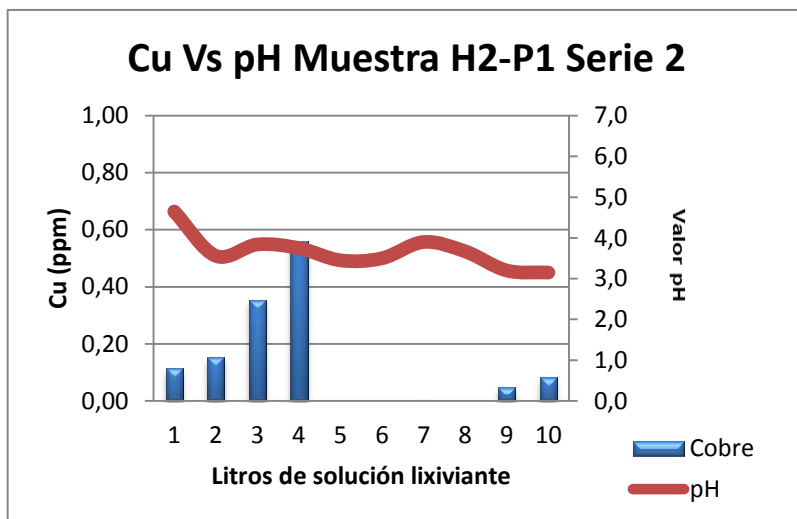
Gráfica M.48. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P2



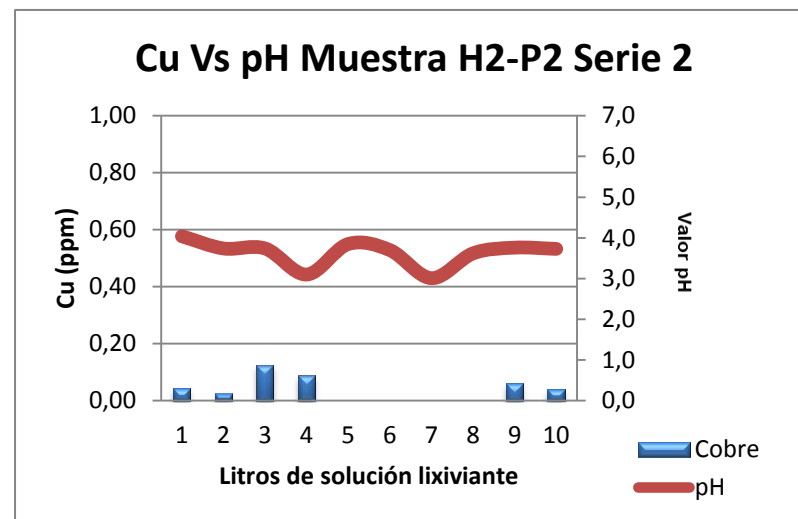
Gráfica M.49. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra ACR-P5



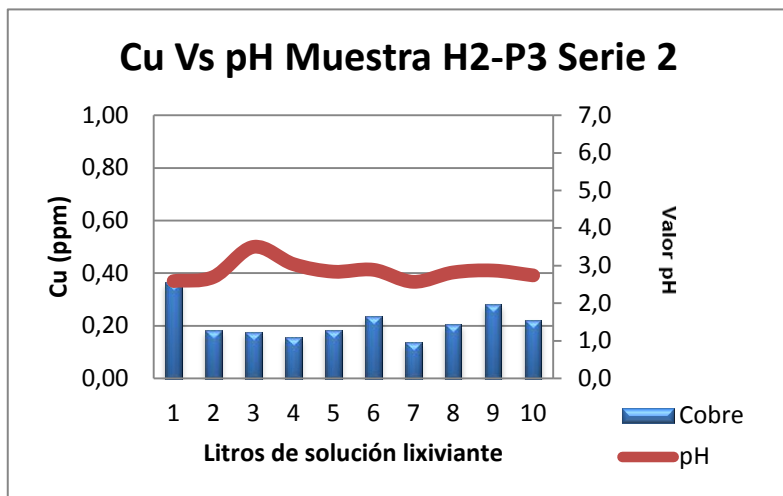
Gráfica M.50. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra CHUCHO2 Serie



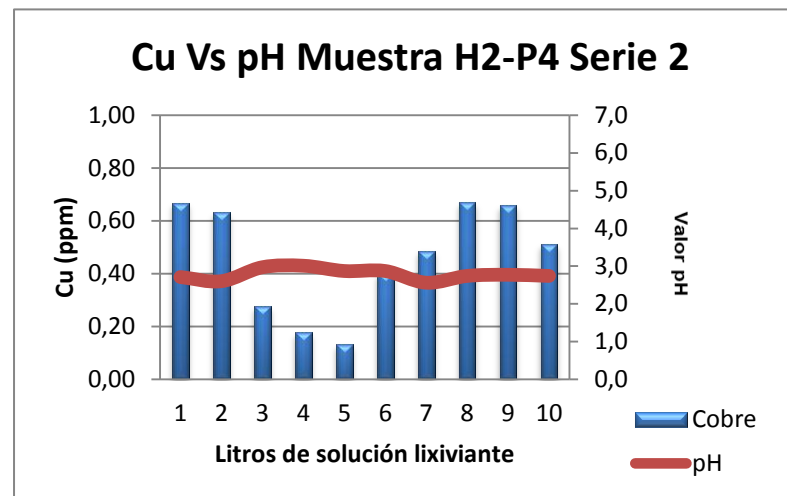
Gráfica M.51. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P1 Serie



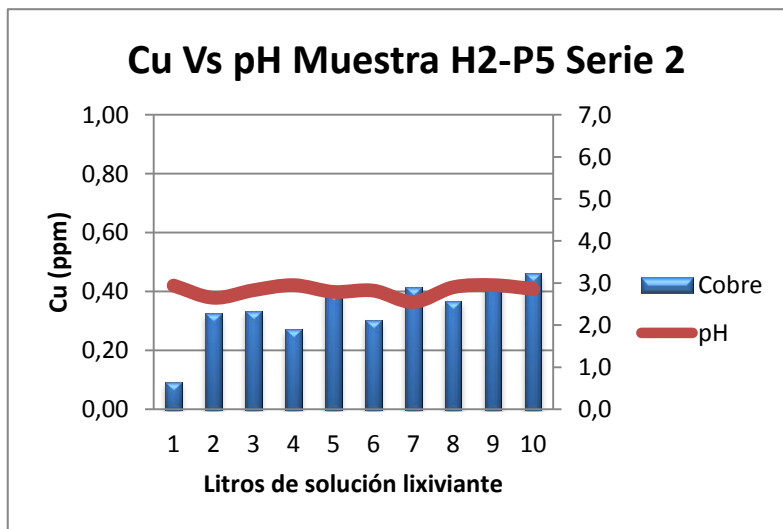
Gráfica M.52. Cobre, pH Vs Litros de solución lixiviante muestra H2-P2 Serie



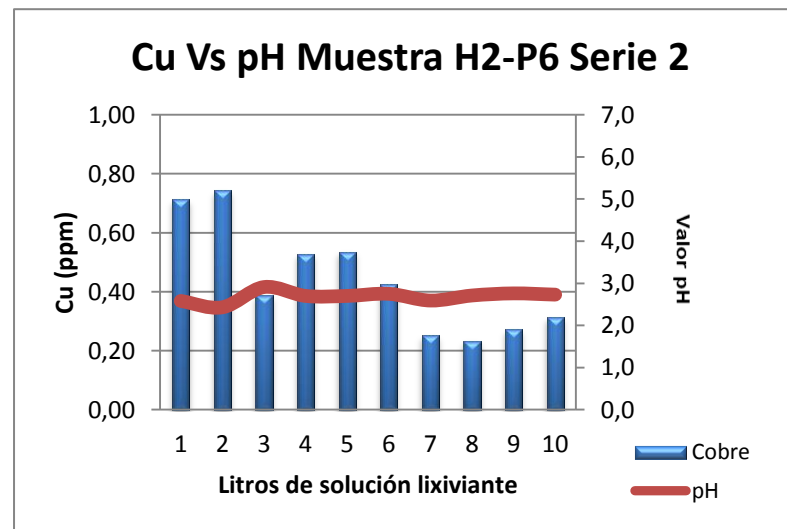
Gráfica M.53. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P3 Serie



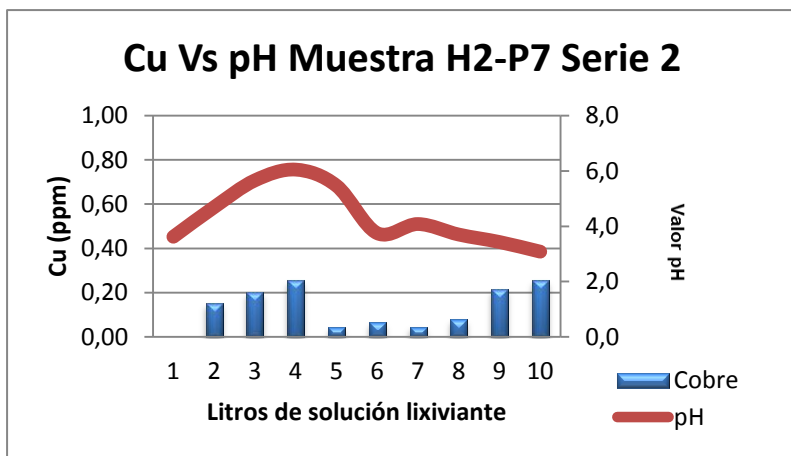
Gráfica M.54. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P4 Serie



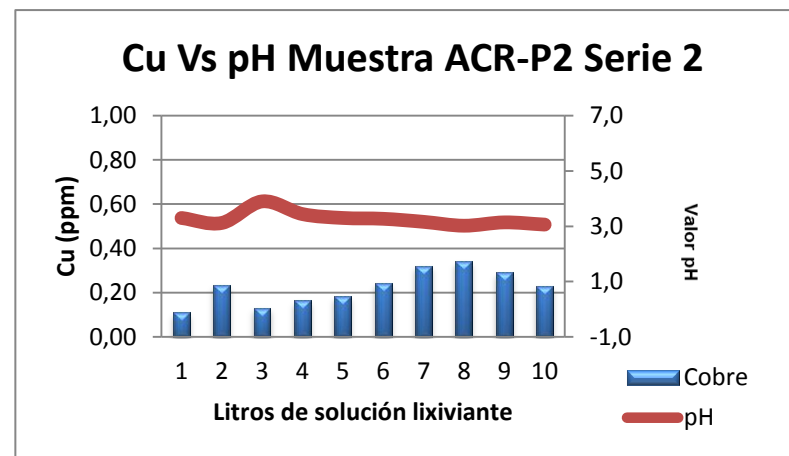
Gráfica M.55. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P5 Serie



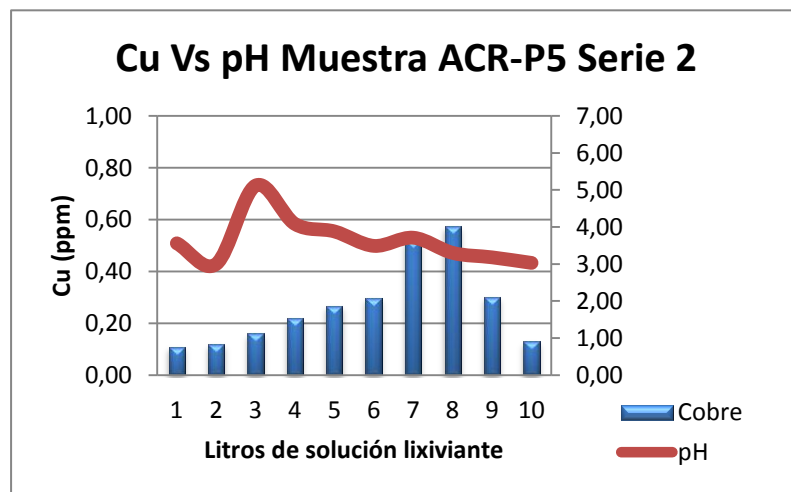
Gráfica M.56. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P6 Serie



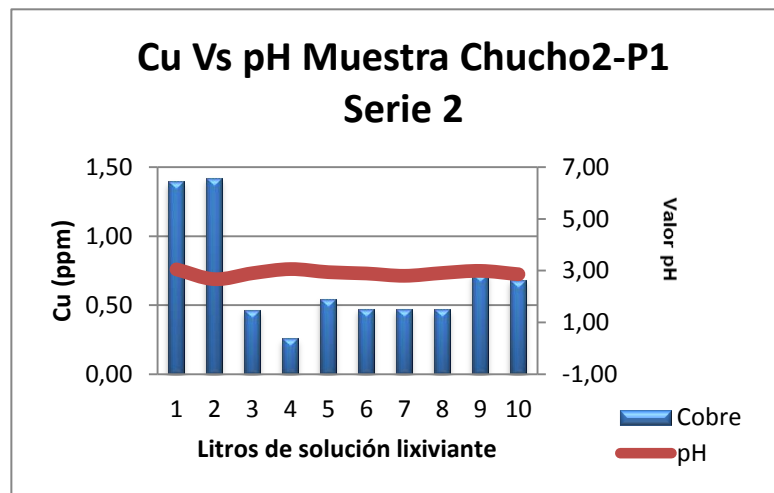
Gráfica M.57. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra H2-P7 Serie



Gráfica M.58. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P2 Serie



Gráfica M.59. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra ACR-P5 Serie



Gráfica M.60. Cobre, pH Vs Litros de solución lixivante muestra CHUCHO2 Serie