



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Industrial

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

**Implementación de un módulo de tratamiento de
efluentes mineros que contienen metales pesados**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Industrial

AUTOR

Shadia Suheily ATTE OYARCE

ASESOR

Oscar Rafael TINOCO GÓMEZ

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Atte, S. (2021). *Implementación de un módulo de tratamiento de efluentes mineros que contienen metales pesados*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	SHADIA SUHEILY ATTE OYARCE
DNI	73069671
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	OSCAR RAFAEL TINOCO GOMEZ
DNI	08606920
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-2548-2160
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.8. Ingeniería y Tecnologías Limpias
Grupo de investigación	Producción más limpia - PML
Agencia de financiamiento	FINCYT. Perú. Fondos para la investigación en Ciencia y Tecnología. Proyecto de Investigación Aplicada- Código PIAP-2-P-461-14.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Laboratorio Ingeniería Textil País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Avenida: Germán Amezaga 325 Latitud: -12.05715 Longitud: -77.08341

Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2014 - junio 2021 2014 - 2021
URL de disciplinas OCDE	Biorremediación, Biotecnologías de diagnóstico en la gestión ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00 Biotecnología industrial. https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00



VICEDECANATO ACADÉMICO

“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

ACTA DE SUSTENTACIÓN NO PRESENCIAL Nº024-VDAP-FII-2021

SUSTENTACIÓN DE TESIS NO PRESENCIAL (VIRTUAL) PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA INDUSTRIAL

El Jurado designado por la Facultad de Ingeniería Industrial, reunidos de manera virtual a través de video conferencia, el día **jueves 19 de agosto de 2021**, a las 11:00 horas, se dará inicio a la sustentación de la tesis:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES MINEROS QUE CONTIENEN METALES PESADOS”

Que presenta la Bachiller:

SHADIA SUHEILY ATTE OYARCE

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Industrial en la Modalidad:
Ordinaria.

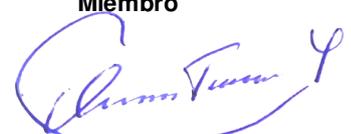
Luego de la exposición virtual, absueltas las preguntas del Jurado y siendo las 12:10 horas se procedió a la evaluación secreta, habiendo sido **APROBADA por UNANIMIDAD** con la calificación promedio de **DIECIOCHO (18)**, lo cual se comunicó públicamente.

Lima, 19 de agosto del 2021


MG. JULIO ALEJANDRO SALAS BACALLA
Presidente


MG. DANIEL HUMBERTO MAVILA HINOJOZA
Miembro


ING. EDGARDO AURELIO MENDOZA ALTEZ
Miembro


DR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ
Asesor



Firmado digitalmente por RAEZ
GUEVARA Luis Rolando FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 20.08.2021 17:24:37 -05:00

MG. LUIS ROLANDO RAEZ GUEVARA
Vicedecano Académico – FII

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis:

A mis padres, Rómulo y Blanca.
A mi hermanita Solange (Solcito) quien me
acompaña y guía desde el cielo.

Por el amor recibido, la dedicación y la paciencia
con la que cada día se preocupaban por mi
desarrollo. Siendo los principales promotores
para cumplir con mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios, por haberme permitido vivir tan buena experiencia dentro de mi Universidad.

Gracias a mi Alma Mater, por convertirme en una profesional que siempre anhele.

Gracias a cada profesor que formó parte de este proceso de formación integral con principios y valores.

Gracias al Dr. Oscar Tinoco Gómez, quien además de ser un excelente asesor, fungió como un mentor en mi camino para realizar el trabajo de investigación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Situación problemática.....	3
1.2. Formulación del problema.....	5
1.3. Problemas Específicos.....	5
1.4. Justificación de la investigación.....	5
1.5. Objetivos de la investigación.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	19
2.2.1. Efluentes mineros.....	19
2.2.2. Metales pesados.....	21
2.3. Glosario.....	33
3. HIPOTESIS Y VARIABLES.....	34
3.1. Hipótesis General.....	35
3.2. Hipótesis Específicas.....	35
3.3. Identificación de variables.....	35
3.3.1. Variable independiente.....	35
3.3.2. Variable dependiente.....	36
3.4. Operacionalización de las variables.....	36
3.5. Matriz de consistencia.....	36
4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	36
4.1. Tipo y diseño de Investigación.....	36
4.2. Unidad de análisis.....	37
4.3. Población de estudio.....	37
4.4. Técnicas de recolección de datos.....	37
5. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS.....	37
6. VERIFICACIÓN HIPÓTESIS.....	47
CONCLUSIONES.....	49

RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS.....	54

INTRODUCCIÓN

Nuestro país, tiene en la actividad minera, una importante actividad, si no es la principal, actividad económica. Esta actividad se puede considerar como uno de los motores de la economía, puesto que de esta actividad dependen muchos empleos, ya sea en forma directa o de forma indirecta. Pero al mismo tiempo, esta actividad, por las características que tienen sus operaciones, genera conflictos de toda índole, principalmente del orden ambiental, en más de una de sus categorías, agua, suelo, aire, paisaje, etc.

Actualmente, nuestro país tiene conflictos latentes, en varias regiones, con respecto a proyectos mineros, con mucho potencial minero y por lo tanto con ingentes recursos para el estado, pero también con potencial para alterar el medio ambiente o alterar la vida de los seres vivos que confluyen en la zona de extracción, como son los casos de Conga, Tía María o Yanacocha. Estos proyectos mineros, con enorme potencial minero, han sobrepasado las fronteras, como fuentes de posible alteración del medio ambiente, por las condiciones de las operaciones mineras, que no protegen el medio ambiente, al hacer uso de sustancias tóxicas para las operaciones. Tanto, las organizaciones civiles nacionales e internacionales, al igual que la población aledaña, se oponen a que de desarrollen o se implementen estas operaciones mineras.

En esta tesis, se propone una alternativa a la contaminación del medio ambiente, por ciertas operaciones mineras, como es la utilización esponjas de poliuretano, mediante un Módulo que permitirá el tratamiento, principalmente de fluidos o efluentes que se derivan de las operaciones mineras, que posteriormente permita que estos afluentes puedan participar de un proceso de biorremediación.

RESUMEN

La presente tesis, propone el diseño, desarrollo y utilización de un Módulo de Tratamiento de efluentes mineros utilizando esponjas de poliuretano. Su actividad principal es llevar los efluentes de la actividad minera, con alto contenido de metales pesados, hasta límites permisibles.

Tras una evaluación inicial de un conjunto de unidades mineras, se localizó el estudio en la Mina Julcani, en donde se tomaron y analizaron las muestras de efluentes, para caracterización y análisis. Luego, se llevó a cabo la búsqueda de floculantes para un tratamiento primario, para luego llevarlos a un biorreactor con esponjas de poliuretano para el tratamiento correspondiente.

La presente tesis, demuestra aplicaciones prácticas de algunos conceptos relacionados a la biorremediación y aplicación técnica, en el diseño del módulo, por lo tanto, los métodos utilizados que derivan de concepto sobre la teoría de biorremediación, nos ayudan al diagnóstico de problemas en las unidades mineras, que pueden ser aplicados en unidades similares y nos ayudan también a encontrar la solución a estos problemas diagnosticados.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

En el Perú, el drenaje de las lluvias que caen sobre las minas generan efluentes en este caso líquidos, otra fuente de origen de efluentes mineros se encuentra en el desarrollo de las actividades, en general que se realizan en las minas, estas actividades forman parte del proceso principal de la mina.

El drenaje de las lluvias que generan efluentes, ocurre porque las lluvias caen sobre la parte de las escombreras, la lluvia se filtra en la escombrera, se infiltra en la misma y por su interacción ocurre un proceso de oxidación, proceso de lavado y fundamentalmente un proceso e hidrólisis, y otros, todos estos procesos generan efluentes.

El proceso de concentrado de minerales por vía húmeda, también genera efluentes. En general, en todo proceso que utiliza agua, como por ejemplo el lavado de instalaciones, también generan efluentes líquidos mineros. Todos estos efluentes, cualquiera sea el origen, es necesario controlarlos, para evitar contaminación.

En la industria minera del Perú, los intentos para el tratamiento de estos efluentes son diversos, incluso se han utilizado métodos físico-químicos, en otros casos métodos biológicos, por lo tanto, el gobierno, la industria y la academia, comparten las preocupaciones para encontrar métodos que permitan reducir la contaminación, en forma económica y viable.

La empresa, destinataria de este diseño del Módulo de Tratamiento de efluentes mineros, es una Unidad Minera localizada en Julcani, Huancavelica, a más de 4200 msnm.

El contenido de los efluentes mineros, en la zona en estudio, contiene, entre otros, metales pesados: como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, mercurio, selenio, níquel, cadmio, arsénico coliformes termotolerantes, DBO, DQO, entre otros.

Considerando que las características de los efluentes varían de una mina a otra, e incluso dentro de la misma mina, se debe considerar a cada efluente como un caso específico, que debe ser analizado de manera particular.

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es la ocurrencia de conflictos sociales y ambientales, con poblaciones ubicadas en la cercanía de unidades mineras, en donde, la mayoría de veces, los pobladores se dedican a la actividad agrícola. El agua, para ellos, cobra vital importancia.

En base a todos lo anunciado anteriormente, se propone en el presente trabajo de investigación, formular tres problemas específicos, que contribuyen a formulación del problema general, que se formula a continuación.

1.2. Formulacióndel problema

¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?

1.3. Problemas Específicos

¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con coagulantes y floculantes permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?

¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?

¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?

1.4. Justificación de la investigación

Las protestas sociales respecto a los estándares ambientales de la actividad minera pueden y deben disminuir mediante la aplicación de tratamientos alternativos de sus efluentes.

Es necesario el estudio ya que el desarrollo tecnológico y el rápido crecimiento de las actividades en la industria minera han ocasionado nuevos y variados problemas relacionados a la contaminación ambiental.

1.5. Objetivos de la investigación

En la presente investigación se proponen tres objetivos específicos, cuyo cumplimiento, nos lleva a cumplir con el objetivo general de la investigación, que se determina a continuación.

1.5.1. Objetivo General

Determinar en qué medida la implementación de un Módulo de Tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar en qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con coagulantes y floculantes permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles
- Determinar en qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles

- Determinar en qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se ha mencionado los casos emblemáticos de conflictos producidos en Yanacocha, Conga y Tia Maria, con graves daños al ambiente, conflictos sociales violentos y actividad minera suspendida.

Diversos organismos nacionales (OEFA) e internacionales (FUR) han llamado la atención respecto a la imperiosa necesidad de un manejo científico y técnico tanto de efluentes como de los mismos conflictos.

Rimarachin, P & Huaranga, F (2015) Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. Revista SCIENDO 18(2): 20-29, 2015

- Mediante métodos pasivos y también mediante métodos activos, se trataron los fluidos considerados como efluentes metalúrgicos y mineros. En el relave minero, se encontraron metales pesados. Como todos sabemos los relaves mineros son considerados, para la salud humana y el sistema ecológico, como una de las fuentes de contaminación.

- En la utilización del método activo, la técnica utilizada fue la de ósmosis inversa, mediante una artesanal membrana semipermeable.
- En la utilización del método pasivo, el elemento principal fue el compost y seguido del humus. Para la reacción se utilizó, el flujo estable, técnica de flujo muy utilizada en la industria, planteada por Smit (1999).
- Mediante los espectrofotómetros marca Perkin Elmes modelo 601, se realizó el análisis de las muestras y se encontró por sus características numéricas, que sería importante aceptar sus valores cuantitativos para todas las muestras, considerando metales con características pesadas, como el Hg, Cu, Cd, Zn, Pb y As.
- En el proceso de remoción, sistema que utiliza humus y compost, se establecieron los parámetros de 95% para el compost de Pb, 85% para el humus de Zn y 97% para la remoción de Hg, Cu, determinó que se puede retirar material de Cu, también del compuesto por As, también el Cd y considerables partes de Hg incluso con valores por encima del 97 %, Zn, Cd y As.
- En el caso del compost con membrana la retención fue del 99% para el Cu. En el caso del humus con membrana la retención fue del 98% para el Cu. El Cu fue el metal que presentó más condiciones para reducidas cantidades que retienen la sustancia principal.
- También considerando las condiciones artesanales de la membrana semipermeable, los afluentes con metales pesados, fue

retenido en niveles superiores al 99%, tanto el Zn, como el Pb y el As. Algunos metales fueron totalmente retenidos, por ejemplo, el HG y Cd.

Esta investigación termina con la conclusión que la capacidad de remoción de metales, se incrementa, mediante la utilización de humus y compost. Si en este proceso incrementamos el uso de una membrana semipermeable, el proceso se optimiza en función de los resultados esperados.

En el trabajo de Pinillos(2013), referido a su tesis de grado, obtenido en la UNI, específicamente de la carrera de Ingeniería Ambiental, habla de la mina Marcapunta Oeste, y la forma de remoción de metales pesados, que se utilizaron para tratar a los efluentes de la mina.

- Los análisis en laboratorio certificado determinaron que había un alto contenido de sólidos totales suspendidos de 0.296 mg/L de plomo, 240mg/L, 1,852 mg/L arsénico, 59,25 mg/L de fierro y 13,52 mg/L de cobre, en el principal efluente de la mina Marcapunta Oeste que es en este caso, agua ácida por tener con 5,0 Unidades de pH.
- El método anterior consistía en adicionar mediante la experiencia, floculantes, sulfuro de sodio en cantidades óptimas y lechadas de cal. En este proceso la fuente de contaminación, es muy fuerte y a pesar de realizar este proceso, la contaminación se mantiene con 5,73 mg/L de fierro y 1, mg/L de cobre con 5,6 unidades.

- En este proceso se forma flóculos en el seno del efluente precipitándolo en el sedimentador. Adicionando al proceso floculante, de esta forma el procedimiento obtiene agua limpia con valores metálicos no deseados, inferiores a lo establecido en la norma vigente citada.
- El desarrollo de una alternativa se realizó aplicando el método de oxidación, adición de cal y floculante. Esta técnica, ambiental económica, que permita la remoción de los metales pesados del efluente.
- En la Tabla 15 se pueden ver el resultado, considerando el promedio de cada una de las tres pruebas, que se realizó en el Laboratorio de la UNI. Se obtuvieron entre otros, los siguientes valores: Plomo 0,095 mg/L, Arsénico 0,048 mg/L, Cobre 0,076 mg/L, Hierro 0,74 mg/L, en pH 7,06 Unidades, Sólidos Totales Suspendidos 25,9 mg/L, y otros metales o cantidades menores (Ver Tabla N° 15).
- En la Tabla 16, se puede ver que se logró una eficiencia de remoción mayor al 90 %. Estos valores son inferiores a lo establecido en el D.S. 010-2010-MINAM. (Ver Tabla N° 16).

Romero, A; Arévalo, W (2012) Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial 13(1): 85-90 (2010) UNMSM

- En este caso, el componente de mayor proporción en el afluente, fue mineral de cobre. La presencia de cobre en el afluente, se redujo en 94%. El proceso que se utilizó para reducir la presencia de cobre, fue con utilización de dolomita natural. Inicialmente la concentración del cobre en el afluente fue de 561 ppm o simplemente 0,561 g/lit. Después del proceso de reducción con dolomita, la presencia de cobre fue de 31 ppm o simplemente 0,031 g/lit.
- En la tesis se expone la forma de utilizar la dolomita natural en el proceso de reducción del cobre y las ventajas de este proceso con respecto a otros procesos y los resultados que se obtuvieron al utilizar este proceso.

Heredia, María (2015). Remoción de cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante. Tesis de Maestría, UNI, Lima, Perú.

- En este caso, el sistema de tratamiento de los efluentes de la mina, es mediante la neutralización y dosificación de cal, en forma de lechada. El sistema utiliza las aguas tratadas para servicio de la comunidad, en el riego de sus plantaciones y consumo animal es decir los animales de estas comunidades consumen el agua tratada. El exceso del agua tratada, es usado por la misma mina, ya sea para afirmar el terreno, tanto dentro del campo minero, como en los exteriores. El sistema de tratamiento, cuenta con una Planta de Tratamiento de los efluentes, que capta todo el desagüe del fondo del tajo, mediante bombeo. El agua es captada en la

mina, mediante afloramiento, por la utilización de taladros horizontales o filtraciones que ocurren en el tajo.

- En la tesis, se explica que el D.S..Nro.010-2010-MINAM, se establecieron los Límites Máximos Permisible o simplemente LPM, para los principales metales, que contaminan el ambiente. El cadmio se encuentra entre los metales, que incluye este D.S. y específicamente el LPM para el Cadmio, el valor de la concentración total, debe ser 0,05 mg/L. Considerando lo explicado anteriormente, la remoción del cadmio, con el proceso indicado es de 0,1 mg/L. Entonces, como se puede observar, bajo estas condiciones, el agua tratada no es posible mezclarla, o descargarla, en aguas utilizadas por la comunidad. En este caso, la concentración del cadmio, que se encuentra por encima del nivel mínimo, no lo permite.
- Antes esta realidad, en la tesis se propone la utilización de un reactivo, que debe cumplir un papel reactivo secuestrante. En este campo existen varios elementos que se pueden utilizar para este fin, como por ejemplo la sal trisódica, trimercapto S Triazina. Esta sal trosódica, logra en la Planta de Tratamiento, reducir la carga del cadmio a valores menores que los permitidos por la norma DS010-2010MINAM.

Flores, S (2009). Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita. Tesis de Maestría, UNMSM. Perú.

- En este caso se trata de efluentes metalúrgicos y de lixiviación, fundamentalmente en la flotación. La utilización de la dolomita, es para adsorber el cobre, otros metales en forma de iones, también son adsorbidos.
- Se utilizó en esta investigación la Dolomita Natural de Tingo María, también se utilizó como Agregados Calcáreos, la Dolomita Comercial y también se utilizó la Dolomita en estado calcinado. Para el tratamiento de remediación del cobre, en esta investigación se basaron en la cinética de reacción y mediante pruebas experimentales, se llegaron a conclusiones interesantes.
- También se especifica en la tesis, las características del proceso en el cual se utiliza la dolomita en dos tipos diferentes. Entre los dos tipos existe una significativa diferencia en el tamaño de la partícula, estos tipos son, la dolomita comercial de Agregados Calcáreos y la Dolomita Natural de Tingo María.
- El diseño experimental determinó que 2 gramos es el peso óptimo de la dolomita, para una eficiencia en todo el proceso de reducción. El valor óptimo que se obtuvo fue de 2/100 para la relación completa.
- El diseño experimental determinó que 525 RPM es la velocidad de agitación de dolomita en la mezcla, para una eficiencia en todo el proceso de reducción, específicamente cuando se usa de Agregados Calcáreos la dolomita comercial.

Nina, M (2008). Evaluación de los métodos químicos y biogénico para

eltratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorioCaso:
Mina Cerro de Pasco. Tesis de Maestría, UNMSM. Perú.

- En este caso la hipótesis propuesta en la tesis de investigación, fue que el método biogénico para el tratamiento de efluentes, en el cual se drenan los ácidos, es el método más eficiente y adecuado para la mina Cerro de Paco, desde un punto de vista técnico. Los resultados de laboratorio realizados a las pruebas que se tomaron, se consiguió remover cobre en 99 por ciento, los sulfatos se removieron en 97 por ciento, el mineral de hierro presentó una remoción de 99 por ciento, la presencia de zinc se removió en 99 por ciento también y el mineral de plomo presentó una remoción de 96 por ciento. El método biogénico fue comparado con el método químico, en el cual se obtuvieron porcentajes de remoción menores, por ejemplo con respecto a los sulfatos se obtuvo el 70%. El método biogénico, en dos etapas, presenta otras ventajas, puesto que no es necesario utilizar cal ni los hidróxidos de sodio para el aumento del pH, adicionalmente el método biogénico no genera iones hidróxidos inestables, protegiendo el medio ambiente, lo que genera son sulfuros de los metales que se precipitan, lo cual posteriormente se pueden recuperar y utilizarse nuevamente con un fin comercial. Por lo tanto, en esta tesis la hipótesis fue demostrada.
- En la tesis se explica que en la Mina Cerro de Pasco, abunda la Pirita, que es el principal generador de los DAM, por lo tanto este

es el elemento que se utiliza en la caracterización del análisis químico, para el proceso de drenaje ácido.

- También se explica en la tesis, que se tomaron bacterias de los Pantanos de Villa, bacterias como la Desulfococcus, Desulfovibrio y Sulfuromonas, las cuales fueron necesarias, en primer lugar identificar la presencia de estas bacterias, luego aislarlas entre si y de otra bacterias y finalmente cuantificar la cantidad necesaria.
- En la tesis, también se hace referencia a los equipos utilizados y se declara por ejemplo que hubo limitaciones en el uso de equipo especializado, por lo tanto no se realizaron análisis cuantitativos de los sulfuros de hidrógeno, estos fueron analizados sólo cualitativamente, después de haberse obtenido mediante el proceso biogénico.
- Según la ley de aguas del Perú, DL 17752, el límite máximo permisible para sulfatos es de 400 mg/L en aguas clasificadas como clase 4. Mediante el método químico, en el cual se utilizó cal para la neutralización la concentración de sulfatos se redujo a 125 ppm, pero lógicamente esta cantidad está por encima de la permitida por ley. En cambio, se explica en la tesis, el método biogénico se consiguió que la concentración de sulfato se reduzca a 125 ppm, lo cual demuestra la eficiencia tecnológica del proceso de drenaje y protección del medio ambiente.

Anco, Percy (2004). Procedimiento para la separación del cromo hexavalente de efluentes mineros. Tesis de Maestría, UNMSM. Perú.

- El uso de bisulfito de sodio en los efluentes mineros presentamejores ventajas técnicas y económicas que los demás agentes reductores empleados en la industria
- La modificación de pH en el tratamiento previo con ácido sulfúrico para luego añadir un agente reducto, permite un menor consumo de agente reductor.
- La eliminación de cromo de los efluentes por precipitación como $\text{Cr}(\text{OH})_3$, difícilmente soluble, permite su recuperación posterior como subproducto y/o depositarlos en las canchas de relaves.
- Los valores mínimos de Cromo que todavía están en las soluciones están en concentraciones muy por debajo de los límites máximos permisibles
- Esta tecnología se puede emplear como un tratamiento medio ambiental de bajo costo, por empresas que usan el dicromato en sus operaciones metalúrgicas de separación plomo-cobre.

Panigatti et all (2011). Uso de *escherichia coli* para biorremediación de efluentes contaminados por cromo (VI). Tesis Universidad Tecnológica San Rafael, Santa Fé, Argentina.

- En esta tesis se explica se utiliza la bacteria *Escherichia coli*, que según explica la tesis, presentó mucha tolerancia a la presencia de croo hexavalente. Los materiales utilizados como medios de soporte fueron la arena y en otros casos, se utilizó material plástico. En la tesis se explica que se utilizó esta bacteria, para diferentes niveles de concentración de cromo. Se comprueba el

crecimiento bacteriano, inversamente proporcional a nivel de concentración del cromo.

- En la tesis se explica que la tolerancia de la bacteria, que se utiliza para reducir el cobre, *Escherichia coli*, se expresa como la propiedad de adaptabilidad de la cepa y la capacidad de bio-reducción. La concentración aceptada del cromo, llegó 200 mg-L. La detoxificación es el mecanismo de adaptabilidad.
- En la tesis se explica que, los resultados que se obtienen, se deben al uso material de soporte, de elevado nivel de superficie de este material, que genera un incremento en la concentración de bacterias, que al mismo tiempo eleva reduce la concentración de cromo hexavalente.
- También se explica en esta tesis que, que la existencia en los afluentes, de otros metales, hace que el proceso en el cual se reduce el cromo, sea lento, pero no existe una inhibición del mismo. En cuanto a los soportes, en la tesis se explica que existe ausencia de algún mecanismo de absorción.
- Los resultados que se obtuvieron en esta tesis, demuestran que existe un potencial para la remoción del cromo hexavalente de los afluentes de las minas, si se utiliza la bacteria *Escherichia coli*. En este trabajo de investigación se usaron dos mecanismos de reducción; la biorreducción y la precipitación química de cobre, que provoca pH de trabajo.

- Finalmente, una de las conclusiones a las que se llega en la tesis, es que la reducción de cobre, que se hizo mediante biorreducción se puede hacer en forma industrial, ajustando algunos parámetros.

Con respecto a la implementación de biorremediación con bacterias, como parte del tratamiento de los efluentes, se ha conseguido la siguiente información:

García y Barragán (2008) en un trabajo sobre “Inmovilización microbiana: técnicas y usos en el tratamiento de residuos tóxicos”, destaca que la aplicación de la inmovilización en microorganismos presenta ciertas ventajas, como son una mayor resistencia a concentraciones altas de compuestos tóxicos, incremento en la actividad catalítica y la formación de microambientes necesarios para la degradación de compuestos recalcitrantes. Reporta en tal sentido técnicas pasivas y activas. El uso del poliuretano forma parte de las técnicas pasivas de inmovilización, material ampliamente usado gracias a su resistencia a condiciones ambientales diferentes.

Martinez y Garcia (2012), en un balance del estado del arte respecto de las Aplicaciones ambientales de microorganismos ‘inmovilizados’, señalan la importancia del uso de las bacterias en el proceso en el que se remueven los metales pesados y destaca la introducción, en el proceso, ‘microorganismos inmovilizados permite establecer micrositios con una población microbiana ‘única que ‘trabaja de forma interactiva en la remoción del ‘compuesto de interés.

Ambos autores reseñan que para el propósito de inmovilizar bacterias se han usado diferentes elementos, entre ellos biopolímeros, así como materiales sintéticos como el poliuretano (Oh y col., 2000).

Por otro lado, Chitiva y Dussan (2003) reportan el uso de tres tipos de materiales como matriz de inmovilización de bacterias, en donde destacan al poliuretano. Concluyen que la inmovilización en la espuma de poliuretano se logra debido a la habilidad que tienen los microorganismos de adherirse a una superficie. Cuando este tipo de inmovilización ocurre se le llama adsorción y es posible debido a la afinidad de la pared celular del microorganismo con el polímero con el que está en contacto.

Pellón (2005), en un reporte sobre remediación de efluentes contaminados, reporta que el *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado resultó efectivo en la eliminación de los iones cromo y cadmio presentes en las aguas residuales de un taller de galvanotecnia con una eficiencia del 92,40 y 95,0 % respectivamente.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Efluentes mineros

En nuestro país, se reconoce que en las minas, se realiza la principal actividad; la extracción de metales, esta actividad está reconocida económicamente como una de las principales del país. La actividad minera en nuestro país, genera un porcentaje importante de los recursos, del estado. Se puede dar en forma formal, o informal. En el

caso formal, las empresas que participan de esta actividad, en su mayoría cumplen con las normas del estado en cuando al cuidado del medio ambiente. En cuando al ámbito informal, las empresas que participan de esta actividad, se encuentran fuera de la ley, y por lo tanto no se encuentran auditadas externamente y por lógica, alteran el medio ambiente.

Esta investigación se propone plantear alternativas, que nos lleven a mitigar de buena forma el impacto ambiental negativo, que generalmente son causados por algunos metales que presentan características pesadas, por ejemplo; el Hg, Cu, Cd, Cn, Pb y As. Estos metales, se pueden encontrar en una proporción mayor, en los relaves mineros. Los relaves mineros, son una fuente considerable de contaminación, sobre todo aquellos que contienen aguas ácidas. Los relaves, representan un verdadero peligro en el Perú, su impacto se puede notar en lagunas, ríos y lagos cercanos a la zona de producción, al igual que en la zona agrícola, también cercana a la zona, incluyendo cultivo y valles apto para la agricultura.

Sheoran (2006), en investigaciones realizadas en la India, sostiene que:

- La contaminación por metales de suelos y aguas reportados en todo el mundo tiene graves impactos sobre el medio ambiente y la salud humana. El drenaje ácido es una de las fuentes más importantes de contaminación por metales pesados del medio ambiente. Los humedales ayudan a tratar estas aguas ácidas

de mina cargada de metales pesados y evita la propagación de la contaminación por metales en la superficie y del subsuelo agua. Las tasas de remoción de metal de alta de cerca de 100% se han reportado en los humedales naturales y contruidos artificialmente. La comprensión de los mecanismos y procesos que controlan la eliminación de metales básicos aumenta la probabilidad de éxito de la aplicación de los humedales de tratamiento.

- El metal pesado del drenaje ácido de minas en humedales se elimina mediante diversos procesos biológicos físicos, químicos y que implica la sedimentación, decantación, filtración, adsorción, precipitación, co-precipitación en compuestos insolubles. Adicionalmente, en un conocimiento práctico de todo el mecanismo de sustrato para las plantas (componentes vivos y no vivos del ecosistema) puede proporcionar información valiosa sobre la función general de los humedales y la estructura. Este nivel de comprensión es, sin duda va a ser muy útil para evaluar el rendimiento de eliminación de metal de la construcción, así como los humedales naturales y para la evaluación de la integridad funcional del ser humano afectado, restaurado y de mitigación de humedales.

2.2.2. Metales pesados

Existen diversas formas de abordar el estudio de los metales pesados, la clásica definición, puede ser por el peso atómico, por densidad o por el número atómico. En la clasificación por densidad, los metales pesados se encuentran entre 4 y 7 g/cm³. En la clasificación por el peso atómico, se puede decir que los metales pesados están entre 63,55 o 200,56.

En cuanto a la densidad, no todos son tóxicos, incluso hay algunos metales que el cuerpo humano necesita, pero en general se puede decir que los metales minerales, son tóxicos. Cuando se dice que los metales pesados son tóxicos, se refiere a su relación con el medio ambiente, en esta relación los metales pesados como el mercurio, se reconocen altamente peligrosos para el medio ambiente, lo mismo pasa con el plomo, que se considera tóxico en contacto directo con el ser humano, y por ende expuesto al medio ambiente, causa daños irreparables. El cadmio y el talio, que también son metales pesados, si bien se encuentran en menor proporción, también son dañinos para el medio ambiente. Metales pesados como el cobre, zinc y cromo, a pesar de ser muy usados, en la industria, pero en contacto directo con el ser humano causa problemas de salud, que son irreparables. Metales de menor peso, como berilio y el aluminio, a pesar de no ser enteramente pesados, al estar expuestos al ser humano generan toxicidad, lo mismo pasa con el arsénico, que es un semimetal.

Cuando se dice que un metal pesado es peligroso, se refiere a la propiedad de degradación del metal. En este caso el metal pesado no puede ser degradado, por ningún método, ya sea biológico o químico.

La otra propiedad del metal pesado, que lo hace peligroso es la acumulación, es decir, se empieza acumularse o magnificarse, técnicamente se conoce como bioacumulación o biomagnificación. El significado técnico de estos conceptos, nos dice que su concentración se incrementa, en la medida que se incrementa la exposición, y la concentración se incrementa por encima de los valores permitidos por la organización mundial de la salud. (Forstner & Wittman, 1983)

Los metales como el Zinc y el Cadmio, se reconocen como más tóxicos que el Plomo. En general, cualquiera de estos metales pesados, afectan el desarrollo de las plantas. Las plantas absorben sulfatos, y es justamente como se presentan estos metales, para ser absorbidos por las plantas. El sulfato de Zinc $ZnSO_4$ y el Sulfato de cadmio $CdSO_4$, son absorbidos por las plantas, sobre todos por las paredes de células de raíces de las plantas, es que estas paredes de las células, tienen gran capacidad de absorción de compuestos metálicos. (Adame & Salín 1993).

Orozco et al (2008) sostienen que las industrias más contaminantes, en cuanto a metales pesados, son las industrias siderúrgicas, las industrias metalúrgicas, las industrias de curtido y las industrias de tratamiento de superficies. También considera que las fuentes principales, llamadas antropogénicas, de metales pesados, son las actividades dedicadas al refinado de metales, la fundición de metales y la industria minera en general, que procesa los minerales hasta convertirlos en utensilios para las actividades humanas.

Drenaje ácido de mina

Según Li (2013), los flujos de agua contaminada tienen la característica de ser ácidas, es decir, contienen un rango bajo de pH, porque contienen metales pesados y sulfatos. Estas aguas provienen fundamentalmente de las minas, que drenan ácidos y que representan una contaminación alta por su extensión, naturaleza y difícil control. El procesamiento de minerales, produce relaves, que en principio son acumulados, en pozas, esperando su degradación, que generalmente no llegan y se convierten en fuentes de contaminación, cuando son abandonados o se desbordan por falta de mantenimiento.

¿Cómo se produce la acidez en el agua?, se producen por el contacto del azufre que contienen los minerales, que entran en contacto con el oxígeno del agua. En este proceso la pirita, tiene un papel muy importante, ya que oxida a los sulfuros generando el ácido sulfúrico y también en ion ferroso.

Para completar el proceso de acidez, la oxidación ocurre al ser expuesto el metal sulfuro al agua y al aire, en realidad es pirita o hierro-sulfuro, en las rocas.

A continuación, se genera acidez, por parte del desmonte, dentro de la roca que circunda todo, esto ocurre porque se ha expuesto al agua y al aire y generalmente ocurre una oxidación sobre todo de la pirita, que de hierro sulfuroso, es decir el metal es sulfuroso.

Las reacciones que ocurren en un ambiente, de estas condiciones, es decir abiótico, las bacterias atacan en colonias, que permiten acelerar la descomposición de los iones en un número grande.

Las bacterias que atacan en este proceso, se les conoce con el nombre de extremophiles y su ataque es completamente natural en el medio ambiente, como en este caso, sobre la roca, y se mantienen bajos porque los niveles de oxígeno y de agua también son bajos.

Las bacterias acidófilas aceleran el proceso de catalización, en un proceso cinético que generalmente tiene reacciones lentas en la generación de agua.

La acción de algunas bacterias varía según el nivel o concentración del pH, en la mezcla o reacción, por ejemplo; la bacteria Metallogenium cataliza al ion que proviene del fierro, entre 3,5 a 4,5 valores del pH, de igual forma la bacteria Thiobacillus ferrooxidans cataliza la reacción por debajo de 3,5 para los valores de pH.

El pH puede descender, si el ion que proviene del fierro, por hidrólisis provoca la precipitación del hidróxido de fierro $Fe(OH)_3$, entre valores que se encuentran entre el 2,3 y 3,5 del pH.

Generalmente las bacterias que hemos mencionado no se desarrollan y por ende existe una baja producción del compuesto lixiviados ácido, si ocurre que también la acidez producida sea notoriamente mínima con relación a la propiedad neutralizante del medio.

De todas formas, si se alcanzan proporciones de acidez, se puede producir más que el tamaño de la población de las bacterias, que tienen capacidad de acelerar los procesos que aquí se mencionan, ya

que lo que ocasiona que se incremente la producción de ácido, así como su retroalimentación, como ya hemos mencionado el lixiviado, incluso con pH bajos o menos de lo esperado y concentraciones altas de metaloides y metales. (Li, S., 2013)

Contaminación ambiental

Para Oyarzum et al (2011), cuando se refiere a la fauna y flora del medio ambiente, dice que esta es afectada ya sea en su configuración geográfica o también en las condiciones paisajistas, en menor grado o en alteraciones que sean consideradas de gran afectación, si se compara con las condiciones iniciales o parámetros o indicadores tomados al inicio de la afectación.

Por otro lado, Sanchez et al, indica que en el mundo y por consiguiente en el Perú, los metales pesados y sobre todo el arsénico presente muchos problemas para su tratamiento, ya que en actividades a atajo abierto, o procesos que contienen drenajes o simplemente residuos mineros, contaminan el medio ambiente, esto ocurre porque el sulfuro, que siempre está presente en estos procesos, son vertidos y no son tratados para minimizar su contenido en el relave.

Flores (2016) dice con respecto a este tema, que las empresas no se preocupan en actualizar sus procesos, para reducir los niveles de contaminación, porque desconocen los últimos avances o nuevos procedimientos, que podrían reemplazar su proceso actual y de esta

forma reducir los niveles de contaminación que generan, otra razón al respecto es el poco compromiso que tienen las empresas con el medio ambiente.

Con respecto a los pasivos de la minería, es decir aquellas consecuencias en el medio ambiente, posterior a la actividad minera, porque las minas ya se agotaron, indica que las principales regiones mineras del país, se encuentran muchas minas abandonadas, en promedio un centenar y medio, estas minas abandonadas y su zona de influencia, como ríos, lagunas, terrenos agrícolas o simplemente asentamientos humanos cercanos, se encuentran contaminados. Las regiones son Cuzco, Ayacucho, Apurímac y Cajamarca, sobre todo en Hualgayoc, Cuzuro y Paredones, en las provincias de San Miguel y Chilite, respectivamente.

Esponjas de poliuretano

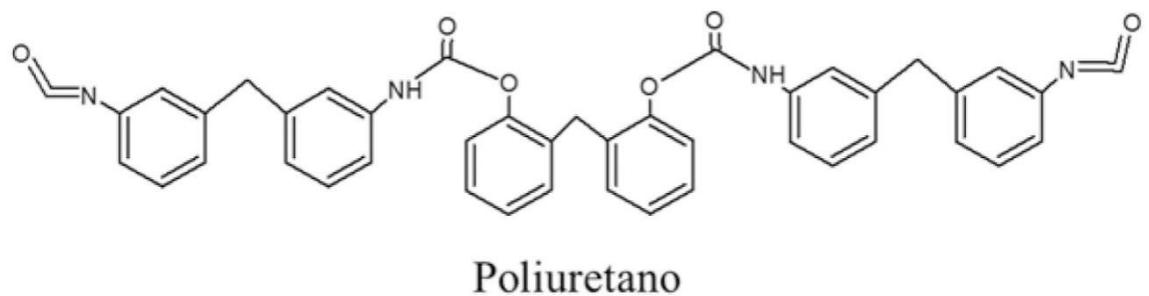
El poliuretano es un material plástico, de la familia de los polímeros, que existe en diversas formas. Un polímero está formado por muchas moléculas pequeñas que se conectan entre sí formando grandes cadenas. En los poliuretanos, las moléculas individuales están unidas entre sí mediante enlaces de uretano. Este enlace es fuerte, lo que da estabilidad al material.

La esponja de poliuretano, de uso común en la vida cotidiana, es genéricamente un poliuretano proyectado, debido a la forma en la que se suele aplicar sobre superficies. Se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un polioliol y un isocianato,

aunque su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos. bien conocidos. Cumplen dos funciones básicas: unión y estanquidad. En una junta, el sellador forma una barrera que impide que entren determinadas sustancias o materiales, como el agua, el polvo, la suciedad o el viento.

Desde el punto de vista ambiental, los polímeros son una fuente importante de contaminación, debido a su dificultad para biodegradarse.

Figura N°1: Poliuretano, estructura molecular



Fuente: Rowe, 2002.

Según Loredo et al (2017), los poliuretanos (PU) son ampliamente usados como materia prima en diversas industrias, desde muebles y automóviles, a aislamientos térmicos de barcos y materiales médicos. Son sintetizados a partir de polioles y poliisocianatos y se caracterizan por ser insolubles en agua.

El problema principal, especifican Loredo et al, radica en su acumulación y no biodegradación por parte de los microorganismos existentes, que no cuentan con estrategias de biodegradación contra esta estructura polimérica. Los polímeros pueden ser sustratos potenciales para microorganismos quimioheterotrofos. Se han aislado

tanto bacterias como hongos filamentosos capaces de degradar poliuretano

Gregorí et al (2007) sintetizan las características generales del poliuretano, resaltando su biodegradabilidad y su carácter no tóxico, además de tener excelentes propiedades de flexibilidad, elevada resistencia al impacto y durabilidad, características que lo convierten en polímeros con múltiples aplicaciones.

Botello et al (2016) abordaron el estudio de Inmovilización microbiana en polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales, de tipo experimental; luego de probar varios polímeros sintéticos, determinaron que el soporte constituido por espuma de poliuretano (EPU) presenta potencial aplicación en la operación de sistemas híbridos tipo RBH, para tratamiento de aguas residuales domésticas, posibilitando mantener estabilidad operacional y alcanzando altos niveles de remoción de materia orgánica.

Tratamiento de efluentes provenientes de la minería

Los principales tratamientos de efluentes mineros, en sus diversas formas, comprende aquellos relacionados con la física, la química y la biología. Muchos de ellos implican un alto costo económico para la empresa.

Santander et al (2011) han sistematizado, en la figura, los procesos y las áreas de control de la contaminación:

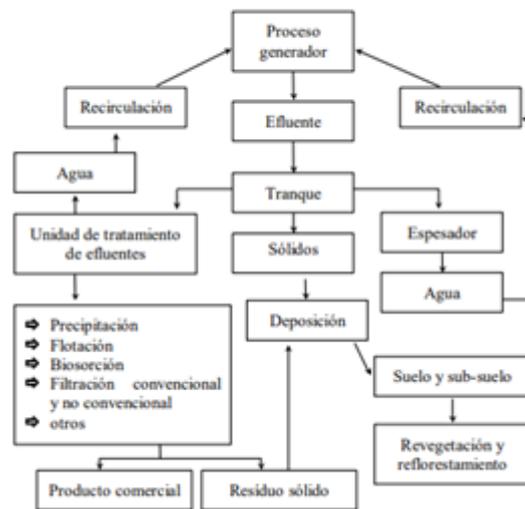


Figura 2: Ciclo de procesos y control contaminación

Fuente: Santander et al (2011)

Santander et al (2011) comenta al respecto de los tratamientos de agua, que estos procesos deben ser simples, eficientes, factibles, pero sobre todo económicos, ya que la mayoría de empresarios lo considera como un costo adicional al proceso de producción.

Adicionalmente dice que existe mucha variación con respecto al flujo que pueden tratar, esta variación lo remarca, ocurre incluso dentro del mismo país, donde incluso no existe una regulación al respecto. En consecuencia, el agente contaminador puede variar en los procesos implementados.

En el mismo sentido se refieren a los procesos más comunes en este sentido, que utilizan tanques, para los efluentes, este tipo de proceso ocurre en el sector minero y también en el sector metalúrgico. El principal objetivo de estos tanques, en todos los procesos, es la decantación, tanto de los sólidos como de toda partícula que se

atrapada por suspensión, esto ocurre porque los sólidos son suficientemente grandes, para presentar un área que pueda ser usada para la retención, y presente oposición a la turbulencia. El tratamiento de ozono, la cloración y la impermeabilización, son opciones que se pueden utilizar para destrucción de sustancia tóxicas, así como para la oxidación de algunas sustancias.

Agregan, Santander et al (2011), en cuanto a los tratamientos tecnológicos reconocidos o que son utilizados en este lado del hemisferio, de procesos efluentes para líquidos, encontramos los que se mencionan a continuación:

- Proceso de Aeración oxidativa, que consiste en “stripping” de VOC’s y amoníaco, también se incluye a otros.
- Procesos que separan los materiales gruesos por tamaño, como por ejemplo; centrifugas, harneros, ciclones, tamices.
- Procesos que incluyen oxidación avanzada o desinfección química, como por ejemplo; enzimática, ozono, solar, UV.
- Proceso de Biorremediación, que consisten en procedimiento aeróbicos o anaeróbicos convencionales, incluso en procedimiento wetlands, que en realidad es Biodegradación o bio-oxidación de los compuestos que esencialmente son orgánicos:
- Proceso de sedimentación que incluye placas, que consiste en tratamientos de decantación, tratamiento de clarificación y tratamiento de espesamiento.

- Proceso de Adsorción en lechos que se consideran fijos, también en los expandidos o también llamados fluidizados.
- Proceso de filtración, proceso de separación en membranas, proceso de flotación, proceso de evaporación y proceso de extracción por solvente.

En los últimos tiempos, en promedio el 75 % de la industria del cincado en Norte América, utilizan métodos tradicionales para los efluentes de esta industria. Los procedimientos tradicionales consisten en la remoción de iones, y mejor si estos son de metales pesados, que ayudan a la sedimentación por precipitación, luego pasan a un filtración o espesamiento del lodo formado en el interior bajo del ambiente que los contiene. Para obtener hidróxido precipitado el proceso se ayuda de una base, que se adiciona. Esta base puede ser cal, y en otros casos más sofisticados se adiciona soda cáustica. En esta misma fase se adiciona agentes que deben ser floculantes poliméricos, que ayudan en la aceleración del proceso de separación de los líquidos de los sólidos. (Santander et al, 2011).

Añaden, Santander et al (2011), que estos métodos presentan inconvenientes:

- En efluentes diluidos, el hidróxido metálico es ineficiente en su formación, lo cual lo convierte en un proceso no conveniente.
- El contenido de agua es alto, en proporción al lodo formado, por lo tanto, es no conveniente.

- En la presencia de algunos agentes complejantes, sobre todo de los metales, se presenta una precipitación incompleta de los metales, lo cual lo convierte en un proceso no conveniente.
- Considerando que, debido al pequeño tamaño de las partículas, se presenta como ineficiente la filtración de los precipitados, por lo tanto, el proceso es no conveniente.
- Finalmente, se puede concluir, que no es posible utilizar procedimientos para tratarlos por coagulación o sedimentación, ya que por problemas cinéticos y de escala, generalmente los efluentes que se presentan con flujos del orden de 0.2- 2 m³ /s y que contienen iones de procedencia metálica en concentraciones del orden de 1-2 mg/L.

Se puede decir que, entre otros, este es el principal problema de la industria minera moderna, y por ende en el Perú.

2.3. Glosario

Estándar de calidad ambiental (ECA). Se expresa en máximo o mínimos, según sea el parámetro al cual se refiera, en referencia a la concentración o también llamado grado. El Estándar de la Calidad Ambiental, es considerado como necesario en el diseño de las políticas públicas y las normas legales. Se puede definir como la medida de la concentración o también del grado de la cantidad de elementos, cantidad de sustancias o simplemente parámetros biológicos, químicos y físicos, en

el suelo, agua o aire, como cuerpo receptor de las sustancias ajenas a este y que significativamente no representa riesgo, para el ambiente y la salud de las personas. En la gestión ambiental, para el diseño y aplicación de instrumentos, es un referente obligatorio.(Andía 2006).

Esponjas de poliuretano: material plástico poroso formado por una agregación de burbujas, conocido también por los nombres coloquiales de gomapluma en algunos países sudamericanos. Contienen sustancias de escaso poder cancerígeno que, si representan algún peligro, sólo sería tras exposiciones intensas y teniendo contacto directo.

Metales pesados: Entre los metales, hay algunos que destacan por su toxicidad, que se les denomina metales pesados, y por su mayor presencia en el medio ambiente, también se consideran en este grupo al plomo, cadmio y mercurio. Estos metales, tienen un gran potencial de bioacumulación en todos los organismos vivos, sobre la tierra. Se consideran a los metales pesados, como los contaminantes ambientales más peligrosos, fundamentalmente por ninguno de ellos, presenta característica de metal biodegradable.

3. HIPOTESIS Y VARIABLES

En la presente investigación, se proponen tres hipótesis específicas, con su correspondiente hipótesis general.

3.1. Hipótesis General

La implementación del Tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles.

3.2. Hipótesis Específicas

- La implementación del Tratamiento de efluentes mineros con coagulantes y floculantes permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles.
- La implementación del Tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles.
- La implementación del Tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles.

3.3. Identificación de variables

Las variables se clasifican en variables dependientes y variables independientes.

3.3.1. Variable independiente

- Implementación de un módulo de tratamiento de efluentes mineros.

3.3.2. Variable dependiente

- Reducción de niveles contaminantes de los metales pesados. (Nivel).

En el Anexo 2 Matriz de Consistencia, se detallan los indicadores relacionados para cada una de estas subvariables dependientes e independientes.

3.4. Operacionalización de las variables

En el Anexo 1 se detalla el cuadro de Operacionalización de las variables, detallando los indicadores para cada subvariable. Se tomó como base el cuadro de variables hecho por Fernández, Espinoza y Ferrufino (2009).

3.5. Matriz de consistencia

En el Anexo 2 se detalla la Matriz de consistencia.

4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y diseño de Investigación

El diseño de la investigación tendrá las siguientes fases:

La fase inicial del tipo de investigación será exploratoria, considerando que el tema de investigación es relativamente novedoso.

La segunda fase de investigación será de tipo experimental, ya que se centra en la manipulación de la variable independiente, para observar sus efectos en la variable dependiente.

4.2. Unidad de análisis

- Correspondiente a la Empresa dedicada a la actividad minera

4.3. Población de estudio

- Correspondiente a la empresa dedicada a la actividad minera en Julcani, Huancavelica.

4.4. Técnicas de recolección de datos

En la tesis se van a emplear los siguientes métodos de recolección:

-Observación directa

- Protocolos de laboratorio
- Recopilación de muestras en los puntos de emisión de efluentes
- Análisis en laboratorios especializados
- Diseño experimental

5. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS

Caracterización de efluentes mineros

CONCENTRACIONES TRABAJADAS

Cobre	0.561	Mg/L
Zinc	5.071	Mg/L

A través de las muestras recabadas en la unidad de análisis (Mina Julcani), se derivó las mismas a un laboratorio especializado, en donde se reportó que los metales pesados con valores mayores a los límites permisibles fueron el Cobre (0.561 mg/l) y Zinc (5.071 mg/l). Por esta razón se concentraron esfuerzos en el tratamiento de estos elementos.

El tratamiento inicial (primario), ha consistido en encontrar los aditivos apropiados para eliminar la coloración y los sólidos en suspensión y lograr obtener un agua transparente que nos permita continuar con el tratamiento secundario apropiado, se detalla el proceso de la siguiente manera

1°) Inicialmente las muestras proporcionadas por la empresa minera presentan turbidez y coloración como se muestra en las imágenes siguientes:

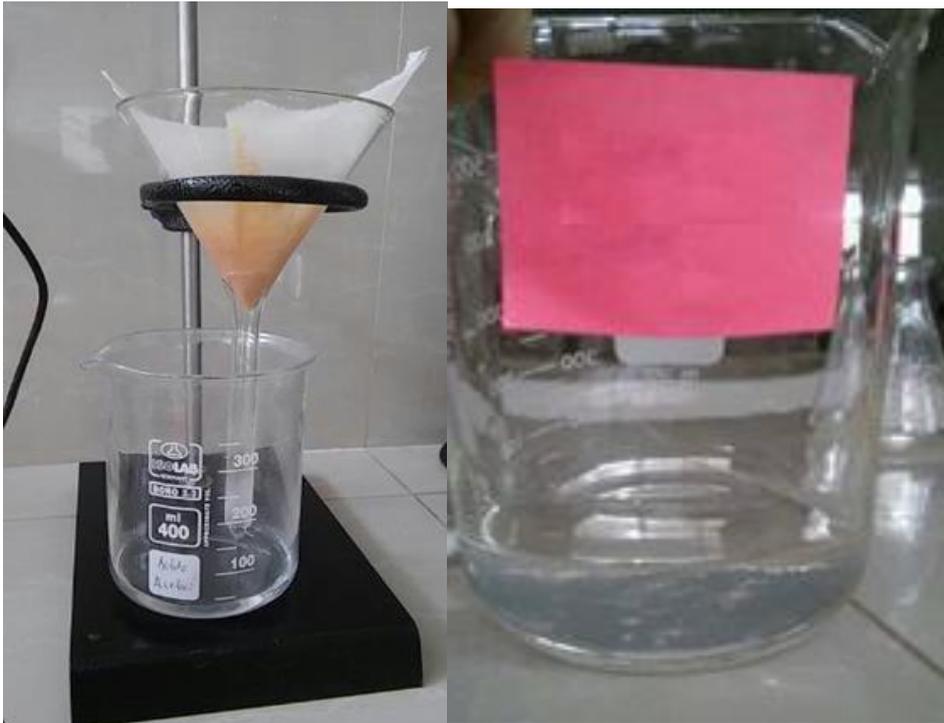


2°) Se probaron inicialmente con coagulantes-floculantes conocidos, además de poli electrolitos; variando la composición de la mezcla de estos reactivos, no lográndose los resultados esperados obteniéndose al filtrar un agua coloreada y turbia como se muestra en la imagen siguiente:



3°) Luego de hacer muchas pruebas variando los coagulantes-floculantes se encontró que la mezcla del reactivo “A” más el reactivo “B” nos dio un agua transparente en todas las muestras proporcionadas por la empresa minera como se muestra en las siguientes imágenes:





4°) Luego de filtrar se obtiene un agua transparente, como se muestra en las imágenes anteriores, pero además queda un lodo concentrado como se muestra en las figuras siguientes, donde se observa en el vaso y el filtro los residuos del coagulado y floculado separado.



5°) En la figura siguiente se muestra el agua obtenida del tratamiento realizado a las muestras proporcionadas por la empresa minera para la comprobación del resultado obtenido con la mezcla de los reactivos "A" y "B".



Características poliuretano

Las microfotografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido (figura 1) muestran la morfología de las redes poliméricas porosas de la esponja de poliuretano (PU) de 1cc de volumen después del ponerla en contacto mediante agitación con la solución de 10 ppm de plomo en el reactor a 300 rpm de agitación durante 7 horas. Así mismo en la Figura se puede observar poros no interconectados es decir bien separados (distantes), con formas regulares bien definidas sin sitios activos definidos lo que le otorga al polímero escasas propiedades absorbentes de metales.

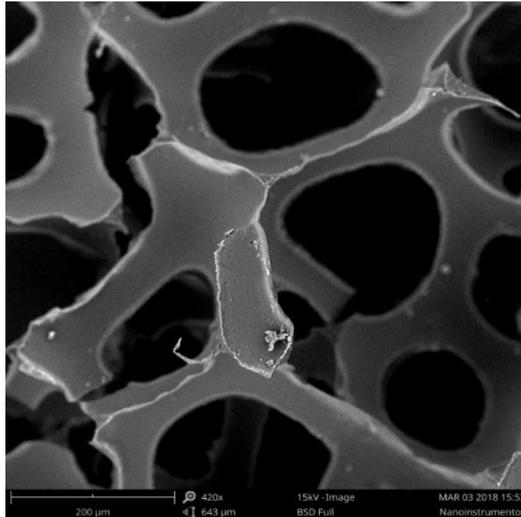
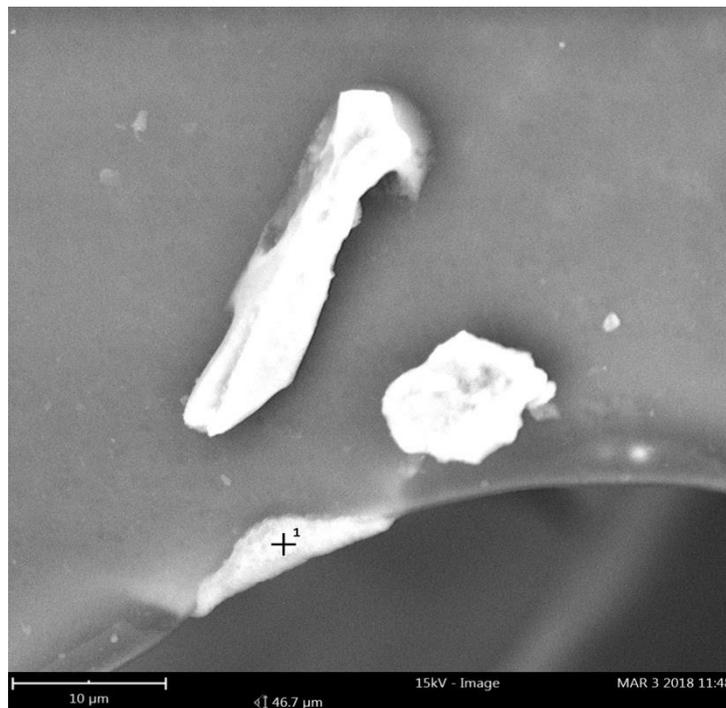


Figura 5. Microfotografía de las redes poliméricas de la esponja de poliuretano (PU).

Por su parte la Figura 2 corresponde a la microfotografía de una partícula brillante sobre la superficie interna de los poros de la esponja de PU, que al ser analizada por Espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDAX) se pudo determinar que el espectro correspondía a la energía del plomo, en una cantidad de 0.5 % de probabilidad (Tabla 1). Esto nos permite

que
bajos
de plomo
esponja



establecer
existen
niveles de
absorción
en la
de PU.

Figura 6. Microfotografía de partícula brillante en el borde del poro de la esponja de poliuretano.

Tabla 5. Análisis EDAX, de la partícula brillante al interior de la esponja de poliuretano mostrada en la Figura 2.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Concentration %
6	C	Carbon	75.5
8	O	Oxygen	22.7
17	Cl	Chlorine	1.3
82	Pb	Lead	0.5

Instalación del prototipo en la Unidad Minera Julcani

Con el apoyo de la Cia Minera Buenaventura, se procedió al viaje a la unidad minera Julcani. Las personas que viajaron a este lugar fueron:

- Dr. Pablo Ramirez Roca Especialista en Micro Biología
- Ing Oscar León Martinez Especialista y parte del equipo técnico del proyecto
- Bach Henry Moscoso HuayraUno de los estudiantesmiembro del proyecto

La evidencia gráfica se ilustra a continuación:

Foto N° 1: Prototipo instalado en local de la unidad minera Julcani



Foto N° 2: Poza de residuos industriales mineros – Julcani



Foto N° 3: Impacto de los residuos industriales



6. VERIFICACIÓN HIPÓTESIS

Los metales pesados identificados en los efluentes mineros de la Unidad Minera en estudio, con niveles críticos, fueron el zinc, y el cobre

Los tratamientos considerados fueron:

M-STE01 : Sin tratamiento con Esponjas

M-STE01BAC01 : Sin tratamiento con Esponjas + Bacterias

m-CTE01 : Con tratamiento con Esponjas

M-CTE01BAC01 : Con tratamiento con Esponjas + Bacterias

El tratamiento aplicado con esponjas de poliuretano permitió un avance inicial en la decoloración del efluente. La fijación de bacterias, a partir de estas evidencias, permitió llegar a niveles aceptables en la remediación del efluente contaminado por zinc y cobre

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos en los diferentes casos del diseño experimental:

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESION	M-STE01	M-CTE01	M-STEBAC01	M-CTEBAC01	LMP
Aluminio	Mg/L	Al	0,01064	0,04731	0,07418	0,46118	
Arsenico	Mg/L	As	< 0,00033	0,00045	< 0,00033	< 0,00033	
Boro	Mg/L	B	0,12814	0,13088	0,01258	0,04800	
Cadmio	Mg/L	Cd	0,01007	0,00434	< 0,00022	< 0,00022	
Cianuro	Mg/L	CN	-	-	-	-	
Cobre	Mg/L	Cu	15.34	18.84	0.00391	0.00104	0.5
Cromo hexavalente	Mg/L	Cr-6	-	-	-	-	
Cromo total	Mg/L	Cr	0,00303	0,00294	0,00379	0,00386	
Manganeso	Mg/L	Mn	0,00904	0,00892	< 0,00035	0,00098	
Mercurio	Mg/L	Hg	0,00049	0,00011	0,00018	0,00013	
Niquel	Mg/L	Ni	0,16919	0,00205	< 0,00035	0,00117	
Plomo	Mg/L	Pb	0,05160	0,00090	0,00281	0,00094	
Sulfatos	Mg/L	(SO4)-2	-	-	-	-	
Sulfuros	Mg/L	S-2	-	-	-	-	
Zinc	Mg/L	Zn	2.21	1.45	0.04381	0.00901	1.5
Nitrogeno amoniacal	Mg/L	NH+4	-	-	-	-	
PH	Unidad	PH	-	-	-	-	
Sólidos sedimentables		S.S.	-	-	-	-	
Temperatura	°C	T	-	-	-	-	

En el caso sin tratamiento con esponjas, los valores de zinc y cobre exceden los límites permisibles.

Cuando se realiza tratamiento con esponjas, el contenido de cobre excede el límite permisible (0.5), pero en el caso del zinc se ha rebajado hasta un poco menos que el límite permisible.

La intervención de las bacterias, con y sin tratamiento, permite una disminución significativa de ambos metales pesados, en relación a los límites permisibles.

CONCLUSIONES

- La aplicación del tratamiento con esponjas de poliuretano y bacterias, a efluentes mineros de la Unidad Minera Julcani, permitió reducir los niveles de contaminación para el caso del zinc y el cobre.
- Se pudo apreciar niveles de decoloración del efluente con sólo la aplicación de las esponjas
- Las condiciones climáticas en las que se aplicaron las bacterias influenciaron en los resultados finales.

RECOMENDACIONES

Aprovechar la generación de micro organismos en las piscinas de recepción de los efluentes para propiciar aplicaciones de biorremediación en zonas de altura.

Desplegar un programa de tratamiento de pasivos mineros con la metodología desarrollada en la presente investigación.

REFERENCIAS

Botello et al (2016) Inmovilización microbiana en polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales. Revista NOVA. 2016; 13 (26): 99-106.

Chivita y Dussan (2003). Evaluación de matrices para la inmovilización de *Pseudomonas* spp en biorremediación de fenol. Revista colombiana de biotecnología VOL V No.2 Diciembre 2003 5 – 10

Flores, Hugo (2016). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Cajamarca.

García y Barragán (2008). Inmovilización microbiana: técnicas y usos en el tratamiento de residuos tóxicos. Revista Sistemas Ambientales, Vol. 2, No 1, 2008 págs. 23-34

Gregorí, H et al (2007). Los poliuretanos biodegradables. Estudio bibliográfico de su síntesis y aplicaciones ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XLI, núm. 2, 2007, pp. 3-9 Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba.

Heredia, María (2015). Remoción de cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante. Tesis de Maestría, UNI, Lima, Perú.

Li, Sergio (2014). Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización, Tesis de Ingeniería de Minas, PUCP, Lima, Perú.

Loredo, Aracelli et al (2017). Biodegradación fúngica de poliuretano rígido. Revista Quím. Nova vol.40 no.8 São Paulo Septiembre.

Martinez y Garcia (2012). Revisión: Aplicaciones ambientales de microorganismos inmovilizados. Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 11, No. 1 (2012) 55-73

Orozco C; Pérez A; Gonzales Ma N; Rodríguez F; Alfayate JM. (2008). Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Paraninfo S.A. Madrid España. 5ta reimpresión. 684 pág.

Oyarzun R; Higuera P; Lillo J.(2011). Minería Ambiental: Una Introducción a los Impactos y su remediación. Ediciones GEMM - Aula2punto.net. Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid - España.

Pellón, Alexis; Chacón, A; Perez, Elsa; Oña, Antonio; Mayari, R. (2005). Eliminación de cromo y cadmio mediante *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado. Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 36, No. 3, 2005.

Pinillos, Juan (2013). Remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste. Tesis Ingeniería Ambiental, UNI.

Rimarachin, P & Huaranga, F (2015) Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. Revista SCIENDO 18(2): 20-29, 2015

Romero, A; Arevalo, W (2012) Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial 13(1): 85-90 (2010) UNMSM.

Rowe, L.& Howard, T.; Int. Biodeterior. Biodegrad. 2002, 50, 33.

Sánchez S. Chávez J. Lucio L. 2015. Pasivos ambientales mineros en la región Cajamarca. Grufides. 2015.

ANEXOS

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES MINEROS QUE CONTIENEN METALES PESADOS

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS
¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?	Determinar qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles	La implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles
¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con coagulantes y floculantes permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?	Determinar en qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con coagulantes y floculantes permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles	La implementación del tratamiento de efluentes mineros con coagulantes y floculantes permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles
¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?	Determinar en qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles	La implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles
¿En qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles?	Determinar en qué medida la implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles	La implementación del tratamiento de efluentes mineros con esponjas de poliuretano y posterior biorremediación permite llevar a los metales pesados contenidos en ellos hasta límites permisibles

ANEXO 02

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLES INDEPENDIENTE	INDICADOR V.I.	VARIABLES DEPENDIENTE	INDICADOR V.D.
Implementación del tratamiento de efluente minero	Prototipo	Nivel de metales pesados	Concentración Zinc Concentración Cu
VARIABLES INDEPENDIENTE	INDICADORV.I.	VARIABLES DEPENDIENTE	INDICADORV.D.
Implementación del tratamiento de efluente minero con esponjas de poliuretano	Prototipo con esponjas de poliuretano	Nivel de metales pesados	Concentración Zinc Concentración Cu
Implementación del tratamiento de efluente minero con bacterias	Prototipo con esponjas de poliuretano y bacterias	Nivel de metales pesados	Concentración Zinc Concentración Cu

ANEXO 03

IMPLEMENTACIÓN PROTOTIPO BIORREACTOR CON ESPONJA POLIURETANO

Lugar : UNMSM, FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.

Unidad Académica : Laboratorio de Fibrología, Escuela Ingeniería textil y Confecciones.

Fecha : Mayo 2017

Objetivo : Reducir niveles de contaminación por metales pesados, usando esponjas de poliuretano y bacterias.





Lugar : Huancavelica, provincia de Angaraes.

Unidad Minera : Julcani, oro y plata.

Fecha : Julio 2017

Objetivo : Reducir niveles de contaminación por metales pesados, usando esponjas de poliuretano y bacterias.

ANEXO 04

INFORME PRELIMINAR ESTUDIO CINÉTICO DE ADSORCIÓN DE PLOMO EN ESPUMA DE POLIURETANO

De: Mg Hugo Romero Bonilla

A: Dr. Oscar Tinoco Gómez

Fecha: 24 Marzo, 2016

Se presenta avance de informe del resultado del estudio Cinético de Adsorción de Plomo en espuma de Poliuretano, realizado a una concentración de 10 ppm de plomo, 300 rpm de velocidad de agitación, toma de muestra cada hora durante 6 horas. Dando como resultado una Constante de velocidad de adsorción K de $8 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$. Esta K está comparativamente dentro del valor del K de la BIOSORCIÓN DE PLOMO DE AGUAS CONTAMINADAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (KIKUYO) que tiene un valor de $8,9 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$

Se adjunta archivo excel con datos sobre el comportamiento cinético de la adsorción de plomo en la espuma con velocidad de agitación de 300 rpm, a concentración inicial de 114 ppm y 14 ppm durante 6 horas .

En ambos casos el proceso se ajusta aun comportamiento polinomial, con una confiabilidad mayor al 98% según el coeficiente de correlación obtenido en el ajuste.

Es todo cuanto puedo informar hasta el momento, debido a que falta que se me proporcione patrón de plomo y cadmio de 1000 ppm y electrodos de carbón vítreo para poder cuantificar mediante las técnicas electroanalíticas cadmio y volver a verificar las concentraciones de plomo, ya que lo del plomo que hasta el momento se ha podido cuantificar es mediante la técnica de absorción atómica, la cual resulta costosa.

BIOSORCIÓN DE PLOMO DE AGUAS CONTAMINADAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (KIKUYO)

Respecto a la cinética de adsorción, el ajuste mostró la correspondencia a una cinética de primer orden. El estadístico R^2 indica que dicho modelo explica el 94.45 % de la variabilidad de la concentración final del plomo (II) (Figura 3); siendo el valor de la constante de velocidad de adsorción de $k = -0.0089 \text{ t}^{-1}$

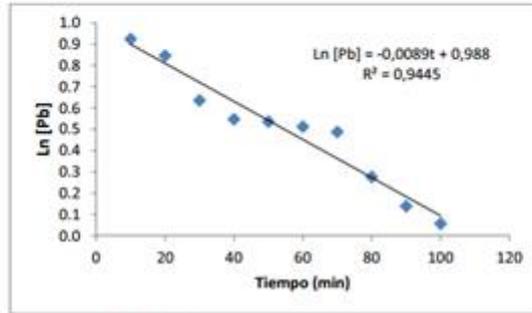
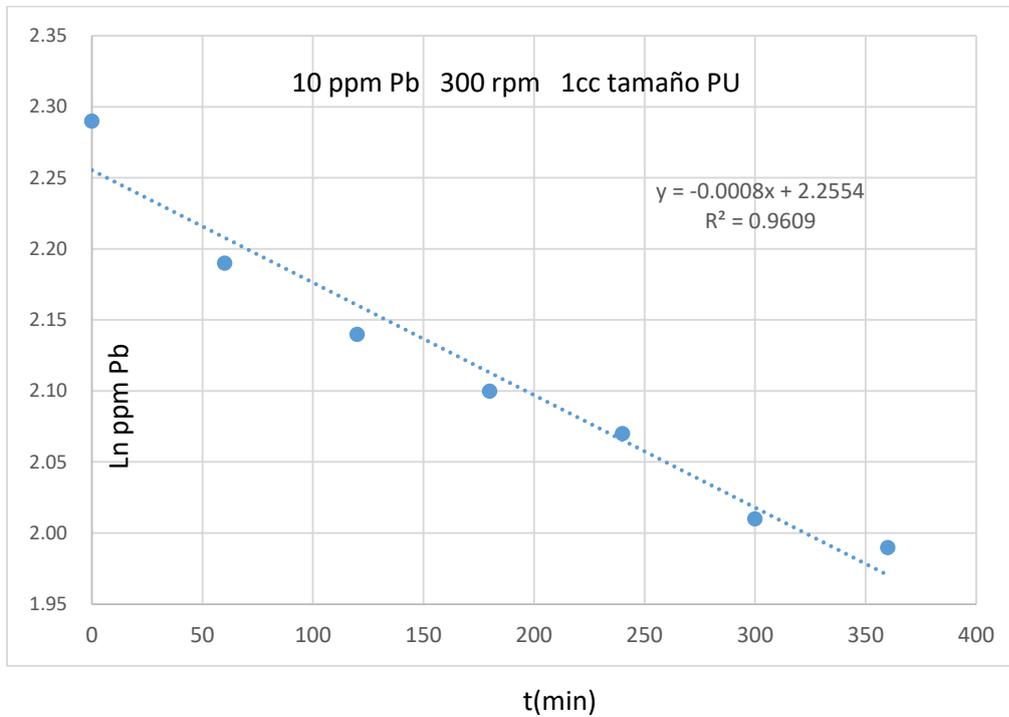


Figura 3. Ajuste del modelo de primer orden

Fuente: Revista Latinoamericana de Metales

Cinética de Adsorción de Plomo en espuma de Poliuretano

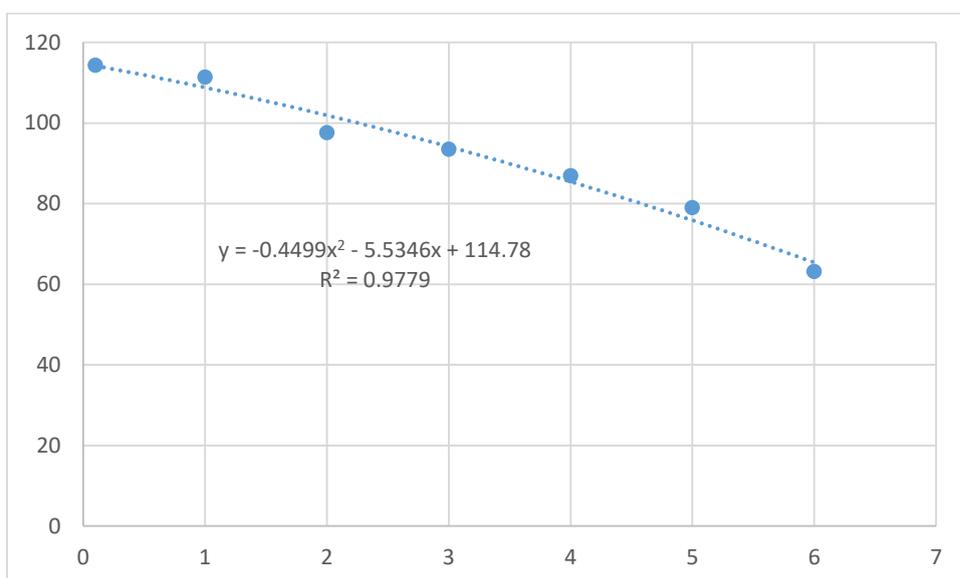
Importante: Constante de velocidad de adsorción de $8 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$



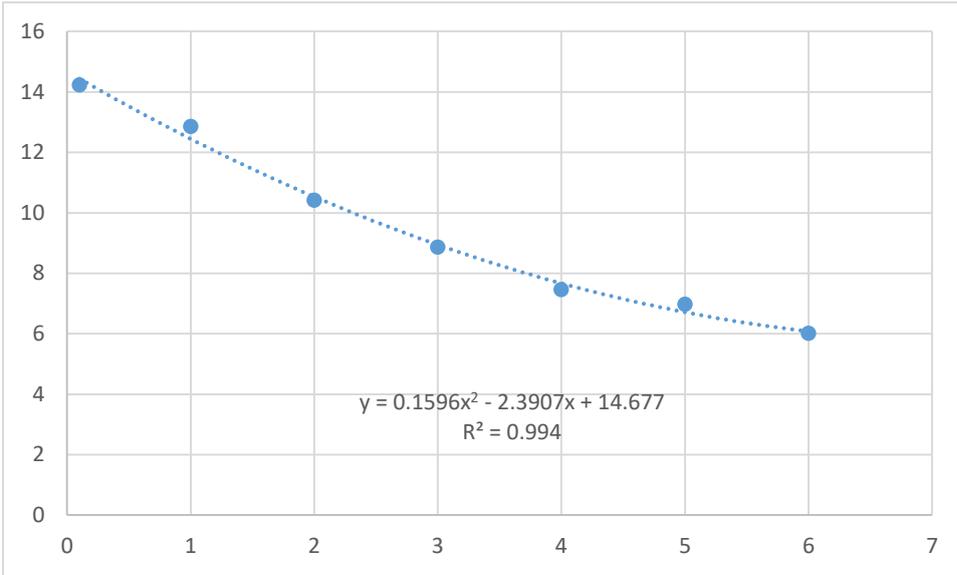
$$\text{Ln ppm Pb} = -0,0008 t + 2,2554$$

Cuadros adicionales (Excel)

16 de Marzo del 2017	
t (horas)	ppm
0.1	114.279
1	111.359
2	97.585
3	93.502
4	86.924
5	78.989
6	63.118



17 de Marzo del 2017	
t (horas)	ppm
0.1	14.235
1	12.854
2	10.419
3	8.868
4	7.463
5	6.978
6	6.009



ANEXO 05:

PRUEBAS DE LABORATORIO LÍNEA DE BASE UNIDAD MINERA JULCANI

COMPAÑIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.

CALLE LAS BEGONIAS 415

SAN ISIDRO LIMA ENV / LB-

342867-002

PROCEDENCIA : **JULCANI**

Fecha de Recepción SGS : 27-04-2017 14:40

Estación de Muestreo
Gandolini
Presa 8 Ingreso
Presa 8 TV
Presa 8 TN 1
Presa 8 TN 2
Presa 7

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA				Gandolini	Presa 8 Ingreso	Presa 8TV	Presa 8 TN 1
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA				26/04/2017 14:20 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	26/04/2017 12:50 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIA L	26/04/2017 13:15 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	26/04/2017 13:10 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Físicoquímicos							
Alcalinidad-Bicarbonato	EW_APHA2320B	mgCaCO ₃ /L	0.5	290.4	<0.5	<0.5	<0.5
Conductividad	EW_APHA2510B	µS/cm	--	924.00	391.00	1,841.00	281.00
Sólidos Totales Disueltos	EW_APHA2540 C	mg/L	1	510	222	1,162	156
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540 D	mg/L	1	5	<1	53	3
Potencial oxido-reducción	EW_APHA2580B	mV	--	<0.0 *	196.7 *	476.6 *	155.7 *
Hierro(II)	EW_APHA3500F EB	mg/L	0.03	0.13 *		107.85 *	
Hierro(III)	EW_APHA3500F EB	mg/L	0.03	1.09 *		107.67 *	
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500 HB	pH	--	6.64 *	3.89 *	3.11 *	4.09 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	1.0	<1.0	1.3	<1.0
Análisis de Aniones							
Cloruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.025	79.659	0.790	8.916	3.066
Fluoruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.002	0.077	0.116	0.034	0.097
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	<0.019	<0.019	<0.019	<0.019
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.031	<0.031	<0.031	<0.031	<0.031
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	<0.003	0.026	0.828	0.016
Sulfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.01	60.69	163.04	844.47	108.65
Metales Disueltos							
Aluminio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.001	<0.001	6.489		2.262
Antimonio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00004	<0.00004	<0.00004		<0.00004
Arsénico Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00003	0.00126	<0.00003		<0.00003
Bario Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000	0.1443	0.0252		0.0268
Berilio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00002	<0.00002	0.00254		0.00101
Bismuto Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00001	<0.00001	<0.00001		<0.00001
Boro Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.002	1.914	<0.002		0.019
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00001	<0.00001	0.00966		0.00343
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.003	40.783	22.247		17.496
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00008	<0.00008	0.01163		0.00427
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00001	0.0065	0.0079		0.0033
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00001	0.00336	0.01414		0.01076
Cobre Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00003	0.00191	0.02118		0.06056
Cromo Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00001	<0.00001	<0.00001		<0.00001
Estaño Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00003	<0.00003	<0.00003		<0.00003
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00002	0.1932	0.4332		0.2282
Fósforo Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.015	<0.015	<0.015		<0.015
Galio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00004	<0.00004	0.00020		0.00012
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00002	<0.00002	<0.00002		<0.00002
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00005	<0.00005	<0.00005		<0.00005
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00004	<0.00004	0.3827		0.0748
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00005	<0.00005	0.0058		0.0023
Litio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00001	0.4564	0.0096		0.0083
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00002	<0.00002	0.00005		<0.00002
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.001	49.552	7.035		3.830
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00003	0.63344	7.12583		4.10160
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00003	<0.00003	<0.00003		<0.00003
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00002	<0.00002	<0.00002		<0.00002
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00005	<0.00005	<0.00005		<0.00005
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00002	0.0039	0.0363		0.0217
Plata Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00003	<0.000003	<0.000003		<0.000003
Plomo Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00002	<0.00002	0.0157		0.0019
Potasio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.04	4.32	2.01		2.98
Rubidio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00003	0.0155	0.0136		0.0182
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.00004	<0.00004	<0.00004		<0.00004
Silice Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.09	26.81 *	62.28 *		82.85 *
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.04	12.53	29.11		38.73

	DIS						
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.006	114.052	6.952		9.043
Talio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 02	<0.00002	0.00087		0.00023
Tantalio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 7	<0.0007	<0.0007		<0.0007
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.001	<0.001	<0.001		<0.001
Thorio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 06	<0.00006	<0.00006		<0.00006
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 2	0.0010	0.0016		0.0012
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 003	<0.000003	<0.000003		<0.000003
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 1	<0.0001	<0.0001		<0.0001
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 2	<0.0002	<0.0002		<0.0002
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 02	<0.00002	0.00049		0.00010
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 8	0.0039	2.2932		0.5032
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 15	<0.00015	<0.00015		<0.00015
Metales Totales							
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001		7.123	5.552	2.422
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 04		<0.00004	0.00266	0.00091
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 03		<0.00003	0.15316	0.00776

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA				Gandolini	Presa 8 Ingreso	Presa 8TV	Presa 8 TN 1
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA				26/04/2017 14:20 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	26/04/2017 12:50 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	26/04/2017 13:15 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	26/04/2017 13:10 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		0.0348	0.0176	0.0582
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		0.00296	0.00470	0.00124
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		<0.00001	<0.00001	<0.00001
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002		<0.002	0.045	0.019
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		0.01051	0.00818	0.00402
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003		25.787	93.202	20.745
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008		0.01312	0.05938	0.00538
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		0.0085	0.0162	0.0035
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		0.01534	0.07242	0.01093
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003		0.02738	0.14502	0.06287
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		<0.0001	<0.0001	<0.0001
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003		<0.00003	<0.00003	<0.00003
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		0.4638	0.8172	0.2406
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015		<0.015	<0.015	<0.015
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004		0.00027	0.00094	0.00018
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		<0.0002	<0.0002	<0.0002
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005		<0.00005	0.00050	<0.00005
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004		0.5249	215.5212	2.1816
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005		0.0067	0.0175	0.0027
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		0.0103	0.0297	0.0098
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		0.00007	0.00046	<0.00002
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001		7.977	34.504	4.074
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003		7.82837	50.90168	4.25117
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003		<0.00003	<0.00003	<0.00003
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		<0.00002	0.00277	<0.00002
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000		<0.0005	<0.0005	<0.0005
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000		0.0373	0.0557	0.0217
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003		<0.000003	<0.000003	<0.000003
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		0.0246	0.0092	0.0100
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04		3.20	10.63	4.80
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003		0.0160	0.0451	0.0211
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004		<0.0004	<0.0004	<0.0004
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09		72.50 *	64.31 *	92.89 *
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04		33.89	30.06	43.42
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006		7.538	12.360	9.213
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		0.00111	0.00334	0.00043
Tantalo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007		<0.0007	<0.0007	<0.0007
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001		<0.001	<0.001	<0.001
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0006		<0.00006	0.00749	<0.00006
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		0.0019	0.0023	0.0055
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003		<0.000003	0.000356	<0.000003
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001		<0.0001	<0.0001	<0.0001
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		<0.0002	<0.0002	<0.0002
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002		0.00054	0.00290	0.00012
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008		2.4823	2.4109	0.5253
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015		<0.00015	0.00055	<0.00015

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA				Presa 8 TN 2	Presa 7
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA				22/04/2017 13:22 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	26/04/2017 14:20 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	Resultado	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Alcalinidad-Bicarbonato	EW_APHA2320B	mgCaCO ₃ /L	0.5	<0.5	<0.5
Conductividad	EW_APHA2510B	µS/cm	--	355.00	5,790.00
Sólidos Totales Disueltos	EW_APHA2540C	mg/L	1	219	4,600
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg/L	1	<1	158
Potencial oxido-reducción	EW_APHA2580B	mV	--	148.3 *	402.7 *
Hierro(II)	EW_APHA3500FEB	mg/L	0.03	<0.03 *	1,259.50 *
Hierro(III)	EW_APHA3500FEB	mg/L	0.03	0.52 *	450.50 *
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB	pH	--	4.25 *	2.96 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	<1.0 (**)	1.3
Análisis de Aniones					

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA				Pres 8 TN 2	Pres 7
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA				22/04/2017 13:22 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	26/04/2017 14:20 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	Resultado	Resultado
Análisis de Aniones					
Cloruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.025	0.649	11.500
Fluoruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.002	0.030	1.030
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	<0.019 (**)	<0.019
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.031	0.407 (**)	<0.031
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.039 (**)	0.033
Sulfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.01	147.56	4,296.84
Metales Disueltos					
Aluminio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.001		23.592
Antimonio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 04		<0.00004
Arsénico Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 03		0.10261
Bario Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 1		0.0059
Berilio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 02		0.00731
Bismuto Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 01		<0.00001
Boro Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.002		0.148
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 01		0.01327
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.003		223.472
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 08		0.05848
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 1		0.0243
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 01		0.56056
Cobre Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 03		0.19312
Cromo Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 1		<0.0001
Estaño Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 03		<0.00003
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 2		0.7811
Fósforo Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.015		<0.015
Galio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 04		0.00261
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 2		<0.0002
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 05		0.00793
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 4		1,248.3317
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 5		0.0168
Litio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 1		0.1047
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 02		0.00106
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.001		86.310
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 03		246.60113
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 03		<0.00003
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 02		0.02015
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 5		<0.0005
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 2		0.5582
Plata Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 003		<0.000003
Plomo Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 2		0.0076
Potasio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.04		12.63
Rubidio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 3		0.0782
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 4		0.0043
Silice Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.09		43.61 *
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.04		20.39
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.006		22.753
Talio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 02		0.00234
Tantalio Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.000 7		<0.0007
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8 DIS	mg/L	0.001		<0.001

	DIS				
Thorio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 06		0.10177
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 2		0.0003
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 003		0.001036
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 1		<0.0001
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 2		<0.0002
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 02		0.00761
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 8		18.7430
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_ DIS	mg/L	0.000 15		0.00372
Metales Totales					
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	6.337	
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 04	<0.00004	
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 03	0.00101	
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 1	0.0358	
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 02	0.00272	
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 01	<0.00001	
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	<0.002	
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 01	0.00936	
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	27.832	
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 08	0.01104	
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 1	0.0081	
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 01	0.01391	
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000 03	0.02415	

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA				Pres 8 TN 2	Pres 7
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA				22/04/2017 13:22 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	26/04/2017 14:20 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	Resultado	Resultado
Metales Totales					
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	<0.0001	
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	<0.00003	
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.4615	
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	<0.015	
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.00020	
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	<0.0002	
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	<0.00005	
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.5160	
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0059	
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0101	
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.00006	
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	7.791	
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	7.42151	
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	<0.00003	
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	<0.00002	
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	<0.0005	
Níquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0358	
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	<0.000003	
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0202	
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	3.26	
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0165	
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	<0.0004	
Sílice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	71.02 *	
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	33.20	
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	7.860	
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.00105	
Tantalio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	<0.0007	
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	<0.001	
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0006	<0.00006	
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0014	
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	<0.000003	
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	<0.0001	
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	<0.0002	
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.00046	
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	2.2523	
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	<0.00015	

LD: Limite de detección
 MB: Blanco del proceso.
 LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.

MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.

CONTROL DE CALIDAD

Parámetro	Unidad	LD	Fecha de Análisis	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Alcalinidad-Bicarbonato	mgCaCO ₃ /L	0.5	27/04/2017	<0.5	0%	93 - 103%		
Conductividad	µS/cm	--	27/04/2017		0%	99 - 100%		
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1	27/04/2017	<1	1%	101%		
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	1	27/04/2017	<1	0 - 4%	99 - 101%		
Potencial oxido-reducción	mV	--	27/04/2017		3%			
Hierro(II)	mg/L	0.03	27/04/2017	<0.03	0%	105%		
Hierro(III)	mg/L	0.03	27/04/2017	<0.03	1%	105%		
Potencial de Hidrógeno	pH	--	27/04/2017		0%	100%		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1.0	27/04/2017	<1.0	0 - 1%	99 - 104%		
Aluminio Total	mg/L	0.001	27/04/2017	<0.001	0 - 1%	NA - 99%	NA - 99%	NA - 0%
Antimonio Total	mg/L	0.0004	27/04/2017	<0.0004	0 - 4%	101 - 105%	96 - 104%	1 - 4%
Arsénico Total	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.0003	0 - 2%	102%	101 - 105%	0%
Bario Total	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0 - 5%	97 - 106%	94 - 108%	1 - 11%
Berilio Total	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 3%	100 - 102%	99 - 102%	0%
Bismuto Total	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0%	102 - 104%	99 - 107%	0%
Boro Total	mg/L	0.002	27/04/2017	<0.002	0 - 7%	98 - 99%	94 - 99%	0%
Cadmio Total	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0 - 5%	105 - 109%	99 - 106%	0%
Calcio Total	mg/L	0.003	27/04/2017	<0.003	0 - 4%	99 - 100%	97 - 99%	0%
Cerio Total	mg/L	0.0008	27/04/2017	<0.0008	0 - 8%	106%	100 - 108%	0%
Cesio Total	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0 - 6%	101 - 102%	94 - 100%	2 - 7%
Cobalto Total	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0 - 8%	104 - 105%	98 - 102%	0%
Cobre Total	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.0003	0 - 8%	99 - 108%	97 - 107%	0%
Cromo Total	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0%	100 - 109%	103 - 105%	0%
Estaño Total	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.0003	0%	99 - 105%	101 - 104%	0%
Estroncio Total	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 8%	107%	97 - 99%	0%
Fósforo Total	mg/L	0.015	27/04/2017	<0.015	0 - 3%	NA - 97%	NA - 94%	NA - 0%
Galio Total	mg/L	0.0004	27/04/2017	<0.0004	0 - 2%	104 - 106%	101 - 109%	0%
Germanio Total	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0%	104 - 109%	105 - 106%	0%
Hafnio Total	mg/L	0.0005	27/04/2017	<0.0005	0%	106 - 107%	103 - 106%	0%
Hierro Total	mg/L	0.0004	27/04/2017	<0.0004	0 - 7%	102 - 105%	97 - 102%	0%
Lantano Total	mg/L	0.0005	27/04/2017	<0.0005	0 - 6%	106 - 109%	107 - 108%	0 - 1%
Litio Total	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0 - 8%	99 - 102%	99 - 101%	0 - 2%
Lutecio Total	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 6%	103 - 106%	103 - 106%	0%
Magnesio Total	mg/L	0.001	27/04/2017	<0.001	0 - 8%	101 - 102%	95 - 100%	0 - 1%
Manganeso Total	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.0003	0 - 7%	98 - 99%	97 - 98%	0 - 1%
Mercurio Total	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.0003	0%	100 - 102%	102 - 104%	0%
Molibdeno Total	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 3%	104%	99 - 107%	0 - 7%
Niobio Total	mg/L	0.0005	27/04/2017	<0.0005	0%	102 - 106%	103 - 104%	0%
Níquel Total	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 4%	104 - 105%	98 - 100%	0%
Plata Total	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.0003	0%	104%	100 - 103%	0%
Plomo Total	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 6%	91 - 102%	91 - 97%	0 - 3%
Potasio Total	mg/L	0.04	27/04/2017	<0	1 -	NA -	NA -	NA - 0%

			017	.0 4	8%	101%	100%	
Rubidio Total	mg/L	0.000 3	27/04/2 017	<0.0003	0 - 7%	106%	101 - 105%	0 - 2%
Selenio Total	mg/L	0.000 4	27/04/2 017	<0.0004	0%	98 - 104%	92 - 101%	0%
Silice Total	mg/L	0.09	27/04/2 017	<0 .0 9	0 - 5%	NA - 96%	NA - 94%	NA - 0%
Silicio Total	mg/L	0.04	27/04/2 017	<0 .0 4	0 - 8%	NA - 96%	NA - 91%	NA - 0%
Sodio Total	mg/L	0.006	27/04/2 017	<0.006	0 - 4%	97 - 100%	97 - 98%	0 - 6%
Talio Total	mg/L	0.000 02	27/04/2 017	<0.00002	0 - 5%	105 - 106%	99 - 107%	0%
Tantalo Total	mg/L	0.000 7	27/04/2 017	<0.0007	0%	104 - 106%	98 - 103%	0%
Teluro Total	mg/L	0.001	27/04/2 017	<0.001	0%	104 - 106%	103 - 107%	0%
Thorio Total	mg/L	0.000 06	27/04/2 017	<0.00006	0 - 1%	106 - 108%	103 - 106%	0%
Titanio Total	mg/L	0.000 2	27/04/2 017	<0.0002	0 - 5%	NA - 106%	NA - 99%	NA - 0%
Uranio Total	mg/L	0.000 003	27/04/2 017	<0.000003	0 - 2%	105 - 106%	103 - 108%	0%
Vanadio Total	mg/L	0.000 1	27/04/2 017	<0.0001	0%	103 - 106%	103 - 105%	0%
Wolframio Total	mg/L	0.000 2	27/04/2 017	<0.0002	0%	104 - 106%	103 - 106%	0%
Yterbio Total	mg/L	0.000 02	27/04/2 017	<0.00002	0 - 4%	104 - 107%	101 - 107%	0%
Zinc Total	mg/L	0.000 8	27/04/2 017	<0.0008	0 - 6%	94 - 101%	98 - 101%	0%
Zirconio Total	mg/L	0.000 15	27/04/2 017	<0.00015	0%	106 - 107%	103 - 106%	0%
Aluminio Disuelto	mg/L	0.001	27/04/2 017	<0.001	0 - 8%	NA - 101%	NA - 106%	NA - 1%
Antimonio Disuelto	mg/L	0.000 04	27/04/2 017	<0.00004	0%	92 - 105%	95 - 97%	0%
Arsénico Disuelto	mg/L	0.000 03	27/04/2 017	<0.00003	0%	96 - 99%	91 - 96%	0 - 2%
Bario Disuelto	mg/L	0.000 1	27/04/2 017	<0.0001	0 - 2%	98 - 106%	94 - 100%	0%
Berilio Disuelto	mg/L	0.000 02	27/04/2 017	<0.00002	0 - 7%	96 - 101%	98 - 108%	0%
Bismuto Disuelto	mg/L	0.000 01	27/04/2 017	<0.00001	0%	95 - 97%	95 - 98%	0%
Boro Disuelto	mg/L	0.002	27/04/2 017	<0.002	0 - 4%	95 - 98%	96 - 109%	0%
Cadmio Disuelto	mg/L	0.000 01	27/04/2 017	<0.00001	0%	97 - 101%	95 - 97%	0%
Calcio Disuelto	mg/L	0.003	27/04/2 017	<0.003	0 - 4%	101%	99 - 100%	0 - 1%
Cerio Disuelto	mg/L	0.000 08	27/04/2 017	<0.00008	0 - 4%	98 - 99%	99 - 100%	0%

LD: Limite de detección
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.

MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.

CONTROL DE CALIDAD

Parámetro	Unidad	LD	Fecha de Análisis	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Cesio Disuelto	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0 - 1%	97 - 101%	91 - 100%	0%
Cobalto Disuelto	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.00001	0 - 1%	97 - 98%	91 - 98%	0%
Cobre Disuelto	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.00003	0%	98 - 100%	101 - 104%	0 - 1%
Cromo Disuelto	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0%	93 - 101%	94 - 101%	0%
Estaño Disuelto	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.00003	0%	102 - 105%	101 - 104%	0%
Estroncio Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0%	102 - 105%	101 - 102%	0 - 1%
Fósforo Disuelto	mg/L	0.015	27/04/2017	<0.015	0 - 2%	NA - 100%	NA - 97%	NA - 0%
Galio Disuelto	mg/L	0.0004	27/04/2017	<0.00004	0%	97 - 98%	97 - 100%	0%
Germanio Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0%	96 - 101%	98 - 101%	0%
Hafnio Disuelto	mg/L	0.0005	27/04/2017	<0.00005	0%	99 - 100%	99 - 101%	0%
Hierro Disuelto	mg/L	0.0004	27/04/2017	<0.0004	0 - 3%	100 - 101%	99 - 101%	0%
Lantano Disuelto	mg/L	0.0005	27/04/2017	<0.0005	0 - 1%	101%	101 - 102%	0%
Litio Disuelto	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0 - 3%	102 - 106%	103 - 104%	1 - 4%
Lutecio Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.00002	0 - 1%	98 - 105%	104 - 109%	2 - 3%
Magnesio Disuelto	mg/L	0.001	27/04/2017	<0.001	0 - 5%	103%	99 - 100%	0 - 1%
Manganeso Disuelto	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.00003	0 - 2%	97 - 100%	98 - 106%	0%
Mercurio Disuelto	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.00003	0%	98 - 99%	104 - 109%	0%
Molibdeno Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.00002	0%	104 - 107%	98 - 102%	0%
Niobio Disuelto	mg/L	0.0005	27/04/2017	<0.0005	0%	94 - 99%	96 - 99%	0%
Niquel Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0%	101 - 104%	102 - 109%	0%
Plata Disuelto	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.000003	0%	104 - 106%	102 - 103%	0%
Plomo Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 2%	92 - 97%	92 - 93%	0 - 2%
Potasio Disuelto	mg/L	0.04	27/04/2017	<0.04	0 - 4%	NA - 99%	NA - 99%	NA - 0%
Rubidio Disuelto	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.00003	0%	99 - 101%	100 - 105%	0%
Selenio Disuelto	mg/L	0.0004	27/04/2017	<0.0004	0%	94 - 99%	93 - 95%	0 - 3%
Sílice Disuelto	mg/L	0.09	27/04/2017	<0.09	1 - 8%	NA - 92%	NA - 95%	NA - 0%
Silicio Disuelto	mg/L	0.04	27/04/2017	<0.04	1 - 8%	NA - 92%	NA - 94%	NA - 0%
Sodio Disuelto	mg/L	0.006	27/04/2017	<0.006	0 - 3%	99 - 102%	97 - 99%	0%
Talio Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.00002	0 - 5%	98 - 99%	97 - 99%	0%
Tantalio Disuelto	mg/L	0.0007	27/04/2017	<0.0007	0%	95 - 99%	97 - 99%	0%
Teluro Disuelto	mg/L	0.001	27/04/2017	<0.001	0%	97 - 99%	98 - 99%	0%
Thorio Disuelto	mg/L	0.0006	27/04/2017	<0.00006	0%	99 - 100%	99 - 102%	0%
Titanio Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0 - 1%	NA - 105%	NA - 100%	NA - 0%
Uranio Disuelto	mg/L	0.0003	27/04/2017	<0.000003	0%	97 - 99%	99%	0%
Vanadio Disuelto	mg/L	0.0001	27/04/2017	<0.0001	0%	95 - 99%	97 - 99%	0%
Wolframio Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.0002	0%	96 - 99%	98 - 99%	0%
Yterbio Disuelto	mg/L	0.0002	27/04/2017	<0.00002	0 - 2%	96 - 99%	98 - 99%	0%
Zinc Disuelto	mg/L	0.0008	27/04/2017	<0.0008	0 - 2%	91 - 93%	96 - 98%	0%
Zirconio Disuelto	mg/L	0.00015	27/04/2017	<0.00015	0%	99 - 100%	99 - 101%	0%
Cloruro	mg/L	0.025	27/04/2017	<0.025	0 - 1%	99 - 100%	97 - 100%	0%
Fluoruro	mg/L	0.002	27/04/2017	<0.002	0 - 8%	99 - 101%	97 - 100%	0%
Fosfato	mg/L	0.019	27/04/2017	<0.019	0 - 3%	99 - 103%	97 - 98%	0%
Nitrato	mg/L	0.031	27/04/2017	<0.031	0%	98 - 107%	96 - 105%	0 - 1%
Nitrito	mg/L	0.003	27/04/2017	<0.003	0 -	99 -	98 -	0 - 1%

			017		2%	101%	100%	
--	--	--	-----	--	----	------	------	--

Sulfato	mg/L	0.01	27/04/2017	<0.01	0%	99 - 100%	99 - 101%	0%
---------	------	------	------------	-------	----	-----------	-----------	----

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Se de	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2320B	Cal lao	Alcalinidad-Bicarbonato	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B: 2012; 22nd Ed. - Alkalinity Titration Method
EW_APHA2510B	Cal lao	Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B: 2012; 22nd Ed. - Conductivity: Laboratory Method
EW_APHA2540C	Cal lao	Sólidos Disueltos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-C: 2012; 22nd Ed. - Solids: Total Dissolved Solid dried at 180°C
EW_APHA2540D	Cal lao	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D: 2012; 22nd Ed. - Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
EW_APHA2580B	Cal lao	Potencial óxido-reducción	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2580 B: Oxidation-Reduction Potential Measurement in clean water. 2012 22 nd. Ed.
EW_APHA3500FEB	Cal lao	Hierro(II)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part Fe-B, 2012 22nd Ed. Phenanthroline Method
EW_APHA3500FEB	Cal lao	Hierro(III)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part Fe-B, 2012 22nd Ed. Phenanthroline Method
EW_APHA4500HB	Cal lao	Potencial de Hidrógeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+-B:2012; 22nd Ed. - pH Value: Electrometric Method.
EW_APHA5210B	Cal lao	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B: 2012; 22nd Ed. - Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_EPA200_8_DIS	Cal lao	Metales Disueltos	EPA 200.8: 1994 Rev 5.4 Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
EW_EPA300_0	Cal lao	Aniones	EPA 300.0. Rev. 2.1. 1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography.
EW_EPA200_8	Cal lao	Metales Totales	EPA 200.8: 1994 Rev 5.4 Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.