



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE INGENIERIA EN MINAS**

**“Tratamiento de Drenaje Ácido mediante columnas verticales
conformado de arena fina, caliza y biocarbón”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN MINAS**

Autor:

JUAN PABLO ZAMBRANO MORENO

Director:

JUAN RODRIGO CALDERON MACHUCA

CUENCA, ECUADOR

2020

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCION	1
1. CAPITULO I: MARCO TEORICO	2
1.1. Drenaje de mina	2
1.1.1. Drenaje alcalino de mina	3
1.1.2. Drenaje ácido de mina (DAM).....	4
1.1.2.1. Formación del DAM.....	4
1.1.2.2. Neutralización del DAM	7
1.1.2.2.1. Método químico	8
1.1.2.2.1.1. Adición de materiales alcalinos.....	8
1.1.2.3. Adsorción de metales del DAM	9
1.1.2.4. Bioadsorción.....	9
1.1.3. Metales	10
1.1.3.1. Cobre	11
1.1.3.2. Zinc.....	13
1.1.3.3. Hierro.....	15
1.1.4. Diagrama de Pourbaix	16
1.1.4.1. Diagrama de Pourbaix del hierro.....	17
1.1.4.2. Diagrama de Pourbaix del cobre	17
1.1.4.3. Diagrama de Pourbaix del zinc.....	18
1.2. Columnas de percolación	18
1.2.1. Permeabilidad	19
1.3. Filtros	19
1.3.1. Arena	19
1.3.2. Caliza.....	20
1.3.3. Biocarbón	21

2.	CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	22
2.1.	Ubicación geográfica	22
2.2.	Clima	23
2.3.	Litología de la parroquia Taday	24
3.	CAPÍTULO III: DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN	26
3.1.	Caracterización de la muestra	26
3.2.	Diseño de la estructura	28
3.3.	Preparación de los filtros.....	30
3.3.1.	Arena fina	30
3.3.2.	Biocarbón y caliza	30
3.3.2.1.	Trituración primaria.....	30
3.3.2.2.	Homogenización.....	31
3.3.2.3.	Análisis granulométrico.....	33
3.3.2.3.1.	Caliza	34
3.3.2.3.2.	Biocarbón	35
3.4.	Caracterización de los filtros.....	36
3.5.	Dosificación de las columnas.....	37
3.6.	Ejecución experimental del tratamiento.....	39
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS	41
4.1.	Permeabilidad de la estructura	41
4.2.	Volumen del agua	43
4.3.	Adsorción de metales	44
4.3.1.	Adsorción de la columna 1	45
4.3.1.1.	Adsorción del cobre.....	45
4.3.1.2.	Adsorción del hierro	45
4.3.1.3.	Adsorción del zinc	46
4.3.2.	Adsorción columna 2.....	46
4.3.2.1.	Adsorción del cobre.....	46
4.3.2.2.	Adsorción del hierro	47
4.3.2.3.	Adsorción del zinc	47
4.3.3.	Adsorción columna 3.....	48
4.3.3.1.	Adsorción del cobre.....	48
4.3.3.2.	Adsorción del hierro	48

4.3.3.3. Adsorción del zinc.....	49
4.3.4. Análisis de resultados de la adsorción.....	49
4.4. Capacidad de adsorción.....	52
4.4.1. Capacidad de adsorción del zinc	52
4.5. Neutralización del agua.....	53
4.5.1. Neutralización columna 1.....	54
4.5.2. Neutralización columna 2.....	54
4.5.3. Neutralización columna 3.....	55
4.5.4. Análisis de resultados de la neutralización.....	55
4.6. Comportamiento de los metales en función del pH	56
4.6.1. Zinc.....	57
4.6.1. Cobre	59
4.6.1. Hierro.....	60
4.7. Síntesis de resultados	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de Pourbaix del hierro.....	17
Figura 1.2. Diagrama de Pourbaix del cobre.....	17
Figura 1.3. Diagrama de Pourbaix del zinc.....	18
Figura 2.1. Mapa de ubicación de la toma de muestra.....	22
Figura 2.2. Mapa de ubicación cantonal y provincial de la mina	23
Figura 2.3. Mapa geológico de la parroquia Taday	25
Figura 3.1. Recolección del agua	26
Figura 3.2. Estructura de las columnas de percolación.....	28
Figura 3.3. Estructura de las columnas de percolación.....	29
Figura 3.4. Arena fina	30
Figura 3.5. Caliza	31
Figura 3.6. Biocarbón.....	31
Figura 3.7. Cuarteamiento de la caliza.....	32
Figura 3.8. Cuarteamiento del carbón.....	32
Figura 3.9. Tamización de las muestras	34
Figura 3.10. Curva granulométrica de la caliza	35
Figura 3.11. Curva granulométrica del biocarbón	36
Figura 3.12 Orden de los filtros	39
Figura 4.1. Comportamiento del cobre de la columna 1	45
Figura 4.2. Comportamiento del hierro de la columna 1	45
Figura 4.3. Comportamiento del zinc de la columna 1	46
Figura 4.4. Comportamiento del cobre de la columna 2.....	46
Figura 4.5. Comportamiento del hierro de la columna 2	47
Figura 4.6. Comportamiento del zinc de la columna 2	47
Figura 4.7. Comportamiento del cobre de la columna 3	48
Figura 4.8. Comportamiento del hierro de la columna 3	48
Figura 4.9. Comportamiento del zinc de la columna 3	49
Figura 4.10. Adsorción del Zinc	51
Figura 4.11. Capacidad de adsorción del Zinc	52
Figura 4.12. Comportamiento del pH en la columna 1	54
Figura 4.13. Comportamiento del pH en la columna 2.....	54
Figura 4.14. Comportamiento del pH en la columna 3	55
Figura 4.15. Comportamiento del Zn en función del pH de la columna 1.....	57
Figura 4.16. Comportamiento del Zn en función del pH de la columna 2.....	57
Figura 4.17. Comportamiento del zinc en función del pH de la columna 3	58
Figura 4.18. Comportamiento del Zinc de acuerdo al diagrama.....	58
Figura 4.19. Comportamiento del cobre en función del pH de las columnas 1, 2 y 3	59
Figura 4.20. Comportamiento del cobre en función del diagrama.....	60
Figura 4.21. Comportamiento del hierro en función del pH de las columnas 1, 2 y 3	61
Figura 4.22. Comportamiento del hierro en función del diagrama	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de las aguas residuales de una mina en función al pH.....	2
Tabla 1.2. Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales	3
Tabla 1.3. Métodos y técnicas de control de la generación ácida de minas más utilizadas	8
Tabla 3.1. Línea base de la muestra	27
Tabla 3.2. Clasificación de los tamices utilizados	33
Tabla 3.3. Análisis granulométrico de la caliza	34
Tabla 3.4. Análisis granulométrico del biocarbón	35
Tabla 3.5. Caracterización de la arena fina	36
Tabla 3.6. Caracterización de la caliza.....	37
Tabla 3.7. Caracterización del biocarbón.....	37
Tabla 3.8. Dosificación de las columnas.....	38
Tabla 3.9. Pesos de los porcentajes de filtros.....	38
Tabla 3.10. Numero de pasadas del agua de cada columna.....	40
Tabla 4.1. Primera hora de filtrado	41
Tabla 4.2. Tercera hora de filtrado.....	41
Tabla 4.3. Quinta hora de filtrado	41
Tabla 4.4. Séptima hora de filtrado.....	42
Tabla 4.5. Novena hora de filtrado.....	42
Tabla 4.6. Decima primera hora de filtrado	42
Tabla 4.7. Décimo tercera hora de filtrado	42
Tabla 4.8. Promedio de numero de gotas por minuto	43
Tabla 4.9. Volumen de entrada y salida del agua	44
Tabla 4.10. Resumen de resultados de la capacidad de adsorción.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Recolección del agua a tratar.....	68
Anexo 2: Análisis del pH del agua.....	68
Anexo 3: Estructura de las columnas de percolación.....	69
Anexo 4: Trituración primaria	69
Anexo 5: Homogenización.....	70
Anexo 6: Tamices utilizados.....	70
Anexo 7: Peso de los filtros	71
Anexo 8: Densidad de los filtros.....	71
Anexo 9: Pureza de caliza.....	72
Anexo 10: Muestras	72
Anexo 11: Línea base.....	73
Anexo 12: Análisis de laboratorio de la primera pasada.....	74
Anexo 13: Análisis de laboratorio de la segunda pasada.....	75
Anexo 14: Análisis de laboratorio de la tercera pasada	76
Anexo 15: Análisis de laboratorio de la cuarta pasada	77
Anexo 16: Análisis de laboratorio de la quinta pasada.....	78
Anexo 17: Análisis de laboratorio de la sexta pasada.....	79

**TRATAMIENTO DE DRENAJE ÁCIDO MEDIANTE COLUMNAS
VERTICALES CONFORMADO DE ARENA FINA, CALIZA Y BIOCARBÓN**

RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende establecer la capacidad de neutralización y adsorción de metales presentes en una muestra de agua ácida proveniente de una boca mina abandonada ubicada en el sector Pilzhum parroquia Taday cantón Azogues provincia del Cañar, mediante columnas verticales filtrantes rellenas de una mezcla de arena fina, caliza y biocarbón como alternativa para el tratamiento de drenajes ácidos de mina.



Juan Rodrigo Calderón Machuca

Director del Trabajo de Titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Juan Pablo Zambrano Moreno

Autor

**ACID DRAINAGE TREATMENT THROUGH VERTICAL COLUMNS
CONFORMED BY FINE SAND, LIMESTONE AND BIOCARBON**

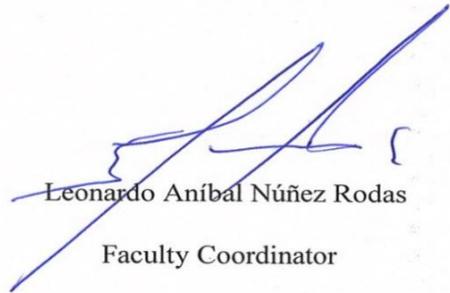
ABSTRACT

This research work sought to determine the neutralization and adsorption capacity of metals from a sample of acidic water from an abandoned ridge located in the Pilzhum sector, Taday parish, Azogues canton, Cañar province. It was made using vertical filter columns filled with a mixture of fine sand, limestone and biocarbon as alternatives for the treatment of acid mine drains.



Juan Rodrigo Calderón Machuca

Thesis Director



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator



Juan Pablo Zambrano Moreno

Author



Translated by
Ing. Paúl Arpi

Zambrano Moreno Juan Pablo

Trabajo de titulación

Dr. Juan Rodrigo Calderón Machuca

Enero 2020

INTRODUCCION

La minería es una actividad de extracción o explotación para la obtención de recursos minerales, estos pueden ser metálicos como oro, plata, cobre, hierro, zinc, aluminio, plomo, etc., y no metálicos como feldespato, caliza, cuarzo, granito, arcilla, mica, arena, piedra, entre otros, cuyas explotaciones generan impactos ambientales tales como los causados por los Drenajes Ácidos de Mina (DAM).

Los drenajes ácidos de mina, presentan un alto contenido de sulfatos y metales disueltos, alcanzando concentraciones significativas, como producto del ataque de agentes atmosféricos y microbiológicos sobre el azufre y sulfuros expuestos, teniendo en cuenta que las actividades mineras de trituración y almacenamiento aumenta la superficie de contacto acelerando la generación de residuales ácidos.

La alta acidez y el gran contenido de metales que conforma un DAM son tóxicos en diverso grado para el hombre, la fauna, la vegetación, y pueden continuar por muchos años causando daños aun después que haya cesado la actividad minera, por lo que se requiere tomar las medidas necesarias para minimizar, atenuar o controlar el impacto que estos producen.

1. CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. Drenaje de mina

Uno de los problemas de las explotaciones mineras es el drenaje de mina, ya que son puntos de descarga de escorrentías subsuperficiales y/o subterráneas y en la mayoría de los casos pueden llegar a alterar el estado natural del agua (Herrera, 2009).

Las determinaciones de los tipos de drenajes de ácidos de mina intervienen varios factores dentro de ellos se encuentra las condiciones físicas del medio, el clima del sector y una caracterización de los efluentes de la mina, para lo cual se debe realizar muestreos de agua para su respectivo análisis en el laboratorio y determinar las concentraciones metálicas presentes (Aduvire, 2006).

Independientemente de la fuente que da origen a los drenajes de mina, estos se pueden subdividir en dos grandes grupos:

- Drenajes alcalinos o aguas residuales con bajo potencial de solubilización.
- Drenajes ácidos o aguas residuales con alto potencial de solubilización.

Tabla 1.1. Clasificación de las aguas residuales de una mina en función al pH

CLASE	pH
Altamente acidas	1.5 a 4.5
Blandas, ligeramente acidas	5.0 a 7.0
Duras, neutras a alcalinas	7.0 a 8.5
Blandas, alcalinas	7.5 a 11.0
Muy salinas	6.0 a 9.0
Blandas acidas	3.5 a 5.5

Fuente: (Aduvire, 2006)

Conociendo el pH del drenaje y los contenidos de los metales o especies minerales presentes en el mismo, este puede agruparse en cuatro tipos:

Tabla 1.2. Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales

CLASE	pH	DESCRIPCION
Ácido	<6	<ul style="list-style-type: none"> - Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros. - Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros. - Asociado a minas metálicas, carbón y piritas.
Alcalino	>9 o 10	<ul style="list-style-type: none"> - Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos. - Niveles de algunos metales como el aluminio (Al) son mayores que en los drenajes casi neutros. - Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros.
Casi neutro	6 -9 o 10	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados períodos pueden ser ácidos o alcalinos. - Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos.
Otros	Irrelevante	<ul style="list-style-type: none"> - Puede afectar la concentración de metales. - Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.

Fuente: (Morin y Hutt, 2001)

1.1.1. Drenaje alcalino de mina

Las aguas alcalinas se producen cuando en las explotaciones mineras existen un proceso de filtración de agua superficial y estos entran en contacto con materiales calizos y dolomíticos y se da un proceso de disolución del carbonato cálcico que tiene lugar debido a la presencia de anhídrido carbónico en el agua.

Estos drenajes alcalinos no son frecuentes, pero en algunos casos pueden ser tan dañinas como las aguas ácidas. Los materiales rocosos recién excavados dan lugar a una mayor aportación de contaminantes que los terrenos de igual litología que no han sufrido alteración, ya que las superficies libres son más fácilmente lixiviables. Algunas aguas alcalinas contienen altas concentraciones de hierro ferroso, que tras su oxidación e hidrólisis pueden llegar a cambiar el drenaje al tipo ácido. Estos tipos de descargas son más comunes en minas subterráneas que en las de cielo abierto (Aduvire, 2006).

1.1.2. Drenaje ácido de mina (DAM)

El drenaje ácido de minas (DAM) causa grandes problemas ambientales debido al alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales o subterráneos. Entre las principales características del DAM pueden ser citados: bajos valores de pH, elevadas concentraciones de iones sulfato e iones metálicos como hierro (Fe), Al, zinc (Zn), etc. (Cadorin , Carissimi, & Rubio, 2007).

En el proceso de explotación minera de determinados yacimientos en su mayoría metálicos quedan expuestos a la meteorización de grandes cantidades de minerales sulfurosos y estos pueden llegar a producir drenajes ácidos. Para que se lleve a cabo es necesario que cumpla ciertas condiciones aerobias, es decir la existencia de cantidades suficientes de agua, oxígeno y simultáneamente la acción catalizadora de bacterias.

El DAM en términos generales es agua con niveles de pH bajos (en general $\text{pH} < 4$), con altos contenidos de Fe^{2+} y SO_4 disueltos, presenta elevada conductividad eléctrica, grandes cantidades de metales en solución que son potencialmente tóxicos como arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), Zn, cobre (Cu), mercurio (Hg), antimonio (Sb), selenio (Se), etc.

1.1.2.1. Formación del DAM

El proceso de formación de los Drenajes Ácidos de Mina, inicia cuando los minerales sulfurados como la piritita se exponen a los efectos del oxígeno y el agua. Esto sucede cuando se hace remoción de material como apertura de tajos, túneles, se acopian estériles de mina, se disponen los relaves sin ningún tipo de control civil (Chaparro, 2015).

Proceso de Oxidación

La generación y el consumo de ácido son el resultado de una serie de reacciones químicas complejas e interrelacionadas. Los factores que controlan la velocidad y la magnitud de la generación de ácido, y la consiguiente calidad del agua de drenaje sólo han sido estudiados en detalle durante los últimos 30 años. La comprensión de estos

factores, así como de los procesos químicos y los reactantes involucrados, constituyen la clave para la predicción del potencial de generación de ácido en una obra minera (Zevallos, 2016).

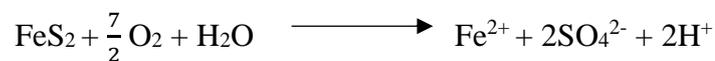
Los componentes principales para la generación del DAM son:

- Minerales sulfurosos
- Agua o atmosfera húmeda
- Un oxidante, especialmente el oxígeno de la atmosfera

La generación y velocidad del DAM son más afectadas por los siguientes factores secundarios.

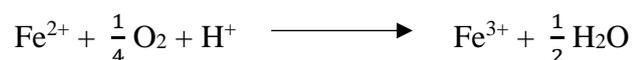
- Bacterias (thiobacillus ferrooxidans)
- pH
- Temperatura

La generación del ácido en el cual se puede observar que la pirita está siendo oxidada por el oxígeno se puede representar por la siguiente reacción:



(Ecu.1)

Posteriormente, el hierro ferroso reacciona con el oxígeno para formar hierro férrico:



(Ecu.2)

En dependencia del pH en el ambiente que se encuentre alrededor de donde se genera la oxidación, el hierro férrico puede precipitarse en la forma de hidróxido (Ecuación 3), o puede, a su vez, ser utilizado como oxidante (Ecuación 4). A niveles de pH por encima de 3.5, el hierro férrico (Fe^{3+}) tiende a precipitarse como hidróxido férrico. Esto forma el precipitado de apariencia rojiza que se observa en la mayoría de minas que generan ácido. Durante esta reacción, se liberan iones de hidrógeno adicionales (Zevallos, 2016).



(Ecu.3)

A medida que se desarrolla la generación de ácido y se consume la alcalinidad disponible, el hierro férrico, a su vez, sirve como oxidante y puede promover la oxidación química de los minerales sulfurosos.

En el caso de la pirita, la reacción que ocurre es la siguiente:



(Ecu.4)

La velocidad del suministro de oxígeno es el elemento que controla principalmente la velocidad de la oxidación química (Ecuación 1). A niveles de pH inferiores a 4.5, la oxidación por el hierro férrico se convierte en el proceso de oxidación dominante. La velocidad de producción de hierro férrico, a partir del ferroso (Ecuación 2), se convierte en la etapa controlante del proceso total de oxidación. Sin embargo, por catálisis biológica, esta reacción es relativamente rápida (Zevallos, 2016).

En general los minerales sulfurados que pueden ser potenciales generadores de acidez se caracterizan por tener una relación metal/azufre inferior a 1 como por ejemplo la pirita FeS_2 cuya relación es 1/2, sin embargo, cuando el drenaje se encuentra en una fase de acidificación avanzada en la que la ecuación 4 ya ha tenido lugar, los demás sulfuros metálicos son susceptibles de ser oxidados por la acción del hierro férrico.

Cuando el drenaje de mina o de roca se encuentra en un estado de acidificación avanzada, el proceso fisicoquímico de oxidación de los sulfuros de hierro como la pirita pasa a un segundo plano pues es desplazado por la oxidación microbiológica; donde participan varios grupos de bacterias acidófilas y quimiolitótrofas, como las *Acidithiobacillus ferrooxidans*, que obtienen su energía de la oxidación del hierro; de hecho, se ha comprobado que estas pueden incrementar la velocidad de reacción hasta en un factor de 106 veces (Chaparro, 2015).

1.1.2.2. Neutralización del DAM

La neutralización es la relación entre un ácido y una base, su unidad de medida es el pH, el cual indica el potencial de hidrógenos que contiene una sustancia que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad, es decir el $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. El pH tiene una escala que se encuentra compuesta por 14 unidades, siendo el 0 el punto máximo de acidez y el 14 la base máxima, el 7 representa el punto medio de la tabla que se lo conoce como neutralización (Skoog, West, & Holler, 1997).

Según Linlin (2013) las técnicas preventivas para el control de la formación de aguas ácidas se pueden clasificar en tres grupos de métodos: los métodos de barrera, que tienen como objetivo el aislar los sulfuros de los elementos oxidantes o del sistema de transporte hidrológico; los métodos químicos, que modifican la composición de las soluciones del agua que entra en contacto con los materiales rocosos y limitan las posibilidades de reacción, y los métodos de inhibición bacteriana, que rompen el proceso de oxidación cíclico catalizado biológicamente.

Tabla 1.3. Métodos y técnicas de control de la generación ácida de minas más utilizadas

MÉTODO	OBJETIVO	MEDIDA DE CONTROL
Barrera	Eliminación de aislamiento de los sulfuros	Acondicionamiento, impermeabilización y depósito selectivo de estériles y residuos.
		Micro encapsulado.
		Retirada física de los sulfuros.
	Exclusión del Agua	Revegetación de terrenos.
		Cunetas de desvío de aguas.
		Remodelado de la superficie. Recubrimiento y sellado.
Exclusión del Oxígeno	Depósitos subacuáticos(inundación). Recubrimiento y sellado.	
Químico	Control del pH	Adición de materiales alcalinos y fosfatos.
		Empleo de dispositivos rellenos con material carbonatado.
		Mezcla de los materiales ácido/ base y vertido selectivo.
Inhibición Bacteriana	Control y supresión de la acción bacteriana	Aplicación de Bactericidas. Adición de fosfatos.

Fuente: (Aduvire, 2006)

1.1.2.2.1. Método químico

1.1.2.2.1.1. Adición de materiales alcalinos

Es un proceso de adición de sustancias alcalinas, generalmente cal, cal hidratada, caliza triturada, sosa cáustica, carbonato sódico o amoníaco, con el fin de conseguir la neutralización del ácido y alcanzar las condiciones adecuadas para la precipitación de los metales, además de producir la neutralización de las aguas ácidas, crea un ambiente desfavorable para la oxidación de los materiales sulfurosos debido que las bacterias que participan en el proceso de oxidación del hierro requieren un medio ácido para que su actividad sea óptima (Aduvire, 2006).

La adición de sustancias alcalinas o rocas básicas es una medida de control adecuada a corto plazo, aunque en algunos casos su efectividad puede notarse incluso a largo plazo, dependiendo de la cantidad, tipo y grado de reacción de los minerales sulfurosos. De igual forma los residuos potencialmente ácido generadores pueden mezclarse con otros materiales alcalinos de recubrimiento del propio depósito y efectuar el vertido en la relavera de manera controlada (Linlin, 2013).

a) Tratamiento con caliza

La caliza CaCO_3 es un material fácil de manipular en relación a otros productos químicos, se suele utilizar para elevar el pH del drenaje, ésta tiene algunas ventajas entre las que destacan: es un producto barato, abundante y poco peligroso; no se requiere un control muy estricto en su alimentación y los lodos que se producen son mucho más densos y más fáciles de manejar (Villa nueva 2013).

1.1.2.3. Adsorción de metales del DAM

La adsorción es capaz de eliminar contaminantes orgánicos o inorgánicos del agua, es un proceso dinámico por el cual las moléculas de un compuesto llamado adsorbato, que se encuentra en una fase fluida (líquida o gaseosa), se adhiere por distintos tipos de fuerzas o mecanismos de interacción a la superficie de un sólido, llamado adsorbente, donde quedan retenidos. Existe diferentes métodos para la adsorción como el uso de resinas de intercambio iónico, carbón activado, materiales biológicos (bioadsorción), etc. (Durán, 2017).

1.1.2.4. Bioadsorción

La bioadsorción es un proceso físico-químico que contienen fenómenos de adsorción de moléculas e iones. Es un método poco convencional que tiene como objetivo la remoción de metales en aguas residuales provenientes del sector industrial, usando como adsorbentes materiales de origen biológico (vivas o muertas) como, por ejemplo: algas, hongos, biocarbón, cascaras de frutas, etc. (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015).

a) Tratamiento con biocarbón

El biocarbón, es un carbón de origen vegetal producido por combustión de materia orgánica, es usado para tratamientos de descontaminación. La interacción de los biocarbones con los metales involucra posibles mecanismos de bioadsorción que incluyen atracción electrostática, intercambio de iones, adsorción física, formación de complejos superficiales y/o precipitación (Torres & Zamudio, 2018).

Según el artículo Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco (2015) para determinar la capacidad de absorción del biocarbón se utiliza la siguiente formula:

$$Q_e = \frac{(C_i - C_e)}{m} V$$

Donde:

Q_e = es la capacidad de adsorción que se representa en miligramos/gramos (mg/g).

C_i = es la concentración inicial del soluto en solución miligramos/litro (mg/L).

C_e = es la concentración final del soluto (mg/L).

V = el volumen de la solución en litro (L).

m = masa del adsorbente en gramos (g).

La eficiencia o porcentaje de adsorción de ion metálico (R_a) se determinó por:

$$R_a = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} .100\%$$

1.1.3. Metales

Los metales son sustancias de alta densidad, generalmente son tóxicos o venenoso en concentraciones bajas para el ser humano.

No todos los metales de densidad alta son especialmente tóxicos en concentraciones normales (algunos de ellos son necesarios para el ser humano). No obstante, hay una

serie de metales más conocidos por su tendencia a representar serios problemas medioambientales el Hg, Fe, Pb, Cd, Cu, Zn, Cr. En ocasiones se incluye al hablar de contaminación por metales a otros elementos tóxicos ligeros como el berilio (Be) o el aluminio (Al), o algún semimetal como el arsénico (As) (Sucasaire, 2018).

La peligrosidad de los metales reside en que no pueden ser degradados (ni química, ni biológicamente) y, además, tienden a bioacumularse y a biomagnificarse que significa que se acumulan en los organismos vivos alcanzando concentraciones mayores que la que alcanzan en los alimentos o medioambiente, y que estas concentraciones aumentan a medida que ascendemos en la cadena trófica, provocando efectos tóxicos de muy diverso carácter. En el ser humano se han detectado infinidad de efectos físicos (dolores crónicos, problemas sanguíneos, etc.) y efectos psíquicos (ansiedad, pasividad, etc.) (Sucasaire, 2018).

1.1.3.1. Cobre

El cobre (Cu), con número atómico de 29, es un excelente conductor del calor y electricidad, y su capacidad funcional se altera muy poco con la exposición al aire seco. Si se encuentra en una atmósfera húmeda con anhídrido carbónico, se cubre con una capa verde de carbonato (Nordberg, 2012).

a) Distribución y usos

El cobre se encuentra principalmente en forma de compuestos minerales, está ampliamente distribuido en todos los continentes y forma parte de la mayoría de los organismos vivos. Aunque se han descubierto algunos depósitos naturales de cobre metálico, generalmente se extrae en forma de sulfuros, como es el caso de la covelita (CuS), la calcocita (Cu₂S), la calcopirita (CuFeS₂) y la bornita (Cu₃FeS₃); o de óxidos, como la malaquita (Cu₂CO₃(OH)₂); la crisocola (CuSiO₃·2H₂O) y la calcantita (CuSO₄·5H₂O). Debido a sus propiedades eléctricas, más del 75 % del cobre que se produce se utiliza en la industria eléctrica. Entre otros usos de este metal se encuentra la fabricación de cañerías para el agua, material para techumbres, baterías de cocina, equipos químicos y farmacéuticos y producción de aleaciones de cobre. El cobre metálico también se utiliza como pigmento y como precipitante del selenio (Nordberg, 2012).

b) Propiedades Químicas

El cobre pertenece al mismo grupo de la tabla periódica que la plata y el oro. Estos tres metales son resistentes a la corrosión y relativamente inertes. En la mayoría de sus compuestos, el cobre puede tener valencia (estado de oxidación) +1 o valencia +2. La solución acuosa de iones cobre en estado de oxidación +2 presentan un color azul, mientras que el ion cobre en estado de oxidación +1, son incoloros. El cobre y los compuestos de cobre confieren un color verdoso a las llamas (Instituto Europeo del Cobre , 2018).

El cobre y las aleaciones de cobre son especialmente resistentes a la corrosión en comparación a otros metales de uso común, gracias a su capacidad para formar compuestos estables que le ayudan a protegerse contra los ataques de la corrosión. Cuando se expone a la atmósfera, en la superficie del cobre y sus aleaciones se forman capas protectoras de óxido y sales básicas poco solubles. El cobre puede alearse con algunos elementos que influyen de forma positiva en la formación de dichas capas (Instituto Europeo del Cobre , 2018).

c) Propiedades Físicas

Cuenta con la mejor conductividad eléctrica de todos los metales a excepción de la plata, es un excelente conductor del calor (cerca de 1.000 veces más que la mayoría de materiales plásticos). Por tanto, es el material idóneo para todo tipo de aplicaciones en las que se necesita una rápida transferencia de calor. Las características físicas del cobre es su color marrón rojizo, es bastante suave y dúctil. Tiene un punto de fusión de 1.083 ° C (1.982 ° F) y un punto de ebullición de 2.595 ° C (4.703 ° F), su densidad es de 8,96 gramos por centímetro cúbico (Bilski, Ciencias Naturales, 2016).

d) Efectos ambientales del cobre

La producción mundial de cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más cobre termina en el medioambiente. Los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminados con cobre, debido al vertido de aguas residuales contaminadas con cobre. El cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión del fuel (combustible). El cobre en el aire permanecerá por un periodo de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden

también contener grandes cantidades de cobre después de que esté sea depositado desde el aire (Lenntech, 2016).

El cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son: las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos, y por actividad humana son: la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados. El cobre es a menudo encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos (Lenntech, 2016).

1.1.3.2. Zinc

Elemento químico de símbolo Zn, número atómico 30 y peso atómico 65.37. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos, cinco de los cuales son estables y tienen masas atómicas de 64, 66, 67, 68 y 70. Cerca de la mitad del zinc común se encuentra como isótopo de masa atómica 64 (Lenntech, 2016).

a) Distribución y usos

El zinc (Zn) se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y constituye aproximadamente un 0,02 % de la corteza terrestre. Adopta la forma de sulfuro (esfalerita), carbonato, óxido o silicato (calamina) de zinc, combinado con muchos minerales. La esfalerita, el principal mineral de zinc y fuente de al menos el 90 % del zinc metálico, contiene hierro y cadmio como impurezas. Casi siempre aparece acompañado de galena, el sulfuro de plomo, y ocasionalmente se encuentra asociado con minerales que contienen cobre u otros sulfuros metálicos básicos. Cuando se expone a la acción del aire, el zinc se recubre de una película de óxido que protege el metal de oxidaciones posteriores. En esta resistencia a la corrosión atmosférica reside uno de sus principales usos: la protección del acero mediante galvanización. La capacidad del zinc para proteger los metales ferrosos de la corrosión puede potenciarse mediante electrólisis. El zinc actúa como ánodo con el hierro y otros metales estructurales, a excepción del aluminio y el manganeso, y así, los agentes corrosivos atacan preferentemente al zinc, y se protegen los demás metales. Esta propiedad se aprovecha también en otras aplicaciones importantes, como en la utilización de planchas de zinc como ánodos para la protección catódica de los cascos de buques,

tanques enterrados, etc. El zinc metálico se puede troquelar para la fabricación de piezas de automóviles, equipos eléctricos, herramientas de maquinaria ligera, equipos informáticos, juguetes y artículos ornamentales. También puede laminarse para la obtención de planchas destinadas a techados y cubiertas, forros de pilas secas, placas de fotograbado, etc. Además, puede alearse con cobre, níquel, aluminio y magnesio. Cuando se alea con cobre, se obtiene el importante grupo de aleaciones denominadas bronce (Nordberg, 2012).

b) Propiedades Químicas

Es divalente en sus compuestos, soluble en ácidos liberando átomos de hidrógeno y formando iones cationes (Zn^{+2}), o en soluciones fuertemente alcalinas para formar tetrahidroxozincatos ($Zn[OH]^{2-4}$). En presencia del aire se oxida rápidamente, y se combustiona con dificultad, produciendo una llama azul verdosa y liberando un humo de óxido de zinc (Uriarte, 2018).

c) Propiedades Físicas

El estado del zinc en su forma natural es sólido (diamagnético). El zinc es un elemento químico de aspecto azul pálido grisáceo y pertenece al grupo de los metales de transición. El punto de fusión del zinc es de 692,68 grados Kelvin o de 420,53 grados Celsius, el punto de ebullición del zinc es de 1180 grados Kelvin o de 907,85 grados Celsius, es muy frágil a temperatura ambiente, pero se vuelve maleable entre los 120 y los 150 °C, la densidad de este metal es de 7,14 gramos por centímetro cúbico. Su dureza es de 2,5 en la escala de Mohs (Lenntech, 2016).

d) Efectos ambientales del zinc

El zinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de zinc a través de las actividades humanas. La mayoría del zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de zinc está todavía creciendo. Esto significa básicamente que más y más zinc termina en el ambiente (Lenntech, 2016).

El agua es contaminada con zinc, debido a la presencia de grandes cantidades de zinc en las aguas residuales de plantas industriales. Esta agua residual no es depurada satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango

contaminado con zinc en sus orillas. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas (Lenntech, 2016).

1.1.3.3. Hierro

Es un elemento químico, símbolo Fe, número atómico 26 y peso atómico 55.847. El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5%). Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético. Los cuatro isótopos estables, que se encuentran en la naturaleza, tienen las masas 54, 56, 57 y 58. Los dos minerales principales son la hematita, Fe_2O_3 , y la limonita, $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Las pirritas, FeS_2 , y la cromita, $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$, se explotan como minerales de azufre y de cromo, respectivamente. El hierro se encuentra en muchos otros minerales y está presente en las aguas freáticas (Lenntech, 2016).

a) Distribución y usos

El hierro es el segundo metal más abundante y el cuarto de todos los elementos, superado únicamente por el oxígeno, el silicio y el aluminio. Los minerales de hierro más comunes son: la hematita o mineral de hierro rojo (Fe_2O_3), que contiene un 70 % de hierro; la limonita o mineral de hierro marrón ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), con un 42 % de hierro; la magnetita o mineral de hierro magnético (Fe_3O_4), con un alto contenido de hierro; la siderita o mineral de hierro espático (FeCO_3); la pirita (FeS_2), el mineral azufrado más común; y la pirrotita o pirita magnética (FeS). El hierro se utiliza para la fabricación de piezas de hierro y acero fundidos y en aleaciones con otros metales. También se emplea para aumentar la densidad de los líquidos en las perforaciones petrolíferas (Nordberg, 2012).

b) Propiedades Químicas

El hierro se combina fácilmente con el oxígeno del aire húmedo, al producto de esta reacción se la conoce como óxido de hierro (Fe_2O_3). El hierro también reacciona con agua muy caliente y vapor, para formar hidrógeno gaseoso, además, se disuelve en la mayoría de los ácidos y reacciona con muchos otros elementos.

c) Propiedades Físicas

El hierro puro tiene una dureza que oscila entre 4 y 5 según la escala de Mohs, se magnetiza fácilmente a temperatura ordinaria y es difícil magnetizarlo en caliente. Es un metal plateado, blanco o gris, dúctil y maleable, es atraído por los imanes y se lo puede magnetizar fácilmente. Este metal puro es químicamente muy reactivo y se oxida rápidamente en contacto con el aire húmedo, formando óxidos rojizos amarillentos. Hay tres formas alotrópicas de hierro, conocidos como alfa, gamma, y delta. El hierro alfa, también conocido como ferrita, es la forma estable de hierro a temperaturas normales.

El hierro tiene una resistencia a la tracción muy alta es decir que se puede estirar sin romperse, este también es de muy fácil manipulación. El punto de fusión de hierro puro es 1536°C (2797°F) y su punto de ebullición es de unos 3.000°C (5.400°F), su densidad es de 7,87 gramos por centímetro cúbico (Bilski, 2016).

d) Efectos ambientales del Hierro

El hierro puede ser peligroso para el medio ambiente; se debe prestar especial atención a las plantas, el aire y el agua, se asocia al oxígeno con facilidad lo que puede resultar en que en medio acuoso produzca asfixia de peces, plantas y organismos marinos. (Lenntech, 2016).

1.1.4. Diagrama de Pourbaix

Los diagramas potencial-pH, también conocidos como diagramas de Pourbaix, son representaciones gráficas de la estabilidad de un metal es decir muestran las condiciones en la que se encuentra el mismo en estado sólido (s), líquido (l), gaseoso (g) o acuoso (ac) y sus productos de corrosión en función del potencial y el pH (acidez o alcalinidad). Tales diagramas pueden ser utilizados para predecir la dirección espontánea de reacciones, estimar la estabilidad y la composición de los productos de corrosión y predecir los cambios ambientales que eviten o reduzcan la corrosión (Hernández, 2012).

1.1.4.1. Diagrama de Pourbaix del hierro

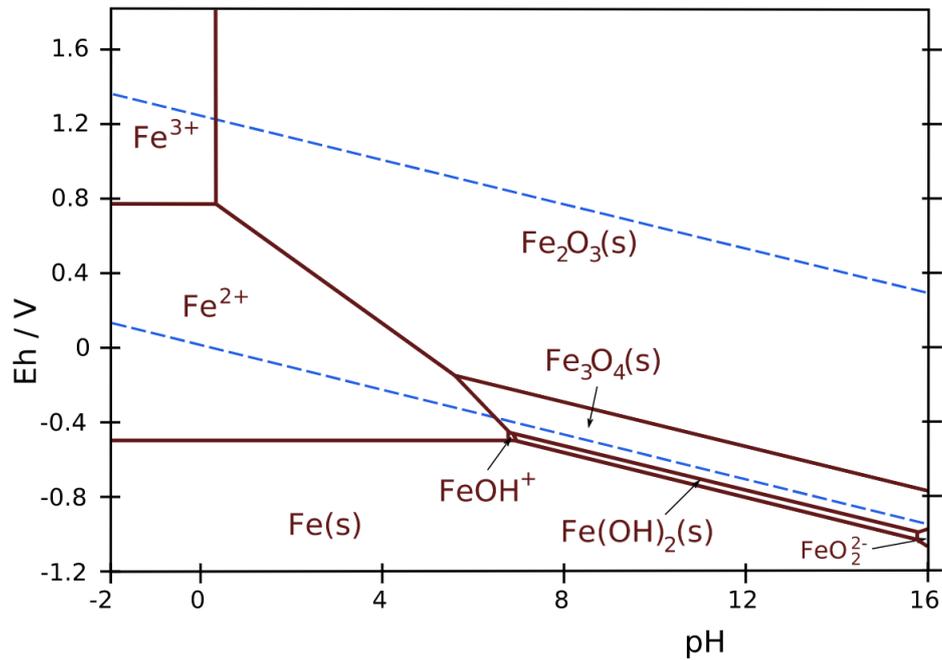


Figura 1.1. Diagrama de Pourbaix del hierro

Fuente. (Carriazo, Uribe, & Hernández, 2007)

1.1.4.2. Diagrama de Pourbaix del cobre

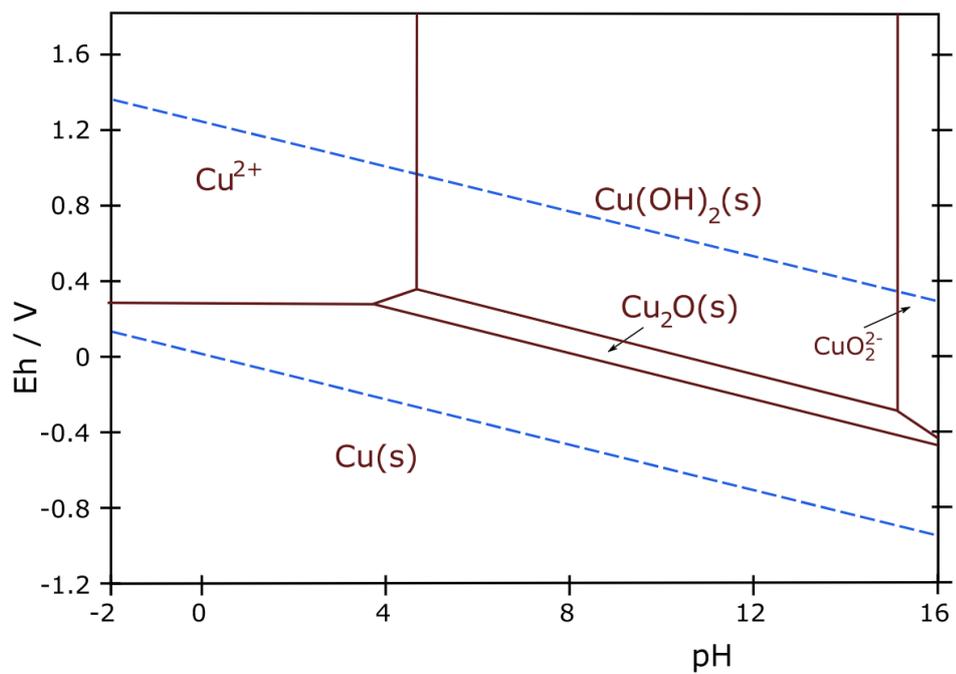


Figura 1.2. Diagrama de Pourbaix del cobre

Fuente. (Muñoz, 2011)

1.1.4.3. Diagrama de Pourbaix del zinc

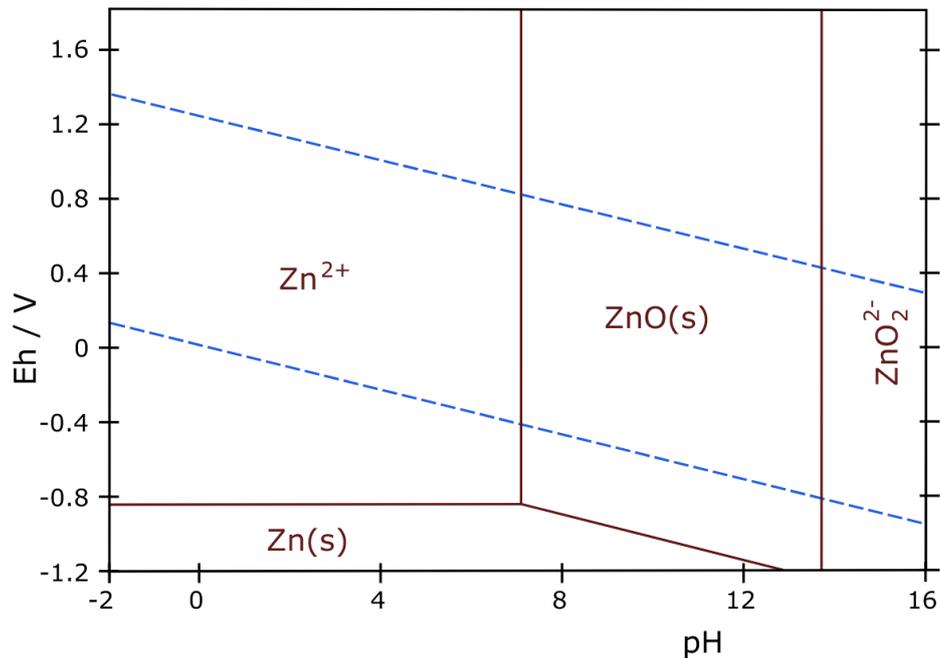


Figura 1.3. Diagrama de Pourbaix del zinc

Fuente. (Pérez & Higuera, 2008)

1.2. Columnas de percolación

Las columnas de percolación consisten en varios lechos filtrantes capaces de captar agua mediante el uso de filtros, colocados en serie a través de los cuales se hace pasar el agua residual a tratar. El agua a tratar se introduce en las columnas, percolando lentamente a través del lecho filtrante. Este sistema de alimentación evita que el lecho se sature de agua permitiendo que el sistema funcione en condiciones aerobias (Lloréns, y otros).

El lecho filtrante está compuesto por un material poroso como el biocarbón, la arena, etc., al cual se adhieren los microorganismos. El escogimiento de lechos depende del tratamiento que se pretende dar. Los lechos filtrantes pueden combinarse horizontal o verticalmente, la distribución vertical es una solución cuando hay poca disponibilidad de superficie, además de que presenta unos menores costes de construcción y de mantenimiento y unas menores necesidades de energía (Lloréns, y otros).

1.2.1. Permeabilidad

La permeabilidad, es la cualidad de permeable, de este modo, que un material sea permeable implica que puede ser traspasado por un fluido, y esto, a su vez, implica que el fluido entra en el cuerpo permeable y, posteriormente, sale de éste. En relación con este significado, y como aproximación, se asume que un cuerpo es tanto más permeable cuanto más cantidad de fluido deje pasar en un tiempo dado (Cortés, 2004).

La velocidad con la que un fluido atraviesa un material depende de tres factores, estos son: la porosidad, viscosidad de fluido y la presión. Para ser permeable un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez tales deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos a través del material (Soto, 2018).

1.3. Filtros

1.3.1. Arena

La arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas, disueltas y dispersas en una superficie cuyo tamaño varía entre 0.063 y 2 milímetros, es un mineral no metálico, inodoro, de granos finos hasta gruesos de forma irregular hasta semi-redondo de colores variables en los que se encuentran el blanco, beige y amarilla principalmente (Corredor & Gutierrez, 2014).

La arena fina posee un diámetro entre 1mm y 0.25 mm, es un material inerte. Este árido fino es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas o se obtiene de la trituración de las mismas. En la fragmentación artificial, las rocas son chancadas o trituradas en lugares llamados plantas de áridos. En el caso de la obtención natural ésta se realiza de la extracción del lecho del río y su posterior paso por una criba. La arena es un elemento común en varias zonas del planeta, tanto en las playas como en los desiertos, la arena abarca enormes superficies (Corredor & Gutierrez, 2014).

La arena es utilizada como un filtro en los tratamientos de los efluentes ecológicos, relativamente sencillo y poco costoso, su principio consiste en hacer percolar el agua a través de la arena. La capacidad de frenado del filtro será tanto mayor cuanto menor

sea el diámetro de sus granos y más largo sea el tiempo de permanencia de las partículas. El filtro de arena lento emplea procesos biológicos para limpiar el agua y son sistemas no presurizados. Pueden tratar el agua y reducir la presencia de microorganismos sin necesidad de productos químicos (Corredor & Gutierrez, 2014).

1.3.2. Caliza

La caliza es uno de los recursos calcáreos más importante, se presenta como roca sedimentaria que contiene a lo menos 50% de minerales de calcita (CaCO_3) y dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$), predominando la calcita (Acevedo & Guerra, 2005).

La caliza es aglomerante como sustancia que hace de unión y proporciona mayor consistencia a los aglomerados y morteros, es neutralizante ya que anula las propiedades de los ácidos, es escorificante pues deshace de espumas en la ebullición de algunos sulfuros metálicos y es fundente por lo que facilita la fundición de metales (Acevedo & Guerra, 2005).

La coloración de las calizas ricas en calcio y las calizas dolomíticas son blancas cuando son puras, pero cambia de color entre el gris y el negro a consecuencia de las impurezas carbonosas que contienen. La resistencia de la caliza es una propiedad importante a la compresión, al aplastamiento que oscila entre 98.4 y 583.5 kg/cm^2 , la resistencia a la tracción no es tan importante y es más difícil de determinar, su variación es de 26 a 63 kg/cm^2 (Guerrero, 2001).

La caliza pertenece al grupo II de minerales no metálicos, donde se encuentran los productos provenientes de recursos de buenas perspectivas geológicas y abundantes en el mundo. Se caracterizan por su bajo valor unitario y altos volúmenes de producción, preferentemente integrada a una industria consumidora (autoabastecimiento). La caliza es usada en diversas áreas, entre las que se encuentran: construcción, metalurgia, procesos químicos, manufactura y agricultura.

1.3.3. Biocarbón

El biocarbón es un sólido rico en carbono obtenido mediante degradación térmica o pirólisis en atmósfera limitada de oxígeno. Los biocarbones pueden ser obtenidos a partir de una gran variedad de materias primas como: residuos de origen agrícola o forestal, subproductos de origen industrial o incluso de residuos sólidos urbanos. Por su posible origen natural, así como por su proceso de obtención, los biocarbones son biocompatibles para su empleo como enmiendas de suelos y como posibles biofiltros en barreras o ecosistemas naturales (Durán, 2017).

Este material presenta una serie de propiedades como una alta superficie específica, una estructura porosa, que hacen posible su uso como material adsorbente. Estas propiedades dependen principalmente del tipo de materia prima y de las condiciones de pirólisis a las que se someta dicha materia prima (Durán, 2017).

Con respecto a sus propiedades físicas, el biocarbón es un sólido carbonoso, de color negro, con una superficie intrincada y desordenada, cuyas características estructurales varían por el tipo y tiempo de la pirólisis. Posee una alta porosidad con micro, meso y macroporos, cuyos tamaños van de >50 nm. Los microporos están asociados a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y de gases (Pérez, y otros, 2016).

2. CAPÍTULO II: DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación geográfica

El sector Pilzhum, pertenece a la parroquia Taday ubicada en la zona oriental del cantón Azogues, en la provincia del Cañar, se encuentra a 28 km de la capital provincial, cuenta con una población cercana a los 1.822 habitantes. La parroquia Taday tiene una forma rectangular extendida de Este a Oeste, tiene un área aproximada de 250 Km² de superficie; incluidas las comunidades de: Gun, Manzanapata, Violán, Tampanche, Santa Teresita, Virgen Coral y Chanín (Contreras, 1990).

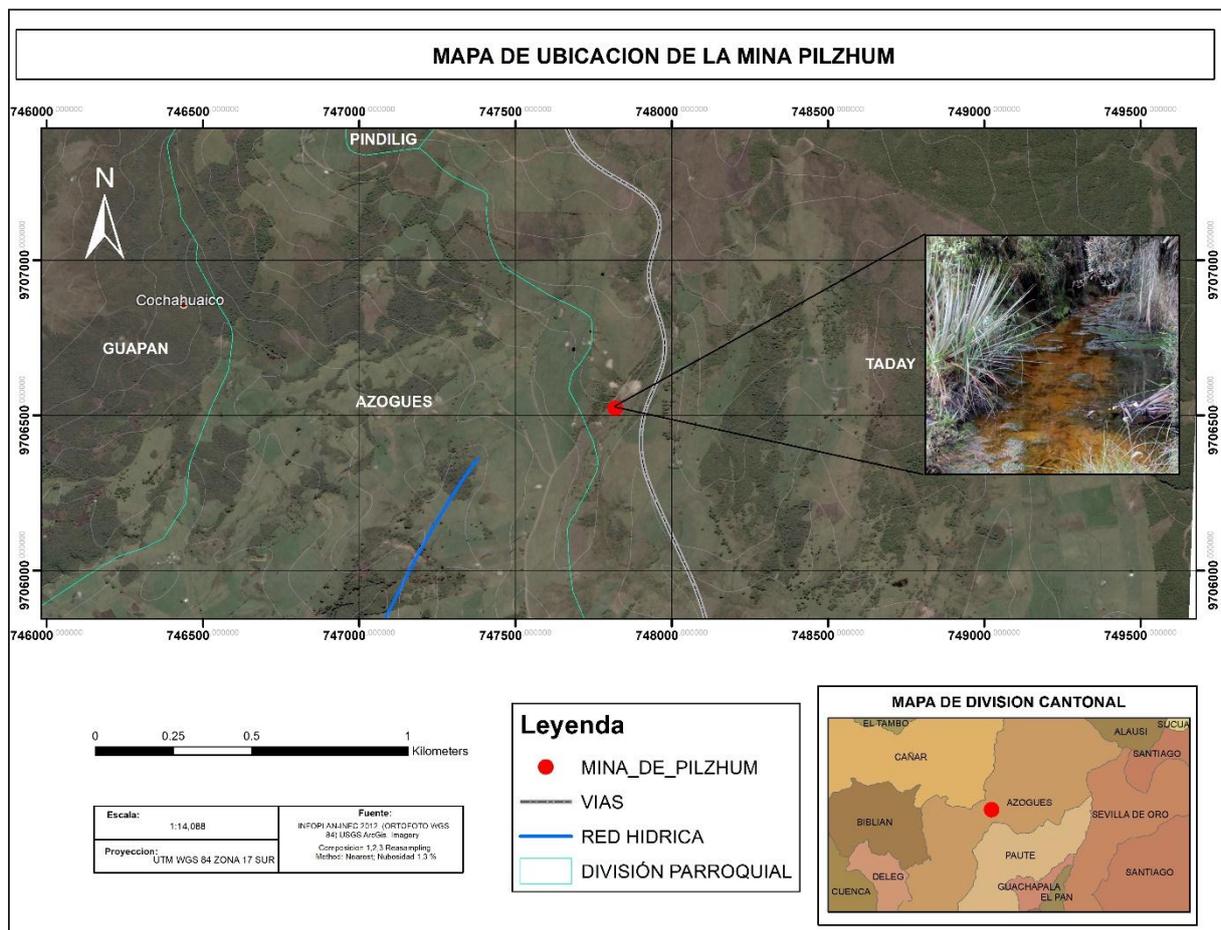


Figura 2.1. Mapa de ubicación de la toma de muestra

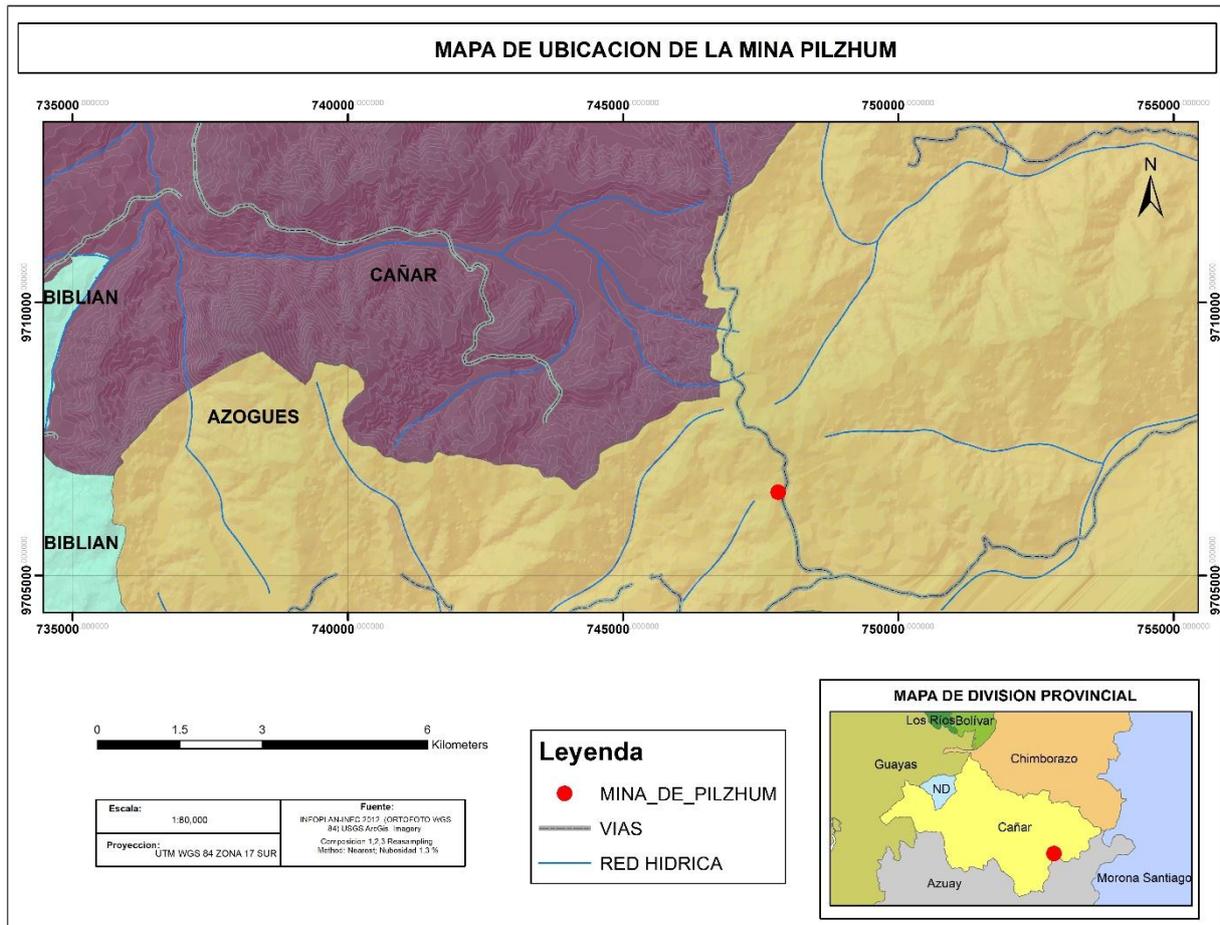


Figura 2.2. Mapa de ubicación cantonal y provincial de la mina

En la parroquia Taday existieron minas de plata en el punto denominado cerro Pilzhum, que fueron trabajadas por pocos años y quedaron abandonadas por falta de operarios científicos (Palomeque, 1990).

Para poder acceder a la mina en la cual se obtuvo la muestra del drenaje ácido, se tomó la vía Cuenca – Azogues, de Azogues se toma la vía a la parroquia Taday, se recorrió aproximadamente 19.4 km en la cual encontramos una intersección en “Y”, tomamos a la izquierda y avanzamos 2.7 km hasta llegar a la mina mencionada, la cual se encuentra en las coordenadas 747820N – 9706523E, en el sistema WGS84.

2.2. Clima

El clima de la parroquia Taday, de manera general se puede ubicar dos categorías: un clima ecuatorial semihúmedo a húmedo para la zona baja y un clima ecuatorial frío

para la zona alta. El primero es un clima frío templado característico para la zona interandina baja, con temperaturas que oscilan entre 10 y 14° C y la segunda la de la zona interandina alta con temperaturas que oscilan entre 6 y 10 ° C (Sarmiento, 2015).

Las precipitaciones anuales que fluctúan entre 1000 y 1250 mm con dos picos de lluvia el primero que se registra desde marzo a julio y el segundo en el mes de octubre, mismo que es utilizado para las siembras. El clima de la zona baja ayuda a las actividades agro-productivas, con cultivos de ciclo corto, frutales de clima frío, la cría de especies menores y aves así como especies forestales como potencial no explotado en su totalidad a diferencia del clima de la zona alta ya que limita el desarrollo de un gran número de cultivos anuales o de ciclo corto, siendo recomendable para estas zonas la formación de pastizales cuando la topografía lo permite o la conservación de la vegetación nativa en los ecosistemas naturales (Sarmiento, 2015).

2.3. Litología de la parroquia Taday

La parroquia Taday está conformada por cuatro formaciones geológica según INFOPLAN-INEC (2012) las cuales son: formación Tarqui, Yungilla y Serie Paute.

- Formación Tarqui

Está formada por rocas piroclásticas ácidas, además se pueden observar cenizas volcánicas y localmente lavas. También se observa flujos oscuros de granos finos de composición andesítica sobre este nace una secundaria de tobas de composición dacítica y reolítica (INFOPLAN-INEC, 2012).

- Formación Yungilla

Es una secuencia con predominancia de lutitas oscuras a negras y argilitas también oscuras y compactadas generalmente silificadas y bien estratificadas; argilitas calcáreas y calizas delgadas localmente silificadas, así como lavas (INFOPLAN-INEC, 2012).

- Serie Paute

Constituye una cubierta de roca sedimentarias las cuales están conformadas por esquistos verdes, cuarsitos y andesitas metamorfizadas que están expuesta en afloramiento. También se encuentran rocas plutónicas intrusivas de composición acida y volcánicas de la formación Amaluza (INFOPLAN-INEC, 2012).

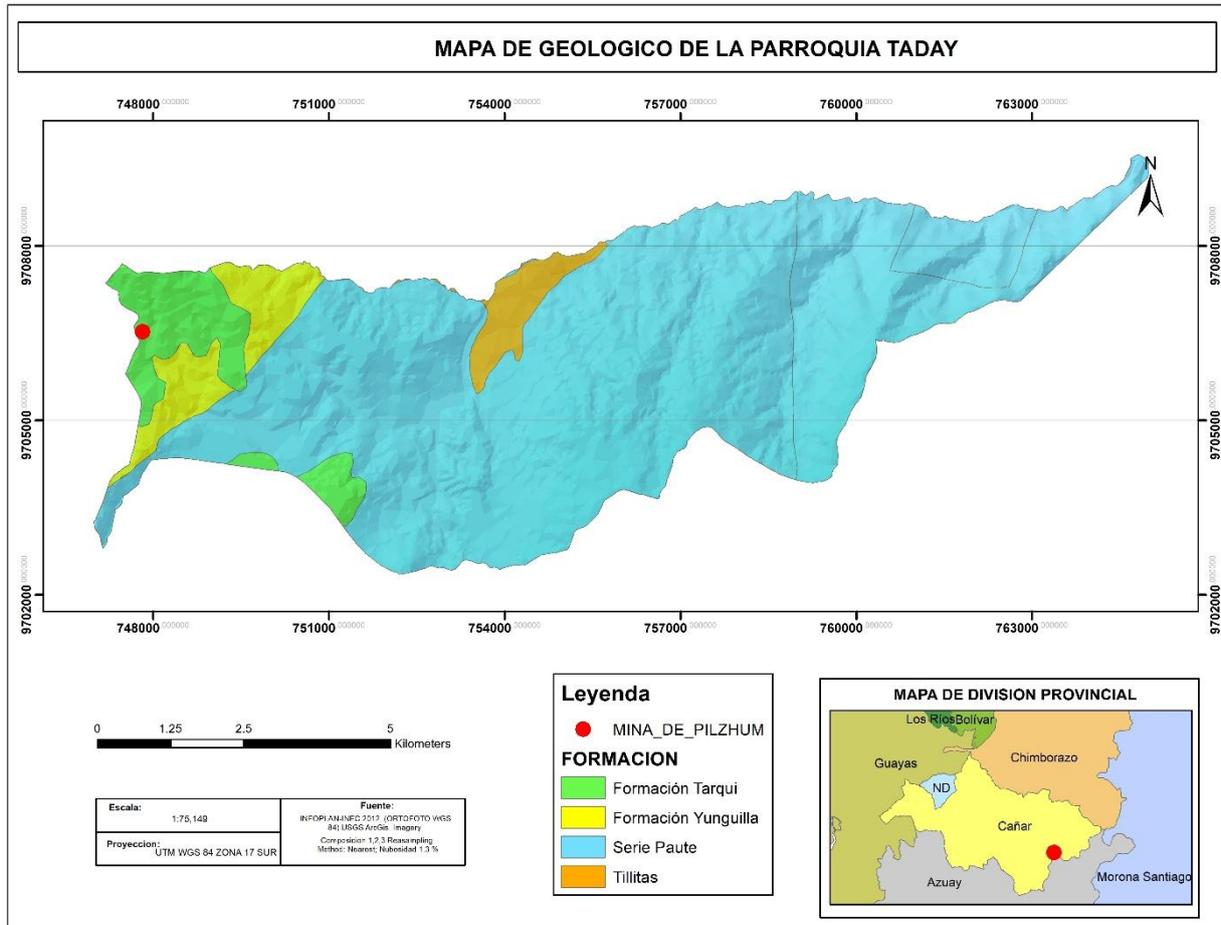


Figura 2.3. Mapa geológico de la parroquia Taday

3. CAPÍTULO III: DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

El presente trabajo de titulación tuvo como fin determinar la capacidad de retención de metales de lixiviados ácidos de minas, mediante mixtos de caliza, arena y biocarbón en un sistema de columnas, para la mejora de la calidad del agua.

Para la investigación se crearon columnas de percolación en donde se realizó los ensayos con muestras de agua provenientes del sector Pilzhum, perteneciente a la parroquia Taday, Cantón Azogues, en el cual existe una mina abandonada que produce aguas acidas.

3.1. Caracterización de la muestra

Para la realización de este trabajo se obtuvo el agua de la boca del túnel de la mina de Pilzhum, la cual crea un pozo de aguas acidas, se recogió un volumen de aproximadamente 40 litros la cual fue homogenizada en un recipiente de plástico para un posterior análisis.



Figura 3.1. Recolección del agua

Se realizó el análisis empleando el método por digestión con ácido nítrico (HNO_3) por absorción atómica, en donde el ácido nítrico cumple la función de reducir interferencias a la presencia de materia orgánica y convertir los metales a una forma en que si se puedan analizar. La digestión con ácido nítrico es adecuada para la

extracción de diversos metales, además de que los nitratos proporcionan una buena matriz para las determinaciones mediante la espectroscopia de absorción atómica (Gaitan, 2004), que nos permite medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar una gran variedad de elementos, cabe resaltar que, las cantidades de muchos de los metales se logran determinar a concentraciones mínimas. Los resultados de este método se obtienen con mayor rapidez y de esta manera logra evitar el empleo de más técnicas para lograr la separación y eliminar las interferencias causadas por otros metales. Este método es oficial para el análisis de hierro, cobre y zinc en aguas (López & Alvarado, 2018).

Este análisis se realizó para determinar la presencia de 9 metales, en los cuales se encontró únicamente concentraciones significativas de hierro, cobre y zinc. Las concentraciones de los metales fueron medidas en partes por millón (ppm) que equivale a miligramos/litros, obteniendo así su línea base. Anexo12

De la misma manera se ejecutó un análisis para establecer el pH del agua, este análisis se realizó dentro de los laboratorios de la Universidad del Azuay, con el fin de obtener el nivel de acidez en el agua previo a su tratamiento.

Tabla 3.1. Línea base de la muestra

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Cu	Zn	Fe	pH
	ppm	ppm	ppm	
Línea base (LB1)	1.96	52.55	273.30	2.56

3.2. Diseño de la estructura

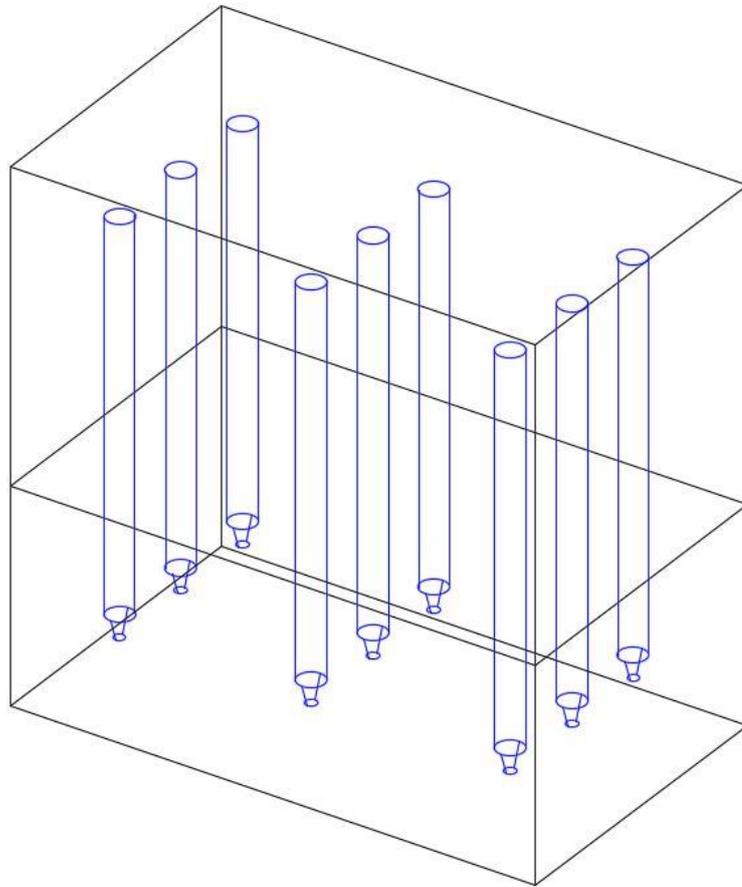


Figura 3.2. Estructura de las columnas de percolación

La estructura donde se colocó las columnas de percolación consto de 9 tubos de PVC de 1.20 metros de largo y de 2 pulgadas de diámetro, dispuestas verticalmente, asentadas sobre una base móvil de hierro de 2 metros de alto, por 1.20 de largo y 0.6 de ancho, de forma rectangular. Se colocaron de manera vertical puesto que los costes de construcción y de mantenimiento es mucho menor al igual que el gasto de energía, el tratamiento se da por fuerza de gravedad, sin la necesidad de una acción secundaria, como se menciona anteriormente la estructura estuvo conformada por 9 tubos, tres tubos corresponden a la columna 1, tres a la columna 2 y los últimos tres a la columna 3, como se observa en la figura 3-3.

Para la construcción de las columnas de percolación se utilizó tubos de PVC, cada tubo llevó en uno de sus extremos un abocardado para enlazar con una llave de paso con el fin de facilitar la toma de muestra. Se utilizó tubos de PVC ya que es resistente al

ataque de la mayoría de ácidos diluidos y concentrados, hidróxidos, así como todas las disoluciones salinas. Además, es resistente a los aceites minerales, aceites vegetales, aceites de paratina, alcoholes, hidrocarburos alifáticos y ácidos grasos (Coplactic, 2015).



Figura 3.3. Estructura de las columnas de percolación

3.3. Preparación de los filtros

3.3.1. Arena fina

En el caso de la arena no se realizó ninguna preparación previa para la utilización de dentro del proceso, este material se utilizó únicamente para que el facilite el flujo del agua, por lo tanto, no intervino en ninguna reacción química del agua tratada.



Figura 3.4. Arena fina

3.3.2. Biocarbón y caliza

3.3.2.1. Trituración primaria

El biocarbón y la caliza en una primera instancia fueron sometidos al proceso de trituración primaria que recibe el mineral bruto y reduce el tamaño del mismo, dentro de esta trituración se aplicó la trituración de mandíbulas, que consta de una mandíbula fija y una móvil que está articulada en su parte superior y que, por oscilación sobre este eje, se puede acercar y alejar de la mandíbula fija, reduciendo el material a diámetros más pequeños entre ambas en este movimiento (Blanco, 2018).

Se realizó una reducción de los tamaños con el fin de que el material tenga mayor área de contacto con el agua, es importante que el mayor porcentaje del material oscile entre un valor comprendido de 2.36 a 12.5 milímetros, debido a que, si es muy grueso el

filtro, el área de contacto no es suficiente y si es muy fino, la matriz tendría un comportamiento similar al lodo y no existiría un flujo de agua ya que, esta se atascaría dentro de la columna.



Figura 3.5. Caliza



Figura 3.6. Biocarbón

3.3.2.2. Homogenización

A continuación, se procedió a cuartear los filtros por separado con el fin de homogenizar y dividir las muestras. Este procedimiento consistió en:

- Etapa 1.- Disponer la muestra formando una pila sobre una superficie rugosa y limpia
- Etapa 2.- Dividir la pila en cuatro partes
- Etapa 3.- Tomar los sectores opuestos de la pila

- Etapa 4.- Mezclar el contenido de estos sectores y formar una nueva pila.

Se repitió el mismo proceso tres veces hasta alcanzar el tamaño de muestra que se precisó para el procedimiento.

Cabe destacar que el proceso de homogenización de una muestra es importante puesto que ayuda a que la mezcla presente las mismas propiedades en toda la sustancia.



Figura 3.7. Cuarteamiento de la caliza



Figura 3.8. Cuarteamiento del carbón

3.3.2.3. Análisis granulométrico

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).

Como tercer paso se realizó el análisis granulométrico de los dos filtros tanto la caliza como el biocarbón, en los cuales se utilizaron un juego de tamices de diferentes tamaños que son recipientes con base agujereada o malla, con aberturas de dimensiones determinadas y específicas.

Tabla 3.2. Clasificación de los tamices utilizados

No. Tamiz	Apertura del tamiz (mm)
0.5	12.5
8	2.36
16	1.18
30	0.60
40	0.425
100	0.15
200	0.075



Figura 3.9. Tamización de las muestras

3.3.2.3.1. Caliza

Tabla 3.3. Análisis granulométrico de la caliza

N TAMIZ"	TAMAÑO DE LA MALLA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
0.5	12.5	86.00	4%	4%	96%
8	2.36	1370.00	69%	73%	27%
16	1.18	210.00	11%	83%	17%
30	0.6	128.00	6%	90%	10%
40	0.425	45.00	2%	92%	8%
100	0.15	95.00	5%	97%	3%
200	0.075	45.00	2%	99%	1%
FONDO		19.00	1%	100%	0%
TOTAL		1998.00	100%		

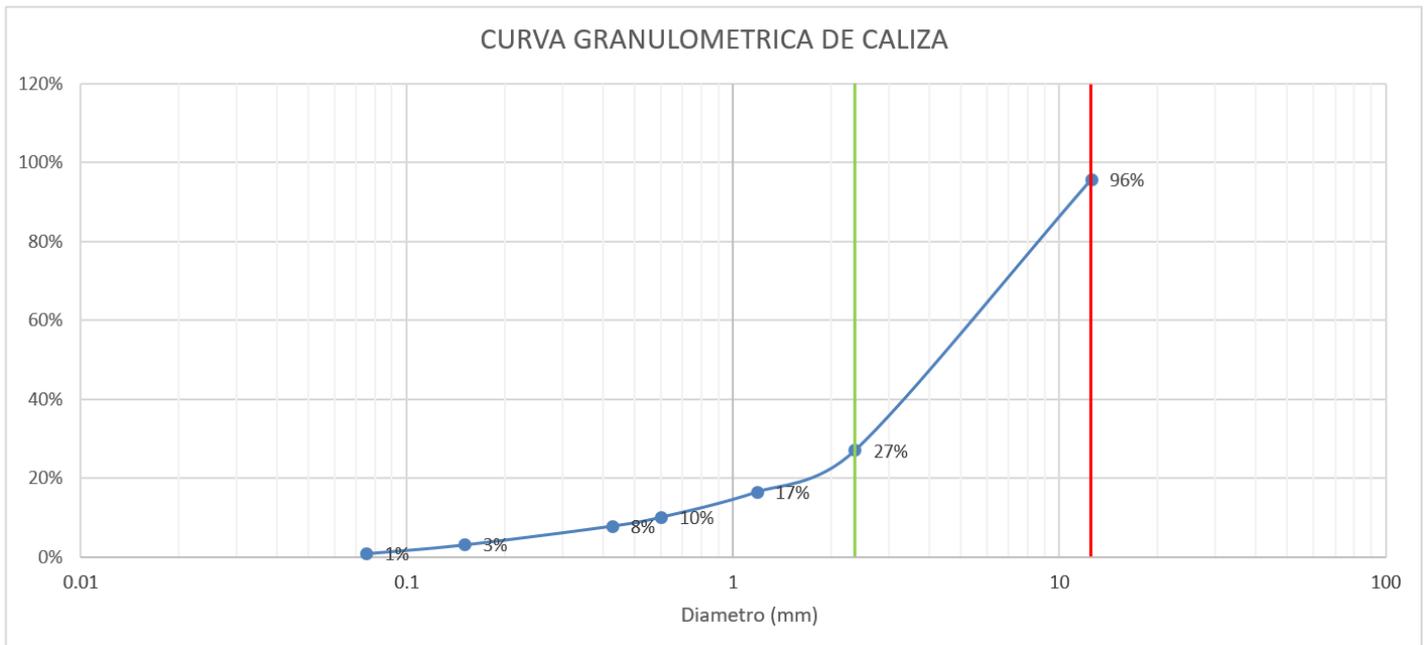


Figura 3.10. Curva granulométrica de la caliza

En base al análisis realizado se observa que el mayor porcentaje de retención es en el tamiz N8 que tiene un diámetro de 2.36 mm, en el cual podemos determinar que la muestra tiene un rango de tamaños que oscila entre 2.36 a 12.5mm.

3.3.2.3.2. Biocarbón

Tabla 3.4. Análisis granulométrico del biocarbón

N TAMIZ"	FAC MALLA mm	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
0.5	12.5	79.00	16%	16%	84%
8	2.36	354.00	71%	87%	13%
16	1.18	24.00	5%	92%	8%
30	0.6	12.00	2%	94%	6%
40	0.425	3.00	1%	95%	5%
100	0.15	7.00	1%	96%	4%
200	0.075	4.00	1%	97%	3%
FONDO		14.00	3%	100%	0%
TOTAL		497.00	100%		

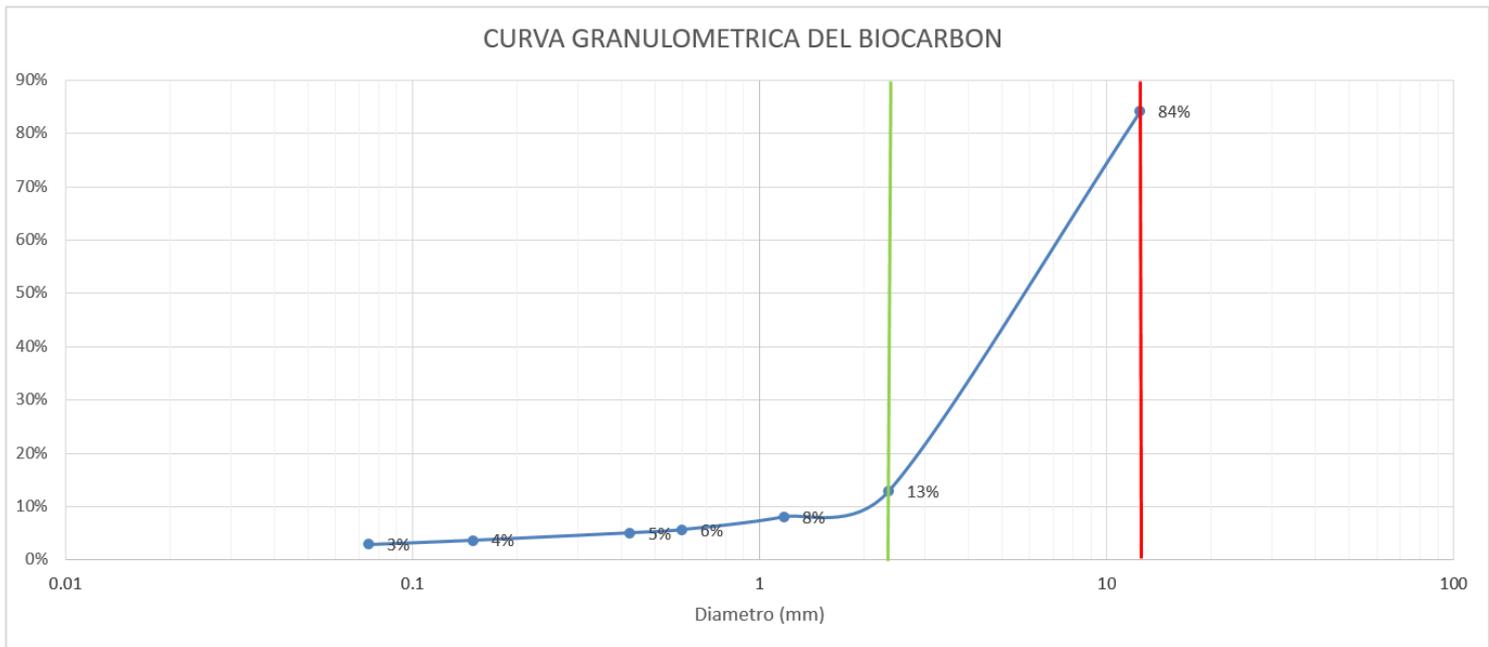


Figura 3.11. Curva granulométrica del biocarbón

De igual forma que la caliza, se determinó que el mayor porcentaje de retención es en el tamiz N8 (2.36 mm), esto es debido a que la trituración de los materiales se realizó en una misma trituradora de mandíbulas, los rangos de tamaños del biocarbón se encuentra entre 2.36 a 12.5mm.

3.4. Caracterización de los filtros

En la caracterización de los filtros se especifica propiedades como el peso, tamaño, color, densidad, etc., de los cuales el peso se refiere al total que se utilizó para el desarrollo del proyecto.

Tabla 3.5. Caracterización de la arena fina

Arena fina	
Peso	4626 gr
Tamaño	0.425 – 0.250 mm
Color	Blanca
Densidad	2.6 g/cm ³

Tabla 3.6. Caracterización de la caliza

Caliza	
Peso	3456 gr
Tamaño	2.36 – 12.5 mm
Color	Blanca
Densidad	2.6526 gr/cm ³
Pureza	97.78 %
Formula atómica	CaCO ₃

Tabla 3.7. Caracterización del biocarbón

Biocarbón	
Peso	477 gr
Tamaño	2.36 – 12.5 mm
Color	Negro
Densidad	0.3158 gr/cm ³
Uso	Domestico
pH	9.73

3.5. Dosificación de las columnas

La dosificación consistió en el llenado de la columna con un 60% del drenaje ácido y un 40% de los filtros, se tomó en cuenta el porcentaje de llenado en base al volumen total de la columna que fue de 2171.47 centímetros cúbicos.

El 60% del volumen de la columna fue de 1302.88 centímetros cúbicos de agua contaminada y el 40% que represento el llenado con los filtros fue de 868.58 centímetros cúbicos, estos 868.58 cm³ representan el 100% de llenado de filtros de arena, biocarbón y caliza, teniendo en cuenta que existieron tres diferentes dosificaciones que corresponden a la columna 1, 2 y 3, en la cual la arena se mantuvo constante, en relación al biocarbón y a la caliza que tuvieron un llenado de diferentes porcentajes como se explica en la tabla 3.8.

La distribución de los filtros de las columnas 1, 2, y 3, se realizó de tal forma en que cada tres tubos tienen una misma dosificación, es decir existen tres tipos de dosificaciones de filtros.

Tabla 3.8. Dosificación de las columnas

Filtros	Columna 1	Columna 2	Columna 3
Arena	40%	40%	40%
Biocarbón	20%	30%	40%
Caliza	40%	30%	20%

De acuerdo al volumen establecido que se mencionó anteriormente cada porcentaje representa un peso que fue medido en los laboratorios de la universidad.

Tabla 3.9. Pesos de los porcentajes de filtros

Filtros	Columna 1		Columna 2		Columna 3	
	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Volumen (cm ³)
Arena	514	347.32	514	347.32	514	347.32
Biocarbón	35	173.66	52	260.49	72	347.32
Caliza	518.5	347.32	376	260.49	257	173.66

Los filtros se distribuyeron de forma experimental, se colocó de tal forma en que el material adsorbente (biocarbón) quede atrapado en la mitad, al ser un material con menor densidad al contacto con el agua flotaría, y no existiría el proceso que se pretendía alcanzar. En los extremos del biocarbón se colocó la arena, esta sirvió para poder atrapar el biocarbón y facilitó el flujo del agua, finalmente, la caliza se colocó en los extremos de la matriz ya que sostiene la arena de filtración y evita que vaya hacia el tubo de salida (Rueda & Romero, 2017).

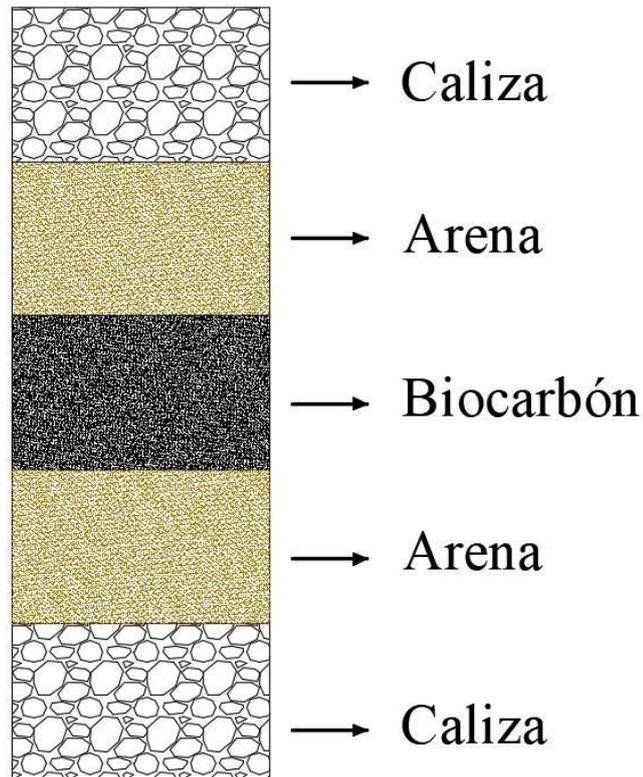


Figura 3.12 Orden de los filtros

3.6. Ejecución experimental del tratamiento

Una vez realizado los procedimientos mencionados anteriormente como la caracterización del agua, preparación de los filtros y la construcción de la estructura de las columnas, se procederá a describir las actividades que se realizaron en la ejecución experimental:

- Se dividió el agua en 9 porciones de 1.3 litros correspondientes a cada tubo.
- El agua se colocó por la parte superior de los tubos.
- Una vez colocada el agua en los 9 tubos, tuvieron un tiempo de reposo de 12 horas, para que exista mayor tiempo de interacción entre la solución con los filtros, como nos menciona Espinosa, Hidalgo y Delgado (2016) el drenaje ácido debe tener un tiempo de retención de 12 a 24 horas para asegurar la calidad del tratamiento.
- Pasada las 12 horas se abrieron las llaves de paso, lo que permitió la obtención de las muestras, estas tuvieron un determinado tiempo de salida de 24 horas aproximadamente, de los 9 tubos.

- Como se menciona las columnas (1-2-3) están conformadas por 3 tubos, por lo tanto, se obtuvo tres aguas de cada columna.
- Las 3 aguas que correspondieron a la columna 1 se homogenizaron en un recipiente de plástico, al igual que las aguas de la columna 2 y 3, respectivamente, obteniendo tres muestras finales por cada pasada.
- Una vez realizado el proceso experimental de las muestras, se procedió al análisis de las mismas, observando diferentes comportamientos en las columnas (1-2-3), y en dependencia de los resultados cada columna tuvo un numero diferente de pasadas del agua.

Tabla 3.10. Numero de pasadas del agua de cada columna

Columnas	N° de pasadas
Columna 1	6 pasadas
Columna 2	4 pasadas
Columna 3	4 pasadas

4. CAPITULO IV: ANALISIS Y RESULTADOS

4.1. Permeabilidad de la estructura

Una vez que se abrieron las llaves se observó que la caída del agua era mediante goteo, por lo que se determinó el tiempo de paso del fluido, para lograr esto se hizo un control del tiempo que demora pasar el agua por las capas de los filtros, este consistió en contar cuantas gotas caen en un minuto, cada 2 horas.

Dentro del proceso existió un determinado número de pasadas del agua por columna, las siguientes tablas representan un análisis general de dichas pasadas.

Tabla 4.1. Primera hora de filtrado

Columna	N° de	Columna	N° de	Columna	N° de
1	gotas/min	2	gotas/min	3	gotas/min
A	21	A	33	A	17
B	19	B	14	B	22
C	27	C	12	C	22

Tabla 4.2. Tercera hora de filtrado

Columna	N° de	Columna	N° de	Columna	N° de
1	gotas/min	2	gotas/min	3	gotas/min
A	12	A	17	A	13
B	8	B	9	B	13
C	17	C	7	C	15

Tabla 4.3. Quinta hora de filtrado

Columna	N° de	Columna	N° de	Columna	N° de
1	gotas/min	2	gotas/min	3	gotas/min
A	8	A	10	A	8
B	6	B	4	B	10
C	10	C	4	C	7

Tabla 4.4. Séptima hora de filtrado

Columna	N° de	Columna	N° de	Columna	N° de
1	gotas/min	2	gotas/min	3	gotas/min
A	1	A	5	A	5
B	4	B	6	B	7
C	7	C	3	C	3

Tabla 4.5. Novena hora de filtrado

Columna	N° de	Columna	N° de	Columna	N° de
1	gotas/min	2	gotas/min	3	gotas/min
A	0	A	0	A	5
B	2	B	4	B	5
C	2	C	2	C	4

Tabla 4.6. Decima primera hora de filtrado

Columna	N° de	Columna	N° de	Columna	N° de
1	gotas/min	2	gotas/min	3	gotas/min
A	0	A	0	A	0
B	0	B	1	B	4
C	0	C	0	C	0

Tabla 4.7. Décimo tercera hora de filtrado

Columna	N° de	Columna	N° de	Columna	N° de
1	gotas/min	2	gotas/min	3	gotas/min
A	0	A	1	A	0
B	0	B	1	B	2
C	0	C	1	C	0

Tabla 4.8. Promedio de numero de gotas por minuto

Promedio de N° de gotas/min	Columna 1	Columna 2	Columna 3
1.^a hora	22	20	20
3.^a hora	12	11	14
5.^a hora	8	6	8
7.^a hora	4	5	5
9.^a hora	1	2	5
11.^a hora	0	0	1
13.^a hora	0	1	1

De acuerdo a las tablas de filtrado, se puede observar que el número de gotas disminuye a medida que aumenta el tiempo, es decir, es inversamente proporcional, esto ocurre debido a que menor cantidad de agua menor presión, por lo tanto, a partir de la décima primera hora el goteo por minuto fue casi nulo.

Al final del proceso se pudo establecer que independientemente del volumen de agua que ingreso a las columnas, el tiempo de caída fue de 24 horas aproximadamente, ya que a partir de esta hora no existió goteo.

4.2. Volumen del agua

Se debe tener en cuenta que el volumen de entrada no es igual que al volumen de salida, la perdida de la misma dependió de tres factores: retención de líquido en cada columna, numero de pasadas y el agua que se utilizó para el análisis de laboratorio que fue 100 ml.

Tabla 4.9. Volumen de entrada y salida del agua

		Columna 1	Columna 2	Columna 3
PASADA 1	Volumen de entrada	1302.88 cm ³	1302.88 cm ³	1302.88 cm ³
	Volumen de salida	1116 cm ³	1046 cm ³	1036 cm ³
PASADA 2	Volumen de entrada	1080 cm ³	1003 cm ³	1000 cm ³
	Volumen de salida	966 cm ³	933 cm ³	903 cm ³
PASADA 3	Volumen de entrada	933 cm ³	900 cm ³	870 cm ³
	Volumen de salida	833 cm ³	830 cm ³	770 cm ³
PASADA 4	Volumen de entrada	800 cm ³	796 cm ³	736 cm ³
	Volumen de salida	700 cm ³	696 cm ³	630 cm ³
PASADA 5	Volumen de entrada	640 cm ³		
	Volumen de salida	573 cm ³		
PASADA 6	Volumen de entrada	533 cm ³		
	Volumen de salida	484 cm ³		

4.3. Adsorción de metales

Las columnas presentaron diferentes resultados de retención de metales (Zn, Fe, Cu), los datos que se obtuvieron son el resultado del sistema de columnas de percolación ya que, esta permitió dicho comportamiento.

4.3.1. Adsorción de la columna 1

4.3.1.1. Adsorción del cobre

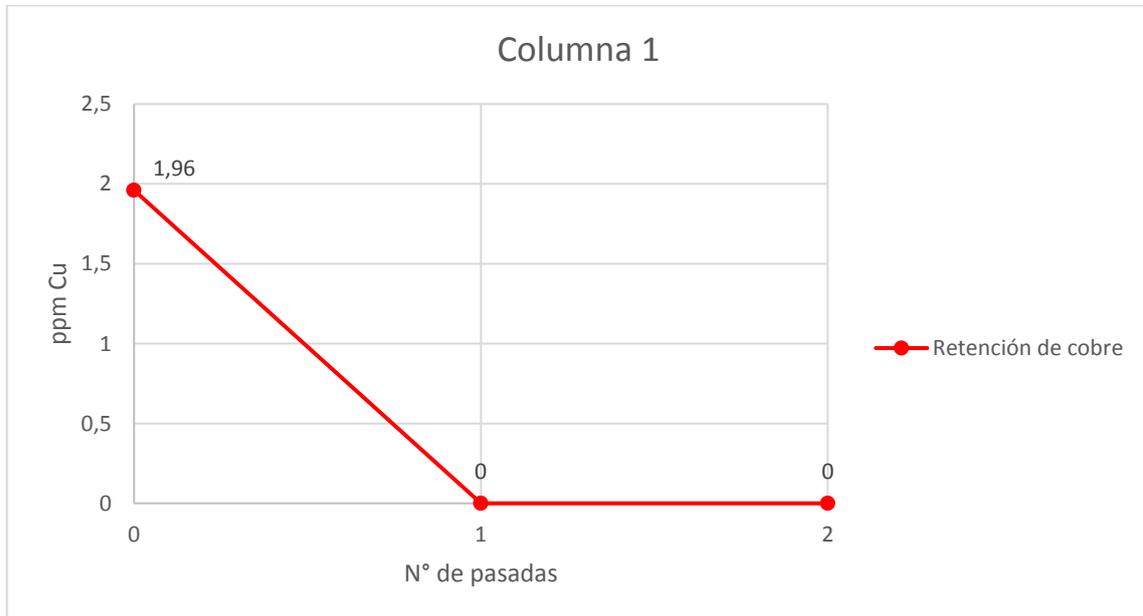


Figura 4.1. Comportamiento del cobre de la columna 1

4.3.1.2. Adsorción del hierro

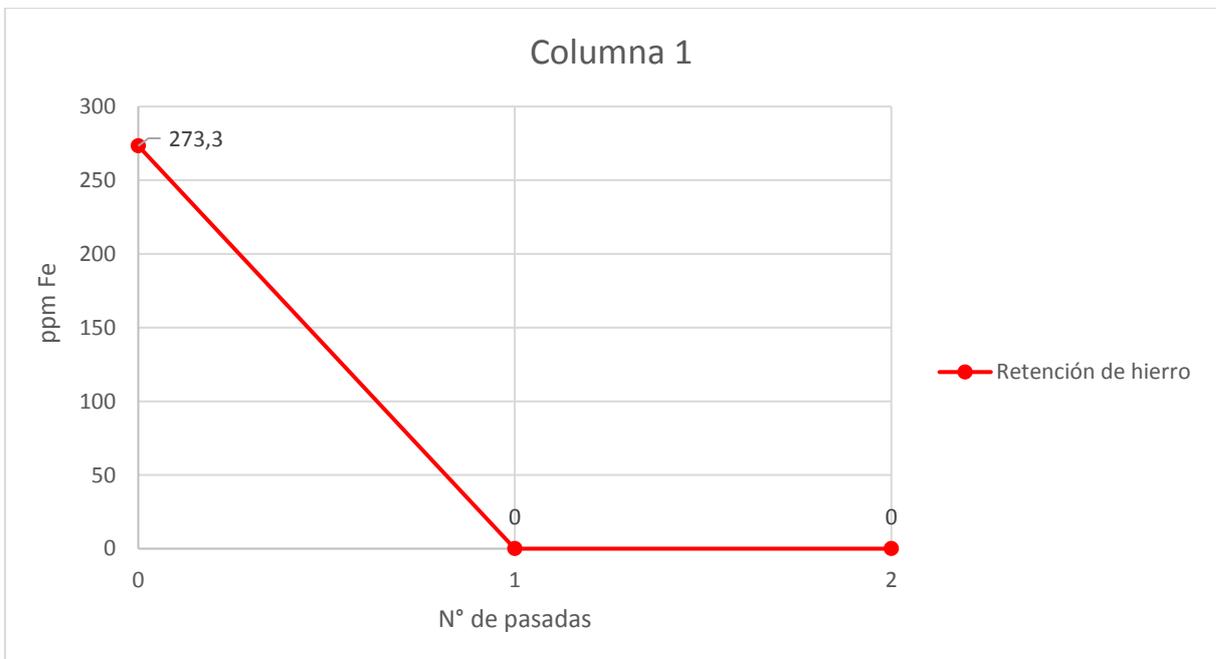


Figura 4.2. Comportamiento del hierro de la columna 1

4.3.1.3. Adsorción del zinc

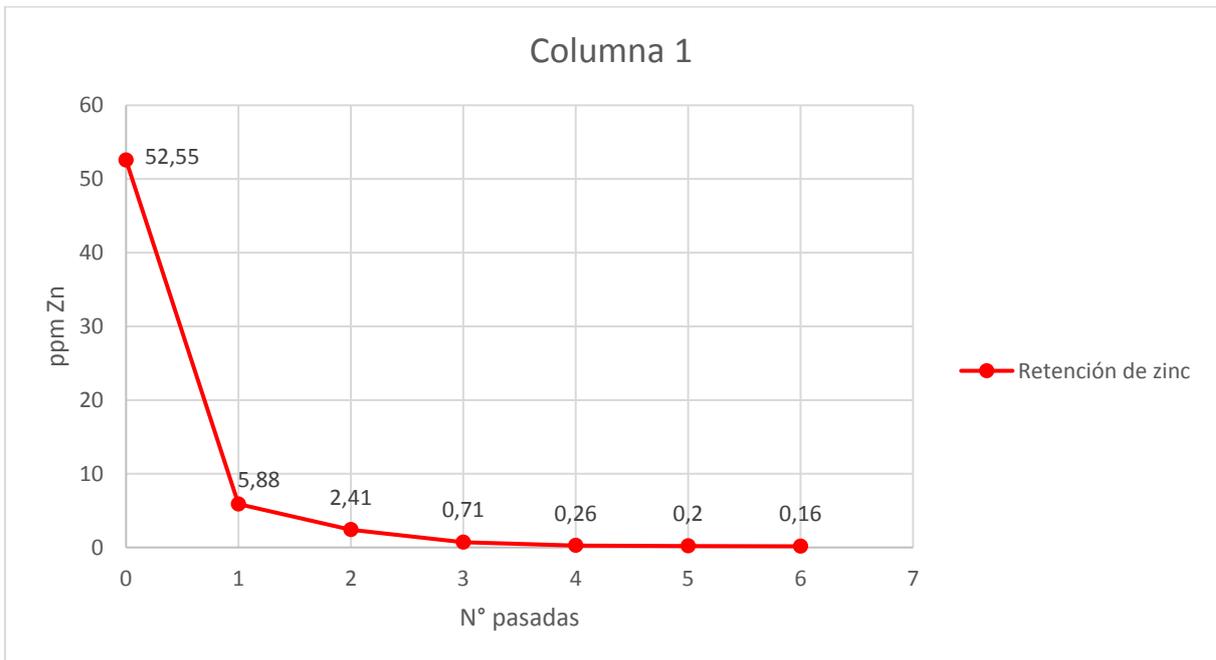


Figura 4.3. Comportamiento del zinc de la columna 1

4.3.2. Adsorción columna 2

4.3.2.1. Adsorción del cobre

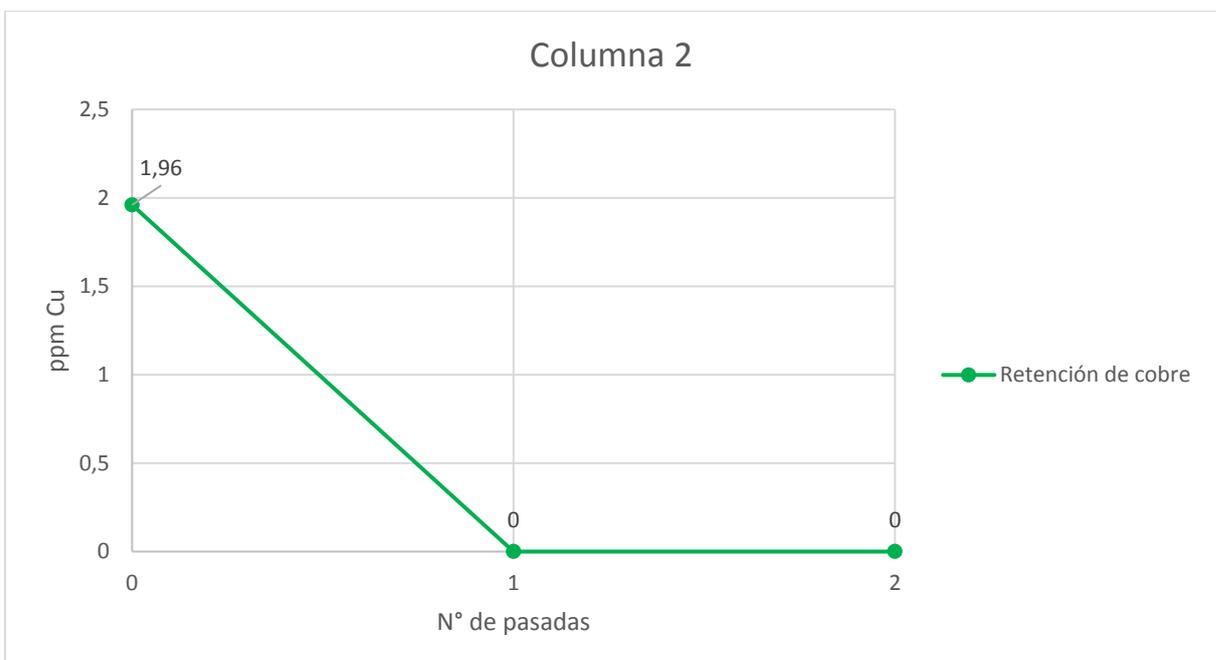


Figura 4.4. Comportamiento del cobre de la columna 2

4.3.2.2. Adsorción del hierro

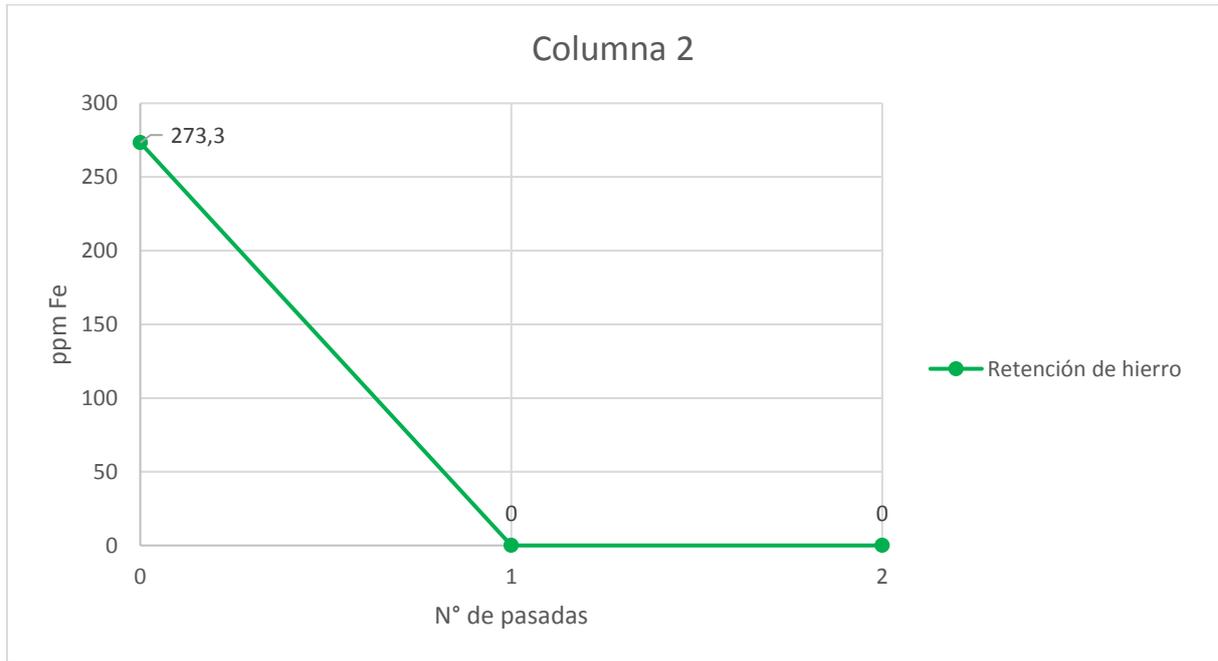


Figura 4.5. Comportamiento del hierro de la columna 2

4.3.2.3. Adsorción del zinc

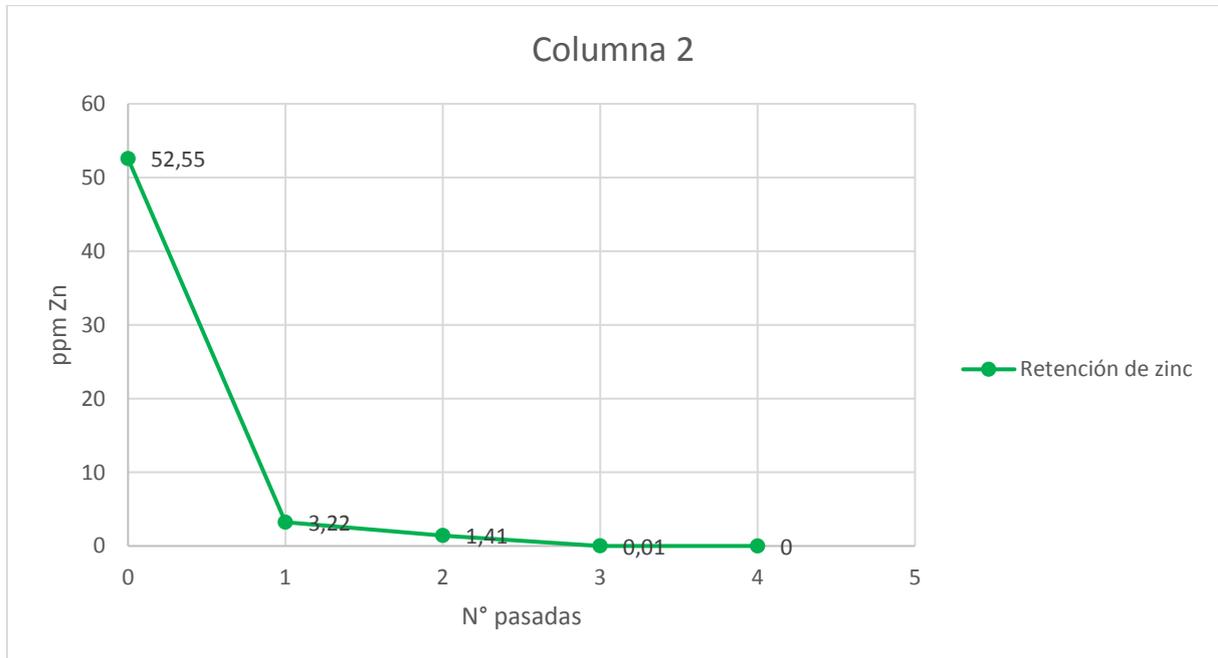


Figura 4.6. Comportamiento del zinc de la columna 2

4.3.3. Adsorción columna 3

4.3.3.1. Adsorción del cobre

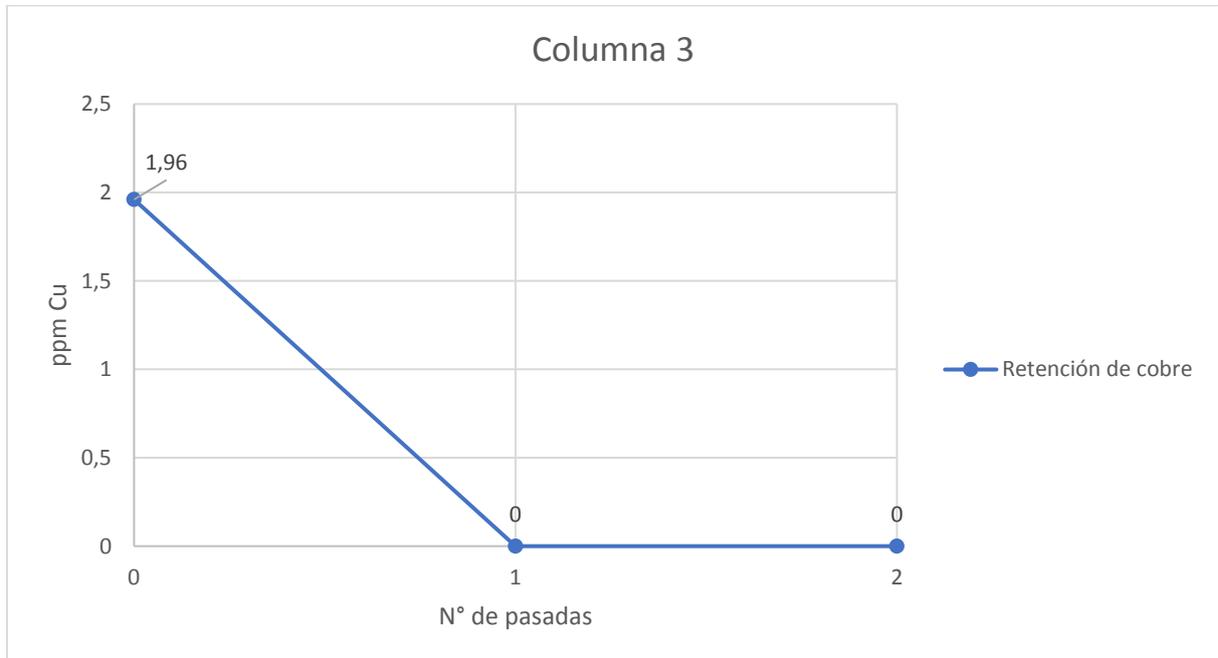


Figura 4.7. Comportamiento del cobre de la columna 3

4.3.3.2. Adsorción del hierro

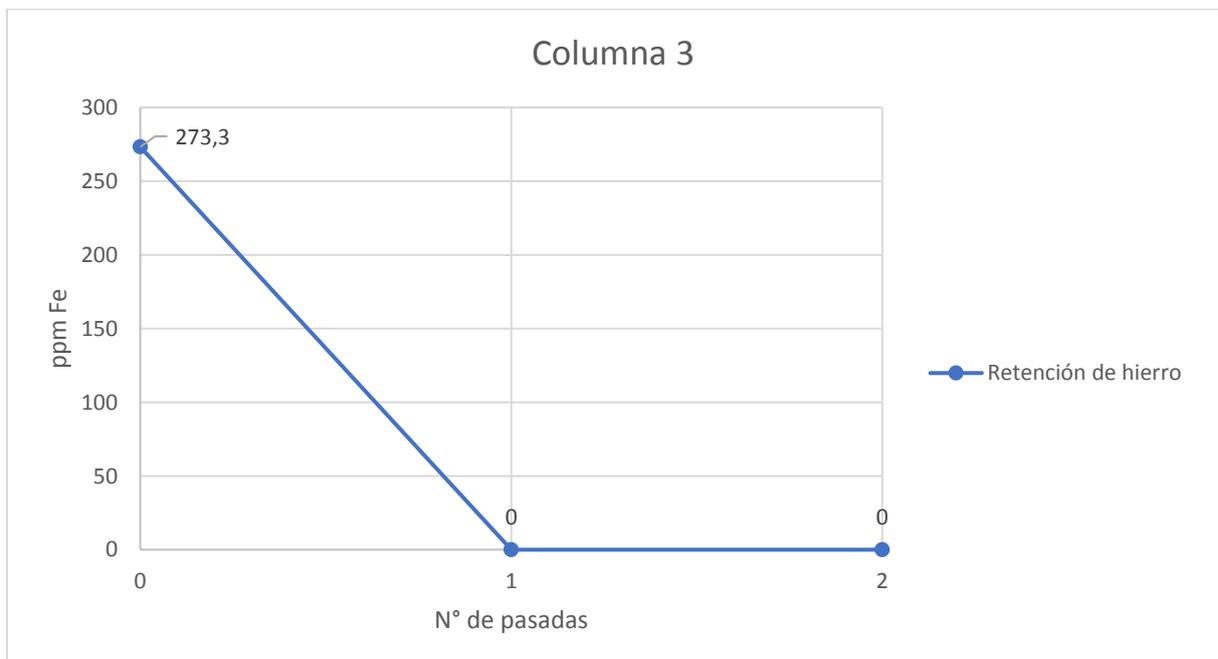


Figura 4.8. Comportamiento del hierro de la columna 3

4.3.3.3. Adsorción del zinc

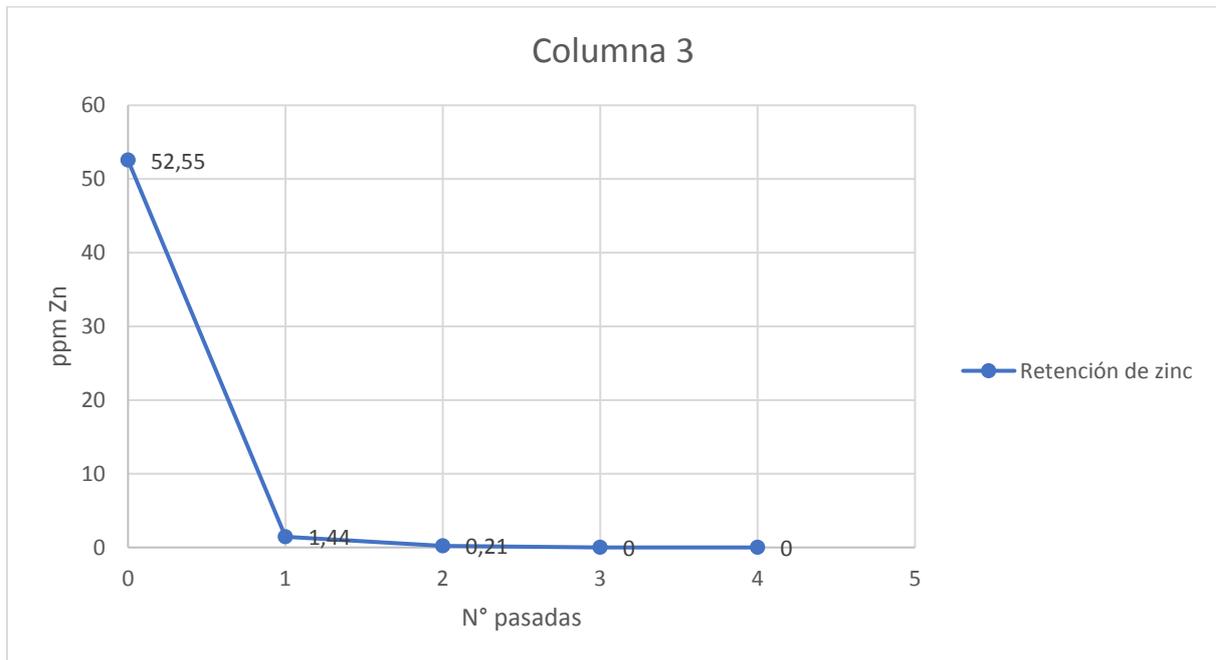


Figura 4.9. Comportamiento del zinc de la columna 3

El comportamiento del cobre, y el hierro en las 3 columnas fue similar, previo al tratamiento el agua contenía 1.96 ppm de Cu y 273 ppm de Fe, tanto el cobre como el hierro fueron eliminados del agua en la primera pasada, sin embargo, para comprobar el resultado se realizó un segundo análisis de la segunda pasada y de igual forma nos arrojó un valor de cero ppm de Cu y Fe como se muestran en los gráficos 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7, 4.9.

El zinc presentó diferentes comportamientos por columna, el contenido de este metal inició con 52.55 ppm, siendo el metal más difícil de eliminar. La columna 1 necesitó 6 pasadas para llegar a un valor de 0.16 ppm, en la columna 2 fue necesario 4 pasadas para eliminarlo, por último, la columna 3 necesitó 3 pasadas para eliminar dicho metal.

4.3.4. Análisis de resultados de la adsorción

Según las gráficas se puede observar que en las tres columnas el cobre y el hierro fueron eliminados completamente en una pasada, por lo tanto, no se puede definir la

cantidad necesaria de biocarbón para la eliminación de dichos metales, ya que el comportamiento de estos fue el mismo sin importar su dosificación.

Se determinó que en la primera pasada la eliminación de los metales fue agresiva eliminando más del 80% del zinc y el 100% del hierro y cobre, sin embargo, se puede notar que en el caso del zinc a partir de la segunda pasada no existe una gran variación de reducción del contenido es decir este metal se estabiliza.

El comportamiento del zinc nos ayudó analizar varios factores, entre ellos se determinó que a mayor carbón existe mayor adsorción, en la primera pasada se pudo observar que la columna con mayor porcentaje de carbón redujo el contenido de zinc a 1.44 ppm, mientras que la columna con menor porcentaje de biocarbón redujo el contenido a 5.88 ppm.

Otro de los factores fue que a mayor carbón la retención es más rápida, es decir en la columna 3 que tuvo el 40% de biocarbón elimino completamente el componente en 3 pasadas, mientras que en la columna 1 con un porcentaje del 20% redujo el contenido de zinc hasta 0.16 ppm en 6 pasadas.

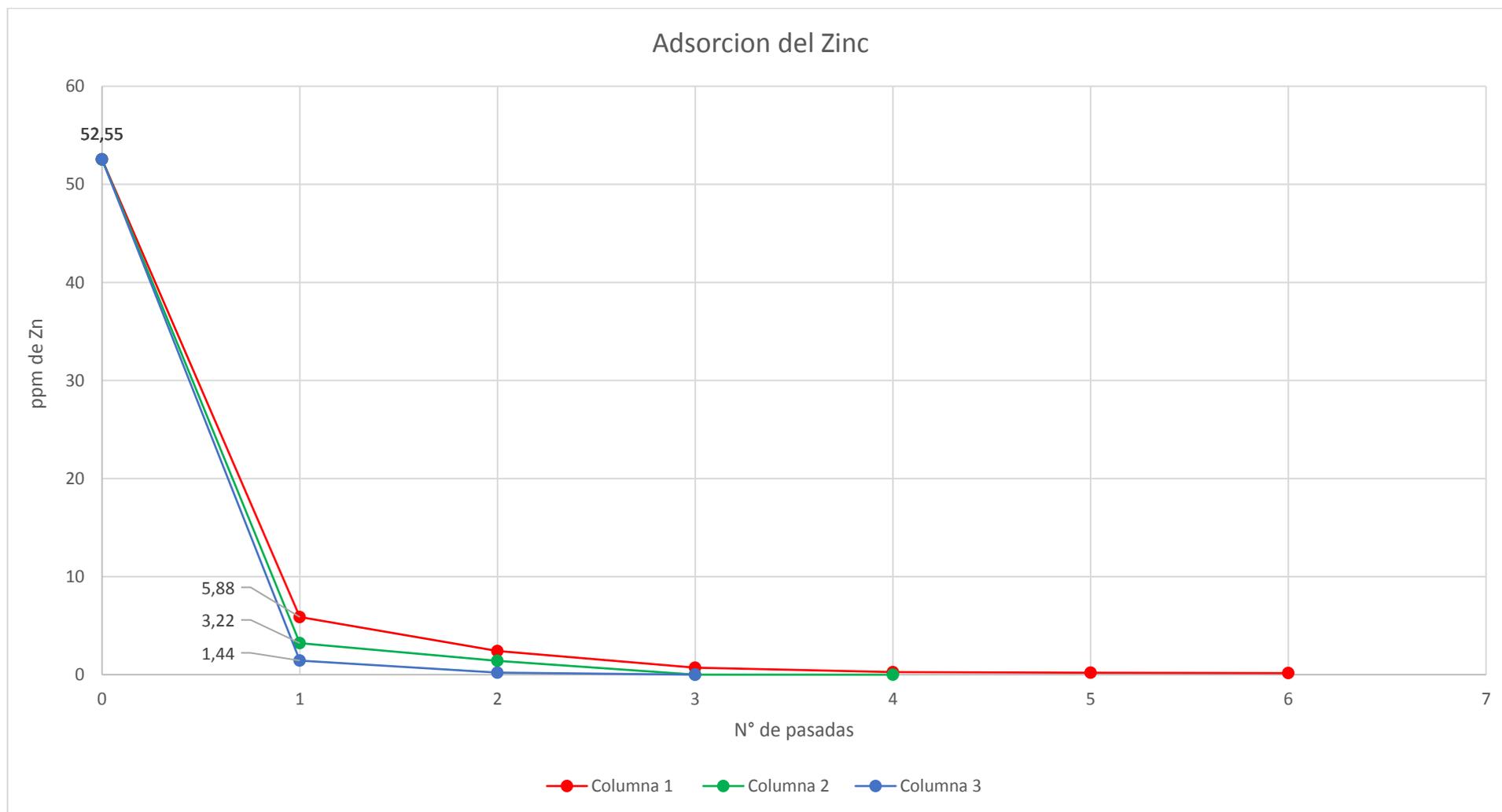


Figura 4.10. Adsorción del Zinc

4.4. Capacidad de adsorción

En base a los resultados obtenidos de la adsorción, se pudo determinar la capacidad de adsorción del zinc mas no del cobre y hierro debido a que estos elementos fueron eliminados en una pasada en las 3 columnas, el cálculo de la capacidad de adsorción se realizó mediante la siguiente formula:

$$Q_e = \frac{(C_i - C_e)}{m} V$$

Y para el porcentaje de adsorción de ion metálico se aplicó la siguiente formula:

$$R_a = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} .100\%$$

4.4.1. Capacidad de adsorción del zinc

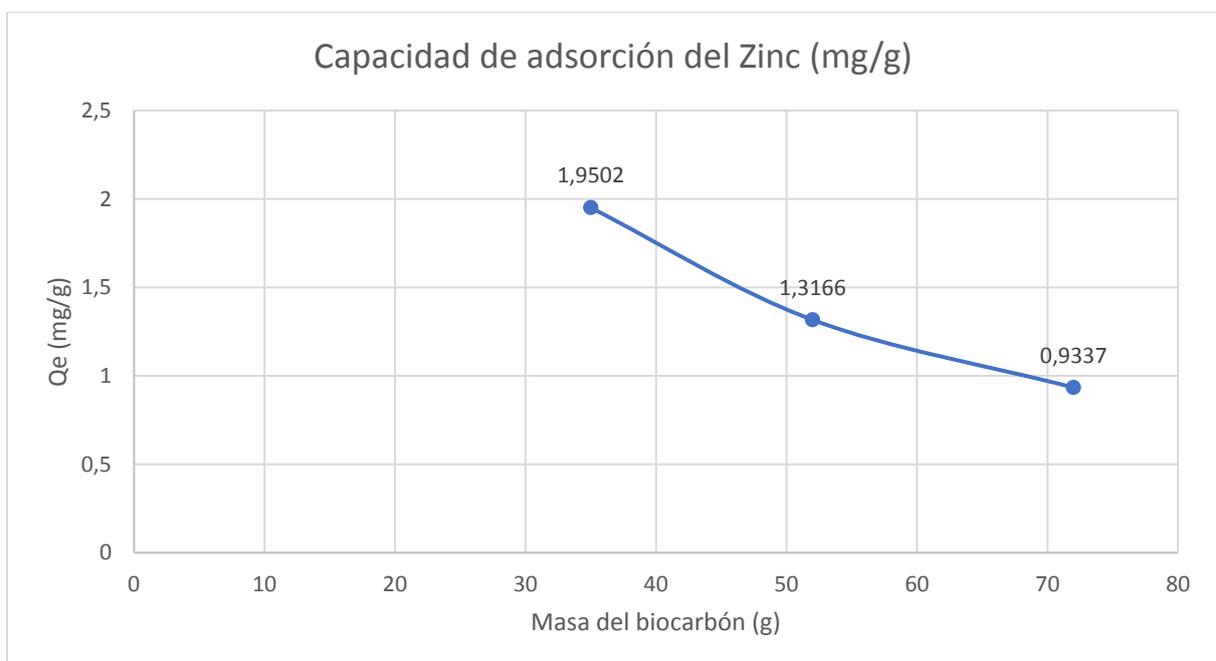


Figura 4.11. Capacidad de adsorción del Zinc

Tabla 4.10. Resumen de resultados de la capacidad de adsorción

		Columna 1	Columna 2	Columna 3
Numero de pasadas		6	4	3
	Dosificación del	Masa (gr)	35	52
	biocarbón	Porcentaje	20 %	30%
Cobre	Porcentaje de adsorción	100%	100%	100%
Hierro	Porcentaje de adsorción	100%	100%	100%
Zinc	Capacidad de adsorción (mg/g)	1.9502	1.3166	0.9509
	Porcentaje de adsorción	99.69%	100%	100%

4.5. Neutralización del agua

Para poder determinar la neutralización en el sistema de columnas de percolación se hizo un balance del peso molecular, de la reacción entre el carbonato de calcio (caliza) y un ácido sulfúrico, es decir la neutralización es la relación entre un ácido y una base.



Donde:

Ca: 40 gr

S: 32 gr

C: 12 gr

H: 1 gr

O: 16 gr

En la ecuación se observa que se necesitan 100 gr de CaCO_3 para neutralizar 2 gr de hidrogeno (H^+) que pertenece al H_2SO_4 , como se conoce el pH es el potencial de hidrogeno que es igual a:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Donde:

$$\text{H}^+ = 10^{-\text{pH}}$$

El agua que se trato tuvo un pH de 2.56, en base a este valor se determinó que el drenaje acido presenta 2.75×10^{-3} moléculas de H^+ .

4.5.1. Neutralización columna 1

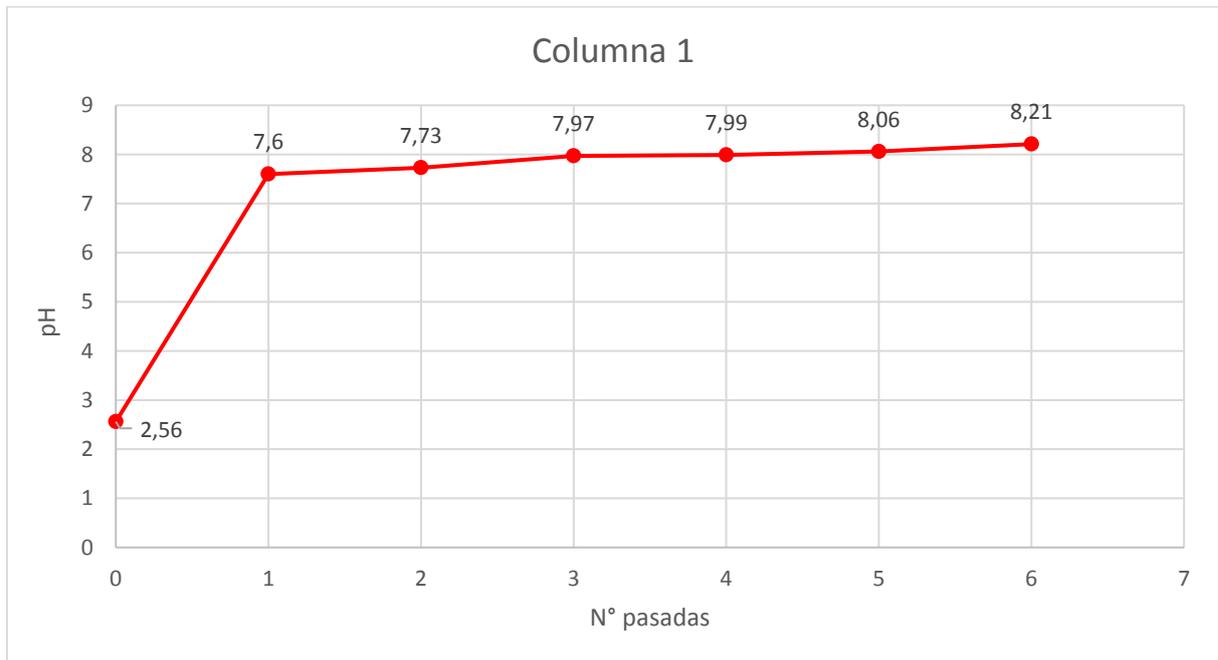


Figura 4.12. Comportamiento del pH en la columna 1

4.5.2. Neutralización columna 2

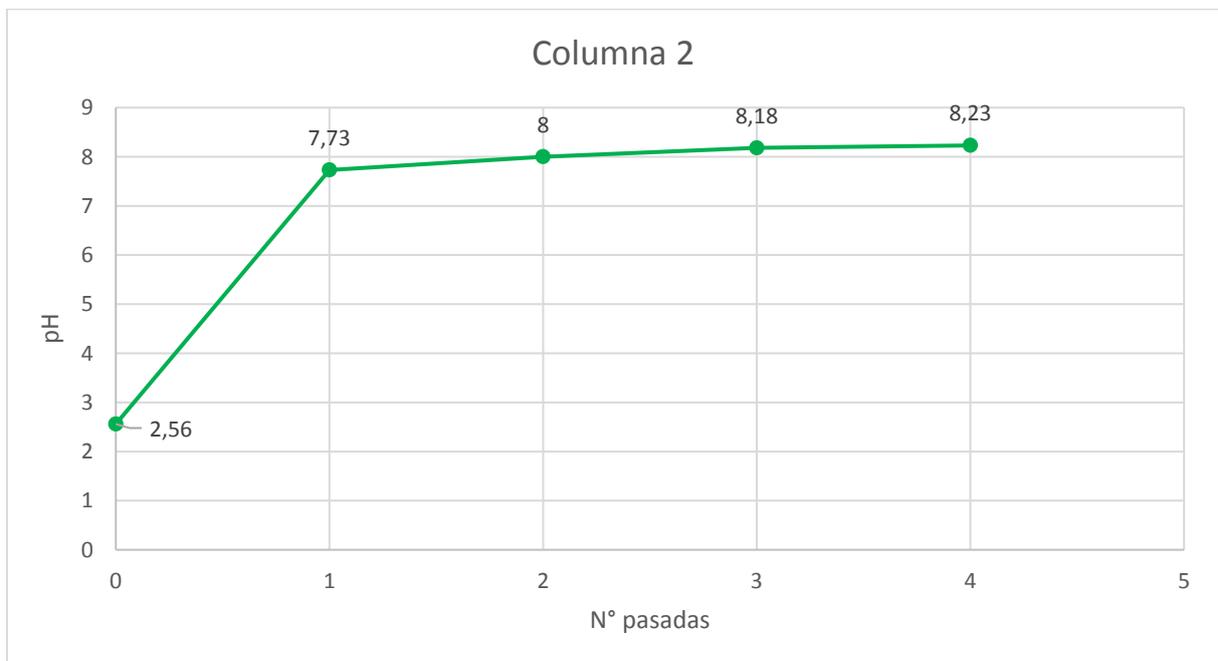


Figura 4.13. Comportamiento del pH en la columna 2

4.5.3. Neutralización columna 3

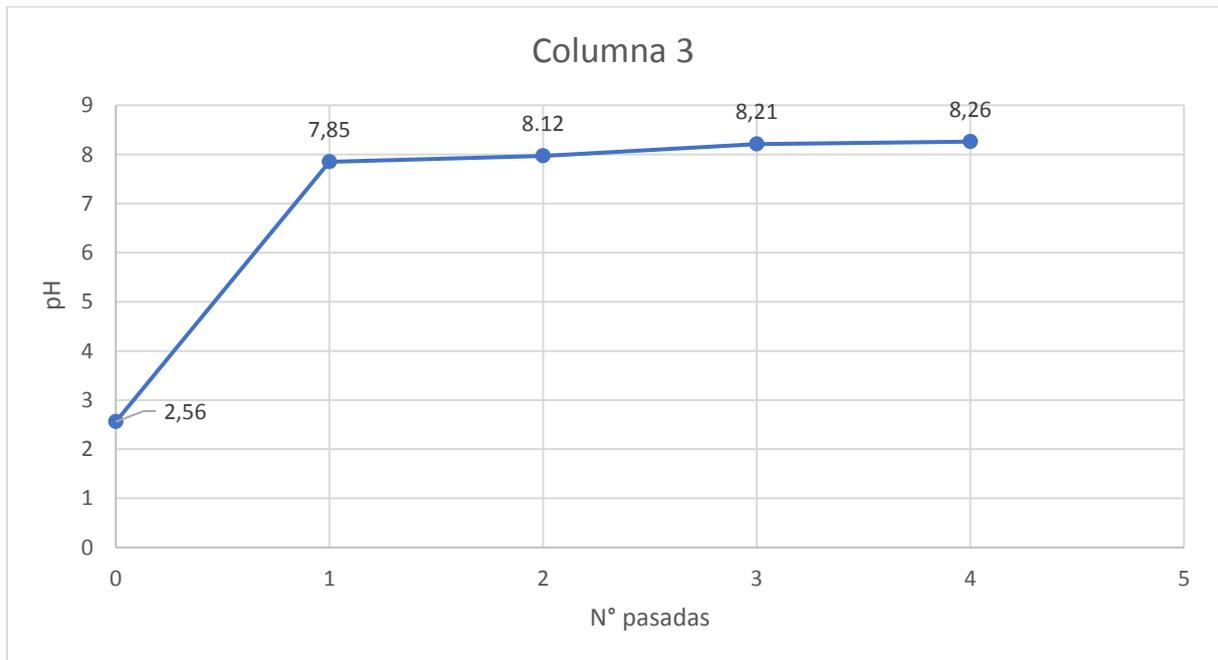
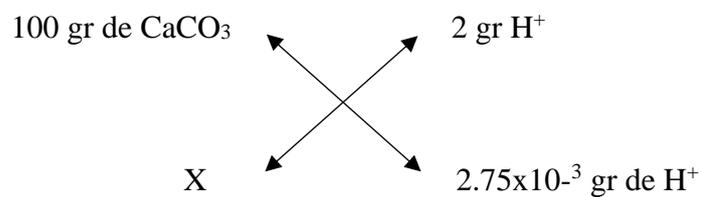


Figura 4.14. Comportamiento del pH en la columna 3

4.5.4. Análisis de resultados de la neutralización

En la primera pasada se puede observar que el agua fue neutralizada en las 3 columnas es decir obtuvieron un pH igual a 7.

Como se mencionó anteriormente se necesita 100 gr de CaCO_3 para neutralizar 2 gr H^+ , en base a esta relación se determinó que para 2.75×10^{-3} gr de H^+ , se necesita 0.1375 gr de CaCO_3 con un 100% de pureza, para que el agua sea neutralizada.



Donde:

$$X = 0.1375 \text{ gr de } \text{CaCO}_3$$

- pH 7.6
- pH 8.26

4.6.1. Zinc

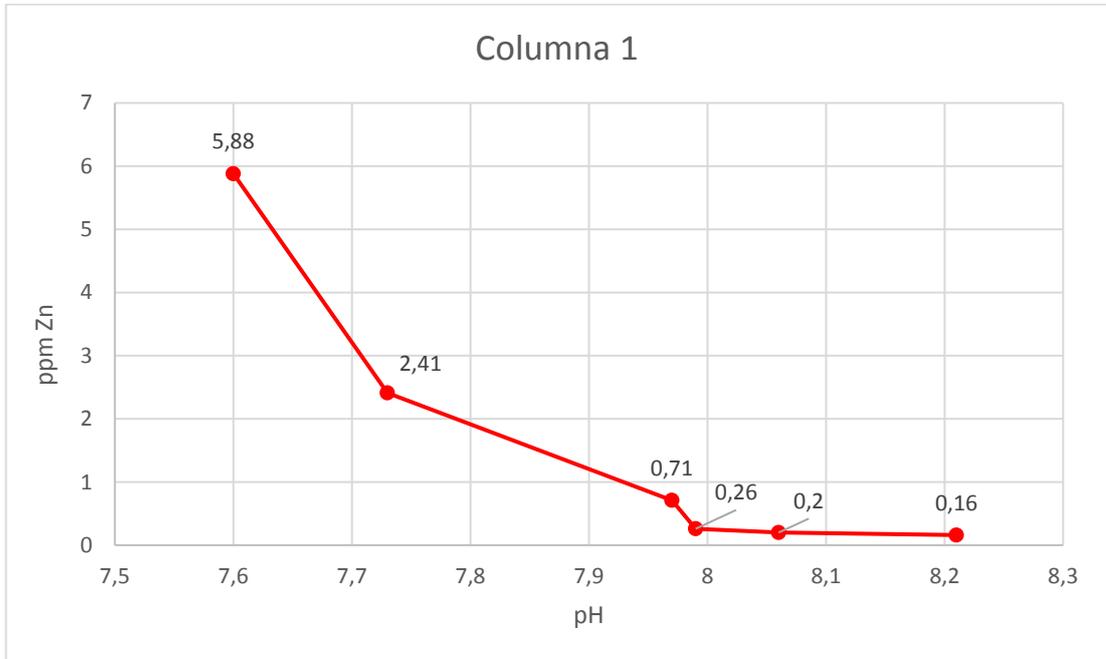


Figura 4.15. Comportamiento del Zn en función del pH de la columna 1

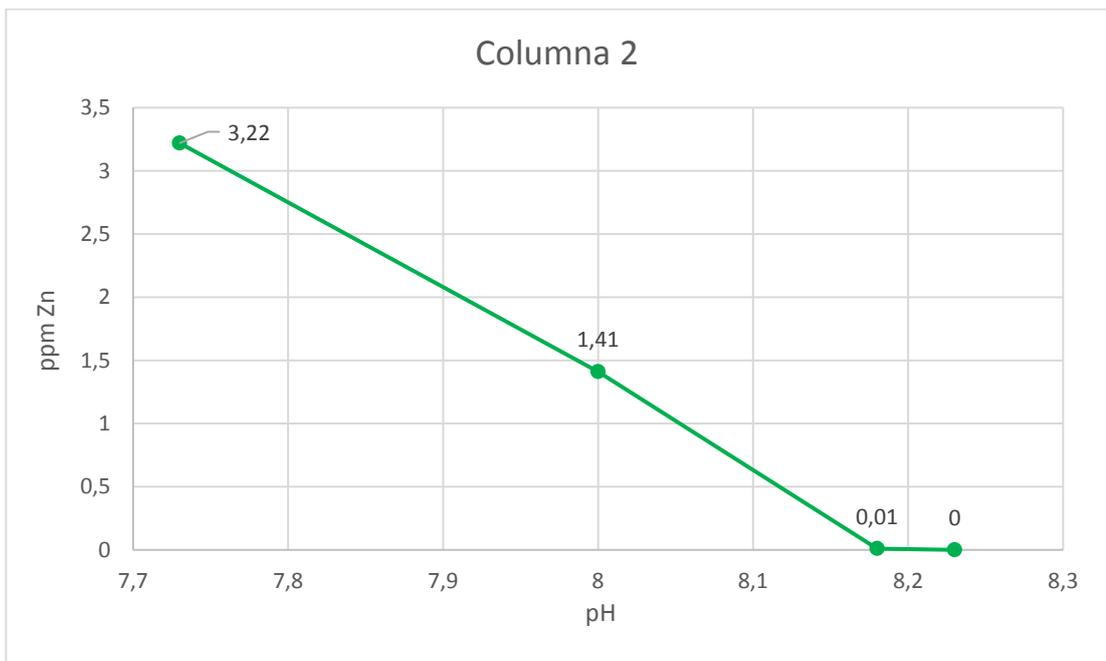


Figura 4.16. Comportamiento del Zn en función del pH de la columna 2

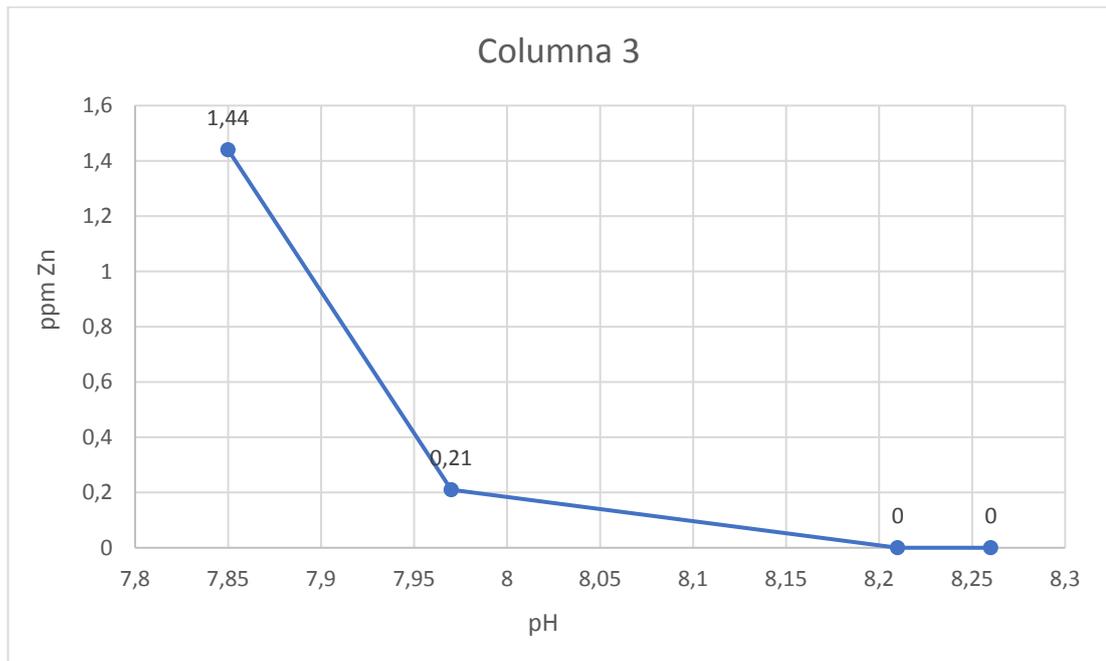


Figura 4.17. Comportamiento del zinc en función del pH de la columna 3

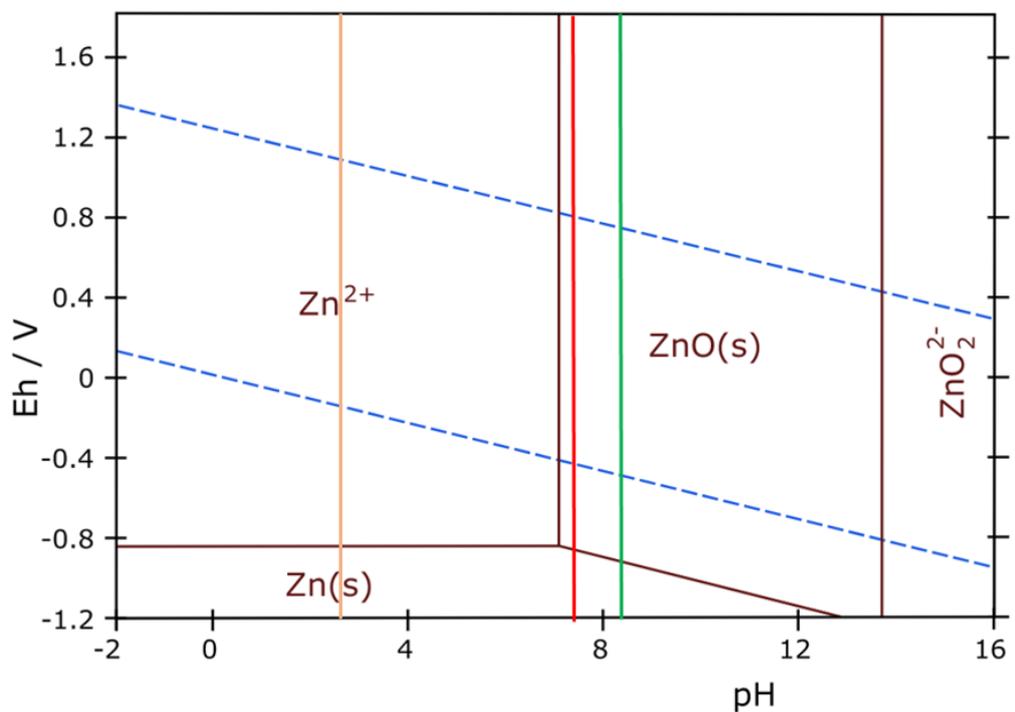


Figura 4.18. Comportamiento del Zinc de acuerdo al diagrama

Las gráficas demuestran que luego del tratamiento el zinc se puede encontrar en estado sólido entre un rango de 7 a 14 pH aproximadamente sin importar la conductividad eléctrica en la cual se encuentra la solución, dicho esto la eliminación del zinc dentro

del proceso fue favorable porque el cambio del pH nos demuestra que el metal pasa de solución a sólido y este puede ser adsorbido.

4.6.1. Cobre

Como se menciona anteriormente en las 3 columnas el cobre fue eliminado en la primera pasada, y el pH se encontraba entre 7.6 a 7.85 por lo que el gráfico en las tres columnas no varía su comportamiento.

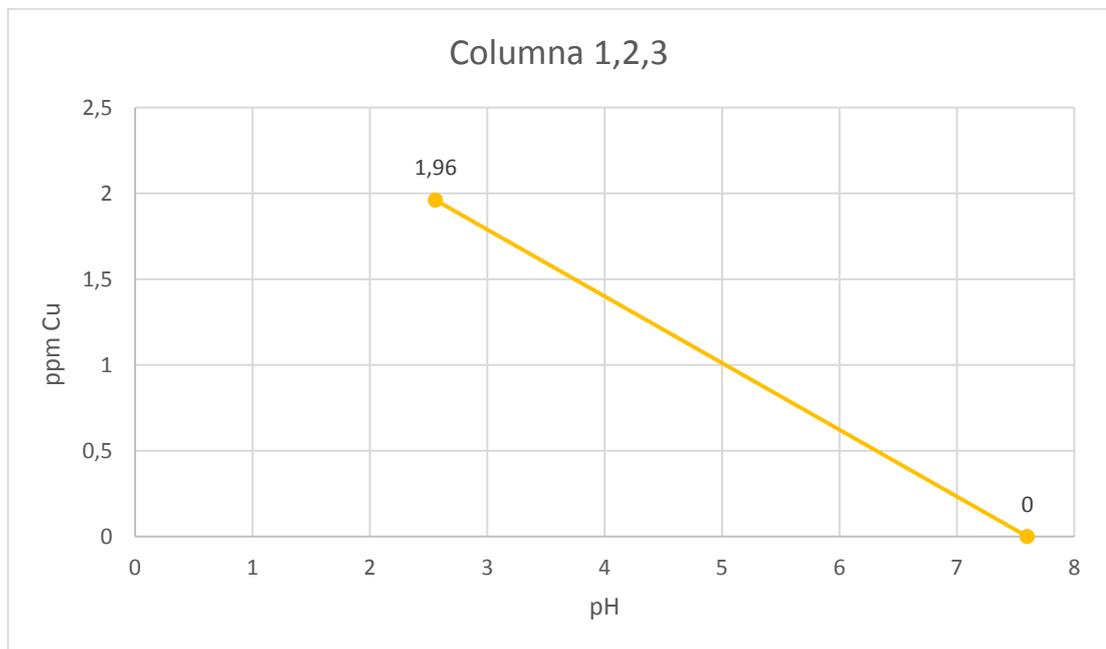


Figura 4.19. Comportamiento del cobre en función del pH de las columnas 1, 2 y 3

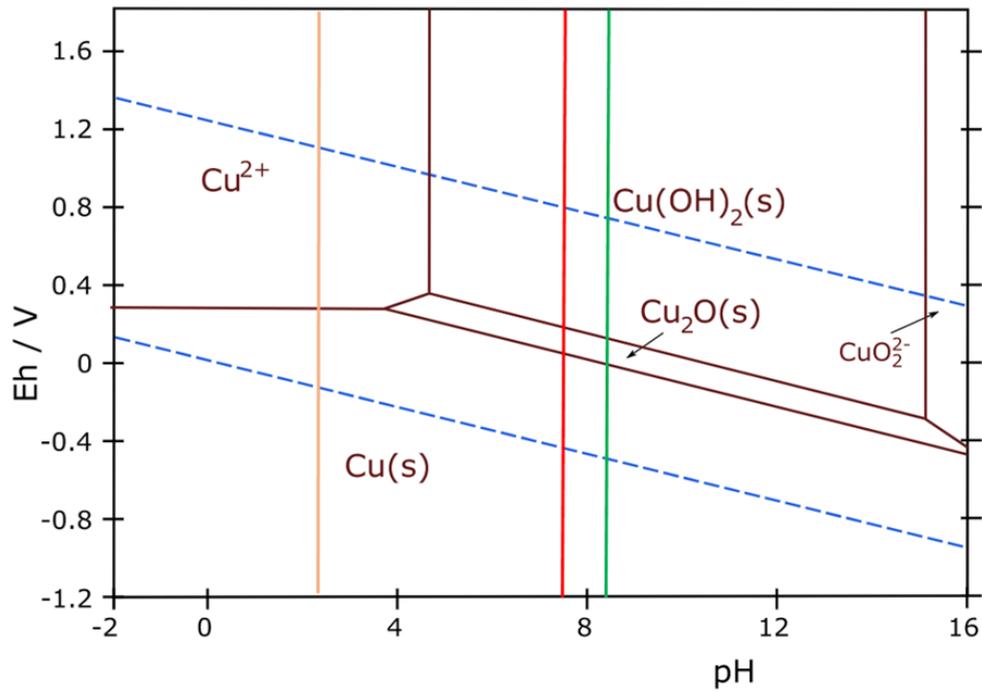


Figura 4.20. Comportamiento del cobre en función del diagrama

El cobre se encuentra en estado sólido a partir del pH 5 aproximadamente sin importar la conductividad eléctrica en la cual se encuentre la solución y igual que el zinc sedimenta y es adsorbido por el cambio del pH.

4.6.1. Hierro

Se puede observar que el hierro precipita al igual que el cobre en las 3 columnas en una pasada, es decir el hierro se comportó de igual forma en el rango de 7.6 a 7.85 pH.

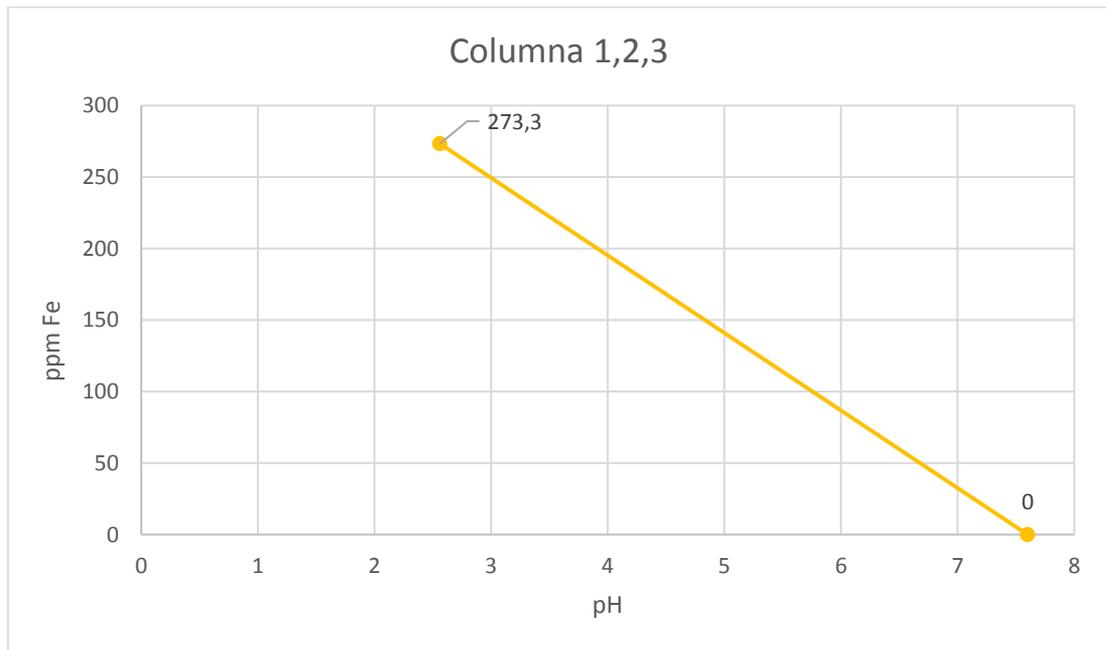


Figura 4.21. Comportamiento del hierro en función del pH de las columnas 1, 2 y 3

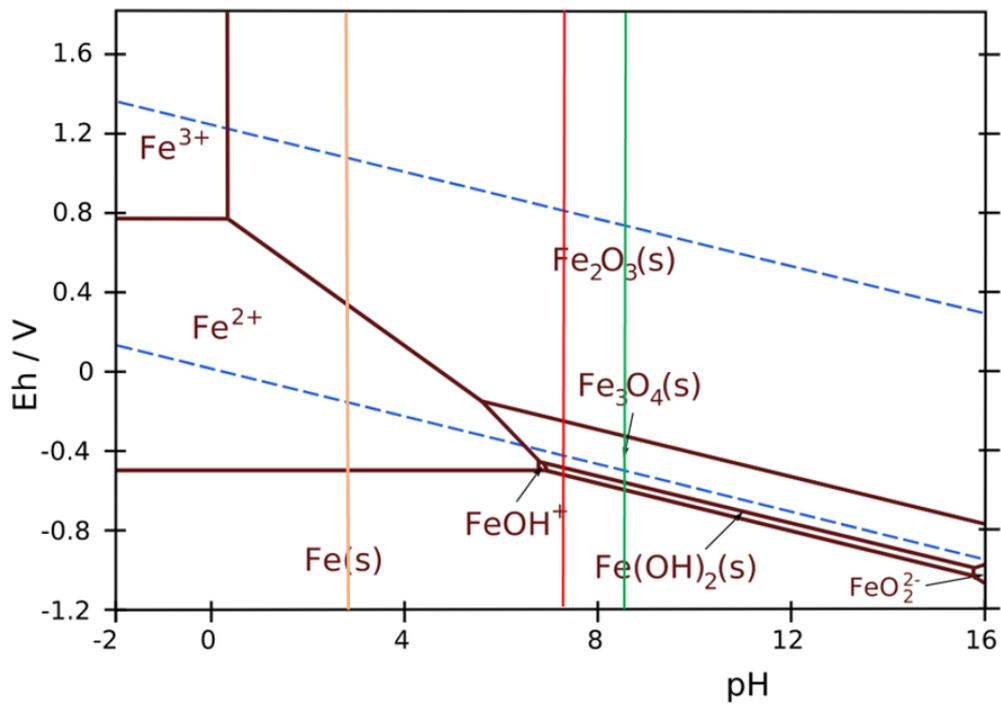


Figura 4.22. Comportamiento del hierro en función del diagrama

El hierro se encuentra en estado sólido a partir del pH 7 aproximadamente sin importar la conductividad eléctrica en la cual se encuentre la solución.

4.7. Síntesis de resultados

- En base a los análisis que se realizó en el laboratorio se determinó que el agua de Pilzhum tiene un pH 2.59, 1.96 ppm de Cu, 52.55 ppm de Zn y 273.30 ppm de Fe.
- Las columnas de percolación con sus diferentes dosificaciones nos demostraron que en las tres existe retención de metales y neutralización del agua.
- El contenido de biocarbón en las tres columnas fue suficiente para la retención total de hierro y cobre en una sola pasada.
- El zinc resultó ser el metal con mayor dificultad de adsorción ya que este necesito mayor número de pasadas para lograr su eliminación.
- La columna 1 conformada por el 40% de arena, 40% caliza y 20% de biocarbón redujo el metal a 0.16 ppm de Zn en 6 pasadas.
- La columna 2 conformada por el 40% de arena, 30% de caliza y 30% de biocarbón elimino el Zn en 4 pasadas.
- La columna 3 conformada por el 40% de arena, 20% de caliza y 40% de biocarbón elimino el Zn en 3 pasadas.
- El contenido de caliza fue suficiente en las tres columnas para neutralizar el agua en una sola pasada
- En la primera pasada el pH de la columna 1 fue de 7.6, en la columna 2 fue de 7.73, en la columna 3 fue 7.85.
- En las tres columnas se observó que a mayor número de pasadas el pH aumenta.
- El sistema de columnas verticales nos permitió determinar el comportamiento del agua en poco tiempo.
- El hierro, el cobre y el zinc son sedimentados por el cambio del pH de la solución.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El análisis realizado de los efluentes residuales de la boca mina de Pilzhum pone de manifiesto emisiones acidas con un contenido de 273.3 ppm de hierro, 52.55ppm de zinc y 1.96 ppm de cobre, estos estarán sujeto a la cantidad de aguas de arrastre.
- La propuesta de retención de iones mediante columnas verticales conformadas por arena fina, caliza y biocarbón son eficientes en un pase para los iones de cobre y hierro no así para el zinc requiriendo de 6 pasadas en la columna 1, 4 pasadas en la columna 2 y 3 pasadas para la columna 3, lo que podría indicar que la retención de zinc es más eficiente en las columnas con mayor porcentaje de biocarbón
- La concentración de biocarbón y caliza de las 3 columnas retuvieron de forma eficiente las concentraciones de cobre y hierro de la muestra en estudio. No se ha podido establecer la capacidad de retención de las columnas.
- En base al comportamiento del pH en las columnas se determinó, que la columna con menor contenido de caliza existe mayor elevación del pH, esta conclusión nos indica que el biocarbón además de adsorber los iones metálicos ayudo a que el agua sea neutralizada, se debe tener en cuenta que el biocarbón tiene un pH de 9.76 y que la columna 3 fue aquella que tuvo mayor contenido de biocarbón y menor contenido de caliza.
- La columna 3 conformada de un 40% de arena, 20% de caliza y 40% de biocarbón tuvo el mejor comportamiento de adsorción de metales y neutralización del agua.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer pruebas con distintas aguas que presenten cantidades significativas de otros metales como mercurio, plomo, cadmio, arsénico, antimonio, etc., para establecer el comportamiento de los mismos en el sistema utilizado.
- Se recomienda que se realice la experimentación por separado con caliza y biocarbón para poder establecer el comportamiento neutralizante y adsorbente de estos componentes.
- Se recomienda implementar un sistema experimental de flujo constante, que cubra mayores volúmenes de aguas acidas considerando que los filtros son de fácil acceso y de bajo costo.
- Se recomienda realizar pruebas de saturación catiónica de las diferentes dosificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, H., & Guerra, R. (2005). *Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana*. Santiago de Chile : Doctoral dissertation, Tesis de pregrado). Universidad De Chile .
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina generación y tratamiento* . 2006: Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.
- Bilski, E. (2016). *Characteristicass*. Obtenido de <https://www.characteristicass.de/hierro/>
- Bilski, E. (2016). *Ciencias Naturales*. Obtenido de <https://www.characteristicass.de/cobre/>
- Blanco, E. (2018). Trituración. *Universidad de Catabria*, 4-80.
- Cadorin , L., Carissimi, E., & Rubio, J. (2007). Avances en el tratamiento de aguas ácidas de minas. *Scientia et Technica*, 4(36), 849-854.
- Carriazo, J., Uribe, M., & Hernández, O. (2007). Diagramas de predominancia, de Frost y de Pourbaix: tres contextos para desarrollar competencias. *Scientia et technica*, 13(34), 569-574.
- Chaparro, L. T. (2015). Drenajes Acidos de Mina Formacion y Manejo . *ESAICA*, 53-57.
- Contreras, L. (1990). *Analisis de la influencia que ejercen los planteles educativos en el desarrollo socio-económico- cultural de Taday y sus comunidades*. Loja .
- Coplastic. (2015). *Coplastic*. Obtenido de Coplastic: <http://www.coplastic.es/categorias/caracteristicas-y-medidas/3>
- Corredor, L., & Gutierrez, M. (2014). *Plan de mercadeo para la arena sílice de la empresa Industrial de Minerales Ltda* . Bogotá: Tesis de Licenciatura. Universidad Piloto de Colombia.
- Cortés, Á. (2004). Ideas sobre la permeabilidad en estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 22(1), 37-46.
- Durán, E. (2017). *Arcillas y biocarbones para la eliminación de contaminantes de origen agrícola en aguas: ensayo en filtro a escala precomercial*. Sevilla.
- Espinosa, M., Hidalgo , A., & Delgado, R. (2016). Diseño de un sistema de tratamiento para el drenaje ácido de mina basado en el proceso de lodos de alta densidad (HDS). *Ingeniería*, 20(2), 64-75.
- Gaitan, M. (2004). Determinación de Metales Pesados totales con digestión ácida y solubles lectura directa por Espectrofotometría de Absorción Atómica. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* , 1-16.

- García, N., Villanueva, P., Campos, E., & Velázquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 14(1), 109-129.
- Guerrero, C. (2001). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 5, 3-14.
- Hernández, J. (2012). Diagrama de Pourbaix: herramienta termodinámica aplicada a los problemas de corrosión. *Digital de Investigación y Postgrado*, 2(4), 297-306.
- Herrera, J. (2009). *Introducción al drenaje de explotaciones mineras*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid - E.T.S.
- Ibáñez, J. (2006). EL agua en el Suelo 4: Textura del Suelo y Propiedades Hídricas. *Madri+ D Fundación para el Conocimiento*.
- INFOPLAN-INEC. (2012). *INFOPLAN-INEC*.
- Instituto Europeo del Cobre . (2018). *Instituto Europeo del Cobre* . Obtenido de Instituto Europeo del Cobre : <https://copperalliance.es/cobre/cobre-y-sus-aleaciones/propiedades/>
- Lenntech. (2016). *Lenntech*. Obtenido de Lenntech: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm#ixzz5zqlAypKe>
- Lenntech. (2016). *Lenntech*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm#ixzz5zqi3nDjq>
- Lenntech. (2016). *Lenntech*. Obtenido de Lenntech: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm>
- Linlin, S. (2013). *Medición del potencial de generación de agua ácida para un relave en la zona central del Perú y sus necesidades de neutralización*. Lima.
- Lloréns, M., Pérez, A., Aguilar, M., Ortuño, J., Meseguer, V., & Sáez, J. (s.f.). Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de percolación híbrido. *Dpto. Ingeniería Química*.
- López, E., & Alvarado, D. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 387-396.
- Muñoz, M. J. (2011). *Características y usos de los diagramas de Pourbaix*.
- Nordberg, G. (2012). Metales: propiedades químicas y toxicidad . *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo* , 78.
- Palomeque, S. (1990). *Cuenca en el siglo XIX: la articulación de una región* (Vol. 2). Editorial Abya Yala.

- Penedo , M., Manals, E., Vendrell, F., & Salas, D. (2015). Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología Química*, 35(1), 101-124.
- Pérez , J., & Higuera, O. (2008). Análisis termodinámico de especies cianuradas de oro, plata y cobre sometidas a cementación con zinc y aluminio. *Scientia et Technica*, 1(38), 155-160.
- Pérez, G., Escalante , A., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- Reyes, Y. C., Vergara , I., Torres, O. E., Días , M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 66-77.
- Rueda, L., & Romero, D. (2017). Desarrollo de modelo didáctico de columnas filtrantes a partir de los requerimientos técnicos de los laboratorios del área de geotecnia e hidráulica.
- Sarmiento, P. (2015). *Gobierno autónomo descentralizado parroquia San Andrés de Taday* .
- Skoog, D., West, D., & Holler, J. (1997). *Fundamentos de química analítica* (Vol. 2). Reverté.
- Soto, M. (2018). Geotecnia en suelos no saturados. *Revista académica*, 471-481.
- Sucasaire, P. (2018). *Nivel de conocimiento de los alumnos de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, respecto a los tipos de metales pesados que contaminan el medio ambiente-2017*. Puno.
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109-123.
- Toledo, F. (2015). *Diagnostico: Plan del buen vivir y ordenamiento territorial* . Azogues.
- Torres, G., & Zamudio, A. (2018). Evaluación de adsorción de Pb (II) en biocarbones obtenidos a partir de cuesco de la palma de aceite y su aplicación para remediación de aguas contaminadas.
- Uriarte, J. (2018). *Características* . Obtenido de Características : <https://www.caracteristicas.co/zinc/#ixzz5zw2asZXX>
- Zevallos, J. (2016). *Estabilizacion del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la empresa Paraiso Perdido APATA*. Huancayo.

ANEXOS

Anexo 1: Recolección del agua a tratar



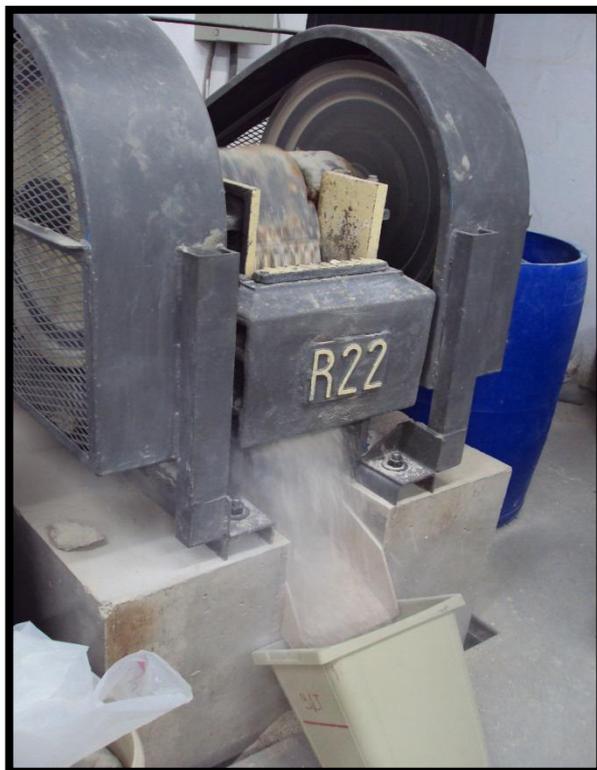
Anexo 2: Análisis del pH del agua



Anexo 3: Estructura de las columnas de percolación



Anexo 4: Trituración primaria



Anexo 5: Homogenización



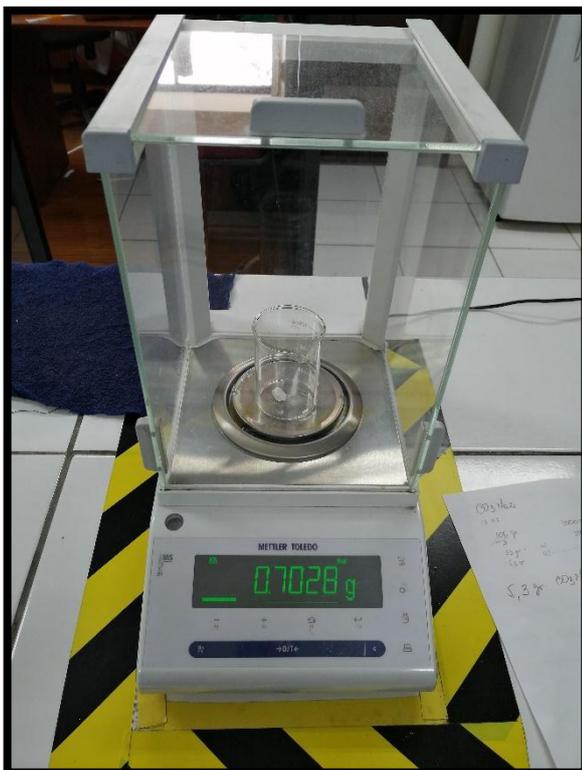
Anexo 6: Tamices utilizados



Anexo 7: Peso de los filtros



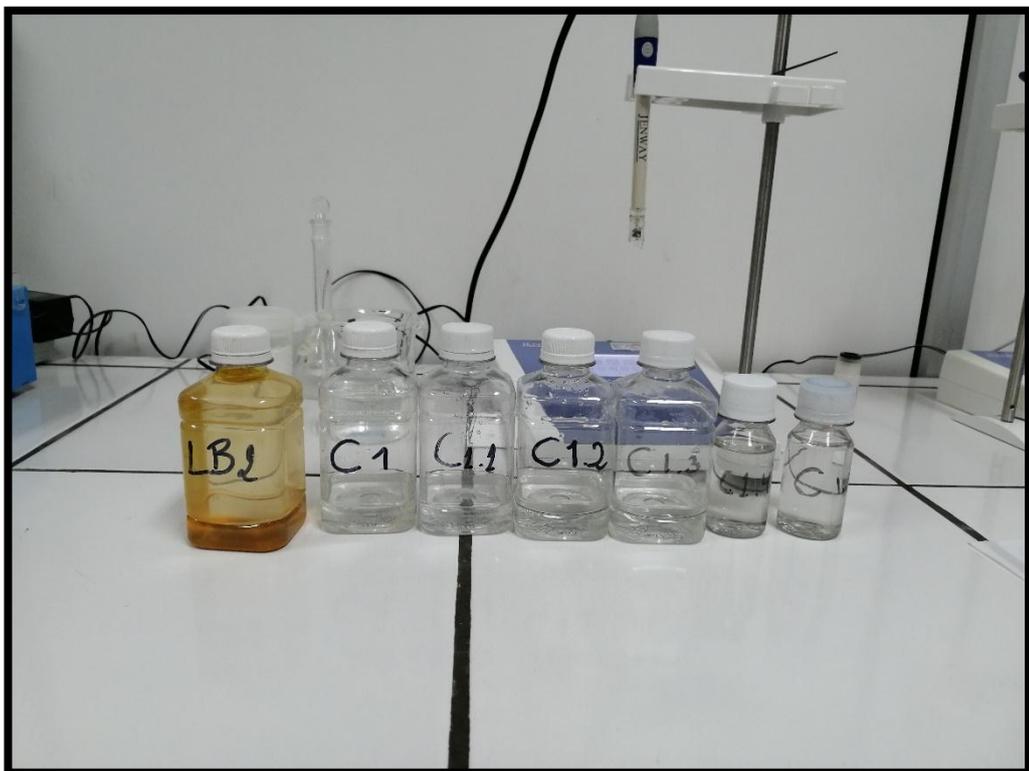
Anexo 8: Densidad de los filtros



Anexo 9: Pureza de caliza



Anexo 10: Muestras



Anexo 11: Línea base



INFORME DE ENSAYO N° 5849

Cliete : Juan Pablo Zambrano
Dirección : Tomas de Heres y Mariano Cueva
Tipo de Muestra : Solución
Envase : Frasco Plastico
Condición de las Muestras : En buenas condiciones para ser analizada
N° de Recepción de Muestras : 4097
Fecha de Recepción : 2019-07-29
Inicio Análisis : 2019-07-29
Término Análisis : 2019-07-29

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMP N°	Cod. Alb.	Cu	Pb	Zn	Fe	Sb	As	Hg	Ag	Bi
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LB1	1	62357	1.96	0.01	52.55	273.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60

Au, Ag: Elementos con designación del MIPRO. Resolución N°. 16455.
 Comp. N°: Número de muestras que conforman el compósito./Cod. Alb.: Código Albexxus
 Au**, Ag**: Promedio Ponderado (Método Newmont)

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Ver. 03. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02 Ver. 02 Determinación de Metales por Digestión con HNO₃ (cc) por Absorción Atómica.

COMENTARIOS:

Cinthia Ríos Aguilar
 Jefe de Laboratorio



Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio ALBEXXUS.
 Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.
 Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses

Página 1 de 1

Anexo 12: Análisis de laboratorio de la primera pasada



INFORME DE ENSAYO N° 5908

Cliente : Juan Pablo Zambrano
Dirección : Tomas de Heres y Mariano Cueva
Tipo de Muestra : Solución
Envase : Frasco Plastico
Condición de las Muestras : En buenas condiciones
N° de Recepción de Muestras : 4139
Fecha de Recepción : 2019-08-02
Inicio Análisis : 2019-08-02
Término Análisis : 2019-08-02

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMP N°	Cod. Alb.	Cu	Zn	Fe
			ppm	ppm	ppm
C1	1	62454	0.00	5.88	0.00
C2	1	62455	0.00	3.22	0.00
C3	1	62456	0.00	1.44	0.00

Au, Ag: Elementos con designación del MIPRO. Resolución N°. 16455.
 Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto./Cod. Alb. : Código Albexxus
 Au**, Ag**: Promedio Ponderado (Método Newmont)

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Ver. 03. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02 Ver. 02 Determinación de Metales por Digestión con HNO₃ (cc) por Absorción Atómica.

COMENTARIOS:

Cinthia Ríos Aguilar
 Jefe de Laboratorio

Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio ALBEXXUS.
 Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.
 Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses

Página 1 de 1

Anexo 13: Análisis de laboratorio de la segunda pasada



**INFORME DE ENSAYO
N° 5923**

Cliente : Juan Pablo Zambrano
Dirección : Tomas de Heres y Mariano Cueva
Tipo de Muestra : Solución
Envase : Frasco Plastico
Condición de las Muestras : En buenas condiciones para ser analizada
N° de Recepción de Muestras : 4148
Fecha de Recepción : 2019-08-05
Inicio Análisis : 2019-08-05
Término Análisis : 2019-08-05

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMP N°	Cod. Alb.	Cu	Zn	Fe
			ppm	ppm	ppm
C1.1	1	62476	0.00	2.41	0.00
C2.1	1	62477	0.00	1.41	0.00
C3.1	1	62478	0.00	0.21	0.00

Au, Ag: Elementos con designación del MIPRO. Resolución N°. 16455.
 Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto./Cod. Alb. : Código Albexxus
 Au**, Ag**: Promedio Ponderado (Método Newmont)

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Ver. 03. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02 Ver. 02 Determinación de Metales por Digestión con HNO₃ (cc) por Absorción Atómica.

COMENTARIOS:

PH Referencial -62476: 7.0 -62477: 7.0 -62478: 7.5

Cinthia Ríos Aguilar
Jefe de Laboratorio



Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio ALBEXXUS.
 Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.
 Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses

Anexo 14: Análisis de laboratorio de la tercera pasada



**INFORME DE ENSAYO
N° 6010**

Cliente : Juan Pablo Zambrano
Dirección : Tomas de Heres y Mariano Cueva
Tipo de Muestra : Solución
Envase : Frasco Plastico
Condición de las Muestras : En buenas condiciones para ser analizada
N° de Recepción de Muestras : 4218
Fecha de Recepción : 2019-08-15
Inicio Análisis : 2019-08-15
Término Análisis : 2019-08-15

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMP N°	Cod. Alb.	Zn
			ppm
C1.2	1	62691	0.71
C2.2	1	62692	0.01
C3.2	1	62693	0.00

Au, Ag: Elementos con designación del MIPRO. Resolución N°. 16455.
 Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto./Cod. Alb. : Código Albexxus
 Au**, Ag**: Promedio Ponderado (Método Newmont)

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Ver. 03. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02 Ver. 02 Determinación de Metales por Digestión con HNO₃ (cc) por Absorción Atómica.

COMENTARIOS:

PH: 7

Cinthia Ríos Aguilar
Jefe de Laboratorio



Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio ALBEXXUS.
 Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.
 Los remanentes o testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

Anexo 15: Análisis de laboratorio de la cuarta pasada



INFORME DE ENSAYO
N° 6064

Cliente : Juan Pablo Zambrano
Dirección : Tomas de Heres y Mariano Cueva
Tipo de Muestra : Solución
Envase : Frasco Plastico
Condición de las Muestras : En buenas condiciones
N° de Recepción de Muestras : 4264
Fecha de Recepción : 2019-08-21
Inicio Análisis : 2019-08-21
Término Análisis : 2019-08-22

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMP N°	Cod. Alb.	Zn
			ppm
C1.3	1	62872	0.26
C2.3	1	62873	0.00
C3.3	1	62874	0.00

Au, Ag: Elementos con designación del MIPRO. Resolución N°. 16455.
 Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto./Cod. Alb. : Código Albexxus
 Au**, Ag**: Promedio Ponderado (Método Newmont)

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Ver. 03. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02 Ver. 02 Determinación de Metales por Digestión con HNO3 (cc) por Absorción Atómica.

COMENTARIOS:

Cinthia Ríos Aguilar
Jefe de Laboratorio



Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio ALBEXXUS.
 Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.
 Los remanentes o testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

Anexo 16: Análisis de laboratorio de la quinta pasada



INFORME DE ENSAYO
Nº 6246

Cliente : Juan Pablo Zambrano
Dirección : Tomas de Heres y Mariano Cueva
Tipo de Muestra : Solución
Envase : Funda Plástica
Condición de las Muestras : En buenas condiciones para ser analizada
Nº de Recepción de Muestras : 4375
Fecha de Recepción : 2019-09-04
Inicio Análisis : 2019-09-04
Término Análisis : 2019-09-04

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMP Nº	Cod. Alb.	Zn
			ppm
C1.4	1	63308	0.20

Au, Ag: Elementos con designación del MIPRO. Resolución N°. 16455.
 Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto./Cod. Alb. : Código Albexxus
 Au**, Ag**: Promedio Ponderado (Método Newmont)

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Ver. 03. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02 Ver. 02 Determinación de Metales por Digestión con HNO3 (cc) por Absorción Atómica.

COMENTARIOS:

PH: 7

Cinthia Ríos Aguilar
 Jefe de Laboratorio



Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio ALBEXXUS.
 Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.
 Los remanentes o testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

Anexo 17: Análisis de laboratorio de la sexta pasada



**INFORME DE ENSAYO
N° 6281**

Cliente : Juan Pablo Zambrano
Dirección : Tomas de Heres y Mariano Cueva
Tipo de Muestra : Solución
Envase : Funda Plástica
Condición de las Muestras : En buenas condiciones para ser analizada
N° de Recepción de Muestras : 4401
Fecha de Recepción : 2019-09-09
Inicio Análisis : 2019-09-09
Término Análisis : 2019-09-09

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMP N°	Cod. Alb.	Zn
			ppm
C.1.5	1	63380	0.16

Au, Ag: Elementos con designación del MIPRO. Resolución N°. 16455.
 Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto./Cod. Alb. : Código Albexxus
 Au**, Ag**: Promedio Ponderado (Método Newmont)

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Ver. 03. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02 Ver. 02 Determinación de Metales por Digestión con HNO3 (cc) por Absorción Atómica.

COMENTARIOS:

Cinthia Ríos Aguilar
Jefe de Laboratorio



Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio ALBEXXUS.
 Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.
 Los remanentes o testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.