



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**“MÉTODO INTEGRADO DE REMEDIACIÓN PARA LA  
DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACION DE METALES  
PESADOS DE AGUAS RESIDUALES DE ACTIVIDAD MINERA DE  
LA SIERRA CENTRAL– 2018”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**ALCÁNTARA MALCA DANIEL ADOLFO**

**ASESORA:**

**Dra. ESENARRO VARGAS DORIS**

**JURADO:**

**Dr. RODENAS SEYTUQUE PEDRO**

**Dr. ROSALES LEON TOMAS FRANCISCO**

**Dr. ZAMORA TALAVERANO NOE SABINO**

**LIMA - PERÚ  
2020**

## INDICE

Resumen	5
Abstract	6
I. Introducción	7
1.1. Planteamiento del Problema	8
1.2. Descripción del problema	9
1.3. Formulación del problema	14
Problema General	14
Problemas específicos	14
1.4. Antecedentes	15
Antecedentes internacionales	15
Antecedentes nacionales	21
1.5. Justificación e importancia de la Investigación	28
1.6. Limitaciones de la Investigación	29
1.7. Objetivos de la investigación	30
Objetivo General	30
Objetivos Específicos	30
1.7.1. Hipótesis general	30
1.7.2. Hipótesis específica	30
II. Marco Teórico	32
2.1. Bases Teóricas	32
Derechos de uso de agua, autorizaciones y reúso de aguas residuales	32
Aguas residuales	34
Clases de aguas residuales	36

Métodos convencionales y no convencionales de adsorción en el tratamiento de aguas residuales.	38
Cascarilla de arroz	44
Tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos.	45
Precipitación química convencional de metales pesados	45
Humedales artificiales	50
Jabones de metales pesados	52
2.2. Marco conceptual	57
Remediación	57
Biorremediación	57
Biosorción	57
Estándares de Calidad Ambiental (ECA)	58
Límites máximos Permisibles	58
Metales pesados	59
III. Método	60
3.1 Tipo de Investigación	60
3.2 Población y muestra	60
3.3 Operacionalización de variables	61
3.4 Instrumentos/materiales	62
3.5 Procedimientos	62
3.5.1. Procedimiento Experimental I	63
3.5.2. Procedimiento Experimental II	64
3.5.3. Procedimiento Experimental III	64
3.5.3. Procedimiento Experimental IV	65
3.6. Análisis de datos	65

IV. Resultados	81
4.1 Contrastación de hipótesis	81
4.2. Análisis e Interpretación	82
V. Discusión de resultados	85
5.1 Discusión	85
VI. Conclusiones	89
VII. Recomendaciones	90
VIII. Referencias	92
IX. Anexos.	97
Matriz de consistencia	
Normas de Legislación Ambiental Publicadas en el diario El Peruano.	
Protocolo ANA - Perú	

## Resumen

Este proyecto integrado de remediación propone la aplicación de un método químico innovador barato usando una base moderadamente fuerte y barata como es el jabón sin excipientes, complementado con un método de biorremediación usando cascarilla de arroz, para disminuir significativamente la concentración de los metales pesados y de arsénico, de aguas provenientes de la minería formal de Cerro de Pasco, ensayando con soluciones simples de concentración conocida de metales pesados y luego ensayando soluciones más complejas de metales . Usando dispersiones de jabón de 90 mL a 110 mL, la extracción de metales pesados oscilan en el rango de 95% a 99% cuando hay mezclas de varios metales pesados cuyas concentraciones oscilan en el rango de 13 mg/L a 114 mg/L y las cantidades de cascarilla de arroz oscilan de 2,0g a 3,25g, alcanzándose pH 6,0 – 7,5. Los resultados experimentales de aplicación del método integrado a cuerpos de agua contaminados resulta significativamente óptima, ya sea para bajas concentraciones de metales pesados (caso Planta de Tratamiento a la salida de Rumiayana) o para alta acidez y altas concentraciones de metales pesados (caso de la Laguna Quilacocha). Además, se recuperan volúmenes significativos de agua cuando las concentraciones de metales pesados no superan los 120 mg/L, pues por cada 100 mL de muestra tratada se puede recuperar de 70% a 90% del agua contaminada tratada, para su uso en agricultura o bebida de animales.

Palabras clave: adsorción, álcali, biorremediación, cascarilla de arroz, concentración, contaminación, ECA, metal pesado, remediación, precipitación.

## **Abstract**

This integrated remediation project proposes the application of a cheap innovative chemical method using a moderately strong and cheap base such as soap without excipients, complemented with a bioremediation method using rice husk, to significantly reduce the concentration of heavy metals and arsenic, from waters from the formal mining of Cerro de Pasco, testing with simple solutions of known concentration of heavy metals and then testing more complex metal solutions. Using soap dispersions of 90 mL to 110 mL, heavy metal extraction ranges from 95% to 99% when there are mixtures of several heavy metals whose concentrations range from 13 mg / L to 114 mg / L and rice husk amounts range from 2.0g to 3.25g, reaching pH 6.0 - 7.5. The experimental results of the application of the integrated method to contaminated bodies of water is significantly optimal, either for low concentrations of heavy metals (case of the Treatment Plant at the exit of Rumiayana) or for high acidity and high concentrations of heavy metals (case of Quilacocha Lagoon). In addition, significant volumes of water are recovered when heavy metal concentrations do not exceed 120 mg / L, since for every 100 mL of treated sample, 70% to 90% of treated contaminated water can be recovered, for use in agriculture or Animal drink

**Keywords:** adsorption, alkali, bioremediation, rice husk, concentration, contamination, ECA, heavy metal, remediation, precipitation.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Sabemos actualmente por noticias periodísticas frecuentes y por evaluaciones de la contaminación ambiental por diferentes organismos que Cerro de Pasco, entre otros lugares del Perú, de alta actividad minera, es una región contaminada por pasivos ambientales y aguas residuales que perjudican a los ecosistemas terrestres y acuáticos y dañan la salud de las personas sobre todo por los metales pesados y, lo cual, se pudo comprobar al desarrollar en los años 2017 y 2018 muestreo de las aguas muy ácidas con metales pesados de las Lagunas de Quilacocha y Yanamate, cuyos cuerpos de agua prácticamente son inútiles para bebida de animales y para agricultura. La presente investigación de innovación a nivel de laboratorio, pretende contribuir con una alternativa integrada de bajo costo a la disminución simultánea de la acidez y a la remoción significativa de metales pesados, de modo que su aplicación sea sencilla y sostenible para un poblador o comunidad aledaña a la actividad minera, que requiere agua para bebida de sus animales de crianza doméstica y requiere agua para su agricultura de autosostenimiento. Los insumos que se utilizaron fueron: jabón y cascarilla de arroz, los cuales son abundantes y baratos y los residuos pueden ser aprovechables.

## **1.1. Planteamiento del Problema**

Los pobladores de la Sierra Central, aledañas a centros mineros, requieren de agua para la crianza de sus animales domésticos y para la agricultura de autosostenimiento, pero este recurso fundamental está disminuyendo sobretodo porque los cuerpos de agua disponibles para ellos tienen aguas muy ácidas y frecuentemente están contaminados por metales pesados, los cuales en bajas y altas concentraciones son perjudiciales para la salud de las personas y perjudicial para animales y plantas, como es el caso de las Lagunas Quilacocha y Yanamate en Cerro de Pasco, alrededor de las cuales la biodiversidad acuática no existe.

Las comunidades altoandinas no disponen de los recursos disponibles para invertir en plantas de tratamiento de aguas (PTAR) que posibiliten el uso de las aguas mencionadas ni los gobiernos locales ni regionales están interesados o no disponen de los fondos para la recuperación y uso de dichas aguas. Los métodos convencionales como por ejemplo la ósmosis, la precipitación química, la electrocoagulación y la oxidación son también costosos.

Actualmente se dispone de métodos no convencionales de remediación de cuerpos de agua de bajo costo, para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados y, en los cuales se utiliza materia vegetal viva como las plantas metalofitas o se utilizan materia orgánica inerte como son, por ejemplo, los residuos vegetales como la cascarilla de arroz, vainas de frijol, las escamas de pescado, entre otros materiales. En esta investigación aplicada, a nivel de laboratorio, se integrará una precipitación química no convencional con una adsorción no convencional para obtener volúmenes significativos de agua para su uso en agricultura y crianza de animales domésticos de autosostenimiento.



## 1.2. Descripción del problema

Según E. Narciso C. (2015), MINAM, se descargan a los cuerpos de agua naturales, como son las lagunas, ríos, humedales, etc., aproximadamente 538 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales de actividad minera sin tratamiento. Así, por ejemplo, el MINAM reporta las áreas afectadas en la Tabla 1 (tabla Recortada respecto al documento original.):

<b>Región</b>	<b>Zonas Identificadas de Minería ilegal/ubicación referencial</b>	<b>Área (ha)</b>
Amazonas	Dist Nieva, Comunidad Nativa Sta. Rosa. Dist. Río Santiago: Comunidad Nativa San Juan. Dist. Imazaq: Comunidad Nativa Nueva Vida	1681130.6
Apurímac	Provincia Grau-Cotabambas, Aymaraes, Antabamba y Andahuaylas(Pampachiri y Chiara)	1284973.76
Arequipa	Secocha. Provincia Vamaná-Base Rey. Provincia Condesuyos-Chaparra, Quicacha, Mollehuaca en Prov. de Caravelí; Yanquihua en prov. De Condesuyos	485511.64
Ayacucho	Prov. De Parinacochas(coracora), Paucar del Sara Sara(Coita, Pausa, Sacraca), Parinacochas (Mina Luicho), Lucanas(Puqio, Otaca) y Sucre	559592.29
Cajamarca	Provincia San Ignacio	492734.94
Junín	Pachacayo-Jauja, Palca-Tarma, Huasahuasi; Comas-Concepción	190763.41
Lima	Distrito de Coayllo, provincia de Cañete	60029.04

La actividad minera ilegal e informal, sobretudo en la zona andina, ha ocasionado que se contaminen no solo los ríos, lagunas, bofedales, etc., también ha producido la contaminación de los suelos de pastoreo natural y las zonas de agricultura, lo cual, sin duda, afecta el desarrollo de sus actividades agropecuarias para subsistir.

Por ejemplo, para uso agrícola y pecuario, los criterios de calidad admisibles (LMP) del agua se muestran en la Tabla 2:

*Tabla2. Límites Máximos permisibles para agua de agricultura y bebida de animales*

Parámetro (mg/L)	Al	As	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	Zn	pH
Uso agrícola	5	0,1	0,01	0,05	2,0	0,1	5,0	0,2	0,001	0,05	2,0	6- 9
Uso pecuario	5	0,2	0,05	--	0,5	1,0	1,0	0,5	0,01	0,05	25,0	6- 9

Elaboración propia. Fuente: Normas de Legislación Ambiental del Perú

Como vemos en la tesis de titulación profesional de Graza, F. W. (2015), se reporta los valores de 0,6402 mg/L de Pb y 0,0396 mg/L de Cd, los cuales son valores que superan los LMP en el Rio Santa, establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” del Ministerio del Ambiente.

Una publicación del 09 de mayo del 2016 del Diario La República, menciona que, un estudio elaborado por la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa muestra que la población del distrito de Chala, el centro minero más grande de la región, está expuesta a la contaminación por los metales pesados mercurio, plomo, cobre y cadmio, además del semimetal arsénico. Señala como fuentes de esa contaminación las actividades que realizan los mineros ilegales en “La Aguadita” y “Chala Norte”, donde la extracción del metal se realiza utilizando "quimbaletes" y los relaves afectan el suelo y el aire. El documento concluye que es urgente establecer un programa de control y remediación ambiental, pero ello supone un gasto millonario.

Según el MINEM (2015) son 55181 declarantes mineros con compromiso de formalización y cientos de miles de personas dispersas en actividades de la minería informal que contribuyen con el deterioro de la calidad del agua, debido a que utilizan en sus procesos artesanales para la obtención de oro sustancias sumamente contaminantes como el mercurio y el cianuro vertidos directamente a los cuerpos

de agua a través de relaves y drenajes ácidos de mina. La minería informal se practica en 21 de las 25 regiones del país; la que se lleva a cabo en Madre de Dios destaca de manera particular no solo por concentrar la mayor parte de esta actividad productiva, sino también por sus efectos nefastos en el ecosistema: 50000 hectáreas de bosques arrasados en dicho territorio afectando a gran parte de los ríos de dicha región, según Torres 2015, citado por ANA (2016).

Por otro lado, se debe considerar los antiguos pasivos ambientales que siguen contaminando los ríos y otros cuerpos de agua limítrofes una vez que han cesado las actividades extractivas. Según el último inventario realizado por el MINEM, se han identificado 7576 Pasivos Ambientales Mineros (PAM) en todo el país, que corresponden a los residuos de actividades mineras del pasado en estado de abandono, muchos de los cuales continúan deteriorando la calidad de los cuerpos de agua ANA (2016).

Como resultado del no control y fiscalización de la actividad minera ilegal e informal y el no tratamiento de las aguas residuales contaminadas por parte de los gobiernos locales ni regionales, se acentuará la crisis por el recurso hídrico, lo cual puede agudizar los conflictos sociales incluso con la minería formal o legal y podría ocasionar que ante la carencia de los recursos de subsistencia los pobladores o la comunidad tengan que migrar hacia otras regiones o ciudades.

En febrero de 2018 desarrollé un muestreo de aguas de Cerro de Pasco y encontré lo siguiente, respecto a los metales pesados y arsénico en mg/L, que se indican en la Tabla 3:

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>Fe mg/L</b>	<b>Mn mg/L</b>	<b>Cu mg/L</b>	<b>As mg/L</b>	<b>Zn mg/L</b>
Laguna Quilacocha	1,5	1798,55	418,56	7,277	23,13	262,55
Afluente Río San Juan	6,8	13,53	10,97	0,121	4,023	2,314
Planta de Tratamiento	6,9	13,86	2,36	0,154	2,004	3,595
LMP(mg/L) uso agrícola (ANA)	6-9	5,0	0,2	2,0	0,1	2,0

Fuente propia DAAM 23-02-2018

Estos datos nos indican que estas aguas no son aptas para su uso en agricultura ni para bebida de animales domésticos, pues sobrepasan los estándares de calidad ambiental (ECA's) de las aguas de la Categoría III. Prácticamente la biodiversidad que tenía la laguna de Quilacocha ha desaparecido, pues las aguas son muy ácidas y tiene muy altas concentraciones de metales pesados que son muy perjudiciales para la salud de los animales y los humanos.

Por otro lado, los animales (alpacas, llamas, cerdos) que pastan y beben las aguas del Río San Juan o de los afluentes del Río San Juan, en el Distrito de Simón Bolívar, o que beben incluso las aguas aluviales se contaminan no solo por los metales pesados sino también con arsénico, pues los suelos están contaminados por el arsénico de los pasivos ambientales de las épocas en que no había Legislación Ambiental en el Perú.

De los datos, nos damos cuenta de que algunas plantas de tratamiento de aguas de las empresas mineras de Cerro de Pasco, no están cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles (LMP), pues las aguas que desechan superan con creces los LMP exigidos por la Legislación Peruana para la actividad minera formal. Puede esto significar que sus sistemas de tratamientos de agua estén utilizando técnicas y tecnologías obsoletas o que a propósito estén arrojando a los ríos cantidades que

sobrepasan los límites, con la esperanza de que los riachuelos y puquiales disminuyan esta concentración alta por dilución natural.

El agua se encuentra disponible en gran abundancia en nuestro planeta. El ciclo hidrológico (movido por la energía solar) proporciona a la Tierra un suministro constante de agua fresca. Este suministro se distribuye de manera desigual alrededor del planeta, incluso en aquellas zonas donde el agua es un bien abundante este recurso puede estar mal gestionado lo que conduce, en muchas ocasiones, a un despilfarro del mismo o a su contaminación mediante el vertido de desechos. El disponer de agua no contaminada, libre de organismos patógenos, constituye una necesidad para la mayoría de la población mundial T.G. Spiro – W. Stigliani (2004). Las interacciones del suelo con el agua dependen en la mayoría de los casos de las propiedades ácido – base del primero, ya que estas regulan su capacidad de tamponamiento que varía según el tipo de suelo. El agua acidificada atraviesa el suelo donde se neutraliza gracias a la acción de los minerales calcáreos y arcillosos. Este balance natural se supera cuando el aporte ácido de las aguas, debido a actividades antropogénicas, excede la capacidad de tamponamiento del suelo. En estos casos, el agua ácida que percola no se neutraliza, acidificando las aguas receptoras. Debido a que la disminución de la capacidad de tamponamiento del suelo es un proceso lento (pueden transcurrir décadas) generalmente se origina un desfase temporal entre el origen de la contaminación y los efectos que ocasiona.

Los problemas de contaminación de las aguas se producen porque sus mecanismos de autodepuración se superan: capacidad de tamponamiento en lo que respecta a sus interacciones con el suelo, y la capacidad de oxidación en el caso de las aguas receptoras. La reducción de la contaminación del agua requiere la puesta

en práctica de estrategias dirigidas no solo a un control de las emisiones de los contaminantes que tienen incidencia sobre los sistemas acuáticos, sino al mantenimiento y reposición de las capacidades vitales del agua. En algunos casos esto se consigue mediante una redirección de los recursos, por ejemplo, y asegurándose previamente que están libres de sustancias tóxicas, los lodos de desecho, en vez de verterse en los cuerpos de agua, podrían aplicarse como fertilizantes del suelo ya que la capacidad oxidante de este medio es más elevada (T.G. Spiro – W. Stigliani,2004).

### **1.3. Formulación del problema**

#### **Problema General**

¿En qué medida la aplicación de un método integrado de remediación influye en la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central?

#### **Problemas específicos**

**a)** ¿En qué medida la aplicación de un método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central posibilita la recuperación de agua para su uso en agricultura de autosostenimiento?

**b)** ¿En qué medida la aplicación de un método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central posibilita la recuperación de agua para su uso en crianza de animales de autosostenimiento?

## 1.4. Antecedentes

### Antecedentes internacionales

Guevara, A., et al (2009) menciona que la rizofiltración, es una técnica alternativa de fitorremediación, que usa raíces de plantas para descontaminar aguas o efluentes líquidos. En este desarrollo experimental, por rizofiltración, usando raíces de pasto y alfalfa se logra obtener el 99 % de absorción de cobre y más del 80% de absorción de cadmio, mientras que en el caso de cromo se obtiene hasta el 60% de adsorción con raíces de sambo.

Cutillas B. (2017) ilustra que la bioadsorción es un mecanismo ecológico, sostenible, rápido y económico para tratar de inmovilizar contaminantes utilizando corteza de pino en sistema batch de flujo agitado y en columnas, que posibilitó la extracción por adsorción de los metales pesados cobre (Cu), cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn).

Tejada T. (2018), utilizando columnas de lecho fijo conteniendo bagazo de palma (BP) y cáscaras de ñame (CÑ) como adsorbentes de metales pesados, evaluó soluciones estándar de  $\text{Ni}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$  (de 100 mg/L) con variaciones del pH (usando ácido cítrico 0,6M) para optimizar la bioadsorción de los materiales mencionados, con lo cual logra extraer 92,58 mg/g y 98,04mg/g de los adsorbentes, respectivamente. Al final concluye que el BP y las CÑ son buenos precursores para generar bioadsorbentes en la remoción Ni(II) y Pb(II) y que la inactivación por calcinación es viable para el tratamiento final de los residuos.

Ferniza G. (2017) en su tesis experimental empleó un tratamiento acoplado de Electrocoagulación – Fitorremediación, para extraer metales pesados (Pb, Cu, Cd y Zn) presentes en agua residual minera, de modo que el agua resultante pueda ser reutilizada. Preparó soluciones estándar conteniendo metales pesados y de

características casi idénticas a la del agua residual de minería. Estas soluciones fueron sometidas a tratamiento electroquímico (electrocoagulación) mediante un reactor en batch con 10 electrodos de aluminio (Al), 5 como cátodos y 5 como ánodos. Al finalizar este tratamiento se obtuvieron porcentajes de remoción de 100% Zn, 98.3% Cu, 78.7% Cd y 96.9% Pb; con un consumo de energía de 26 Kwh/m<sup>3</sup>. Luego, se sometió el resultado a fitorremediación con la macrofito *Typha latifolia L.*, en la cual se evaluó su fitotoxicidad con los metales pesados adsorbidos, con lo cual se obtuvo porcentajes de remoción del 99.2% Cu, 81.3% Cd y 99.4% Pb; en el caso del Zn se presentó incremento en su concentración debido a desorción de la planta.

Vaca S. (2018) en su tesis de grado *Biorremediación de agua contaminada con cadmio empleando la técnica de biosorción con tres especies de macroalgas*. Las especies de macroalgas *Acanthophora spicifera*, *Padina pavónica*, *Sargassum ecuadorenum* fueron transformadas en biofiltros de adsorción que fueron colocados en embudos, por los cuales se sometió a soluciones de cadmio de 0,5 mg/L a 1,0 mg/L, Los resultados obtenidos mostraron que *Padina pavónica* es un excelente material bioabsorbente al presentar el mayor porcentaje de remoción de Cd en agua ( $97 \pm 1,41\%$ ). Finalmente, se propone el diseño de un biofiltro con carbón activado para complementar esta técnica ecológica.

Cuenca R. (2015), en la tesis doctoral *Selección de un sistema de desinfección en proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas*, el autor propone un método híbrido que combina el procedimiento Proceso Analítico Jerárquico (AHP) con el método Delphi y la técnica VIKOR, y se muestra apropiado en escenarios realistas donde múltiples actores están involucrados en la selección de una técnica



de desinfección sostenible en proyectos de regeneración de aguas residuales tratadas.

Favas et al., 2012, (citado por M. Beltrán, 2015) menciona que la bioacumulación de metales y metaloides en las plantas ocurre por mecanismos de adsorción y absorción. Estos procesos permiten que las plantas puedan capturar sustancias de diversos ambientes a través de intercambio iónico, complejación superficial o precipitación.

Dimas, G. (2011), en la tesis de maestría *Estudio de la interacción de metales pesados (Pb, Cd, Zn y Cr) en Solución, en el proceso de biosorción por tres tipos de biomasa*, evaluó la biosorción de mezclas de soluciones acuosas multicomponentes con metales pesados con los cationes  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cr^{3+}$  con las biomasas de levadura residual de cerveza, levadura de pan y con el alga *Caulerpa sp.* Al comparar las capacidades de adsorción de las tres biomasas frente a la mezcla de varios cationes de metales pesados preparadas en el laboratorio se encontró que la levadura residual de cerveza presentó el siguiente orden en la adsorción de los metales pesados:  $Pb^{2+} > Zn^{2+} > Cr^{3+} > Cd^{2+}$ ; para levadura de pan y *Caulerpa* el orden fue igual:  $Pb^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+} > Cd^{2+}$ . Para todas las biomasas el  $Pb^{2+}$  fue el mejor adsorbido.

Poveda R.A. (2014) detalla que muestras de aguas residuales fueron sometidas a fitorremediación con las plantas acuáticas *Azolla*, Lenteja de agua, Jacinto de agua, Salvinia y el trébol de agua. Los resultados finales demuestran que el Jacinto de agua y la lenteja de agua son las mejores plantas acuáticas para poner en marcha un proceso de fitorremediación. Evaluando la fitorremediación desde el punto de vista de su viabilidad técnica y económica y los aspectos de adaptación y mantenimiento, resulta que el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) tiene las

mayores capacidades de adsorción para agua residual industrial y para agua de uso agrícola y la lenteja mayor de agua (*Lemna spp.*) para agua de uso agrícola.

Alkorta (2000), citado por R. A. Poveda, E. (2014), menciona que la fitorremediación es una tecnología emergente verde para la remediación de suelos, sedimentos, agua superficial y subterránea, que se basa en el uso de la vegetación como principal agente descontaminador para eliminar contaminantes peligrosos para el medio ambiente (Alkorta, 2000, Hutchinson et al., 2001, citado por R. A. Poveda, Ecuador (2014), menciona que podemos distinguir dos tipos diferentes de “fitorremediación”: “*in planta*” y “*ex planta*”, según se realice la degradación del contaminante dentro de la propia planta o fuera de ella. En el primer caso (*in planta*), la planta absorbe el contaminante y lo incluye dentro de ella, mientras que cuando es “*ex planta*”, dicha degradación se realiza en la zona de la rizósfera, debido a los exudados radicales (Entre las ventajas que se presentan en la fitorremediación tenemos (Mentaberry, 2010, citado por R. A. Poveda, Ecuador, 2014):

Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas (costo 7-10 veces menor respecto de los métodos tradicionales).

Las plantas emplean energía solar.

Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.

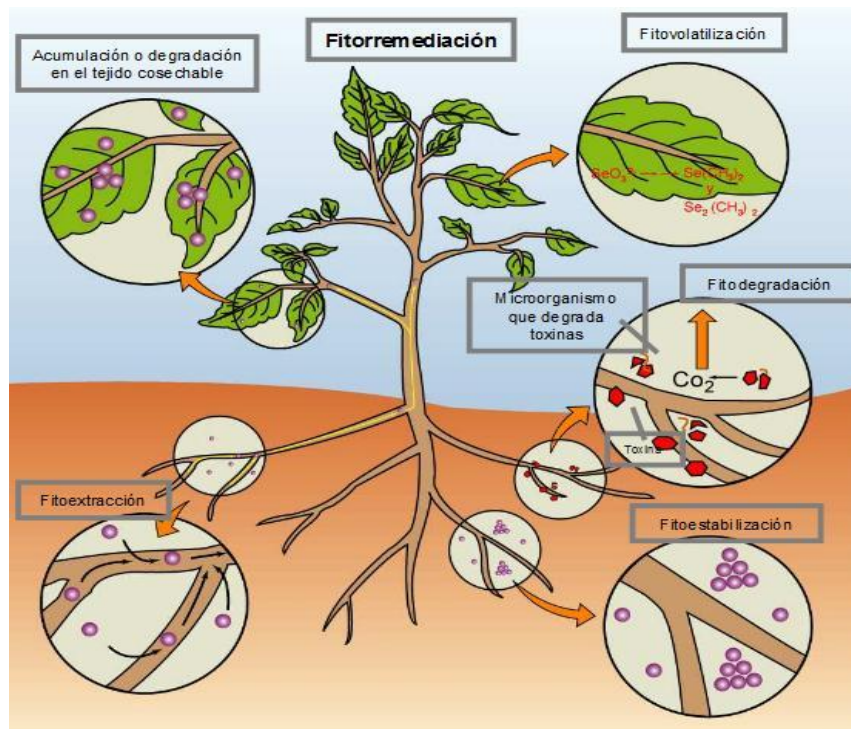
Es una metodología con buena aceptación pública.

Se generan menos residuos secundarios.

Existen varios tipos de fitorremediación (Figura1) que se describen a continuación (Mentaberry, 2010, citado por R. A. Poveda, Ecuador, 2014)):

- Fitoextracción: Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (principalmente, la parte aérea).
- Rizofiltración: Las raíces de las plantas se usan para adsorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados.
- Fitoestimulación: Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).
- Fitoestabilización: Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje al aire.
- Fitotransformación: Se divide en:
  - Fitodegradación: Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos no tóxicos o menos tóxicos.
  - Fitovolatilización: Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera mediante la transpiración

**Figura 1: Tipos de fitorremediación**



Fuente: Buchanan et al., 2000(citado por R.A. Poveda<sup>5</sup>, Ecuador, 2014)

María Guadalupe Valladares, et al. (2017), presenta una revisión sobre los adsorbentes no-convencionales utilizados para la remoción de contaminantes en el agua. Se describe de manera sucinta los adsorbentes convencionales para diferenciarlos de los no-convencionales. Los **adsorbentes convencionales** son aquellos materiales naturales o sintéticos los cuales, para ser empleados, deben recibir un tratamiento para activarse, como el carbono, las arcillas, las membranas etc.; después de usarse estos materiales tienen la cualidad de poder ser regenerados. Los **adsorbentes no-convencionales** son materiales alternativos (biopolímeros o partes de plantas); los cuales se pueden usar directamente sin ningún tratamiento pero que activados pueden mejorar su capacidad de adsorción o biosorción. Las materias primas empleadas como adsorbentes no-convencionales han sido los residuos agroindustriales y de la industria alimenticia y especies vegetales cuya

aplicación es restringida o no tienen aplicación doméstica o industrial. Hay diferentes estudios que demuestran que el empleo de materiales naturales como adsorbentes no-convencionales permite disminuir la carga orgánica de un efluente contaminado con metales pesados, colorantes, pesticidas y algunos otros materiales orgánicos. Las áreas de estudio para los materiales no-convencionales surgen como una necesidad en el diseño de procesos sustentables para el tratamiento de aguas residuales, por lo que su estudio y revisión son de especial interés para profundizar y proponer alternativas acordes con las necesidades existentes.

Caviedes R. (2015) y sus coautores presentan una revisión de algunas características toxicológicas de los metales pesados, sus fuentes industriales de las cuales derivan, así como los niveles permitidos (LMP) de su vertimiento, además muestra 20 diferentes técnicas entre convencionales y no convencionales empleadas para la remoción de metales pesados presentes en fuentes hídricas, así como las condiciones fisicoquímicas en las que estos tratamientos han presentado mejores eficacias en la remoción de los metales pesados.

### **Antecedentes nacionales**

Portilla R. (2017), en su tesis de maestría *Tiempo de contacto de la cáscara de *musa sapientum* (plátano) y su tamaño de partícula sobre el pH y adsorción de Pb y Zn en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico*, muestra que los laboratorios de análisis químicos de las universidades vierten sus aguas contaminadas con ácidos, metales, álcalis, entre otros contaminantes al sistema público de alcantarillado, sin ningún tratamiento previo ni evaluación de los LMP. Además, hace la observación que la gente o los pobladores contribuyen a la generación de residuos sólidos al desechar las cáscaras de plátano. Para resolver

estos problemas mencionados, utilizó la cáscara de plátano (*Musa Sapientum*) con diferentes mallas de tamizado y por un tiempo de hasta 32 horas en el tratamiento de aguas residuales de laboratorio, logró disminuir los niveles de concentraciones iniciales de Pb y Zn de 1,759 y 12,0 mg/L respectivamente hasta 0,337mg/L y 4,103mg/L; además, determinó la variación de pH desde un rango ácido de 5,5 que tenía inicialmente el agua residual de laboratorio hasta un valor promedio de 7,17. Por estos resultados experimentales podemos decir que este tratamiento es una alternativa viable y de bajo costo para la eliminación de metales pesados en aguas residuales.

Paredes Z. (2018) En su tesis doctoral *Biorremediación aeróbica de los metales pesados hierro, cobre y plomo de aguas residuales de minas*, trató aguas de la mina Quruvilca de Santiago de Chuco que contenían 132 ppm de cobre (Cu); 696 ppm de hierro (Fe) y 0 ppm de plomo (Pb) en cada reactor; luego, por agitación y sin agitación, usando totora (*scirpus californicus*), cochayuyo (*chondracantus chamissoi*) y grama (*eleusine indica*), respectivamente, por tiempos de adsorción de 26 a 100 horas se logró remover de 85% a 100% de cada metal pesado. Usando (totora) la concentración de cobre disminuye en un 48 % con agitación y 44% sin agitación en un periodo de 100 horas la concentración de hierro disminuye en 88% con agitación y 87% sin agitación en el mismo periodo de tiempo. Usando el cochayuyo la concentración de cobre se elimina totalmente usando agitación y un 57 % sin agitación en un tiempo de 26 horas la concentración de hierro se reduce en un 98 % con agitación y 85 % sin agitación en periodo de tiempo de 100 horas. Con grama la concentración de cobre se elimina totalmente en un periodo de 100 horas con agitación y 26 horas sin agitación, la concentración de hierro disminuye 86% con agitación y 85 % sin agitación en un periodo de 100 horas. Se concluye

que la mayor absorción de cobre con agitación magnética es de 100% usando el cochayuyo en un tiempo de 26 horas. Usando grama en el mismo periodo de tiempo y sin agitación magnética el cobre es adsorbido al 100%. La mayor adsorción de hierro con agitación magnética utilizando cochayuyo se da en un periodo de 100 horas.

Roque R. (2018), en su tesis doctoral *Desinfección y depuración bioelectroquímica de aguas residuales domesticas asistida por energía fotovoltaica a miniescala caso: PTAR Chilpina-Arequipa*, propone un método innovador de BER- bioelectroremediación (electrodesinfección y electrocoagulación) de aguas contaminadas utilizando energía fotovoltaica (energía solar) a nivel de mini escala, para obtener aguas reutilizables que cumplan las normas de la categoría 3 para agricultura y bebida de animales (D.S. 002-2008-MINAM). Como resultado de su aplicación el pH, la conductividad eléctrica, el potencial de óxido-reducción, sólidos totales disueltos, turbidez, DBO5 y DQO fueron reducidos significativamente y demostraron la eficiencia de esta nueva tecnología, principalmente en su turbidez que se redujo de 58,09 a 0,84 NTU consiguiendo alta calidad organoléptica de las muestras tratadas ; similarmente, metales alcalinos como Li (I), metales pesados primarios como Cd (II), Cr total (III y VI), Mn total (II,III,IV,VI y VII), Ni (II), Pb (II), Sr (II), Ti (IV), V (III), Zn (II) y secundarios como Al (III) y Fe total (II y III) se encontraron en pequeñas concentraciones y fueron eliminados casi completamente, a excepción de aluminio que incrementó su contenido debido a la oxidación y solubilización del ánodo pero no llegó a superar en ninguno de los casos los LMP vigentes (5 ppm) demostrando el efecto potencial del componente biológico en la aplicación de campos eléctricos en la desinfección y depuración de aguas residuales domésticas. Finalmente, el uso de esta tecnología

emergente e innovadora proporcionaría óptimos resultados en su aplicación comercial a mayor escala para utilizarla bajo la legislación peruana y normatividad internacional.

Huanqui P., R. (2016), en su tesis de Maestría *Remoción de metales pesados de soluciones acuosas mediante la determinación de la capacidad de adsorción de las conchas marinas*, a escala de laboratorio utilizó la concha marina del cangrejo (centollo) como material adsorbente en columnas de los metales pesados  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$ ; los parámetros controlados fueron el volumen, el pH y el tiempo de adsorción. Huanqui encuentra que la capacidad de adsorción de metales pesados de las conchas del cangrejo se incrementa si esta es activada con hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ) y con ácido nítrico ( $HNO_3$ ). Antes de cambiar su estado de agregación y de su adaptación como material adsorbente, las conchas marinas del cangrejo fueron caracterizadas estructuralmente haciendo uso de espectroscopía infrarroja. de plomo y cadmio. Los resultados de esta investigación pueden ser aplicados en la remoción de  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  de las soluciones acuosas contaminadas, con lo que se plantea la posibilidad de aprovechamiento de este residuo y abaratar los costos de tratamiento de las aguas residuales.

Choque Y. (2018) en su tesis de doctorado *Remoción de iones Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) de lodos sedimentados en la bahía interior de Puno - Lago Titicaca utilizando bioadsorbente acuoso de la semilla de tarwi (Lupinus mutabilis)*, se utilizó dispersiones acuosas de la semilla de tarwi ,para extraer por bioprecipitación los metales eco toxicológicos  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  y  $Ni^{2+}$  contenidos en muestras de lodo de la parte norte de la planta de estabilización de aguas residuales de la Bahía interior de Puno del Lago Titicaca q, que tiene problemas de contaminación hídrica por materiales orgánicos e inorgánicos y por metales



pesados. Antes y después del tratamiento de los lodos se hizo el análisis cuantitativo por espectrometría de masas con fuente acoplada de plasma inducida (ICP-MS) de los metales pesados. La humedad de lodos fue 81.52 %, el pH de la solución acuosa inicial fue de 9.3 y después de cinco días el pH fue de 5.3; para remoción de Cadmio (II) inicial, 6,05 mg/kg, después de absorción bajo a 1,0 mg/kg, el porcentaje de remoción fue 83,47 %. Para Ni inicial de 6,8 mg/kg bajo a 6,2 mg/kg resulto una disminución bajo de los otros su porcentaje de remoción fue 8,82 %, Plomo inicial de 342.3 mg/kg, la capacidad de adsorción fue 85,45 mg/kg, con un porcentaje de remoción es 75,02 %. Choque concluye que es necesario ampliar la investigación a pH <5,5 y el tiempo de adsorción mediante un proceso abierto de tratamiento de sedimentos.

Díaz Rivas Plata, E. (2013), en su tesis de Maestría *Uso de líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en áreas cercanas a empresas mineras de altura del Perú*, demuestra la utilización de los líquenes como bioindicadores de contaminación por presencia de metales pesados en áreas andinas ubicadas en los alrededores de las unidades mineras. Los resultados muestran que definitivamente existe una carga de metales pesados en el ambiente, específicamente en los cursos de agua aledaños a las zonas muestreadas. Del mismo modo, se demostró que los líquenes funcionan como bioacumuladores sumamente eficientes, especialmente los líquenes foliosos *Xanthoparmelia* sp y *Paraparmelia* sp. Finalmente, se probó que los líquenes no liberan los metales pesados que acumulan extracelularmente. Treinta y cuatro de las 41 especies son nuevos registros para la colección de flora líquénica del Perú. El objetivo principal del estudio fue demostrar que el uso de bioindicadores para medir la contaminación ambiental brinda resultados más eficientes, ya que presentan ventajas comparativas

con relación al monitoreo físico de metales pesados, principalmente por permitir el acceso a datos relativos a un organismo vivo, además, demuestra que los líquenes se pueden utilizar como agentes de limpieza de aguas con metales pesados. Se tomaron como referencia a los siguientes elementos: cobre, zinc, plomo, cadmio, plata, arsénico y manganeso. La concentración de metales fue medida utilizando la espectrometría de masa con fuente acoplada de plasma inducida (ICP-MS), instalado en el laboratorio de análisis elemental del Field Museum de Chicago. En el Perú no se cuenta con reportes científicos completos respecto al poder de adsorción de metales por los líquenes, en consecuencia, este trabajo contribuye en la provisión de información científica actual y debido a que nuestro país es eminentemente minero y nuestra geografía incluye regiones altoandinas, es posible replicar los experimentos y utilizar los datos obtenidos en beneficio de los pobladores.

Chávez R. (2014), en el XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano del Suelo expuso sobre la fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando especies vegetales nativas.

Delgado S., (2013), en su tesis de grado *Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual*. reporta el estudio experimental de las escamas de pescado lisa como materia residual adsorbente de cationes de metales pesados disueltos en aguas residuales, como los cationes  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  y  $Zn^{2+}$ . Para las soluciones acuosas que contienen dos o más cationes de metales pesados preparadas en el laboratorio, con dosis de 10g de escamas adsorbentes se obtienen que cuando transcurren 5 minutos de adsorción los porcentajes de adsorción para  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  son 96,33%; 76,0%; 88,22% y 97,45% respectivamente a pH 6,4; mientras que para 15 minutos de adsorción se logran los

porcentajes de adsorción o remoción de 97,29%; 78,58%; 95,43% y 98,57% para los cationes  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  y  $Zn^{2+}$ , respectivamente.

Gutiérrez M., (2015), en su tesis doctoral *Estudio de la Bioadsorción de cadmio y plomo con biomasa de Serratia marcescens M8a-2T, a nivel de Laboratorio*. reporta que la biomasa mencionada logró remover 99,97% de cadmio a pH = 3 y 96% de plomo a pH = 7, después de 60 minutos de enfrentamiento con 100 ppm de cada uno de los metales. La remoción fue independiente de la concentración inicial de metal y operó muy bien con biomasa de granulometría menor a 50  $\mu m$  y 1 mg/mL de concentración.

Jara E, -Gómez J., et al (2014), en el artículo *Capacidad Fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados*, reportan el índice de tolerancia de especies vegetales a los metales pesados plomo, zinc, cadmio contenidos en suelos con relaves de mina y destacan que la mayor acumulación de metales pesados ocurre en las raíces de las plantas.

En la tesis de maestría de López P.P. (2011), se reporta los ensayos de fitorremediación de suelos contaminados para extraer el arsénico usando plantas nativas de la zona de Mayoc. Las plantas evaluadas fueron eucalipto, retama, llantén, tola, chincho, diente de león, verbena.

Trelles, J.A (2013), en su tesis de maestría *Bioadsorción de arsénico en medio acuoso empleando biomasa vegetales inertes*, como resultados de su trabajo experimental, según la Tabla 4, reporta que los mayores valores de porcentaje de remoción por bioadsorción de arsénico se encuentran cercanos al 80% y que las especies que presentaron estos valores más altos fueron las vainas de frejol, la cascarilla de arroz, los granos de cebada y en menor grado las cáscaras de la semilla de cacao.

**Tabla 4. Porcentajes de extracción de arsénico (As)**

Especie	Dósi de sorbente g/L	Concentración inicial µg/L de As	Concentración final µg/L de As	Tiempo de contacto	% de extracción
Frijol	3,333	250	52,75	17 horas	78,9 %
Arroz	3,333	250	57,50	15 minutos	77,0%
Trigo(morón)	3,333	500	329,00	330 minutos	34,2%
Cebada	3,333	250	62,75	16 horas	74,9%
Linaza	3,333	50	32,2	330 minutos	35,6%
Noni	3,333	250	153,25	15 minutos	38,7%
Cacao	3,333	250	83,25	45 minutos	66,6%

Fuente: Trelles, J.A (2013)

## **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

### **Justificación de la investigación**

Al ser los métodos convencionales de remediación de aguas residuales muy costosos y de mucho tiempo de duración y, en muchos casos, son métodos exclusivamente químicos o exclusivamente de biorremediación, la presente investigación plantea aplicar un procedimiento experimental innovador que integra un método químico y un método de biorremediación que, consecuentemente tenderán a disminuir significativamente la concentración de metales pesados de aguas contaminadas por la actividad minera en la Sierra Central, posibilitándose la recuperación de agua para su uso en agricultura de autosostenimiento y/o crianza de animales domésticos.

Este método integrado de remediación pretende ser barato, de fácil aplicación y de corto tiempo de duración. Los beneficiarios son las familias o la comunidad aledaña a los cuerpos de agua contaminados por la actividad minera, que podrían

aplicar el procedimiento experimental con ligera capacitación para recuperar parte del recurso hídrico o para su auto sostenimiento en cultivos y crianza de animales.

### **Importancia de la investigación**

- La importancia de la investigación radica en el hecho de que posibilita el acceso del recurso hídrico a pobladores alejados de la zona urbana en estado de pobreza o pobreza extrema, para su autosostenimiento con cultivos y/o crianza de animales.
- Esta investigación genera conocimiento en el campo de los métodos no convencionales del tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

### **1.6.Limitaciones de la investigación**

- Son posibles limitaciones la carencia de recursos económicos para financiar los reactivos e insumos y/o materiales de laboratorio para los desarrollos experimentales.
- Si se soluciona el problema de financiamiento, otra limitación sería la falta de apoyo comunitario para implementar los métodos de remediación no convencionales y para evaluar el uso del agua tratada en cultivos y crianza de animales.
- Otra posible limitación, que puede tener la metodología propuesta es la excesiva concentración de metales pesados en ciertos cuerpos de agua, como es el caso de la Laguna de Quilacocha o en la Laguna de Yanamate, en Cerro de Pasco.

## **1.7.Objetivos de la investigación**

### **Objetivo General**

Demostrar un método integrado de remediación para disminuir significativamente la concentración de metales pesados de aguas residuales de la actividad minera de la Sierra Central.

### **Objetivos específicos**

- a) Determinar en qué medida el método integrado de remediación para tratar aguas residuales contaminadas con metales pesados permitirá la obtención de volúmenes significativos de agua para su uso en agricultura de autosostenimiento.
- b) Determinar en qué medida el método integrado de remediación para tratar aguas residuales contaminadas con metales pesados permitirá la obtención de volúmenes significativos de agua para su uso en crianza de animales domésticos de autosostenimiento.

### **1.7.1. Hipótesis general**

El método integrado de remediación disminuye significativamente la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central.

### **1.7.2. Hipótesis específica**

- a) La aplicación de un método integrado de remediación a aguas residuales contaminadas con metales pesados de la actividad minera de la Sierra

Central permite recuperar volúmenes significativos de agua para su uso en la agricultura

- b) La aplicación de un método integrado de remediación a aguas residuales contaminadas con metales pesados de la actividad minera de la Sierra Central permite recuperar volúmenes significativos de agua para la crianza de los animales.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Bases Teóricas**

#### **Derechos de uso de agua, autorizaciones de vertimiento y reuso de aguas residuales.**

Miyashiro V., et al (2014). El agua es un recurso indispensable para la vida y también es un insumo necesario en la producción de empresas de diversa actividad, entre ellas las mineras, industriales, energéticas, etc. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es la encargada de velar por la administración del recurso hídrico, por ello las empresas que desean utilizar este recurso deben solicitar un derecho de uso para tomar el agua de los ríos o lagos. Una vez que el agua haya sido usada por la población o las empresas en sus respectivos procesos productivos, se obtiene un agua residual que normalmente es desechada o vertida al ambiente, pero con un tratamiento previo. El vertimiento de las aguas residuales también debe ser autorizado por la ANA.

#### **Derecho de uso del agua**

Las empresas que necesitan usar el agua de los ríos o lagos tienen que solicitar un derecho de uso a la ANA; dependiendo del tiempo que requieran, solicitarán una licencia (fin y lugar determinado), un permiso (duración indeterminada) o una autorización de uso (plazo determinado no mayor a dos años). La ANA autoriza el uso del agua de acuerdo con la disponibilidad hídrica de la zona.

La ANA tiene registrado los derechos de uso por tipo de uso, consuntivo y no consuntivo. La diferencia entre ambas se debe a que el uso consuntivo extrae el agua de la fuente natural, pero no la devuelve inmediatamente al ciclo natural, y el uso no consuntivo, en cambio, extrae el agua de la fuente natural y la devuelve a la misma fuente natural en la cantidad y calidad iniciales. Por ejemplo, el agua



empleada en el procesamiento del mineral es de uso consuntivo, mientras que la generación de energía eléctrica mediante el turbinado del agua de un río que es descargada en el mismo lugar es de uso no consuntivo.

Según información consolidada por la ANA a abril del 2012 (ANA/OSNIRH,2012), se ha otorgado el derecho de uso consuntivo 20624,04Hm<sup>3</sup>), y para uso no consuntivo 23144,46 Hm<sup>3</sup>. En uso consuntivo, el mayor derecho de uso lo tiene el sector agrario (17718,49 Hm<sup>3</sup>), seguido por el uso poblacional (2409,51 Hm<sup>3</sup>), en tercer lugar, el uso minero (301,11 Hm<sup>3</sup>) y en cuarto lugar el uso industrial (212,92 Hm<sup>3</sup>). En uso no consuntivo, el mayor derecho de uso lo tiene el uso energético (22927,35 Hm<sup>3</sup>), seguido por el uso acuícola (189,81 Hm<sup>3</sup>); en tercer lugar, el uso recreativo (25,74 Hm<sup>3</sup>) y en cuarto lugar el uso turístico (1,57 Hm<sup>3</sup>)

#### **Autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales**

Las autorizaciones y reúso son otorgadas por la ANA, las de vertimiento se solicitan para verter sus aguas residuales previamente tratadas en la fuente de donde han sido tomadas, ríos o lagos. Las autorizaciones de reúso se solicitan para utilizarlas en un uso diferente al que le fueron otorgados en su derecho de uso. Previamente a recibir la autorización de vertimiento y reúso, las empresas deben contar con la opinión favorable de la dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y la ANA se cerciora de que:

- Las aguas residuales a verter sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los LMP establecidos por los sectores, y además no se transgredan los ECA's para agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente (MINAM) para su implementación.

- Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- No se afecte la conservación del ambiente acuático.
- Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental sectorial competente. Este instrumento debe establecer los puntos donde se deben realizar los monitoreo de agua, con la finalidad de controlar el cumplimiento de los compromisos asumidos.
- Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustre, fluviales o marino costeras, según corresponda.
- En general, los subsectores que cuentan con más autorizaciones de vertimiento son: Minería, hidrocarburos, pesquería e industrias.

## **AGUAS RESIDUALES**

Son aquellas aguas que provienen de la actividad del hombre y de los animales, tanto como de las precipitaciones, y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente (Carreño C., 2017),

El D.S. N°001-2010-AG, Art.131° menciona que las aguas residuales son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusados y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo (mencionado por Miyashiro V., et al,2014).

Las aguas residuales, antes de ser vertidas a los cuerpos de agua o suelos, deben ser acondicionadas de tal forma que reúnan los requisitos de calidad que permiten las normas legales y regulaciones de cada país, con la finalidad de que los

estándares de calidad ambiental (ECA) permanezcan inalterables en el tiempo, y que la preservación sustentable de los ecosistemas sea posible. Sin embargo, en los países en desarrollo esto no se cumple, por lo que solo un pequeño porcentaje de aguas residuales tienen tratamiento (un 14% en América Latina y el Caribe (OPS-CEPIS, 2004) y el resto son vertidas al mar, ríos, suelos, etc., originando riesgos de infecciones gastrointestinales de origen hídrico. Otro problema que resulta de las aguas residuales es que el sistema de alcantarillado generalmente es uno solo, donde se mezclan los desagües de todo tipo, incluyendo los hospitalarios, produciéndose mezclas de las más variadas características y con la consiguiente dificultad en su tratamiento, principalmente si es de tipo biológico. En los países de América Latina existen normas y reglamentos que regulan los vertimientos de los desagües industriales a la red de alcantarillado, conocidos como valores máximos admisibles (VMA) o límites máximos permisibles (LMP), que obligan a las empresas a tratar sus efluentes antes de ser eliminados a la red a fin de que se cumpla con los valores propuestos. Es importante mencionar que para la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es necesario conocer al detalle su estructuración, además de las características ambientales y climatológicas del lugar, que ayudan al diseño. De allí que para el desarrollo de un proyecto de construcción de sistemas de tratamiento es necesaria la confluencia de una serie de profesionales, entre ellos: ingenieros civiles, hidráulicos, sanitarios, químicos, ambientalistas, biólogos, microbiólogos, financistas, abogados, sociólogos, entre otros (mencionado por César Lazcano Carreño, 2017).

## **Clases de Aguas Residuales (Lazcano C., 2017):**

### **Aguas residuales domésticas**

Son flujos de agua conformados por la combinación de las excretas eliminadas por la población, que incluyen heces y orina; además, contiene desechos de animales domésticos, residuos de lavandería, residuos de industrias caseras que algunas veces vierten sustancias recalcitrantes que pueden ser tóxicas y cancerígenas, y residuos de actividades culinarias. Están formadas en un 99,9% por agua y en un 0,1% por residuos sólidos orgánicos e inorgánicos; esta pequeña fracción de sólidos es la que origina los problemas en el tratamiento y su disposición (Cifuentes, 2007, citado por C. Lazcano C., 2017). Las proteínas son los compuestos que se encuentran en mayor cantidad, seguidos de los carbohidratos y las grasas. Además, están presentes compuestos surfactantes, fenoles, aceites, pesticidas y otros compuestos menos comunes como los metales pesados, compuestos organoclorados, etc. Los principales ensayos para determinar la carga orgánica de un desagüe son la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y la demanda química de oxígeno (DQO).

### **Aguas Residuales Municipales**

Son aquellas provenientes tanto de los efluentes domésticos como de las pequeñas industrias y otras actividades realizadas en las áreas urbanas (comercios, oficinas, restaurantes, mercados de abasto, etc.) y que incrementan los contaminantes con algunos componentes que pueden resultar indeseables para los tratamientos convencionales (Lazcano C., 2017)

### **Aguas Residuales Industriales**

Aquellas provenientes de las distintas industrias que existen generalmente fuera de las áreas urbanas y que deben tratar sus desagües antes de ser vertidos a

los alcantarillados principalmente con la carga orgánica (CO), los aceites y grasas, temperatura, pH y sustancias recalcitrantes o xenobióticas (Lazcano C., 2017).

### **Aguas Residuales Agropecuarias o Agroindustriales**

Se refiere a las escorrentías que provienen de la actividad agrícola y de los mataderos, establos, granjas avícolas, etc., que generan gran cantidad de materia orgánica carbonácea, constituida por el estiércol y purines de los animales, combinados con residuos tóxicos de los pesticidas y los fertilizantes usados en la agricultura. Hoy en día se deben considerar también los residuos farmacéuticos usados en la crianza y engorde de los animales como las vacunas, hormonas, antibióticos y otros de tipo veterinario (Lazcano C., 2017).

### **Aguas Residuales de Origen Minero-Metalúrgico**

Los efluentes procedentes de las minas se consideran los más contaminantes y de mayor riesgo para su uso o disposición, debido a que mayormente lo constituyen metales pesados como el Pb, Hg, Cd, Zn, etc., y metaloides o semimetales como el Sb y el As. Todos estos residuos son tóxicos, mutagénicos, carcinogénicos y teratogénicos tanto para la biota acuática como para el hombre, si es el usuario final, por lo que los desagües deben evaluarse adecuadamente a fin de caracterizar sus componentes recalcitrantes, los que deben minimizarse antes de ingresar a un sistema de tratamiento biológico (Lazcano C., 2017).

### **Aguas Pluviales**

Las aguas provenientes de las lluvias que llegan a las alcantarillas, van a diluir la carga orgánica del desagüe; sin embargo, pueden variar las características del agua como el pH, debido a que muchas de estas aguas de lluvia se convierten en lluvias ácidas antes de llegar al suelo y a las alcantarillas; por otro lado, los caudales del desagüe durante el periodo de lluvias también se incrementan, por lo que es un

factor importante que se debe tener en cuenta en los diseños para dichas temporadas (Lazcano C., 2017).

## **Métodos Convencionales y No Convencionales de Adsorción en el Tratamiento de Aguas Residuales**

### **Adsorción**

Valladares, et al. (2017) en su artículo mencionan que de las tecnologías disponibles para reducir la presencia de colorantes y metales pesados en agua y que ha mostrado aceptación es **la adsorción**, que gana terreno dentro de las técnicas de tratamiento de efluentes textiles por su eficiencia en la eliminación de colorantes, principalmente para aquellos compuestos estables que no pueden removerse o eliminarse por métodos convencionales. La instalación y puesta en marcha de la mayoría de los procesos de tratamiento requiere de una elevada inversión económica, y resulta complicado, y en algunos de los casos es imposible, adquirir nueva tecnología que permita el tratamiento aguas residuales. Un adecuado proceso de remoción de contaminantes se realiza a través de la adsorción, dando como resultado un efluente de mejor calidad y es un proceso económicamente factible, principalmente para las pequeñas y medianas industrias. La adsorción es, de entre diversos métodos, uno de los popularmente aceptados por su versatilidad, conveniencia, sencillez, siendo el carbono activado el adsorbente “ideal” para eliminar diversos contaminantes presentes en agua. Por la alta capacidad de adsorción de materia orgánica, el carbono activado es el material adsorbente mayormente utilizado, por lo que es considerado un adsorbente convencional. Sin embargo, el alto costo de producción del carbono activado limita su aplicación en el tratamiento de aguas residuales; asimismo, la fuerte retención que hace dificulta su regeneración; estos son algunos de los aspectos que impiden su aplicación a gran

escala según G. McDougall (1991), citado por Valladares et. al (2017). Por ello, existe una creciente necesidad en la búsqueda de adsorbentes de bajo costo, renovables, preferentemente naturales y disponibles localmente para la remoción de los colorantes.

La adsorción es un proceso físico que se produce por interacciones débiles de largo alcance (fuerzas de van der Waals), lo que permite que partículas, moléculas, o iones queden atrapados o retenidos sobre la superficie de un material. La sustancia que se adsorbe se llama adsorbato y el material que se emplea para su adsorción es el adsorbente o sustrato. Dependiendo de las fuerzas de interacción entre el adsorbato y el adsorbente, se define el tipo de proceso de adsorción. En los procesos de remoción se busca evitar que las moléculas se transformen o degraden, por ruptura o por intercambio de grupos funcionales, evitando la generación de compuestos más reactivos y tóxicos que el compuesto original (R. Sivaraj, C. Namasivayam and K. Kadirvelu, 2001; citado por Valladares, et al 2017). La adsorción química o quimisorción se produce por la formación de enlaces (iónico o covalente), por lo que durante la quimisorción la superficie del adsorbente se modifica, dando lugar a un nuevo adsorbente.

**Naturaleza química del adsorbato** Los factores que favorecen o afectan la adsorción del adsorbato son: su tamaño (volumen, masa o peso molecular), los grupos funcionales presentes en su estructura química, la solubilidad, la relación hidrofobicidad / hidrofiliidad, la afinidad relativa entre la solución y el adsorbente, su reactividad y, en el caso de los contaminantes orgánicos, la constante de disociación también afecta a la adsorción (M. Fomina and G. M. Gadd. 2014; citados por Valladares, et al 2017).

## **Propiedades del adsorbente**

El proceso de adsorción se afecta significativamente por diversos aspectos y propiedades del adsorbente como son la densidad de las partículas del material (tamaño de partícula), el área de superficial, la porosidad, las propiedades físico-químicas de la superficie del adsorbente, la presencia o ausencia de grupos funcionales y la composición elemental, las propiedades térmicas y el pH de la superficie del material (P. A. M. Mourao, O. J. M. Carrot and M. M. L. Ribeiro Carrot. 2006; citado por Valladares et al, 2017). Los adsorbentes no-convencionales suficientemente porosos permiten atrapar o retener moléculas, átomos o iones en su interior. La estructura química de los tejidos vegetales (tallos, hojas, cáscaras, semillas, raíces, etc.) presenta cavidades y poros que permiten el atrapamiento de moléculas pequeñas, como los metales, hasta moléculas complejas como lo son los colorantes. La naturaleza química de estas estructuras poliméricas permite favorables interacciones entre los pares de electrones libres de las especies (adsorbente y adsorbato), por lo que están siendo sumamente atractivos los materiales naturales para ser aplicados en la remoción de contaminantes en agua (S. Nethaji, A. Sivasamy and A. B. Mandal.,2013; citado por Valladares et al, 2017)

Dentro de las características fundamentales que distinguen a un buen adsorbente están su alta porosidad, su gran superficie de contacto y que presente sitios específicos de adsorción. La mayoría de los adsorbentes que se han utilizado en el control de la contaminación tienen estructura porosa, lo que aumenta el área superficial y, en consecuencia, la velocidad de adsorción. Un buen adsorbente será aquel que presente área superficial suficientemente grande y que requiera menor tiempo para alcanzar el equilibrio de adsorción, por lo que generalmente se prefieren para la eliminación de contaminantes adsorbentes con gran área



superficial y alta velocidad de adsorción (B. H. Hameed and M. I. El-Khaiary., 2008; citado por Valladares et al, 2017)

### **Adsorbentes convencionales**

Principalmente constituidos por carbono activado, alúmina activada, arenas y zeolitas. Estos adsorbentes son previamente tratados y, una vez utilizados, deben regenerarse para recuperar sus propiedades (F. N. Memon and S. Memon.,2015; citado por Valladares 2017). Estos materiales actúan como adsorbentes porque pueden formar interacciones intermoleculares débiles con el adsorbato (contaminante); las interacciones son fuerzas de atracción electrostáticas o de tipo van der Waals, que conducen a una fisisorción sobre la superficie del adsorbente (J. Tao and A. M. Rappe., 2014; citado por Valladares et al, 2017). Los altos costos de estos materiales limitan su aplicación o son incosteables en un tratamiento para países de escasos recursos.

### **Adsorbentes no-convencionales**

Diversos estudios demuestran la posibilidad de desarrollar materiales con adecuadas capacidades de adsorción a partir fuentes naturales, despertando el interés para explorar estos materiales alternativos considerados “no-convencionales”, que permitan reducir o eliminar los contaminantes de naturaleza metálica u orgánica, contenidos en aguas residuales (Citados por Valladares et al, 2017). Los adsorbentes no-convencionales (verdes o bioadsorbentes) surgen del aprovechamiento de los materiales de desecho que provienen de la industria alimentaria y agrícola; estos son desechos de fruta, residuos vegetales y plantas. México y aquellos países que cuentan con una enorme biodiversidad de especies vegetales y frutales son atractivos para el establecimiento de industrias alimentarias o agroindustrias, las cuales generan miles de toneladas de residuos vegetales o

frutales por año (Citados por Valladares et al 2017). Por ello la utilización de estos residuos, principalmente las cáscaras de las frutas, para la eliminación de los contaminantes presentes en los efluentes acuosos, es una alternativa de gran potencial y de aprovechamiento que presenta diversas ventajas como ser materiales bioadsorbentes de bajo costo, disponibilidad, adecuada capacidad de adsorción, factibilidad de mejorar a través de modificación química, susceptible a la regeneración, degradabilidad lo que conduce a un menor número de problemas en la disposición final posterior a la adsorción (Citados por Valladares 2017).

A continuación, se muestra una sencilla clasificación, considerando el origen o fuente de obtención de los **adsorbentes no convencionales** empleados en los métodos de tratamiento de aguas residuales contaminadas (P. Sharma, H. Kaur, M. Sharma and V. Sahore, 2011; citados por Valladares et al 2017):

- biomasa viva y no viva (microorganismos)
- los materiales de desecho agroindustriales
- los materiales de desecho de industria alimentaria.

La aplicación de tejidos naturales como materiales no convencionales para la adsorción y remoción de metales y colorantes en el tratamiento de aguas residuales se encuentra actualmente en etapas iniciales. A pesar de que existen varios reportes que mencionan la capacidad adsorptiva de los tejidos de especies vegetales como semillas, troncos, hojas, tallos, etc., se requiere de investigaciones que exploren las aplicaciones del proceso, y de diseño tecnológico acorde con el problema que se necesite atacar.

Es interesante notar que las propiedades y características de la superficie del material natural empleado como adsorbente dependen de varios aspectos como son: (a) procedencia o tipo de fuente; (b) temporada de adquisición o cosecha; (c) estado

de la fuente (maduración); (d) calidad, y (e) tratamiento previo que se haga o no al material. Sin embargo, los reportes que incluyen el tratamiento previo realizado a los materiales naturales aumenta el rendimiento de adsorción, aunque esto produciría un incremento en costo del proceso al nivel industrial. Hasta la fecha, está demostrado que los materiales naturales no convencionales permiten remover eficientemente de agua contaminada: metales pesados, colorantes y algunos compuestos orgánicos, abriendo una ventana de exploración para remoción de contaminantes inorgánicos y de nuevas fuentes materiales naturales a partir de otras especies vegetales. Asimismo, la búsqueda de materiales naturales con aplicación como adsorbentes para la remoción de diferentes tipos de contaminantes, a la vez que estén presentes en un mismo efluente, es un tema que tiene vigencia, y día con día recobra mayor interés, por la importancia que tiene el reducir o eliminar por completo las sustancias tóxicas no deseadas en las aguas residuales [K. S. W. Sing 2004; C. Nava-Ruiz, Y M. Méndez-Armenta, 2011; citados por Valladares et al, 2017).

En la mayoría de los estudios mencionados en los cuales se han empleado adsorbentes naturales, se han realizado en el lote (batch) estático y agitado, por lo que se requieren más estudios orientados al comportamiento del sistema en columna empleando flujos continuos o semi-continuos (D. Zhou, L. Zhang, J. Zhou and S. Guo., 2004; citado por Valladares et al, 2017). Esto ayudará en el diseño de aplicaciones comerciales, lo que conduce a un área de oportunidad para la ingeniería, la química, la mecánica y la eléctrica.

## Cascarilla de arroz

Una alternativa de descontaminación de aguas es la utilización de residuos vegetales como la cascarilla de arroz, que ha sido ampliamente estudiada, y que gracias a sus características fisicoquímicas promete ser un buen adsorbente de metales pesados. Se han realizado diversos estudios de adsorción variando parámetros como tamaño de partícula, pH, tiempo de contacto y concentración de metal pesado; estas variables se deben controlar para garantizar una mayor eficiencia en el proceso. La Tabla 1 muestra la composición general de la cascarilla de arroz, donde se evidencia una gran proporción de celulosa. Autores como Doria, et al. (2011) le atribuyen la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz a los compuestos lignocelulósicos que posee.

**Tabla 5. Composición de la cascarilla de arroz**

Componente	% Abundancia	% promedio reportado
Celulosa	60,12	41,20
Hemicelulosa	11,19	21,00
Lignina	6,66	22,40
Cenizas	15,90	17,40

**Fuente:** Doria, Hormaza y Suarez, (2011)

Llanos P. O., et al (2016) en el artículo “La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación” menciona que la mayoría de métodos reportados de extracción de metales pesados nos ilustran de que, la cascarilla de arroz tratada con ácidos y álcalis y transformada en cenizas con la correspondiente disminución del tamaño de partículas, logra extraer los metales pesados en porcentaje que superan el 90%. Los tamaños de partículas de adsorción oscilan en el rango de 43µm a 500 µm hasta 0,30 mm, los tiempos de remoción reportados son de 10 minutos, 1 hora, 120 minutos hasta 4 horas y los valores de pH de máxima

absorción para algunos cationes de metales pesados oscilan en el rango de 6,0 a 8, además, las cantidades de material adsorbente oscilan en el rango de 0,3 g/100 mL a 1,40 g/100 mL.

### **Tratamiento de efluentes minero –metalúrgicos**

Miyashiro V. et al (2014) mencionan que los efluentes provenientes de la actividad minera – metalúrgica están formados por aguas de mina tanto de labores subterráneas como de tajo abierto y procesamiento de mineral. Se caracterizan principalmente por tener pH bajo, alto contenido de sólidos suspendidos, cianuros y metales pesados entre otros. Las siguientes combinaciones de métodos se emplean en el tratamiento de efluentes minero – metalúrgicos:

- Desarenadores, homogenización y reactor de tratamiento.
- Floculación y sedimentación.
- Ósmosis inversa.
- Neutralización y sedimentación.
- Evaporación.
- Lodos de alta densidad (HDS)
- Neutralización y coagulación.

### **Precipitación química convencional de metales pesados**

Howe K., et al (2017) en su libro *Principios del tratamiento del agua*, menciona que un tema importante para el ingeniero de tratamiento de aguas es cómo elegir los procesos que debe aplicar en una situación determinada, y recalca que cada proceso de separación individual de uso generalizado en la potabilización de aguas de uso doméstico es eficaz para ciertos contaminantes, pero no para otros. En la Ingeniería Ambiental y en la Ingeniería Química, los procesos que atienden a un

solo contaminante se conocen como procesos unitarios. Las plantas de tratamiento de agua rara vez aplican este tipo de enfoque en su operación; al contrario, suelen aplicar una serie de procesos combinados y/o concatenados, conocidos como *tren de tratamiento*. Es posible que se requiera usar varios de ellos para tratar cada contaminante, sobre todo porque algunos procesos son eficaces solo cuando se utilizan en conjunto con otros; es decir, dos procesos independientes pueden resultar inútiles para eliminar un compuesto, pero juntos pueden ser eficaces si el primero de ellos preconditiona al compuesto, de manera que el segundo pueda eliminarlo. El mensaje general es que la eficacia de diferentes procesos unitarios para eliminar contaminantes específicos se basa en principios científicos sólidos. Si se comprenden bien las propiedades, debe ser posible predecir la eficacia de un proceso para eliminar cualquier contaminante. Cuando el desempeño del proceso no es el que se espera, suele ser debido a que se ha pasado por alto un aspecto de las propiedades fisicoquímicas (como la dependencia del pH), las propiedades no son bien entendidas, que diferentes propiedades de un químico tengan efectos contradictorios, o que otros contaminantes del agua interfieran con el tratamiento del químico deseado (es decir, el sulfato interfiere con la remoción del arsénico debido al intercambio iónico). Una consideración final es la cinética química. En algunos casos, la velocidad de reacción puede ser tan importante como la condición de equilibrio químico. Por ejemplo, las propiedades fisicoquímicas pueden indicar que es posible que suceda una reacción de precipitación u oxidación, pero esta podría ser tan lenta que no alcance a completarse a tiempo en la planta de tratamiento. La importancia de la química-de los contaminantes, de los procesos y de la composición química del agua- deben ser evidentes para quienes estudian el tratamiento del agua.

## Precipitación química

Caviedes D., et al. (2015) en el artículo Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados, menciona que la precipitación química es la técnica más utilizada en los procesos industriales ya que es relativamente sencilla de operar, económica y selectiva, aunque su mantenimiento es costoso debido al alto contenido de lodos. En la Tabla 6 se presentan rendimientos de tratamientos como precipitación de hidróxido, técnica de bajo costo, fácil control del pH y eliminación por floculación y sedimentación (Huisman, et al; 2006, Citado por Caviedes D.,2015). Igualmente se emplea la precipitación por sulfuros, aunque con solubilidades bajas y precipitados no anfóteros, por lo que puede lograr altos rendimientos (Chen, et al; 2009, Citado por Caviedes D.,2015).

*Tabla 6. Remociones de metales pesados empleando técnicas de precipitación química.*

Especie	pH	Conc. Inicial mg/L	Tiempo de Trat.	T°C	Método y Complemento	%Efic. De remoción	Referencias
Ni, Zn,Al	12	22	1h	ambiente	Precipitación por galvanoplastia servoasistida por LDH	80-90%	Xu, et al 2015
Hg <sup>2+</sup>	4,7-6,4	65,6µg/L	1h	ambiente	Precipitación con 1,3 bencenodiamidaetenoetilato	>99,9%	Blue, et al 2008
As <sup>2+</sup> ,Cu <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup>	1	As 6,08, Cd 95, Cu70, Pb 45	1h	ambiente	Reactor con distribuidor multiarranque sumergido para la alimentación con sulfuro	>99,9%	Gou, et al 2015
Cd,Hg Cr, Cu,Zn, As	4	1	5 min	ambiente	Nano compuestos como microparticulas supermagnéticas que actúan como semillas para precipitados de hidróxido de hierro	95-99%	Mandel, et al 2013

Elaboración propia. Fuente: Ingeniería y Región. (2015)

Atehortua, G., (citado por Delgado S., 2013) menciona que la remoción de metales pesados haciendo uso del intercambio iónico por resinas y la adsorción fisicoquímica utilizando carbón activado, son alternativas eficientes cuando las concentraciones de metales pesados oscilan en el rango de 0,1mg/L a 100mg/L. No obstante, ello, el uso de estos **materiales convencionales** puede resultar oneroso en muchos aspectos debido a los altos costos asociados a su adquisición, implementación y operación, por ello se está investigando materiales naturales adsorbentes que permitan sustituir al carbón activado y a las resinas de intercambio iónico en el tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales no están diseñadas y equipadas para la manipulación de desechos tóxicos como metales pesados; y su toxicidad persiste incluso en los lodos y corrientes de subproductos de tratamiento de aguas residuales. Los cationes de los metales pesados deben ser eliminados en la fuente de emisión en la etapa de pretratamiento especialmente diseñado en las plantas mineras. El tratamiento convencional debe ser de bajo costo, ya que a menudo se tiene que tratar grandes volúmenes de efluentes contaminados con los metales pesados. Los enfoques convencionales para la remoción de metales pesados están utilizando las tecnologías enumeradas en la Tabla 7 pero, bastaría con decir que a medida que las normas de emisión son más exigentes, respecto a los LMP y los ECA's, estas tecnologías convencionales se están convirtiendo cada vez más inadecuadas y las nuevas tecnologías que están apareciendo no están al alcance de las personas o comunidades que quieren el agua para su vida cotidiana aledaña a las actividades mineras.



<i>Tabla 7. Tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados en Canadá.</i>		
<b>METODO</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>VENTAJAS</b>
Precipitación química y filtración	Para altas concentraciones Aumento de iones sulfato Generación de lodos. No efectivo	Simple Barato
Oxidación o reducción química	Requiere químicos y no genérico Sistemas biológicos para flujos pequeños Sensible al clima	Mineralización
Tratamientos electroquímicos	Para altas concentraciones Muy costoso	Recuperación de metales
Osmosis Inversa	Altas presiones Muy costoso	Efectivo metales
Intercambio iónico	Partículas sensibles Resinas costosas	Efectivo metales

Fuente: Delgado S.,2013

### **Tratamiento convencional**

En la tesis de Delgado S. (2013), *Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual*, se encuentran las siguientes definiciones, respecto a los procedimientos convencionales:

**Precipitación química:** Es una reacción química en que se añade, al agua residual o contaminada, productos químicos apropiados o agentes precipitantes específicos, para luego seguir el proceso de separación de sistema heterogéneo resultante sólido-líquido convencional, que podría ocurrir por sedimentación, flotación, filtración, decantación y, en casos extremos, por centrifugación que es un procedimiento costoso. Los metales no son tan fáciles de recuperarse de los lodos resultantes que a menudo representa un serio problema de eliminación.

**Osmosis inversa:** Es un proceso fisicoquímico no espontáneo, basado en el uso de membranas que son muy eficaces para la remoción de especies iónicas en solución acuosa. Tiene el inconveniente que las membranas son relativamente caras tanto para adquirirlas como para su manipulación, además, requiere de presiones altas lo que hace que esta tecnología sea costosa, pues también se incrementan los gastos de energía. No obstante, ello, es un buen sistema de ablandamiento de aguas.

**Intercambio de iónico:** Se puede considerar como una reacción de desplazamiento que ocurre entre la sal de resina (sólido insoluble) generalmente soportada en una columna atrapa iones de cargas positivas o negativas de una solución acuosa y transfiere otros iones de carga similar a la solución en una cantidad equivalente. Este procedimiento experimental usando resinas de intercambio iónico es uno de los métodos considerado como exitoso y conveniente para la remoción de metales pesados contenidos en aguas residuales. Un intercambiador iónico es un sólido capaz de intercambiar tanto cationes como aniones presentes en su estructura por los que están en una solución. Frecuentemente se utilizan intercambiadores iónicos sintéticos o resinas de intercambio iónico cuya materia prima para obtenerlas son los hidrocarburos y derivados de resinas poliméricas, también derivadas del petróleo, y por esto, estos materiales sintéticos se hacen muy costosos al ser dependientes de los precios del petróleo.

## **HUMEDALES ARTIFICIALES**

Frers,C. (2008) en la revista Observatorio Medioambiental menciona que:

Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, no más de 0,60 m, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los humedales artificiales o wetlands construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para funcionar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los wetlands de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales artificiales o wetlands proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

**Ventajas:**

- Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar aguas contaminadas.
- Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

**Limitaciones:**

- El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- Los tiempos de proceso pueden ser largos.
- La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante en la captación.

Las actividades humanas han dado y siguen dando origen a varios tipos de humedales de interés para algunas especies vegetales:

**Procesos de remoción físicos:**

Los humedales artificiales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado.

**Procesos de remoción biológicos:**

La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los humedales artificiales. Extensamente reconocido para la remoción de contaminantes en los estos humedales es la captación de la planta. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas de estos humedales.

**Tabla 8. Funciones de los humedales artificiales**

Tipo	Proceso involucrado	Contaminación tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en partes cosechables (hojas, raíces)	Cd, Co, Cr, Ni, Hg, Pb, Se, Zn
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cd, Co, Cr, Ni, Hg, Pb, Se, Zn, isótopos radiactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de estos y evitar que pasen a napas subterráneas o aire	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y Triclorometano).
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Explosivos (TNT, DNT, RDX, nitrobenceno, nitrotolueno), DDT, atrazina, solventes clorados, pesticidas, fenoles, nitritos, etc.

Fuente: Frers C., 2008

## **Jabones de metales pesados**

En la Tesis de Galán C., (2009) *Síntesis y caracterización de carboxilatos metálicos*, define que : Un carboxilato ( $R-COO^-$ ) es el producto de la reacción entre un ácido orgánico y un ion metálico. Los carboxilatos de metales alcalinos son solubles en agua y si los ácidos carboxílicos son de cadena larga (ácidos grasos) forman los jabones solubles utilizados por sus propiedades tensoactivas como agentes desengrasantes y de limpieza desde la antigüedad.

Los carboxilatos de metales no alcalinos son insolubles. La presencia de Carboxilatos ha sido observada tanto en pinturas murales como en pinturas sobre tela o tabla.

La presencia de estas sustancias plantea problemas de conservación ya que la formación de cristales puede comportar tensiones internas y favorecer el proceso de envejecimiento. La aparición de los carboxilatos puede ser debida tanto a materiales depositados del ambiente, como a la transformación de los aglutinantes utilizados. (Galán - 2009)

Según Galán, los métodos más usuales utilizados en la síntesis de los carboxilatos que se han encontrado en la bibliografía son tres, con alguna ligera variante: López de la Fuente, Cosío H. A., Larrabe C.E., Koenig A.E., citados por Galán 2009.

1) Un primer método consiste en hacer reaccionar el ácido carboxílico con hidróxido de sodio (libre de carbonato de sodio), en medio etanólico, sometiendo la disolución a un suave calentamiento a unos 60°C. El alcanoato de sodio obtenido en la neutralización se hace reaccionar con cloruro o sulfato del catión que queremos sintetizar, obteniéndose el alcanoato de en cuestión.

2) Un segundo método consiste en la reacción del ácido carboxílico con acetato del catión que queremos sintetizar, en etanol—agua como medio de reacción, sometiendo el conjunto a calentamiento y un posterior enfriamiento rápido, con lo que se obtiene ácido acético y alcanoato mediante un intercambio de iones H por iones del metal.

3) Un tercer método, que es el más utilizado, por ser el que mayor pureza proporciona en los productos obtenidos y menos problemas de síntesis presenta, así como mejor control del proceso, consiste en la reacción del ácido e hidróxido potásico, seguida de la metátesis del ion  $K^+$  del alcanoato de potasio obtenido con ion metálico.

Galán adaptó a sus posibilidades un método de precipitación de un solo paso: Las cantidades apropiadas de ácido, sal metálica (en exceso, disuelta en el agua), y la solución de hidróxido de sodio son calentados en el mismo frasco a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sin ningún tipo de reflujo. En esta temperatura, el aspecto de la solución se cambia de repente, los cristales ácidos son substituidos por un precipitado de flóculos que se aglomera en la superficie de la solución. La solución es calentada en  $70\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante aproximadamente veinte minutos. El precipitado es filtrado y lavado, inicialmente con etanol seguido de agua caliente, y se deja secar en desecador o estufa para eliminar totalmente la humedad. Algunos ejemplos de estas síntesis de jabones metálicos son:

A) Síntesis del palmitato de Pb (II)

Las cantidades de productos reaccionantes se tomaron estequiométricamente, pero con un ligero exceso del hidróxido de sodio, pues consideramos que era mejor así para evitar la posible formación de complejos moleculares ácido-sal.

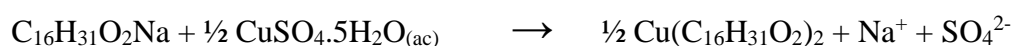
El esquema de la reacción es el siguiente:



Mezclamos las cantidades apropiadas de ácido palmítico, nitrato de plomo (II) disuelto en la mínima cantidad de agua, y la solución de hidróxido de sodio en un vaso de precipitados; añadimos etanol ya que la reacción tendrá lugar en medio etanólico, calentamos el mismo a una temperatura controlada mediante termómetro entre 70-80°C, con agitación constante durante un periodo de 2030 minutos. Al calentar la mezcla observamos como vira de color pasa de transparente a blanco y se observa la formación de flóculos. Dejamos enfriar para favorecer la deposición del precipitado y filtramos en büchner con la ayuda de bomba de vacío. Lavamos el precipitado con etanol y agua. El precipitado lo dejamos secar en etanol para favorecer el crecimiento de cristales. Ante la aparición de cristales de pequeño tamaño optamos por realizar una recristalización, para ello disolvemos parte del producto obtenido en etanol, en un tubo, y calentamos hasta total disolución, después se deja enfriar. El producto que se obtiene es polvo cristalino de color blanco. (Corbaeil, M.C. 2002, citado por Galán 2009).

#### B) Síntesis del palmitato de Cu(II)

Las cantidades de productos reaccionantes se tomaron estequiométricamente, pero con un ligero exceso del hidróxido de sodio, pues consideramos que era mejor así para evitar la posible formación de complejos moleculares ácido-sal. El esquema de la reacción es el siguiente:



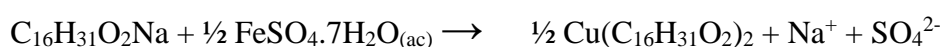
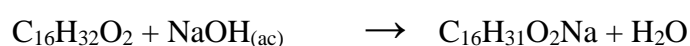
Se mezclan las cantidades apropiadas (relación estequiométrica) de ácido palmítico, sulfato de cobre (disuelto en la mínima cantidad de agua), y la solución de hidróxido de sodio en un vaso de precipitados; se añade etanol ya que la reacción tendrá lugar en medio etanólico, se calienta el mismo a una temperatura controlada mediante termómetro entre 70-80°C, con agitación constante durante un periodo de 20-30 minutos.

Al calentar y reaccionar la mezcla se observa como vira de color, pasa azul intenso a azul turquesa y se observa la formación de flóculos.

Se enfría para favorecer la deposición del precipitado y se filtra en büchner con la ayuda de bomba de vacío. Se lava el precipitado con etanol y agua. El precipitado se deja secar en etanol para favorecer el crecimiento de cristales.

Ante la aparición de cristales de pequeño tamaño optamos por realizar una recrystalización, para ello se disuelve parte del producto obtenido en etanol, en un tubo, y se calienta hasta total disolución, después se deja enfriar. El producto que se obtiene es polvo cristalino de color azul turquesa.

### C) Síntesis de Palmitato de Fe(II)



Se mezclan las cantidades apropiadas (relación estequiométrica) de ácido palmítico, sulfato de hierro(II) heptahidratado (disuelto en la mínima cantidad de agua), y la solución de hidróxido de sodio en un vaso de precipitados; se añade etanol ya que la reacción tendrá lugar en medio etanólico, se calienta el mismo a una temperatura controlada mediante termómetro entre 70-80°C, con agitación constante durante un periodo de 20-30 minutos. Al calentar y reaccionar la mezcla se observa como vira de color, pasa marrón claro a marrón oscuro intenso y se



observa la formación de flóculos. Se enfría para favorecer la deposición del precipitado y se filtra en bütchner con la ayuda de bomba de vacío. Se lava el precipitado con etanol y agua. El precipitado se deja secar en etanol para favorecer el crecimiento de cristales.

Ante la aparición de cristales de pequeño tamaño optamos por realizar una recristalización, para ello se disuelve parte del producto obtenido en etanol, en un tubo, y se calienta hasta total disolución, después se deja enfriar. El producto que se obtiene es polvo cristalino de color marrón oscuro (Corbaeil, M. 2002, citado por Galán 2009).

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

- **Remediación.** - Es el tratamiento o conjunto de operaciones que se realizan con el objetivo de recuperar la calidad del subsuelo contaminado (suelos y aguas subterráneas asociadas). Existen diferentes técnicas que permiten alcanzar los valores de contaminación residual óptimos para garantizar la salud de las personas y de los ecosistemas, según los usos definidos del lugar.
- **Biorremediación.** - Consiste en el uso de microorganismos (hongos, plantas, enzimas, etc.) para degradar las sustancias tóxicas, convirtiéndolas de ser posible, en dióxido de carbono, agua y sales minerales, para retornar a un medio ambiente contaminado o alterado a su condición natural (p. 443, Lazcano C.,2017)
- **Biosorción.** - La biosorción de metales pesados por medio de microorganismos, es un proceso que utiliza biomasa viva o muerta, para retirar o inmovilizar estos iones metálicos de un medio líquido o sólido. La biosorción está basada en la propiedad de ciertos tipos de biomasa, que enlazan o acumulan estos contaminantes por diferentes mecanismos.

➤ **Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua**

Miyashiro V., et al (2009) en su libro *Gestión del agua en el Perú: uso, protección y tratamiento* menciona que: Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, se aprueban con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental (D.S. N° 002-2008-MINAM, mencionado por Miyashiro V., et al (2009)).

Los ECA del agua se establecen para cuatro categorías, según D.S. N° 023-2009-MINAM del 19/12/2009, mencionado por Miyashiro V., et al (2009):.

Categoría 1: Poblacional y Recreacional.

Categoría 2: Actividades Marino Costeras.

Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de Animales.

Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.

➤ **Límites Máximos Permisibles (LMP)**

Miyashiro V., et al (2009) en su libro *Gestión del agua en el Perú: uso, protección y tratamiento* menciona que la Ley General del Ambiente, define al Límite Máximo Permissible como la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas y que al ser excedidas causa

o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente como el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de Gestión Ambiental. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrán ser expresados en máximos, mínimos o rangos (Ley N°28611, art.32°)

La descarga de efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgicas está regulada por los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la norma actualizada en el D.S. N° 010-2010 MINAM. Los LMP están definidos en términos de valores absolutos de concentración (salvo en el caso del pH) para una lista de parámetros, sin considerar el volumen de descarga ni la capacidad de asimilación del cuerpo receptor (Normas Legales publicadas en el Peruano el 21-08-2010)

#### ➤ **METALES PESADOS**

Heredia., M. (2015), en su tesis de maestría *Remoción de cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante.*, menciona que los **metales pesados** constituyen un grupo de aproximadamente 40 elementos, de elevada masa atómica (mayor a 44) con una densidad mayor o igual que  $5 \text{ g/cm}^3$ , los cuales son generalmente metales de transición (por ejemplo: V, Mn, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn y Mo). Algunos autores y tesisistas incluyen incorrectamente al arsénico, el cual es un semimetal tóxico para los seres humanos. Una característica distintiva de los metales pesados es que, aun cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento de los seres vivos, como por ejemplo el hierro (Fe), cromo (Cr), Cobre (Cu), en concentraciones elevadas tienen efectos tóxicos sobre las células, alterando principalmente el funcionamiento de proteínas o bien ocasionando su desnaturalización. Los metales pesados que encabezan la lista de toxicidad son el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y cadmio (Cd), para los cuales no se ha encontrado función biológica alguna (Volesky, 1994, citado por Heredia M., 2015).

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de Investigación.

**Método de la Investigación:** Método científico deductivo pues partimos de lo general a un caso particular de contaminación ambiental.

**Su tipo Es Experimental:** Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

**Orientación de la Investigación:** Es **Investigación Aplicada**, pues trata de resolver un problema particular de contaminación ambiental. Cuando la investigación está orientada a lograr un nuevo conocimiento de manera sistemática metódica, con el único objetivo de ampliar el conocimiento de una determinada realidad.

**Recolección de datos: Es Prolectiva**

**Enfoque de la Investigación: Es Cuantitativo**, pues la respuesta de la investigación se traduce en números. Inferencias más allá de los datos, Confirmatoria, inferencial, deductiva. Orientada al resultado. Datos "sólidos y repetibles"

**Nivel de la investigación:** es descriptiva, relacional y explicativa

**Diseño de la Investigación:** Según el propósito del estudio **es experimental**; Según el número de mediciones **es Longitudinal**; Según la cronología de las observaciones **es prospectiva (se obtienen datos de fuentes primarias) y restrospectiva (para comparar)**. **Es un diseño de cohortes**, pues, Los grupos de estudio se definen por la exposición a la causa y se vigila la aparición del efecto. Se evalúa causa –efecto.

#### 3.2. Población y muestra

**Población:** Cuerpos de agua de Cerro de Pasco (lagos, lagunas, ríos, etc.)

**Muestra:** Cuerpos de agua lénticos; Muestra simple de aguas de superficie de Lagunas Quilacocha y Yanamate contaminadas con metales pesados.

**Instrumento:** Protocolo de muestreo de aguas de tipo léntico, según ANA. Formato de Registro de Campo, Etiqueta de muestra de agua.

**Técnica de Investigación:** Ensayos de Laboratorio y análisis instrumental por Absorción Atómica.

**Procedimiento:** Preparación de muestras estándar y aplicación de método no convencional, cuadros en Word y Excel y gráficos de resultados con Microsoft Excel.

**Unidad de análisis:** volúmenes de agua contaminadas muestreadas, según métodos analíticos estándar.

### **3.3. Operacionalización de Variables**

#### **Identificación de las variables de la Hipótesis General**

a) **Variable dependiente.**

Aguas residuales contaminadas con metales pesados (lagos, lagunas, ríos).

**Indicadores:**

Concentración inicial y final de metal pesado, pH inicial y final

b) **Variable Independiente**

Método integrado de remediación

**Indicadores:**

condiciones experimentales: materia extractiva utilizada, tiempo de agitación

% de concentración Final del metal pesado

#### **Identificación de las variables de la Hipótesis Específica**

Variable independiente: El tratamiento aplicado.

Indicador: % de extracción del metal pesado.

Variable dependiente: Volumen de agua tratada.

Indicadores: Volumen de agua recuperada, pH inicial y pH final.

### **3.4. Instrumentos/materiales de laboratorio**

- Medidor de acidez/alcalinidad: pH-metro de la FIGMM – UNI
- Equipo de Absorción atómica de la FIGMM – UNI
- Agitador magnético simple
- Reactivos químicos de metales pesados.
- jabón Neko, jabón sin excipientes.
- Materia vegetal inerte: cascarilla de arroz
- Vasos de precipitados de 150 mL

### **3.5. Procedimientos:**

- i. Preparación de muestras estándar de soluciones de metales pesados.
- ii. Aplicación de método integrado de remediación a soluciones estándar de metales pesados individuales y a soluciones estándar de mezclas de metales.
- iii. Aplicación de método integrado a muestras de cuerpos de agua contaminados con metales pesados.
- iv. Análisis cuantitativo de concentración de metales pesados antes y después de aplicación de método integrado.

- v. Determinación de volumen de agua recuperada por aplicación del método integrado.

En resumen, el **método integrado de remediación**, a aplicarse a muestras estándar y a muestras reales, consiste de las dos etapas siguientes:

- i. Precipitación química del jabón metálico de metales pesados usando jabón.
- ii. Adsorción de arsénico y residuales metálicos usando cascarilla de arroz.

$$\% \text{Extracción} = 100 \times (C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}) / C_{\text{inicial}} ; C = \text{concentración en mg/L}$$

### **3.5.1. Procedimiento Experimental I**

#### **Ensayos con dispersión de jabón comercial y cascarilla de arroz**

**Ensayo 1:** Determinación de la máxima cantidad de cascarilla para la adsorción de metal pesado.

A 100 mL de la solución de metal pesado se le adicionó primero la cascarilla de arroz y se agitó por 40 minutos, luego al sistema mencionado se le añadió la dispersión de jabón NEKO hasta la formación de un precipitado que luego se filtró. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 9 y Tabla 10 y el gráfico 1.

**Ensayo 2.** Determinación del tiempo promedio de agitación para biosorción con cascarilla de arroz.

- Para determinar el tiempo promedio de agitación de la muestra con 2,0 g de cascarilla de arroz, sin adición de dispersión de jabón, se utilizó como referencia las soluciones en que hubo mayor %Extracción de metal. Es

decir, se utilizó soluciones de hierro y de plomo, lo cual se observa en la Tabla 11 y los gráficos 1 y 2,

### **Ensayo 3**

- Para confirmar la masa máxima de cascarilla de arroz, las soluciones de 100 mL con metales pesados definidos fueron tratadas con dispersión de jabón comercial Neko, hasta un pH de 6.0 - 6,5 y luego se practicó la adsorción con 1,0 g, 1,5 g 2 g de cascarilla de arroz para luego ser agitadas por un tiempo de 45 minutos. Luego, se procedió a la filtración correspondiente. Los resultados de la aplicación se muestran en la Tabla 12.

## **3.5.2. Procedimiento Experimental II**

### **Ensayos con jabón sin excipientes**

#### **Ensayo 4: Mezcla de metales**

En este caso primero tratamos las muestras de mezclas de metales pesados con diferentes cantidades de dispersión de jabón sin excipientes, para ocasionar la precipitación de los jabones metálicos y determinar el porcentaje de extracción sin el uso de cascarilla de arroz. Los resultados se muestran en las Tablas 13 – 18.

## **3.5.3. Procedimiento experimental III**

**Ensayo 5:** Aplicación de método integrado de jabón y cascarilla de arroz a mezcla de metales pesados

En esta parte, muestras de 100ml conteniendo varios cationes de metales pesados (Mezcla VII) se hicieron reaccionar primero con diferentes cantidades de dispersiones de jabón, luego se procedió a filtrar obteniéndose las soluciones que fueron agitadas con diferentes cantidades de cascarilla natural de arroz. Los resultados se muestran en la Tabla 19.



### 3.5.4. Procedimiento Experimental IV

#### Aplicación de Método Integrado a muestras de cuerpos de agua de Cerro de Pasco

Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 17 más compleja en la composición de metales pesados (Mezcla V), se convirtió los mililitros de jabón disperso en agua en gramos de jabón sin excipientes que se convirtieron en masa de jabón metálico pesado, con lo cual ahorramos agua destilada. Es decir, el procedimiento aplicado consiste agregar una masa de jabón y agitar el sistema hasta conseguir un pH mayor o igual que 6,0; filtrar y luego adicionar la cascarilla de arroz.

Para la muestra de la Planta de tratamiento de la Salida de Rumiayana se aplicó 0,54 g de jabón y 3,0g de cascarilla de jabón. Para la muestra de Quilacocha, mucho más ácida y de mucha concentración de metales pesados se aplicó 7,5 g de jabón y 3,0 g de cascarilla de arroz. Los resultados se muestran en las Tablas 20 y 21.

### 3.6. ANÁLISIS DE DATOS

- Respecto al **Procedimiento Experimental 1**, los resultados muestran que la cascarilla de arroz tiene **capacidad espontánea** de adsorción de diferentes metales pesados. Además, el jabón comercial Neko disperso en agua tiene la capacidad de hacer precipitar a los metales pesados, también **de modo espontáneo**. También estos resultados muestran que, al aplicarse integradamente la dispersión de jabón y luego la cascarilla de arroz, se optimiza el porcentaje de extracción de cada metal individualizado, tal

como lo evidencian los resultados del ensayo 3. El tiempo de agitación con cascarilla fue de 40 minutos.

**Tabla 9.- Resultados de Ensayo 1**

Muestra	Cascarilla(g)	mL jabón	pH	Cu (mg/L)	%Extracción
Cu inicial	-	-	5,5	61,990	-
Cu A	1.0	4,0	5,04	31,337	49,44
Cu B	1,5	4,0	5,01	26,638	57,02
Cu C	2.0	4,0	4,98	23,210	62,55
Muestra				Pb (mg/L)	%Extracción
Pb inicial	-	-	5,13	65,529	
Pb B	1,5	9,0	6,23	16,417	74,94
Pb C	2.0	9,0	6,99	12,002	81,68
Muestra				Zn (mg/L)	%Extracción
Zn inicial			6,1	75,555	
Zn A	1.0	4,0	5,96	47,714	36,84
Zn B	1,5	4,0	5,80	39,787	47,34
Zn C	2.0	4,0	6,0	21,668	58,08
Muestra				Mn	%Extracción
Mn inicial			5,50	71,857	
Mn A	1.0	9,0	5,3	43,420	39,56
Mn B	1,5	9,0	5,85	43,431	39,55
Mn C	2.0	9,0	6,1	43,232	39,83

Fuente propia DAAM 10-08-2017

En todos los casos se observa que la mayor disminución de la concentración de metal pesado se obtiene con 2,0 g de cascarilla de arroz para 100 mL de solución acuosa de cada metal.

Luego, se aplicó este dato de la masa de cascarilla de arroz (2,0g), para la determinación del porcentaje de extracción de hierro, tal como se muestra en la Tabla 10:

**Tabla 10. Porcentaje Extracción de Hierro**

Muestra	Cascarilla(g)	pH	mL jabón	Fe (mg/L)	%Extracción
Fe inicial	-	5,35	-	83,894	-
Fe A	2,0	6,0	20,0	23,259	72,27
Fe B	2,0	6,2	30,0	19,915	76,26
Fe C	2,0	6,4	40,0	19,594	76,64

Fuente Propia DAAM 22-09-2017

**Tabla 11. Porcentaje de adsorción vs tiempo de agitación**

Muestra	Tiempo en minutos	pH	Fe (mg/L)	%Ext
Fe inicial		5,68	83,894	
Fe 5	5	6,0	40,62	51,58
Fe 15	15	6,0	36,14	56,92
Fe 25	25	6,2	34,69	58,65
Fe 35	35	6,0	34,54	58,82
Muestra			Pb (mg/L)	%Ext
Pb inicial		6,0	66,28	
Pb 10	10	6,0	26,94	59,35
Pb 20	20	6,0	18,81	71,62
Pb 30	30	6,5	13,27	79,97
Pb 40	40	6,5	13,15	80,15
Pb 50	50	6,8	12,38	81,32
Pb 55	55	6,5	12,92	80,50
Pb 60	60	6,5	12,05	81,82
Pb 65	65	6,5	13,02	80,35

Fuente Propia DAAM 27-09-2017

Estos resultados se muestran en los Gráficos 1 y 2, respectivamente.

Gráfico 1. Resultados de Tabla 11 respecto al tiempo de extracción de hierro (Fe)

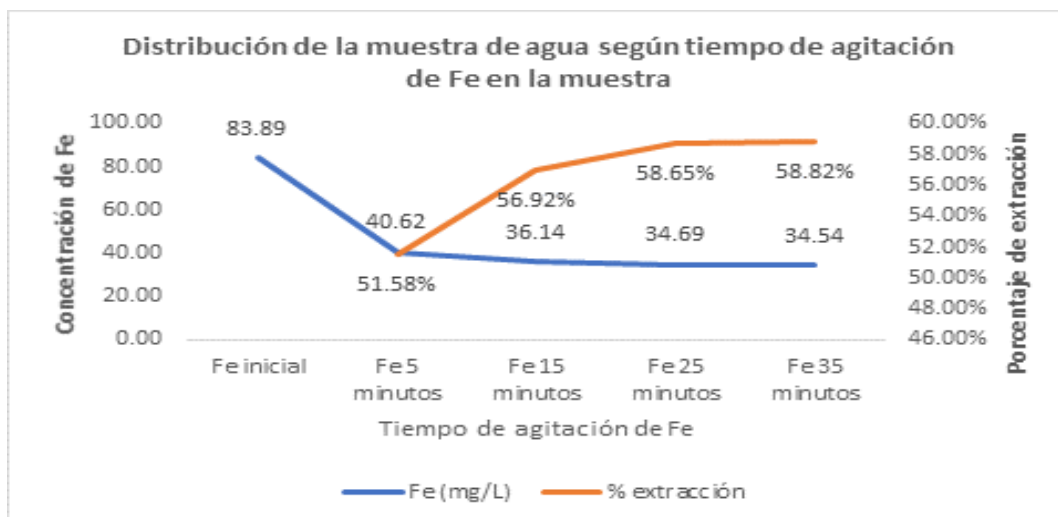
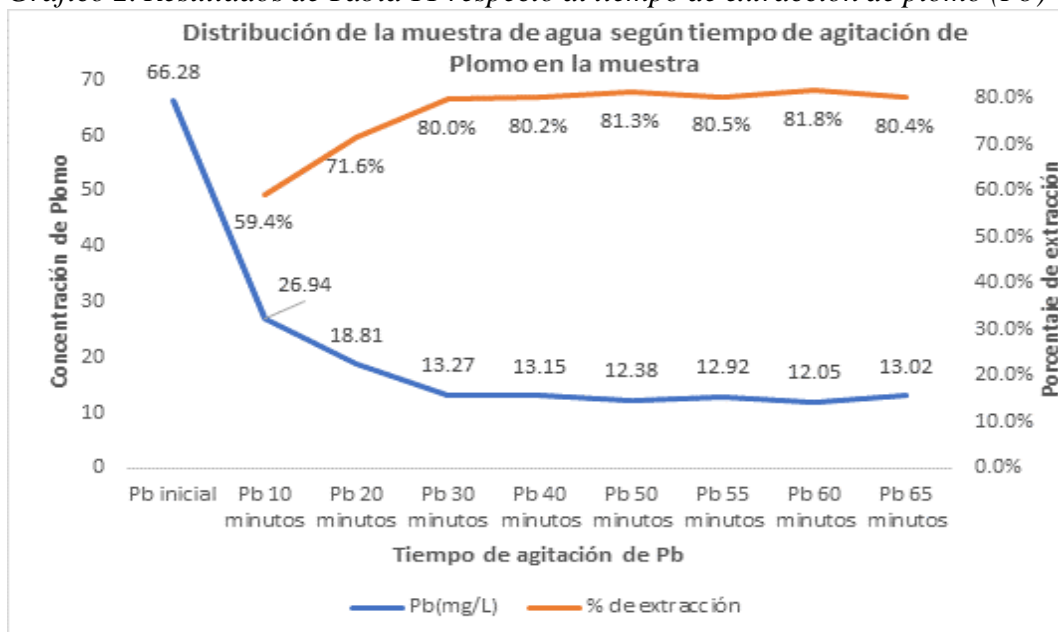


Gráfico 2. Resultados de Tabla 11 respecto al tiempo de extracción de plomo (Pb)



De los resultados gráficos (Gráfico 1 y Gráfico 2), observamos que las concentraciones de hierro y plomo prácticamente se vuelven constantes a partir de 35 minutos y 50 minutos, respectivamente, con 2,0 g de cascarilla de arroz.

Considerando los resultados del ensayo 1 (Tabla 9) y los resultados de la Tabla 11 y, teniendo en cuenta que uno de los objetivos de cualquier proyecto es disminuir los tiempos de operación o aplicación, se decidió adoptar un tiempo de 45 minutos de adsorción con 2,0 g de cascarilla de arroz.

**Tabla 12. Resultados de Ensayo 3 para confirmación**

Muestra	Cascarilla(g)	pH	mL jabón	Cu (mg/L)	%Extracción
Cu inicial	-	5,25	-	62,263	-
Cu A	1,0	5,39	7,5	20,318	67,36
Cu B	1,5	5,36	10,0	18,706	69,95
Cu C	2,0	5,41	15,0	14,586	76,57
Muestra				Pb (mg/L)	%Extracción
Pb inicial	-	4,03	-	61,113	
Pb A	1,0	7,1	11,5	4,301	92,96
Pb B	1,5	6,89	11,5	2,761	95,48
Pb C	2,0	6,99	11,5	1,955	96,80
Muestra				Zn (mg/L)	%Extracción
Zn inicial	-	6,11	-	69,649	-
Zn A	1,0	6,41	10,0	20,005	71,27
Zn B	1,5	6,36	10,0	19,643	71,79
Zn C	2,0	6,39	10,0	16,410	76,43
Muestra				Mn	%Extracción
Mn inicial	-	5,17	-	70,868	-
Mn A	1,0	4,51	10,0	45,561	35,710
Mn B	1,5	4,77	10,0	44,193	37,64
Mn C	2,0	4,64	10,0	29,388	58,53

Fuente propia DAAM 25-08-2017

➤ En la naturaleza, los cuerpos de agua contaminados además de estar a condiciones ácidas contienen metales pesados y/o arsénico. Por ello, en el **Procedimiento Experimental 2** se evalúan varias mezclas de metales pesados preparadas en el laboratorio, respecto a la precipitación que ocasiona solo el jabón sódico sin excipientes disperso en agua destilada. La concentración de jabón fue de

9 mg/L. Se observa que el jabón empleado además de ser un **buen agente neutralizante** es un **buen agente precipitante de los metales pesados**, pues el porcentaje de extracción supera el 92%, tal como ilustran los datos de la Tabla 13 hasta la Tabla 18. El gasto de dispersión de jabón para estos porcentajes de extracción oscila de 100 mL a 125 mL.

**MEZCLA I: Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>** Los resultados se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13. Resultados de mezcla I**

Muestra	mL jabón	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	pH
Inicial	-	119,54	19,93	21,51	4,0
A	15	75,63	3,39	17,24	5,5
B	25	74,66	1,77	13,06	5,5
C	35	68,18	1,34	13,03	5,5
D	45	65,66	2,27	11,50	5,5
E	55	62,02	0,73	9,76	5,5
		%Zn extr.	%Fe extr.	%Pb extr.	
A	15	36,73	82,99	19,85	
B	25	37,54	91,11	39,28	
C	35	42,96	93,27	39,42	
D	45	45,07	88,61	46,53	
E	55	48,11	96,33	54,62	

Fuente Propia DAAM 13-12-2017

Gráfico 3. Respecto a mezcla I y Tabla 13

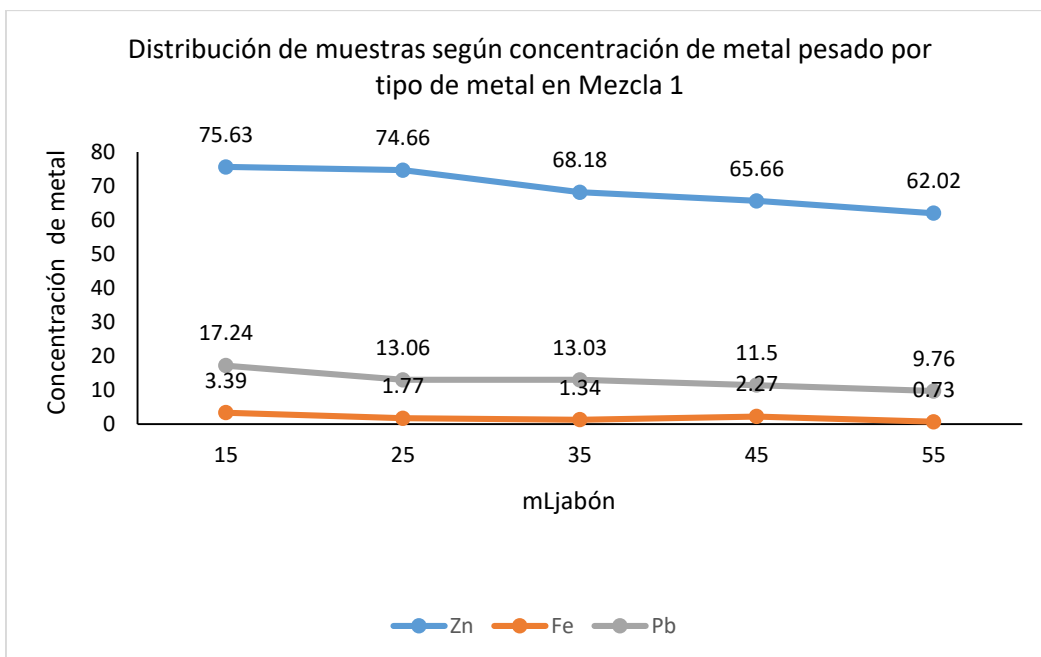
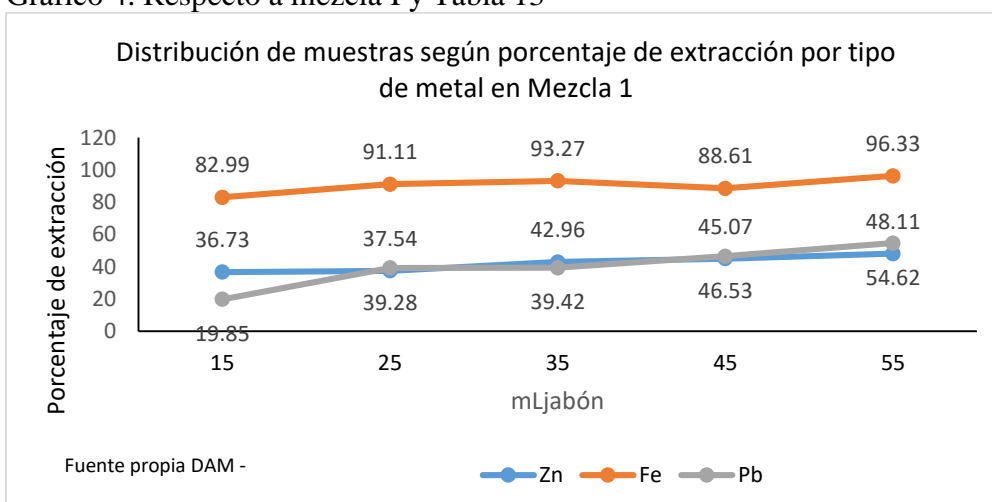


Gráfico 4. Respecto a mezcla I y Tabla 13



**MEZCLA II: Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>**

**Tabla 14. Resultados de Mezcla II**

Muestra	mL jabón	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	pH
Inicial	-	76,02	23,07	24,90	4,0
A	20	58,96	2,27	14,46	5,5
B	25	46,91	2,88	14,34	5,5
C	30	44,64	3,97	13,05	5,5
D	35	34,85	4,16	10,84	5,5
E	40	25,74	6,40	11,70	5,5
F	50	46,91	6,15	8,94	6,0

		%Mn extr.	%Fe extr.	%Pb extr.	
A	20	22,44	90,16	41,92	
B	25	38,29	87,5	42,40	
C	30	41,27	82,79	47,59	
D	35	54,15	81,96	56,46	
E	40	66,14	72,25	53,01	
F	50	38,29	73,34	64,09	

Fuente Propia DAAM 13-12-2017

Gráfico 5. Respecto a mezcla II y Tabla 14

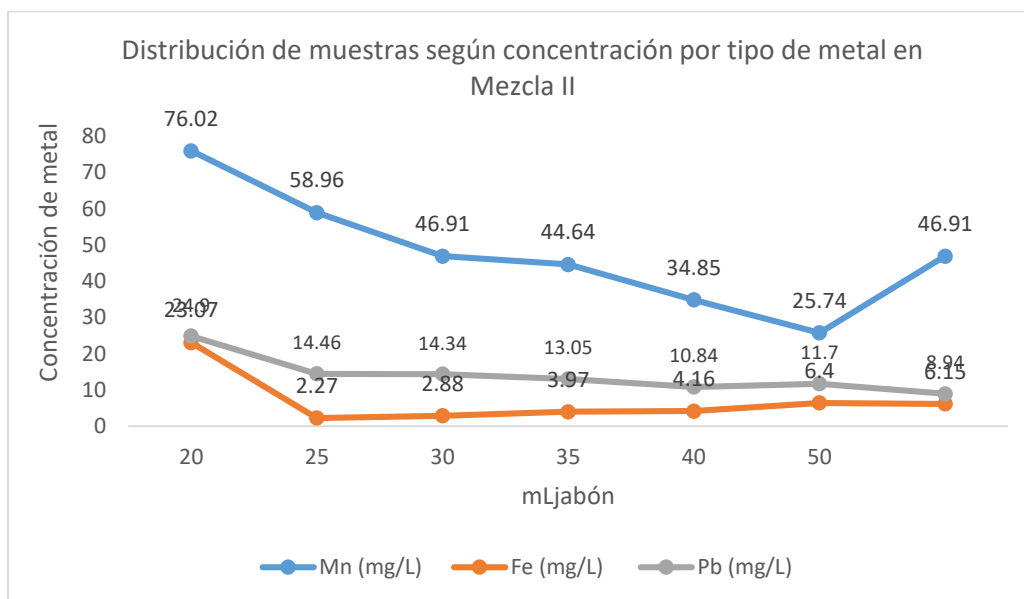
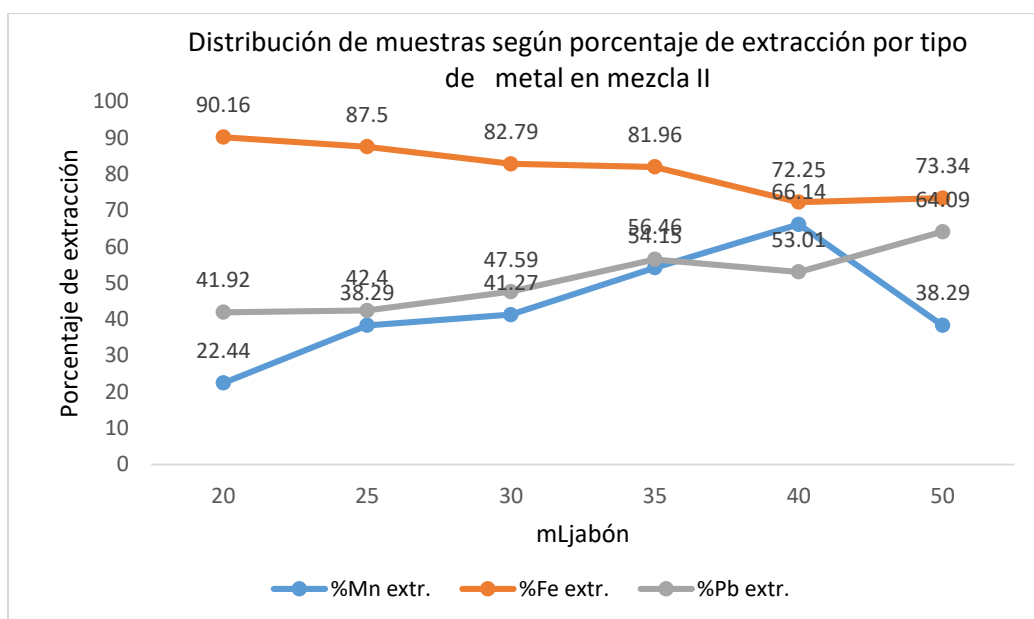


Gráfico 6. Respecto a mezcla II y Tabla 14



**MEZCLA III: Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>**



**Tabla 15. Resultados de Mezcla III**

Muestra	mL jab.	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	pH
Inicial	-	92,39	22,64	21,45	4,0
A	15	82,18	1,88	18,07	5,5
B	20	78,67	1,86	17,90	5,5
C	25	76,43	2,45	15,42	5,5
D	30	75,85	4,35	14,68	5,5
E	35	70,79	4,82	16,29	5,5
F	40	70,51	3,06	13,95	5,5
G	75	17,43	5,05	2,22	6,0
H	100	6,81	5,92	1,88	6,0
		%Cu extr.	%Fe extr.	%Pb extr.	
A	15	10,21	91,69	15,75	
B	20	14,85	91,78	16,55	
C	25	17,27	89,17	28,11	
D	30	17,90	80,78	31,56	
E	35	23,37	78,71	24,05	
F	40	23,68	86,48	34,96	
G	75	81,13	77,59	89,65	
H	100	92,63	73,85	91,23	

Fuente Propia DAAM 13-12-2017

Gráfico 7. Respecto a mezcla III y Tabla 15

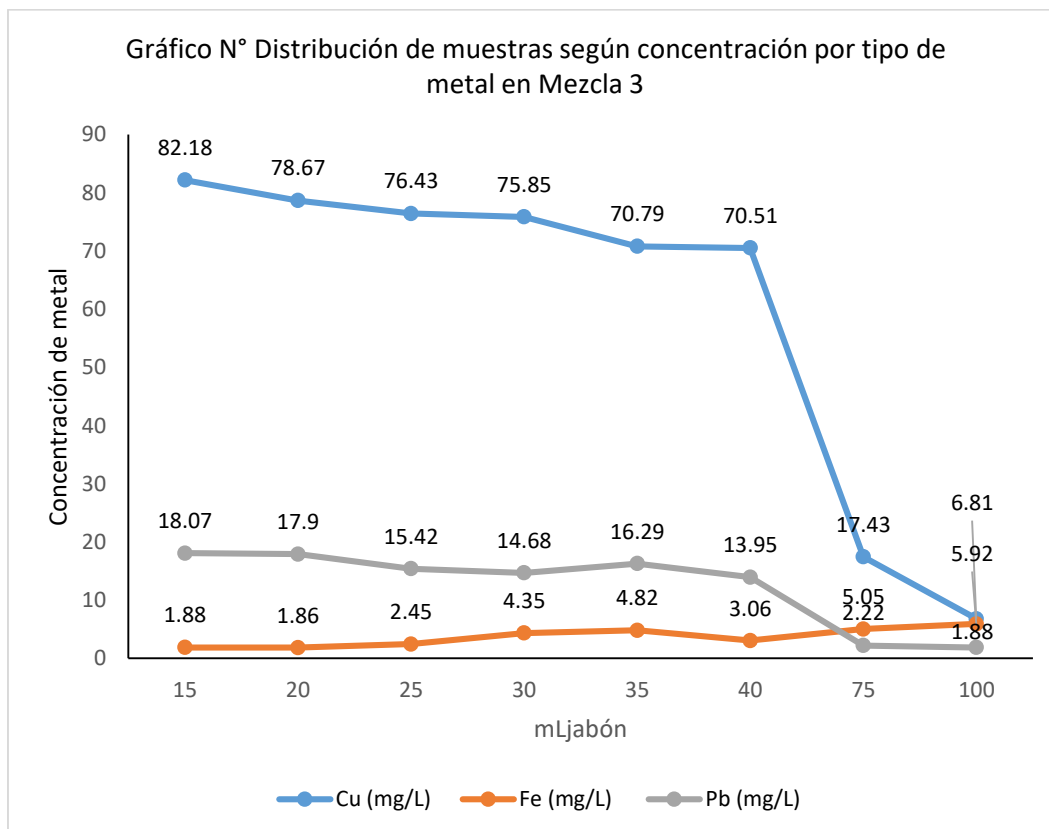
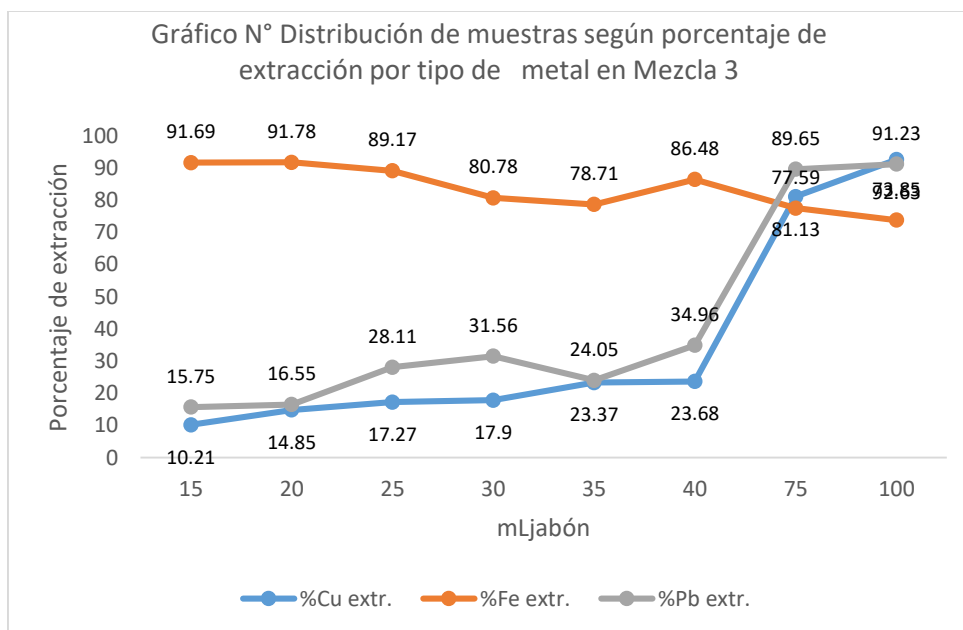


Gráfico 8. Respecto a mezcla III y Tabla 15



#### MEZCLA IV: $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ , $\text{Pb}^{2+}$

Tabla 16. Resultados de mezcla IV

Muest	mL jab	Cu(mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb(mg/L)	pH
Inic.		91,38	111,92	35,87	13,04	3,5
A	20	71,64	79,05	4,76	9,86	5,0
B	25	69,47	78,40	4,02	9,30	5,5
C	30	65,85	76,61	4,96	7,56	5,5
D	35	61,27	73,36	5,98	8,02	5,5
E	40	52,97	73,63	3,61	5,38	5,5
F	50	45,13	68,62	4,33	5,71	5,5
G	60	32,75	67,68	1,15	3,27	5,5
H	70	15,55	62,55	1,30	2,61	5,5
I	80	4,56	41,28	6,32	4,54	6,0
	ext	%Cu	%Zn	%Fe	%Pb	
A	20	21,60	29,36	86,72	24,38	
B	25	23,97	29,94	88,79	28,68	
C	30	27,97	31,54	86,17	42,02	
D	35	32,95	34,45	83,32	38,49	
E	40	42,03	34,21	89,93	58,74	
F	50	50,61	38,68	87,92	56,21	
G	60	64,16	39,52	96,79	74,92	
H	70	82,98	44,11	96,31	79,98	
I	80	95,00	63,11	82,38	65,18	

Fuente Propia DAAM 13-12-2017

Gráfico 9. Respecto a mezcla IV y Tabla 16

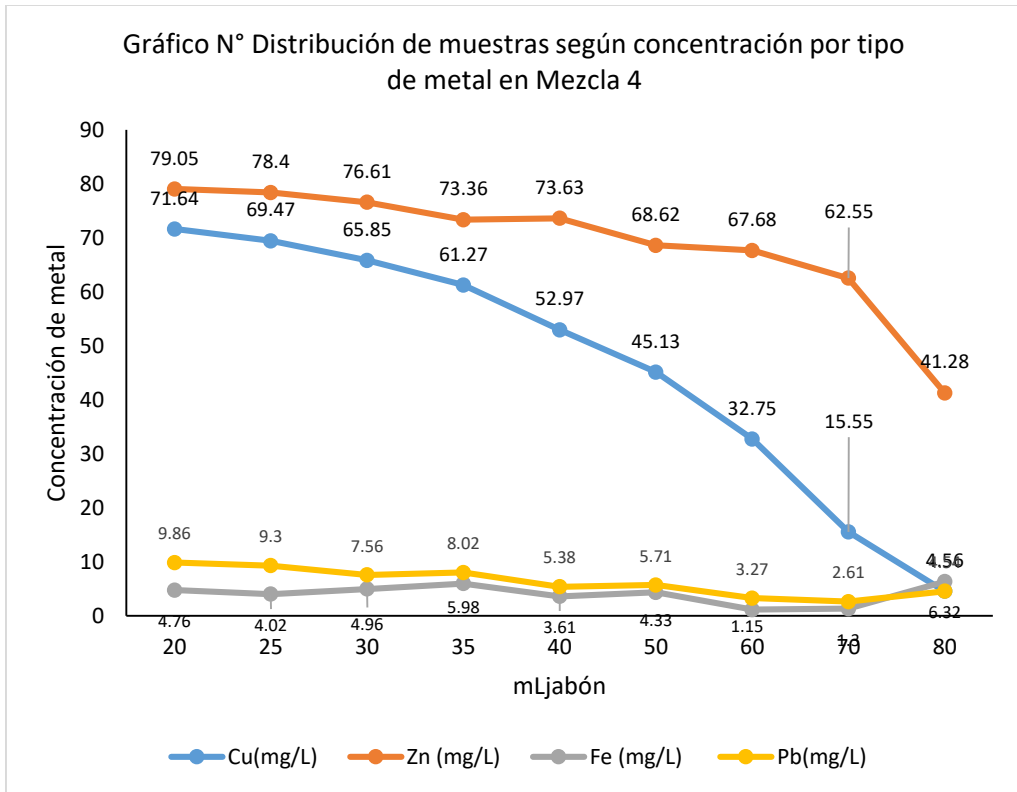
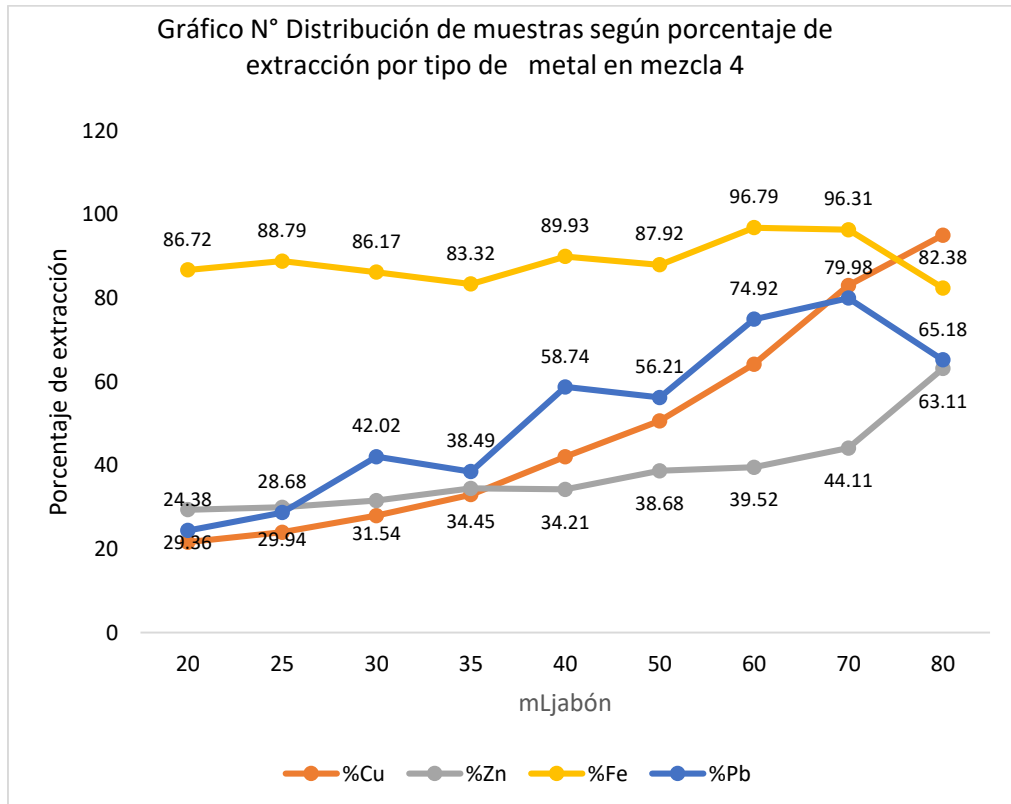


Gráfico 10. Respecto a mezcla IV y Tabla 16



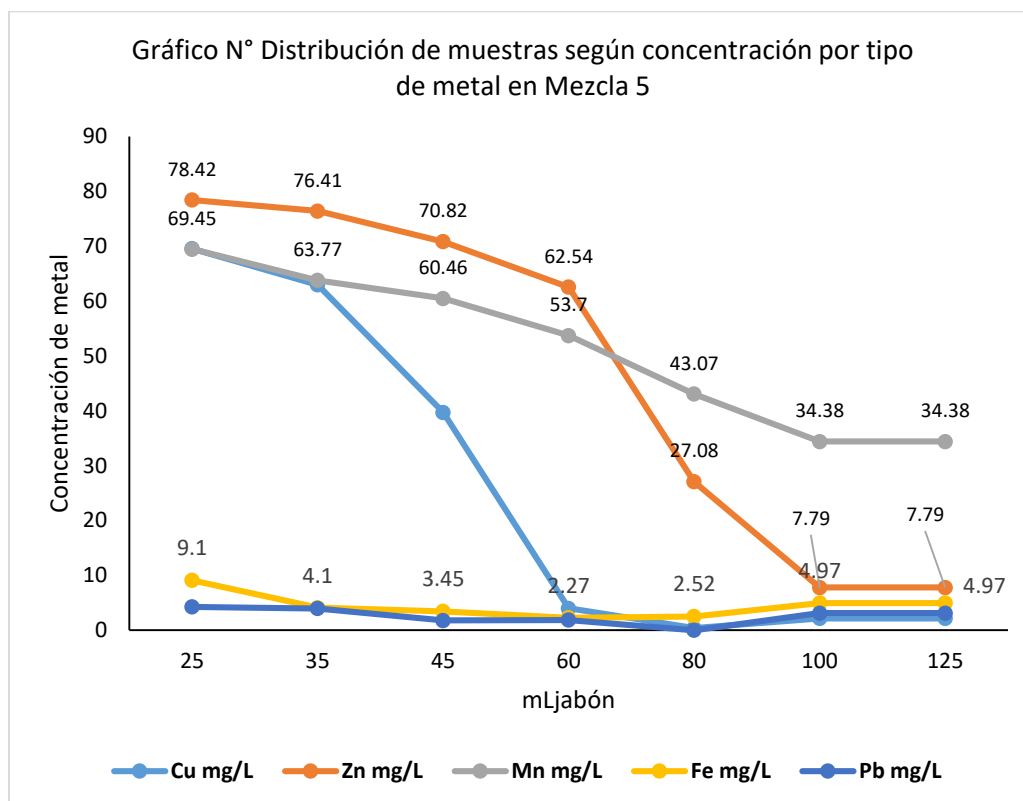
MEZCLA V:  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$

**Tabla 17. Resultados de Mezcla V**

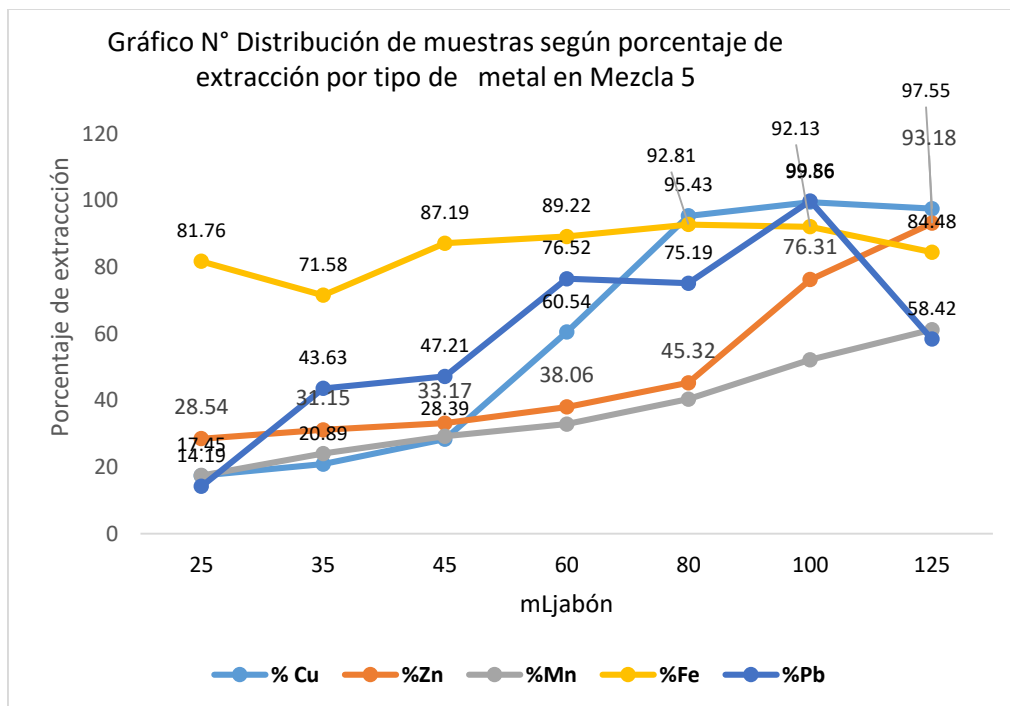
Muestra	mL jabón	Cu mg/L	Zn mg/L	Mn mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	pH
inicial		87,93	114,35	90,12	32,03	7,54	4.0
A	25	75,58	81,71	74,38	5,84	6,47	5,5
B	35	69,56	78,42	69,45	9,10	4,25	5,5
C	45	62,96	76,41	63,77	4,10	3,98	5,5
D	60	39,69	70,82	60,46	3,45	1,77	5,5
E	80	4,01	62,54	53,70	2,27	1,87	5,5
F	100	0,38	27,08	43,07	2,52	0,01	6,0
G	125	2,15	7,79	34,38	4,97	3,13	6,0
%Extracción		% Cu	%Zn	%Mn	%Fe	%Pb	
A	25	17,45	28,54	17,46	81,76	14,19	
B	35	20,89	31,15	24,04	71,58	43,63	
C	45	28,39	33,17	29,23	87,19	47,21	
D	60	60,54	38,06	32,91	89,22	76,52	
E	80	95,43	45,32	40,41	92,81	75,19	
F	100	99,56	76,31	52,20	92,13	99,86	
G	125	97,55	93,18	61,25	84,48	58,42	

Fuente Propia DAAM 13-12-2017

**Gráfico 11. Respecto a mezcla V y Tabla 17**



**Gráfico 12. Respecto a mezcla V y Tabla 17**



MEZCLA VI:  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$

Tabla 18. Resultados de Mezcla VI

Muestra	mLjabón	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	pH
Inicial		89,60	80,61	95,68	4,0
A	10	78,49	30,21	78,88	5,0
B	20	66,71	14,23	72,63	5,5
C	30	66,54	11,45	65,94	5,5
D	40	62,33	7,89	61,47	5,5
E	50	55,71	2,78	52,63	5,5
F	60	47,69	6,41	39,42	5,5
G	75	16,23	3,07	8,02	6,0
H	85	12,67	4,25	9,37	6,0
I	100	7,13	5,57	5,37	6,0
		%Cu extr.	%Fe extr.	%Pb extr.	
A	10	12,39	62,52	17,55	
B	20	25,54	82,34	24,09	
C	30	25,73	85,79	31,08	
D	40	30,43	90,21	35,75	
E	50	37,82	96,55	44,99	
F	60	46,77	92,04	58,80	
G	75	81,88	96,19	91,61	
H	85	89,6	94,72	90,20	
I	100	92,00	93,09	93,09	

Fuente Propia DAAM 13-12-2017

Gráfico 13. Respecto a mezcla VI y Tabla 18

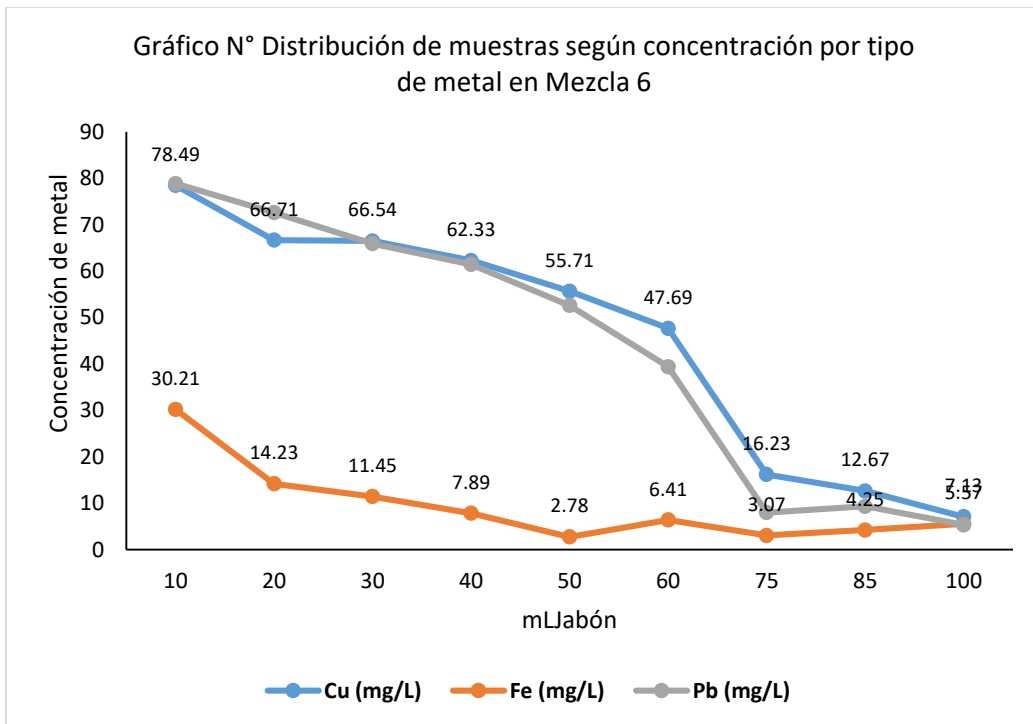
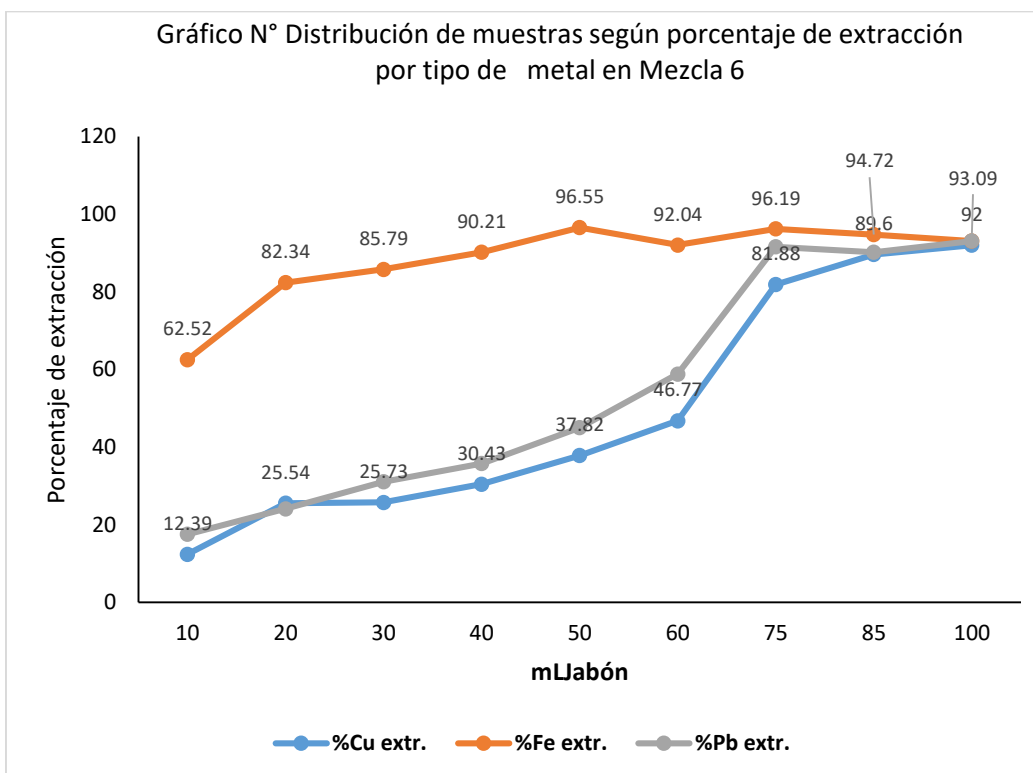


Gráfico 14. Respecto a mezcla VI y Tabla 18



➤ En el **Procedimiento Experimental 3** se evalúa el comportamiento del método integrado aplicado a una mezcla de varios metales pesados. Primero aplicamos la dispersión de jabón y luego de filtrar aplicamos la cascarilla de arroz. Observamos que con 110 mL de dispersión de jabón y con 3,25 g de cascarilla de arroz se obtienen extracciones de todos los metales pesados de la muestra que superan el 95%, incluido el manganeso (Mn).

**MEZCLA VII: Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>**

**Tabla 19. Resultados de Mezcla VII**

Muestra	mLjab	Cu mg/L	Zn mg/L	Mn mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	pH
C inicial		17,82	22,0	32,34	13,11	14,16	4,5
A	10	5,92	15,4	20,15	0,21	1,54	6,5
B	15	1,85	3,28	8,84	0,27	0,45	7,0
C	25	0,93	2,06	9,13	0,39	0,48	7,4
D	35	0,88	0,37	2,33	0,42	0,63	7,0
E	45	1,39	0,50	1,66	0,84	1,81	7,3
F	55	0,86	0,52	0,68	1,28	1,00	7,0
G	70	1,51	0,56	0,56	0,97	1,45	7,0
H	90	1,46	0,76	0,85	0,96	1,04	7,3
I	110	0,65	0,59	0,68	0,53	0,65	7,5
	extr	%Cu	%Zn	%Mn	%Fe	%Pb	
A	1g	66,77	29,7	37,69	98,39	89,1	
B	1,5	81,5	85,0	72,66	97,9	96,8	
C	1,75	94,78	90,6	71,76	97,0	96,6	
D	2,00	95,06	98,3	92,79	96,7	95,5	
E	2,25	92,19	97,7	94,86	93,59	87,2	
F	2,50	95,17	97,6	97,89	90,23	92,9	
G	2,75	91,5	97,4	98,26	92,6	89,7	
H	3,00	91,8	96,5	97,37	92,6	92,6	
I	3,25	96,3	97,3	97,89	95,9	95,4	
ECA III		2,0	2,0	0,2	1,0	0,05	6-9

Fuente Propia DAAM 15-01-2018

En la misma columna de la dispersión de jabón, en la Tabla 19, se indican las cantidades en gramos de cascarilla de arroz utilizados, luego de la filtración de los precipitados.

- Resultados de Procedimiento Experimental IV de Aplicación de método integrado a muestras reales.

**Tabla 20. Análisis Por Absorción atómica de Muestras reales**

Muestra	pH	Zn mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	As mg/L	V <sub>tratado</sub> mL
Plant. Tr Rumiayana	6,9	3,595	13,86	3,36	2,004	100
Laguna Quilacochoa	1,5	262,55	1798,55	418,56	23,13	100
ECA, catg.III	6,5-8,5	2,0	1,0	0,2	0,05	

Fuente Propia DAAM 29-05-2018

**Tabla 21. Resultados de absorción Atómica Por Aplicación de método Integrado**

Muestra	pH	Zn mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	As mg/L	V <sub>recuperado</sub>
Plant. Tr Rumiayana	6,5	0,060	0,099	0,088	0,0002	84 mL
%extracción	-	98,33	99,28	97,38	99,99	84%%
Laguna Quilacochoa	6,03	3,17	1,78	364,44	0,403	26 mL
%extracción	-	98,79	99,90	12,93	98,25	26%
ECA, catg.III	6,5-8,5	2,0	1,0	0,2	0,05	

Fuente Propia DAAM 29-05-2018



## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **Hipótesis general**

**El método integrado de remediación disminuye significativamente la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central**

Entre los métodos químicos convencionales, la precipitación y el tratamiento electroquímico son considerados ineficientes, en especial cuando la concentración del metal pesado en la solución se encuentra entre 1 y 100 mg/L. Vemos pues que la hipótesis inicialmente planteada se ha demostrado porque el método innovador aplicado a la mezcla VII muestra que los porcentajes de disminución de metales pesados oscilan significativamente en el rango de 95% a 98%, como se aprecian en la Tabla 19. Al aplicar el método integrado de remediación a cuerpos de agua con concentraciones de metales pesados en el rango de 1 a 100 mg/L ( como es el caso de la Planta de Tratamiento a la salida de Rumiayana) y en rangos muy superiores (como el caso de la Laguna de Quilacocha) nos damos cuenta que este procedimiento experimental es altamente eficaz en la extracción de las mezclas de metales pesados, pues se obtienen porcentajes de extracción que superan el 97%, lo cual está ilustrado en la Tabla 21, posibilitándose de este modo la recuperación de parte del agua contaminada para su posible uso en agricultura y en la bebida de animales de crianza doméstica para el autosostenimiento.

#### **Hipótesis Específica:**

a) Determinar en qué medida el método integrado de remediación para tratar aguas residuales contaminadas con metales pesados permitirá la obtención de volúmenes significativos de agua para su uso en agricultura de autosostenimiento

b) Determinar en qué medida el método integrado de remediación para tratar aguas residuales contaminadas con metales pesados permitirá la obtención de volúmenes significativos de agua para su uso en crianza de animales domésticos de autosostenimiento.

Estas hipótesis específicas se demuestran cuando aplicamos el método integrado a las muestras reales de las aguas de salida de la planta de tratamiento de Rumiayana, en que se recupera el 84% de agua respecto al volumen inicial tratado. En el caso de la aplicación a muestras de agua de la Laguna Quilacocha mucho más ácida (pH =1,5) y más cargada en metales pesados (por ejemplo, 1798,55 mg/L de hierro – Tablas 20 y 21) solo recuperamos el 26 % del agua tratada.

#### **4.2. Análisis e Interpretación**

➤ Respecto al Procedimiento experimental I, las Tablas 9 y 12 muestran que el Manganeseo (Mn) es el que tiene menor capacidad de ser adsorbido por 2,0 g de cascarilla natural de arroz, pues es el que muestra menos porcentaje de extracción de metal pesado, lo cual puede ser una complicación si este metal está presente con otros metales pesados en una solución acuosa.

➤ Respecto al Procedimiento Experimental II, las Tablas 13 a 18 muestran que las soluciones acuosas de metales pesados son soluciones ácidas con  $\text{pH} \leq 4,0$ . Observamos que, a mayor volumen de dispersión de jabón agregada a la mezcla el pH aumenta debido a la neutralización y disminuye la concentración de los metales pesados debido a que estos cationes metálicos reaccionan con el anión conjugado

del jabón formando productos insolubles como son los jabones metálicos de los metales pesados, también llamados carboxilatos metálicos. Por otro lado, respecto a la insolubilidad de los jabones metálicos precipitados, **el producto de hierro es el más insoluble**, pues requiere la menor cantidad de dispersión de jabón para precipitar y esto se evidencia por los altos porcentajes de extracción evidenciados en las Tablas 13 a 18; **el manganeso (Mn) es el más soluble** de los cationes metálicos pues a pesar de que se aumentan los volúmenes de dispersión de jabón los porcentajes de extracción de manganeso son menores al 62% ,mientras que, los otros metales que lo acompañan en la mezcla superan el 92% y pueden llegar hasta el 99% de extracción de metal pesado, tal como lo demuestran los resultados de las Tablas 14 y 17.

- Al comparar los resultados de la aplicación del método integrado de remediación, que se muestran en las Tablas 19 (soluciones estándar de mezcla VII) y Tabla 21 (correspondiente a la muestra de la Planta de Tratamiento de Rumiayana), nos damos cuenta que obtenemos aguas que mayormente cumplen los ECA's de la categoría III tanto en pH final como en la concentración final de los me. Mientras más semejantes son las concentraciones de metales pesados mucho mayor es la disminución de la concentración de estos, tal como se aprecia en las Tablas 18, 19, 20 y 21, ya sea por aplicación solo de jabón o por aplicación del método integrado de remediación.
- De los ensayos 1 y 2, en que se experimentó la adición de diferentes cantidades de cascarilla de arroz y luego se hizo la precipitación del exceso de metal no adsorbido con dispersión de jabón sin previa filtración de la cascarilla, se observa que este procedimiento no es adecuado para maximizar la extracción de metal pesado, pero si favorece la extracción de plomo con **96,80%** de extracción, tal como

lo muestran las **Tablas 12 y 9** del **Procedimiento Experimental I**, correspondiente a los ensayos iniciales con cascarilla de arroz y jabón Neko. Si bien la cascarilla de arroz tiene capacidad de adsorción que se incrementa con el incremento del pH, los pocos puntos de adsorción que quedan en la cascarilla de arroz no son suficientes para incrementar la adsorción de metal pesado de la solución al añadir mayor cantidad de dispersión de jabón; además, el jabón comercial Neko tiene excipientes que desconocemos en su formulación y que pueden estar interfiriendo en la optimización de la extracción de los metales pesados. Además, nos indican que debemos cambiar el orden de aplicación del procedimiento de remediación: Primero debemos desarrollar la precipitación con jabón, luego filtrar y finalmente aplicar la cascarilla de arroz.

➤ Los experimentos desarrollados aportan conocimiento respecto al comportamiento dual del jabón como agente neutralizante de la acidez y como agente precipitante de metales pesados contenidos en aguas contaminadas, como lo demuestran los resultados de las Tablas 13 a 18.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Discusión

- Los métodos **convencionales utilizan NaOH, KOH, cal (CaO)** para neutralizar la alta acidez (bajo pH) de las aguas residuales de metales pesados de la actividad minera y que también pueden ocasionar la precipitación de los metales pesados como hidróxidos; estos reactivos mencionados son relativamente caros. La dificultad en la adición de los álcalis como NaOH es que puede hacer que los precipitados nuevamente se disuelvan debido a la formación de iones complejos solubles de los metales pesados, lo cual obliga a que convencionalmente se recurra a la precipitación selectiva de los cationes metálicos por regulaciones del pH usando soluciones buffer. La relación entre la solubilidad del metal y el pH de la disolución depende del tipo de metal que se considere; existe un pH de mínima solubilidad que es diferente para cada metal, y que no se encuentra necesariamente en el intervalo 6,5–9,5, especificado como estándar para las corrientes residuales descargadas, lo que implica que el ajuste de pH a un valor alrededor de 8,5 puede no producir resultados satisfactorios en la depuración (Izquierdo S. M, 2010). Los resultados del procedimiento experimental III, que se ilustran en las Tablas 13 a 18, evidencian que el jabón sódico se puede utilizar **como agente neutralizante no convencional** de las aguas fuertemente ácidas que contienen metales pesados, además, evita que desarrollemos precipitaciones selectivas de cationes metálicos con regulaciones de pH. **Adicionalmente el jabón precipita** a los diferentes cationes de los metales pesados, obteniéndose aguas recuperadas con pH en el rango de

los ECA's para cuerpos de agua que se pueden utilizar para agricultura y bebida de animales domésticos, sin necesidad de hacer ajustes del pH.

- Ferniza G.(2017) utilizó volúmenes de 2L de soluciones acuosas de  $Pb^{2+}$  (16 ppm),  $Cu^{2+}$  (119 ppm),  $Cd^{2+}$  (75 ppm), and  $Zn^{2+}$  (156 ppm), las cuales fueron electrocoaguladas usando electrodos de aluminio durante 3 horas a  $pH = 5,27$  y luego los sistemas resultantes fueron sometidos a fitorremediación con *Thypha Latifolia* de 7 a 14 días. Por esta metodología experimental acoplada el rendimiento de remoción de metales pesados fue de 100% de Zn, 99,2%Cu, 81,3%Cd y 99,4%Pb. La metodología de Ferniza es óptima en la remoción de metales, pero tiene como dificultad los costos elevados por uso de corriente eléctrica, los reactores con gasto de ánodos de aluminio y el gasto de agua adicional para diluir el electrocoagulado y someterlo a fitorremediación por 7 a 14 días. **En cambio**, en el método integrado propuesto al precipitar los metales por la reacción general de desplazamiento:

Por ejemplo,  $RCOONa(ac) + Fe^{3+}(ac) \rightarrow (RCOO)_3Fe(s) + Na^{1+}(ac)$ , y luego de aplicar la cascarilla de arroz al filtrado, con un tiempo total de 90 minutos a 180 minutos, desde la neutralización hasta la agitación con cascarilla, se obtienen porcentajes de remoción 96,3%Cu, 97,3%Zn, 97,8%Mn, 98,3%Fe y 95,49%Pb, **tal como ilustra la Tabla 19** en que se usó un máximo de 110 mL de dispersión de jabón y un máximo de 3,25g de cascarilla de arroz por cada 100 mL de muestra estándar tratada, alcanzándose generalmente pH que oscila en el rango de 6,5 a 7,5, en concordancia con los ECA's del agua de la categoría III. Alargando el tiempo para mayores volúmenes de agua contaminada con metales pesados,

las muestras tratadas con jabón se pueden dejar sedimentar y/o por ocho a 24 horas, decantar y si es necesario se filtraría antes de aplicar la cascarilla de arroz; aun así, este método integrado, además de alcanzar los ECA's requerido posibilita la recuperación de volúmenes significativos de agua para su uso doméstico en agricultura y crianza de animales.

- Es una limitación o defecto de este método integrado, el utilizar dispersiones acuosas de jabón, pues se llegan a utilizar volúmenes que superan el volumen de muestra tratada, lo cual se aprecia en los resultados de la **Tabla 19**. Por ello, **Corrección de Procedimiento Experimental:** adicionar jabón sólido granulado o en trozos pequeños a 100 mL de la muestra con metales pesados y agitar rápidamente hasta ligera formación de espuma y/o medición instrumental de pH en el rango de 6 a 8, disminuir la velocidad de agitación; seguidamente filtrar y aplicar la cascarilla de arroz al filtrado con agitación por 45 minutos. Seguidamente filtrar para su análisis por absorción atómica. Con este procedimiento evitamos el gasto de agua potable o agua destilada en la preparación de la dispersión de jabón y realmente se cuantifica el volumen de agua recuperada, como demuestran los resultados de la Tabla 21.
- Si lo que se pretende es recuperar volúmenes significativos de agua, como indican las hipótesis específicas, este método integrado no es adecuado por las altísimas concentraciones de metales pesados y arsénico que conllevan a que se obtengan volúmenes de agua recuperada de menos de 40 mL por cada 100 mL de muestra tratada, en el caso de las aguas de la Laguna Quilacocha pero, no obstante ello, los lodos obtenidos pueden ser aprovechables como residuos no tóxicos al ser materia prima para pinturas

y lubricantes, que es una de las aplicaciones de los jabones metálicos de metales pesados y la cascarilla de arroz con metales adsorbidos puede ser utilizada en la formulación para obtención de ladrillos.



## VI. CONCLUSIONES

- El análisis cuantitativo de las mezclas de metales que se ilustran en las Tablas 13 a 19 demuestran que el método integrado propuesto disminuye significativamente las concentraciones de metales pesados en el rango de 92 a 98% de extracción, en concordancia con el objetivo general.
- Los resultados cuantitativos de la aplicación del método integrado propuesto a muestras reales, que se ilustran en las Tablas 20 y 21, demuestran que se pueden recuperar volúmenes significativos de agua para uso en crianza de animales y agricultura de autosostenimiento cuando las concentraciones de metales pesados son menores o iguales a 120 mg/L, como es el caso concreto del tratamiento del agua que sale de la planta de tratamiento de Rumiayana en que se recupera el 84% del volumen de agua tratada y donde la remoción de metales pesados oscila en el rango de 97% a 99%.
- Los resultados cuantitativos de la aplicación del método integrado a muestras de agua de la Laguna Quilacocha, ilustrados en la Tabla 21, si bien cumplen con la disminución significativa de la mayoría de metales pesados (98 a 99% de remoción) y arsénico (98%), el método integrado propuesto no resulta efectivo en la remoción de manganeso pues solo se extrae o remueve el 12,93%, posiblemente debido a su alta solubilidad, como lo demuestran los resultados experimentales de las Tablas 12, 14 y 17. Además, solo se recuperó el 26% del volumen de agua tratada y los procesos de sedimentación y filtración son demasiado lentos, pues se obtienen muchos lodos en suspensión coloidal.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar dispersiones de jabón cuando los cuerpos de agua contaminados con metales pesados tengan concentraciones menores o iguales a 120 mg/L, como lo demuestran los resultados experimentales de la Tabla 17 y la Tabla 19.
- Si los cuerpos de agua tienen concentraciones de metales pesados en los límites de 80 a 120 mg/L se recomienda usar jabón en escamas o pulverizado o rayado para agitar la muestra de agua y evitar así, el gasto de agua potable o agua destilada en la preparación de la dispersión de jabón.
- En el caso de cuerpos de agua como la Laguna de Quilacocha, que son muy ácidas ( $\text{pH} < 2$ ) con altas concentraciones de metales pesados, se recomienda agitar directamente el jabón rayado o en escamas. Si bien, la recuperación de agua no es muy significativa, lodos resultantes de la precipitación con jabón se pueden mezclar con la cascarilla de arroz utilizada en la adsorción complementaria y seguidamente quemarlos para obtener ladrillos con alto contenido de sílice y metales particulares. O estos lodos resultantes de la precipitación con jabón se pueden secar y acumular para su venta como componentes en la formulación de pinturas y lubricantes. Por lo que se puede decir que, este método innovador no genera residuos que dañen el medio ambiente.
- Se recomienda utilizar jabón de mayor grado de pureza, es decir sin los excipientes que tiene el jabón comercial o jabón específico de determinado aceite o grasa como, por ejemplo, palmitato de sodio proveniente de aceite de palma, para optimizar la neutralización y la precipitación de metales pesados y mayores posibilidades de obtener mayores volúmenes de agua recuperada.

- Se sugiere ensayar otros métodos integrados de remediación usando jabón y otros materiales vegetales inertes o utilizar plantas metalofitas nativas para recuperar cuerpos de agua como el caso de la Laguna Quilacocha.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltrán M. (2015). Metales Pesados (Cd, Cr y Hg): Su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación, *I3+*, 2(2), 82 – 112 No2, Marzo 2015-Agosto 2015. Facultad de Ciencias e Ingeniería-Universidad de Boyacá-Colombia.
- Caviedes R., D. I. et al. (2015) Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados. Revista *Ingeniería y Región*. 2015;13(1):73-90
- Calla Ll. H. J. (2010) *Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras* (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. UNMSM
- Chávez R., L. (2014). Phytoremediation of lead polluted soils with native plant species, presentado en el *XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano del Suelo* 9 al 14 de noviembre de 2014-Cusco
- Choque Y., M. (2018). *Remoción de iones Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) de lodos sedimentados en la bahía interior de Puno - Lago Titicaca utilizando bioadsorbente acuoso de la semilla de tarwi (Lupinus mutabilis)* (Tesis doctoral) Universidad Nacional del Altiplano. Perú
- Cuenca R., M. A. (2015). *Selección de un sistema de desinfección en proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas* (Tesis doctoral.) Universidad Politécnica de Valencia.
- Cutillas B., L. (2017). *La corteza de pino como adsorbente natural de metales pesados en suelos contaminados* (Tesis doctoral). Universidad de Vigo.
- Delgado H., S. (2013), *Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú
- Díaz R., E.T. (2013). *Uso de líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en áreas cercanas a empresas mineras de altura del Perú* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Perú

- Díaz Z., N. Y (2018). *Contaminación en suelo y flora por metales pesados en la zona de relaveras de la ex –mina Paredones- San Pablo*. (tesis parcial) Universidad Privada del Norte. Perú
- Dimas G. (2011). *Estudio de la interacción de metales pesados (Pb, Cd, Zn y Cr) en Solución, en el proceso de biosorción por tres tipos de biomasa*. (Tesis de maestría) Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Doria, M.; Hormaza, A. & Suarez, D. (2011). Cascarilla de arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo (VI). *Gestión y Ambiente*, 14(1), 73.
- Ferniza G.F.(2017). *Eficiencia de un sistema acoplado electrocoagulación-fitorremediación para la remoción de Pb, Cu, Cd y Zn, presentes en efluentes mineros* (Tesis doctoral) Universidad Autónoma de México.
- Graza, E., F. W., *Determinación de Pb, Cd, y As en aguas del río Santa en el Pasivo Minero-Ambiental de Recuay, Ticapampa;Recuay-Ancash* (tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.
- Frers C. (2008), El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observatorio Medioambiental* 2008, vol. 11 301-305
- Galán C., J.J (2009) *Síntesis y caracterización de carboxilatos metálicos* (tesis de grado) Universidad Politécnica de Catalunya
- Guevara A., De la Torre E., Villegas A., Criollo E. (2009). La rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Metalurgia Extractiva, Quito-Ecuador (2009). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 2009; S1 (2): 871-878.

- Gutiérrez M., (2015), *Estudio de la Bioadsorción de cadmio y plomo con biomasa de Serratia marcescens M8a-2T, a nivel de Laboratorio.* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Heredia C., M. L. (2015), *Remoción de cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante.*(Tesis de maestría) Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y metalúrgica. Universidad nacional de Ingeniería. Perú.
- Huanqui P., R., (2016). *Remoción de metales pesados de soluciones acuosas mediante la determinación de la capacidad de adsorción de las conchas marinas* (Tesis de maestría) Universidad Nacional del Altiplano. Perú.
- Howe K. J.H., Hand D.W., Crittenden J.C., Rhodes T. R., Tchobanoglous G. (2017) *Principios de tratamiento del agua* (p.25). CENCAGE Learning
- Izquierdo S. M (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso.* (Tesis Doctoral) Universidad de Valencia.
- Jara E., et al (2014). Capacidad Fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología* 21 (2): 145-154.
- Lazcano C., C. (2017) Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales (pp. 231,232. 2da Edición 2017, ECOEdiciones. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.
- López P., P. (2011), *Fitorremediación en los suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí – Lima.* (Tesis de maestría) Universidad Nacional de Ingeniería. Rímac. Lima. Perú.
- Llanos P. O. et al (2016) La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia* - Julio - Diciembre de 2016. Vol.11, No. 2 - 150•160 - DOI: 10.22507/pml.v11n2a12).

- Miyashiro K. V. Méndez Q. L., Orihuela de Campos L. (2014). Gestión del agua en el Perú: uso, protección y tratamiento. (pp. 30, 38, 109, 117-119) Lima. Fondo editorial UNALM. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- Narciso Ch. (2015, junio) *DGCA-Perú Limpio – Encuentro con regiones* - MINAM (Marzo, 2015).
- Paredes Z., J. L. (2018). *Biorremediación aeróbica de los metales pesados hierro, cobre y plomo de aguas residuales de minas* (Tesis doctoral). Universidad San Pedro. Chimbote. Perú.
- Portilla R., H. R. (2017). *Tiempo de contacto de la cáscara de *musa sapientum* (plátano) y su tamaño de partícula sobre el pH y adsorción de Pb y Zn en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico*. (Tesis de maestría) Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Poveda O., R.A. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua* (Tesis para obtención de Título de Ingeniera Bioquímica). Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- Romero E. (2012). *Desarrollo Sostenible – Hacia la Sostenibilidad*. (pp.75-76), primera Edición. Edit. Produmedios – Bogotá-Colombia.
- Roque R., F. J. (2018) *Desinfección y depuración bioelectroquímica de aguas residuales domesticas asistida por energía fotovoltaica a miniescala caso: PTAR Chilpina-Arequipa* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. Perú.
- Spiro T.G & Stigliani W. (2004), *Química Medioambiental* (p.351). 2da Edición. Edit. PEARSON-Prentice Hall.

Tejada. T.C., et al (2018). Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol. 16 No 1 · Enero - junio 2018.

Trelles B., J.A. (2013). *Bioadsorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes*. (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

Vaca S., A. M. (2017-2018). *Biorremediación de agua contaminada con cadmio empleando la técnica de biosorción con tres especies de macroalgas*. (Tesis de grado) Universidad de Guayaquil. Ecuador.

Valladares M. G., Valerio C. C., De la Cruz B. P., Melgoza A. R.M. (2017)  
Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, ISSN 1692-3324, Vol. 16, N°. 31, 2017

Metales pesados contaminan a pobladores de Chala. Arequipa (9 mayo 2016).  
Diario *La República*. Perú.



IX. ANEXOS

Matriz de Consistencia

Normas de Legislación Ambiental Publicadas en el diario El Peruano

Protocolos de ANA

## MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central– 2018

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODO
<b>GENERAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>Variable Independiente</b> Método integrado de remediación	<b>Indicadores:</b> Porcentaje de extracción inicial del metal pesado Porcentaje de concentración final del metal pesado <b>De V. Dependiente:</b> Concentración inicial y final de metal pesado, pH inicial y pHfinal	Este proyecto de <b>Investigación Aplicada</b> se basa en el <b>método científico</b> y es una investigación <b>experimental de Laboratorio</b> en que analizaremos la relación causa – efecto entre la variable dependiente (agua residual contaminada con metales pesados) y la variable independiente (método integrado de remediación). <b>Universo:</b> Cuerpos de Aguas contaminadas de actividad minera de la Sierra Central (lagunas, lagos,ríos, etc.) <b>Muestra:</b> muestras cuerpos de agua lénticos (lagos, lagunas) contaminadas con metales pesados en el lapso de octubre a diciembre de 2017 y 2018. <b>Unidad de análisis:</b> volúmenes de agua contaminadas muestreadas,
¿En qué medida la aplicación de un método integrado de remediación influye en la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central?	Demostrar un método integrado de remediación para disminuir significativamente la concentración de metales pesados de aguas residuales de la actividad minera de la Sierra Central.	El método integrado de remediación disminuye significativamente la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central	<b>Variable dependiente.</b> Aguas residuales contaminadas con metales pesados (lagos, lagunas, ríos).		
<b>P. ESPECÍFICO</b>	<b>O. ESPECÍFICO</b>	<b>H. ESPECIFICA</b>			
¿En qué medida la aplicación de un método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central posibilita la recuperación de agua para su uso en agricultura de autosostenimiento?	a) Determinar en qué medida el método integrado de remediación para tratar aguas residuales contaminadas con metales pesados permitirá la obtención de volúmenes significativos de agua para su uso en agricultura de autosostenimiento	La aplicación de un método integrado de remediación a aguas residuales contaminadas con metales pesados de la actividad minera de la Sierra Central permite recuperar volúmenes significativos de agua para su uso en la agricultura	Variable independiente: El tratamiento aplicado.  Variable dependiente: Volumen de agua tratada	Porcentaje de extracción del metal pesado.  Volumen de agua recuperada, pH inicial y pH final	
¿En qué medida la aplicación de un método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central posibilita la recuperación de agua para su uso en crianza de animales de autosostenimiento	b) Determinar en qué medida el método integrado de remediación para tratar aguas residuales contaminadas con metales pesados permitirá la obtención de volúmenes significativos de agua para su uso en crianza de animales domésticos de autosostenimiento.	La aplicación de un método integrado de remediación a aguas residuales contaminadas con metales pesados de la actividad minera de la Sierra Central permite recuperar volúmenes significativos de agua para la crianza de los animales.	Variable independiente: El tratamiento aplicado.  Variable dependiente: Volumen de agua tratada	Porcentaje de extracción del metal pesado.  Volumen de agua recuperada, pH inicial y pH final	

## PODER EJECUTIVO

### AMBIENTE

## Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación

### DECRETO SUPREMO N° 015-2015-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley;

Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33 de la citada ley, dispone que en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, este Ministerio tiene como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiendo ser aprobados o modificados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprobaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y, mediante Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprobaron las disposiciones para la implementación de dichos estándares;

Que, las referencias nacionales e internacionales de toxicidad consideradas en la aprobación los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua han sido modificadas, tal como lo acreditan los estudios de investigación y guías internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, de la Comunidad Europea, entre otros;

Que, asimismo, el Ministerio del Ambiente ha recibido diversas propuestas de instituciones públicas y privadas, con la finalidad de que se revisen las subcategorías, valores y parámetros de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua vigentes, por lo que, resulta necesario modificar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N°

002-2008-MINAM y precisar determinadas disposiciones contenidas en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM;

Que, en el marco de lo dispuesto en el Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, la presente propuesta ha sido sometida a consulta y participación ciudadana, en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú.

DECRETA:

#### Artículo 1.- Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.

Modifíquese los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, detallados en el Anexo de la presente norma.

#### Artículo 2.- ECA para Agua y políticas públicas

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, y en el diseño de normas legales y políticas públicas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

#### Artículo 3.- ECA para Agua e instrumentos de gestión ambiental.

3.1. Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental

3.2. Los titulares de la actividad extractiva, productiva y de servicios deben prevenir y/o controlar los impactos que sus operaciones pueden generar en los parámetros y concentraciones aplicables a los cuerpos de agua dentro del área de influencia de sus operaciones, advirtiendo entre otras variables, las condiciones particulares de sus operaciones y los insumos empleados en el tratamiento de sus efluentes; dichas consideraciones deben ser incluidas como parte de los compromisos asumidos en su instrumento de gestión ambiental, siendo materia de fiscalización por parte de la autoridad competente

#### Artículo 4.- Excepción de aplicación de los ECA para Agua.

4.1. Las excepciones para la aplicación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua previstas en el Artículo 7° de las disposiciones para su implementación aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM se aplican de forma independiente.

4.2. El supuesto previsto en el literal b) del citado Artículo 7° constituye una excepción de carácter temporal que es aplicable para efectos del monitoreo de calidad ambiental y en el seguimiento de las obligaciones asumidas por el titular de la actividad.

#### Artículo 5.- Revisión de los ECA para Agua.

5.1. Conjuntamente con los límites máximos permisibles aplicables a una actividad, las entidades de fiscalización ambiental verifican la eficiencia del tratamiento de efluentes y las características ambientales particulares advertidas en los estudios de línea de base, o los niveles de fondo que caracterizan los cuerpos de agua dentro del área de influencia de la actividad sujeta a control.

5.2. Dicha información se sistematiza y remite al Ministerio del Ambiente, de conformidad con el artículo 9 de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, para efectos de la revisión periódica del ECA para Agua.

#### Artículo 6.- Actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Actividades en Curso

Para la actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Actividades en Curso se observa los siguientes procedimientos:

6.1. El Titular de la actividad extractiva, productiva y de servicios en curso evalúa si las obligaciones ambientales contenidas en su instrumento de gestión ambiental vigente requieren ser modificadas en virtud a los ECA para Agua establecidos en la presente norma, de modo que su actividad no afecte los cuerpos de agua existentes en el área de influencia de sus operaciones.

6.2. El Titular tiene un plazo de seis (6) meses, contado a partir de la entrada en vigencia de la presente norma, para comunicar a la autoridad ambiental competente si los valores de los ECA para Agua ameritan la modificación de su instrumento de gestión ambiental vigente.

A partir de la fecha de la comunicación formulada a la Autoridad Ambiental Competente, el Titular tiene un plazo de doce (12) meses adicionales para presentar la modificación del mencionado instrumento de gestión ambiental.

6.3. La Autoridad Ambiental Competente tiene un plazo máximo de noventa (90) días calendario para evaluar y aprobar el Plan de Manejo Ambiental presentado. En el marco del plazo descrito, la Autoridad Ambiental Competente tiene un plazo máximo de cuarenta y cinco (45) días calendario para revisar y remitir las observaciones al Titular respecto al Plan de Manejo Ambiental presentado, en caso corresponda. El Titular tiene un plazo máximo de treinta (30) días calendario para la presentación del levantamiento de las observaciones que haya efectuado a la Autoridad Ambiental Competente al Plan de Manejo Ambiental presentado.

6.4. El plazo máximo para la implementación de las medidas de adecuación, contenidas en la modificación del instrumento de gestión ambiental, es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

6.5. Si el titular no formula comunicación ni presenta la modificación de su instrumento de gestión ambiental dentro de los plazos descritos en el presente artículo, son de referencia automática los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 del presente decreto supremo.

La solicitud de modificación no suspende la ejecución de las obligaciones ambientales establecidas en instrumentos de gestión ambiental previamente aprobados por la Autoridad Ambiental Competente, ni el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, según corresponda.

#### **Artículo 7.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Agricultura y Riego, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud y el Ministro del Ambiente.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

**Primera.-** Para efectuar los monitoreos en aplicación de la presente norma, la autoridad ambiental competente debe considerar los parámetros asociados prioritariamente a la actividad extractiva, productiva o de servicios y a aquellos que permitan caracterizar las condiciones naturales de la zona de estudio o el efecto de otras descargas en la zona.

**Segunda.-** La entidad de fiscalización ambiental supervisa, una vez concluido el plazo para la implementación del instrumento de gestión ambiental correspondiente, que las actividades extractivas, productivas y de servicios realicen sus operaciones considerando los valores y parámetros establecidos en la presente norma.

**Tercera.-** El Titular de la actividad minera que se encuentre implementando su instrumento de gestión ambiental de acuerdo al Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM o el Plan Integral, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas, en concordancia con lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2011-MINAM, tiene un plazo de sesenta (60) días calendario para evaluar e informar a dicha autoridad si el plan aprobado requiere ser modificado, a fin de guardar relación con los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 de la presente norma.

A partir de la fecha de la comunicación a la Autoridad Ambiental Competente, el Titular tiene un plazo de doce (12) meses adicionales para presentar la modificación de su Plan Integral o el instrumento de gestión ambiental que corresponda.

El proceso de evaluación y aprobación del Plan Integral presentado por parte de la Autoridad Ambiental Competente, se rige por lo dispuesto en el artículo 6° de la presente norma.

El plazo máximo para el cumplimiento del proceso de adecuación es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación de la modificación del Plan Integrado por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

La solicitud de modificación no suspende la obligación de cumplir, como mínima exigencia, con los valores de Límites Máximos Permisibles (LMP) anteriormente aprobados contenidos en su instrumento de gestión ambiental vigente, hasta la conclusión del proceso de adecuación.

En caso el Titular minero no cumpla con informar a la Autoridad Ambiental Competente la necesidad de la modificación o no presente la modificación de su Plan Integral o el instrumento de gestión ambiental correspondiente en los plazos establecidos en la presente disposición, se le aplican los compromisos asumidos y el cronograma de ejecución consignado en el Plan Integral aprobado.

**Cuarta.-** El Titular de la actividad minera que haya cumplido con presentar un Plan Integral, en concordancia con lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2011-MINAM; pero que a la fecha de la publicación de la presente norma no cuente con la aprobación por parte del Ministerio de Energía y Minas, tiene un plazo de sesenta (60) días calendario para evaluar e informar a dicha Autoridad Ambiental si el Plan Integral presentado requiere una actualización a los valores de los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 de la presente norma.

Efectuada dicha comunicación, la Autoridad Ambiental Competente devuelve el expediente respectivo al Titular minero en el plazo máximo de diez (10) días calendario. A partir de la fecha de la referida devolución el Titular minero tiene un plazo de doce (12) meses para presentar una actualización del Plan Integral inicialmente presentado.

El proceso de evaluación y aprobación de la actualización del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente, se rige por lo dispuesto en el artículo 6° de la presente norma.

El plazo máximo para el cumplimiento del proceso de adecuación es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

Si el Titular minero no comunica al Ministerio de Energía y Minas la necesidad de actualizar el Plan Integral que fuera presentado, se entiende que no requiere modificar dicho proyecto de instrumento de gestión ambiental, reanudándose su evaluación.

En caso que el Titular minero, habiendo notificado a la DGAAM del Ministerio de Energía y Minas su disposición a actualizar el Plan Integral presentado no presente dicha actualización en los plazos señalados, puede ser pasible de las sanciones que correspondan por la afectación de la eficacia de la fiscalización ambiental.

**Quinta.-** En un plazo no mayor a seis (6) meses mediante Resolución Ministerial el Ministerio del Ambiente establece las condiciones sobre los métodos de ensayo aplicables a la medición de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua aprobados por la presente norma.

#### **DISPOSICION COMPLEMENTARIA MODIFICATORIA**

**Única.-** Modificación del artículo 2 de las Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

Modifíquese el artículo 2 de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, de acuerdo a lo siguiente:

**“Artículo 2.-** Precisiones de las Categorías de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Para la implementación del Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y de la presente norma, se tiene en consideración las siguientes precisiones de las Categorías de los ECA para Agua:

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional****Sub Categoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable****A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.**

Entiéndase como aquellas aguas, que por sus características de calidad reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

(...)

**Sub Categoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación**

Son las aguas superficiales destinadas al uso recreativo, que en la zona costera marina comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea y que en las aguas continentales su amplitud es definida por la autoridad competente

(...)

**Categoría 2: Actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales****Sub Categoría C1. Extracción y cultivo de moluscos bivalvos en aguas marino costeras**

(...)

**Sub Categoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

(...)

**Sub Categoría C3. Otras Actividades en aguas marino costeras**

Entiéndase a las aguas destinadas para actividades diferentes a las precisadas en las subcategorías C1 y C2, tales como infraestructura marina portuaria, de actividades industriales y de servicios de saneamiento.

**Sub Categoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase a los cuerpos de agua destinadas a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

**Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales****Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto.**

Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallo bajo), tales como plantas de ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallo alto), tales como árboles forestales, frutales, entre otros.

**Sub Categoría D2: Bebida de Animales.**

(...)

**Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Están referidos a aquellos cuerpos de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento y que cuyas características requieren ser protegidas.

(...).

**Sub Categoría E1: Lagunas y Lagos**

Comprenden todas las aguas que no presentan corriente continua, de origen y estado natural y léntico incluyendo humedales.

**Sub Categoría E2: Ríos**

(...).

**Sub Categoría E3: Ecosistemas Marino Costeros**

(...)

**Marino.**- Entiéndase como zona del mar comprendida desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional."

(...)

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los diecinueve días del mes de diciembre del año dos mil quince.

OLLANTA HUMALA TASSO  
Presidente de la República

JUAN MANUEL BENITES RAMOS  
Ministro de Agricultura y Riego

MANUEL PULGAR-VIDAL OTALORA  
Ministro del Ambiente

ROSA MARÍA ORTIZ RÍOS  
Ministra de Energía y Minas

ANÍBAL VELÁSQUEZ VALDIVIA  
Ministro de Salud

TABLA N° 01.- PARÁMETROS Y VALORES CONSOLIDADOS.

CATEGORÍA 1 - A

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado

FÍSICOS - QUÍMICOS

Aceites y grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(uS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de origen antropogénico.		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de Material Flotante de origen antrópico	Ausencia de Material Flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0



PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
Hidrocarburos de petróleo emulsionado o disuelto (C10 - C28 y mayores a C28)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(c)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados:</b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
DDT	mg/L	0,001	0,001	**
Endrín	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacoloro + Heptacoloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	Retirado
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b>Carbamatos:</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
<b>Policloruros Bifenilos Totales</b>				
PCB's	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	50	5 000	50 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Microcistina-LR</i>	mg/L	0,001	0,001	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (d)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

- (a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
- (b) Después de la filtración simple
- (c) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CA Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Cromoformo}}}{E_{\text{CA Cromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C = Concentración en mg/L y

ECA: Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano)

(d) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada

### CATEGORÍA 1 – B

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>			
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	10	**
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1000	4 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	E.coli /100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella sp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

- UNT : Unidad Nefelométrica de Turbiedad
- NMP/100 ml : Número más probable en 100 ml
- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

### CATEGORIA 2

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 2			
		AGUA DE MAR			AGUA CONTINENTAL
		Sub Categoría 1 (C1)	Sub Categoría 2 (C2)	Sub Categoría 3 (C3)	Sub Categoría 4 (C4)
		Extracción y Cultivo de Moluscos	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas	Otras Actividades	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>					
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de Material Flotante	Ausencia de Material Flotante	Ausencia de Material Flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥4	≥3	≥2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 2			
		AGUA DE MAR			AGUA CONTINENTAL
		Sub Categoría 1 (C1)	Sub Categoría 2 (C2)	Sub Categoría 3 (C3)	Sub Categoría 4 (C4)
		Extracción y Cultivo de Moluscos	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas	Otras Actividades	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoniaco	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Niquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hydrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hydrocarburos de petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>					
(PCB's)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	≤14 (área Aprobada)(c)	≤30	1 000	200
	NMP/100 mL	*≤88 (área restringida)(c)			

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

**Área Restringida:** Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

(1) Nitrógeno Amoniaco para Aguas Dulce :

Estándar de calidad de concentración del nitrógeno amoniaco en diferente pH y temperatura para la protección de la vida acuática (mg/L de NH3)

		pH							
		6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	10.0
Temp (°C)	0	231	73.0	23.1	7.32	2.33	0.749	0.25	0.042
	5	153	48.3	15.3	4.84	1.54	0.502	0.172	0.034
	10	102	32.4	10.3	3.26	1.04	0.343	0.121	0.029
	15	69.7	22.0	6.98	2.22	0.715	0.239	0.089	0.026
	20	48.0	15.2	4.82	1.54	0.499	0.171	0.067	0.024
	25	33.5	10.6	3.37	1.08	0.354	0.125	0.053	0.022
	30	23.7	7.50	2.39	0.767	0.256	0.094	0.043	0.021

Nota: Las mediciones de amoniaco total en el medio ambiente acuático a menudo se expresan en mg / L de amoniaco total -N. Los actuales valores de referencia (mg / L de NH3) se pueden convertir a mg/L de amoniaco total - N multiplicando el valor de referencia correspondiente por 0.8224. No recomendado pauta para las aguas marinas

**CATEGORÍA 3**

CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(uS/cm)	2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/l	0,2	0,5
Fenoles	mg/l	0,002	0,01
Fluoruros	mg/l	1	**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/l	100	100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/l	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/l	0,2	0,5
Cobalto	mg/l	0,05	1
Cromo Total	mg/l	0,1	1
Hierro	mg/l	5	**
Litio	mg/l	2,5	2,5
Magnesio	mg/l	**	250
Manganeso	mg/l	0,2	0,2
Mercurio	mg/l	0,001	0,01
Niquel	mg/l	0,2	1
Plomo	mg/l	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,02	0,05



CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
Zinc	mg/l	2	24
<b>PLAGUICIDAS</b>			
Parathión	ug/l	35	35
<b>Organoclorados</b>			
Aldrin	ug/l	0,004	0,7
Clordano	ug/l	0,006	7
DDT	ug/l	0,001	30
Dieldrin	ug/l	0,5	0,5
Endosulfan	ug/l	0,01	0,01
Endrin	ug/l	0,004	0,2
Heptacloro y heptacloro epóxido	ug/l	0,01	0,03
Lindano	ug/l	4	4
<b>CARBAMATO:</b>			
Aldicarb	ug/l	1	11
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>			
Policloruros Bifenilos Totales (PCB's)	ug/l	0,04	0,045
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1 000	5 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	1 000	1 000
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	20	20
Escherichia coli	NMP/100 ml	100	100
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1	<1

(a) para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)  
(b) Después de Filtración Simple.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

#### CATEGORIA 4

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>						
Aceites y grasa (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Total	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero escala P/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(uS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo Total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco	mg/L	1,9	1,9	1,9	0,4	0,55
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	30

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
Sulfuros	mg/L	0,002	1,6	0,61	**	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,61	1,6	0,61	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>I. Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos totales de petróleo HTPP	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados:</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Parathión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>ORGANOCLORADOS</b>						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfan	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Heptacloro epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,000095	0,000095	0,000095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>CARBAMATO:</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,00015	0,00015	0,00015
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>						
(PCB's)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 mL	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)

(b) Después de la filtración simple

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

#### NOTA GENERAL:

- Todos los parámetros que se norman para las diferentes categorías se encuentran en concentraciones totales, salvo se indique lo contrario

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.

- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

la Ministra de Economía y Finanzas y por el Ministro de Transportes y Comunicaciones.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN  
Presidente del Consejo de Ministros

MERCEDES ARAÓZ FERNÁNDEZ  
Ministra de Economía y Finanzas

ENRIQUE CORNEJO RAMÍREZ  
Ministro de Transportes y Comunicaciones

533964-6

### **Autorizan viaje de funcionario de OSIPTEL a Colombia para participar en eventos organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones**

**RESOLUCIÓN SUPREMA  
N° 194-2010-PCM**

Lima, 20 de agosto de 2010

Vista, la Carta N° 816-GG.RI/2010 del Gerente General del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL; y,

CONSIDERANDO:

Que, por comunicación de fecha 27 de julio de 2010 la Asesora en Gestión y Desarrollo de Recursos Humanos del Centro de Excelencia para la Región Américas de la Oficina Regional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT para las Américas ha invitado al Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL a participar en la "I Reunión del Comité Estratégico y de Calidad del Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT", así como en el "IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información en Telecomunicación - TIC en la Región Américas", a llevarse a cabo en la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 30 de agosto al 3 de setiembre de 2010;

Que, los mencionados eventos son organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y cuentan con la colaboración de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia;

Que, las citadas reuniones congregarán a los expertos de la región de los organismos reguladores de telecomunicaciones y de las instituciones que forman parte de la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas de la UIT;

Que, en atención al prestigio internacional del OSIPTEL, este organismo ha sido reconocido e incorporado a la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas, habiéndose firmado para ello, el 3 de octubre de 2008, el Acuerdo de Participación de dicha Red de Nodos entre el OSIPTEL y la UIT;

Que, en el marco de este Acuerdo, el OSIPTEL y la UIT realizan actividades conjuntas con la finalidad de fortalecer las capacidades de los funcionarios del OSIPTEL, siendo la línea de contar con un mecanismo regional que fortalezca la capacidad de generar conocimiento y experiencia para el talento humano de más alto nivel de la Región Américas y contribuir a su capacitación y desarrollo;

Que, en el IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Región Américas se tratarán importantes temas del sector, tales como la participación empresarial necesaria para el aporte de las TIC al desarrollo social, las redes de bajo costo en la inclusión digital, las aplicaciones TIC en las Américas, la regulación de aplicaciones, contenidos y televisión digital;

Que, en este sentido, la participación en estos eventos permitirá obtener recursos y generar la posibilidad de capacitación a los funcionarios del OSIPTEL en políticas de telecomunicaciones, gestión o gerencia de telecomunicaciones, nuevas tecnologías, servicios de telecomunicaciones y regulación de las telecomunicaciones;

Que, el señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales además de ser el Gerente General del OSIPTEL es responsable de las coordinaciones con el Centro de Excelencia de las Américas de la UIT, por lo cual su participación permitirá un adecuado intercambio de experiencias e información sobre temas muy importantes para la regulación de los servicios públicos de telecomunicaciones y las políticas de capacitación y fortalecimiento de las capacidades de los recursos humanos del sector;

Que, la UIT asumirá los costos del pasaje aéreo del citado funcionario, correspondiendo asumir al OSIPTEL, con cargo a su presupuesto, los gastos por concepto de viáticos y tarifa única por uso de aeropuerto;

De conformidad con lo establecido por la Ley N° 27619, Ley que regula la autorización de viajes al exterior de funcionarios y servidores públicos del Poder Ejecutivo; su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 047-2002-PCM; la Ley N° 29289, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010; y el Reglamento de Organización y Funciones de la Presidencia del Consejo de Ministros, aprobado por el Decreto Supremo N° 063-2007-PCM; y,

Estando a lo acordado;

SE RESUELVE:

**Artículo 1°.-** Autorizar el viaje del señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales, Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL, a la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 29 de agosto al 4 de setiembre de 2010, para los fines expuestos en la parte considerativa de la presente resolución.

**Artículo 2°.-** Los gastos que irrogue el cumplimiento de la presente resolución se efectuarán con cargo al presupuesto del OSIPTEL, de acuerdo al siguiente detalle:

Tarifa Única por Uso de Aeropuerto	US\$ 31,00
Viáticos	US\$ 1 200,00

**Artículo 3°.-** Dentro de los quince (15) días calendario siguientes de efectuado el viaje, el referido funcionario deberá presentar a su institución un informe detallado describiendo las acciones realizadas, los resultados obtenidos y la rendición de cuentas por los viáticos entregados.

**Artículo 4°.-** La presente Resolución no otorga derecho a exoneración o liberación de impuestos aduaneros de ninguna clase o denominación.

**Artículo 5°.-** La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN  
Presidente del Consejo de Ministros

533964-7

## **AMBIENTE**

### **Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas**

**DECRETO SUPREMO  
N° 010-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:



**CONSIDERANDO:**

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 32° de la Ley N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permissible - LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por éste y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, modificado por el Decreto Legislativo N° 1039, establece como función específica de dicho Ministerio elaborar los ECA y LMP, de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 011-96-EM-VMM, se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos;

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en la que éstos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las Actividades Minero-Metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental;

Que, el Ministerio de Energía y Minas ha remitido una propuesta de actualización de LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, la misma que fue publicada para consulta y discusión pública en el Diario Oficial El Peruano habiéndose recibido comentarios y observaciones que han sido debidamente merituados;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

**DECRETA:**

**Artículo 1°.- Objeto**

Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación**

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades minero-metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional.

**Artículo 3°.- Definiciones**

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

<sup>\*</sup> **3.1 Autoridad Competente.-** Autoridad que ejerce las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. En el caso de la gran y mediana minería dicha Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales.

**3.2 Efluente Líquido de Actividades Minero - Metalúrgicas.-** Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el

desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

**3.3 Ente Fiscalizador.-** Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica; para la gran y mediana minería será el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN, hasta que el Organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente - OEFA asuma dichas funciones, y para la pequeña minería y minería artesanal de los Gobiernos Regionales.

**3.4 Límite Máximo Permissible (LMP).-** Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

**3.5 Límite en cualquier momento.-** Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

**3.6 Límite promedio anual.-** Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

**3.7 Monitoreo de Efluentes Líquidos.-** Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

**3.8 Parámetro.-** Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

**3.9 Punto de Control de Efluentes Líquidos.-** Ubicación aprobada por la Autoridad Competente en la cual es obligatorio el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

**3.10 Programa de Monitoreo.-** Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero - metalúrgicas.

Es aprobado por la Autoridad Competente como parte de la Certificación Ambiental y puede ser modificado por ésta de oficio o a pedido de parte, a efectos de eliminar, agregar o modificar puntos de control del efluente y cuerpo

receptor, parámetros o frecuencias, siempre que exista el sustento técnico apropiado. El Ente Fiscalizador podrá recomendar las modificaciones que considere apropiadas a consecuencia de las acciones de fiscalización.

El Programa de Monitoreo considerará, además de los parámetros indicados en el presente anexo, los parámetros siguientes:

- a) Caudal
- b) Conductividad eléctrica
- c) Temperatura del efluente
- d) Turbiedad

La autoridad Competente podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

**3.11 Protocolo de Monitoreo.-** Norma aprobada por el Ministerio de Energía y Minas en coordinación con el Ministerio del Ambiente, en la que se indican los procedimientos que se deben seguir para el monitoreo del cuerpo receptor y de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. Sólo será considerado válido el monitoreo realizado de conformidad con este Protocolo, su cumplimiento es materia de fiscalización.

**3.12 Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP.-** Documento mediante el cual el Titular Minero justifica técnicamente la necesidad de un plazo de adecuación mayor al indicado, de acuerdo al artículo 4° numeral 4.2. del presente Decreto Supremo, el cual describe las acciones e inversiones que ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP. Este Plan se incorporará al correspondiente estudio ambiental y de ser el caso será parte de la actualización del plan de manejo ambiental señalada en el artículo 30° del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM.

**3.13 Titular Minero.-** Es la persona natural o jurídica que ejerce la actividad minera.

#### **Artículo 4°.- Cumplimiento de los LMP y plazo de adecuación**

4.1 El cumplimiento de los LMP que se aprueban por el presente dispositivo es de exigencia inmediata para las actividades minero - metalúrgicas en el territorio nacional cuyos estudios ambientales sean presentados con posterioridad a la fecha de la vigencia del presente Decreto Supremo.

4.2 Los titulares mineros que a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo cuenten con estudios ambientales aprobados, o se encuentren desarrollando actividades minero - metalúrgicas, deberán adecuar sus procesos, en el plazo máximo de veinte (20) meses contados a partir de la entrada en vigencia de este dispositivo, a efectos de cumplir con los LMP que se establecen.

Los titulares mineros que hayan presentado sus estudios ambientales con anterioridad a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo y son aprobados con posterioridad a éste, computarán el plazo de adecuación a partir de la fecha de expedición de la Resolución que apruebe el Estudio Ambiental.

4.3 Sólo en los casos que requieran el diseño y puesta en operación de nueva infraestructura de tratamiento para el cumplimiento de los LMP, la Autoridad Competente podrá otorgar un plazo máximo de treinta y seis (36) meses contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo, para lo cual el Titular Minero deberá presentar un Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, que describa las acciones e inversiones que se ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP y justifique técnicamente la necesidad del mayor plazo.

El Plan en mención deberá ser presentado dentro de los seis (06) meses contados a partir de la entrada en vigencia del presente dispositivo.

Mediante Resolución Ministerial, el Ministerio de Energía y Minas aprobará los criterios y procedimientos para la evaluación de los Planes de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como los Términos de Referencia que determinen su contenido mínimo.

#### **Artículo 5°.- Prohibición de dilución o mezcla de Efluentes**

De acuerdo con lo previsto en el artículo 113° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, todo Titular Minero tiene el deber de minimizar sus impactos sobre las aguas naturales, para lo cual debe limitar su consumo de agua fresca a lo mínimo necesario.

No está permitido diluir el efluente líquido con agua fresca antes de su descarga a los cuerpos receptores con la finalidad de cumplir con los LMP establecidos en el artículo 1° del presente Decreto Supremo.

Asimismo, no está permitida la mezcla de efluentes líquidos domésticos e industriales, a menos que la ingeniería propuesta para el tratamiento o manejo de aguas, así lo exija, lo cual deberá ser justificado técnicamente por el Titular Minero y aprobado por la autoridad Competente.

#### **Artículo 6°.- Resultados del monitoreo**

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, es responsable de la administración de la base de datos de monitoreo de efluentes líquidos y calidad de agua de todas las actividades minero - metalúrgicas; los titulares mineros están obligados a reportar a dicha Dirección General los resultados del monitoreo realizado. Asimismo, el Ente Fiscalizador deberá remitir a la citada Dirección General los resultados del monitoreo realizado como parte de sus actividades de fiscalización.

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros garantizará el acceso oportuno y eficiente a la base de datos al Ente Fiscalizador. Asimismo, deberá elaborar dentro de los primeros sesenta (60) días calendario de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo reportados por los titulares mineros durante el año anterior, el cual será remitido al Ministerio del Ambiente.

#### **Artículo 7°.- Fiscalización y Sanción**

La fiscalización y sanción por el incumplimiento de los LMP aprobados en el presente Decreto Supremo, así como de la ejecución del Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP está a cargo del Ente Fiscalizador; quien en el desarrollo de sus funciones, recurrirá, entre otros, a la base de datos de monitoreo ambiental administrada por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

#### **Artículo 8°.- Coordinación interinstitucional**

Si en el ejercicio de su función de fiscalización, supervisión y/o vigilancia, alguna autoridad toma conocimiento de la ocurrencia de alguna infracción ambiental relacionada al incumplimiento de los LMP aprobados por el presente dispositivo, y cuya sanción no es de su competencia, deberá informar al Ente Fiscalizador correspondiente o a la autoridad competente, adjuntando la documentación correspondiente.

#### **Artículo 9°.- Regímenes de Excepción**

De manera excepcional, la Autoridad Competente podrá exigir el cumplimiento de límites de descarga más rigurosos a los aprobados por el presente Decreto Supremo, cuando de la evaluación del correspondiente instrumento de gestión ambiental se concluya que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento del respectivo Estándar de Calidad Ambiental - ECA.

#### **Artículo 10°.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Energía y Minas.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

**Primera.-** El Ministerio de Energía y Minas, en coordinación con el Ministerio del Ambiente aprobará el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos en un plazo no mayor de doscientos cincuenta (250) días calendario contados a partir de su entrada en vigencia del presente Decreto Supremo.

**Segunda.-** En el plazo máximo de sesenta (60) días calendario contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio de Energía y

Minas aprobará los Términos de Referencia conforme a los cuales deba elaborarse el Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como el procedimiento de evaluación de dichos planes.

**Tercera.-** En el plazo de dos (02) años contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio del Ambiente en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas evaluará la necesidad de establecer nuevos LMP para los siguientes parámetros:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno como nitratos
- Demanda Química de Oxígeno
- Aluminio
- Antimonio
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros aquí mencionados.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA**

**Única.-** Hasta la aprobación del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se aplicará supletoriamente, el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, aprobado por Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA**

**Única.-** Deróguese la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7°, 9°, 10°, 11° y 12°, así como los Anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de agosto del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA  
Ministro de Energía y Minas

**ANEXO 01**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

(\*) En muestra no filtrada

- Los valores indicados en la columna "Límite en cualquier momento" son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.

- Los valores indicados en la columna "Promedio anual" se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas

533964-1

**COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO**

**Autorizan viaje de representante de PROMPERÚ a la República Popular China para participar en la Feria "Asia Fruit Logística 2010"**

**RESOLUCIÓN SUPREMA N° 103-2010-MINCETUR**

Lima, 20 de agosto de 2010

Visto el Oficio N° 301-2010-PROMPERU/SG, de la Secretaría General de la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ.

CONSIDERANDO:

Que, la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ, es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, competente para proponer y ejecutar los planes y estrategias de promoción de bienes y servicios exportables, así como de turismo interno y receptivo, promoviendo y difundiendo la imagen del Perú en materia turística y de exportaciones;

Que, PROMPERÚ, conjuntamente con cuatro empresas agroexportadoras y cinco gremios exportadores nacionales, han programado su participación en la Feria "ASIA FRUIT LOGÍSTICA 2010", organizado por la empresa Messe Berlín GMBH, a realizarse en la ciudad de Hong Kong, República Popular China, del 8 al 10 de setiembre del 2010, con el objetivo de promover las exportaciones de frutas y hortalizas frescas en el mercado asiático, a fin de consolidar nuestra presencia como país abastecedor de frutas y hortalizas de calidad;

Que, la participación de PROMPERÚ en este evento permitirá evaluar la participación de las empresas peruanas exportadoras en dicho mercado, así como conocer los aspectos de la cadena de comercialización y distribución de frutas y hortalizas entre las ciudades chinas de Hong Kong y Guangzhou;

Que, la Secretaría General de PROMPERÚ ha solicitado que se autorice el viaje del señor Víctor Germán Sarabia Molina, quien presta servicios en dicha entidad, para que en representación de PROMPERÚ, participe en la referida feria, realizando acciones de promoción de las exportaciones de importancia para el país y coordinando cuanto se refiere a la instalación del stand peruano;

Que, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010, prohíbe los viajes al exterior con cargo a recursos públicos, salvo los casos excepcionales que la misma Ley señala, entre ellos, los viajes que se efectúen en el marco de las acciones de promoción de importancia para el Perú, los que deben realizarse en categoría económica y ser autorizados por Resolución Suprema;

De conformidad con el Decreto de Urgencia N° 001-2010, la Ley N° 27790, de Organización y Funciones del



Protocolo Nacional para el  
**Monitoreo de la Calidad**  
de los Recursos Hídricos Superficiales

(Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)



Protocolo Nacional para el  
**Monitoreo de la Calidad**  
de los Recursos Hídricos Superficiales

(Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)

© **Autoridad Nacional del Agua**

Calle Diecisiete N° 355, Urb. El Palomar

San Isidro, Lima

Teléfono: 511-226 0647 - Anexo: 2400

[www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe)

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-03541

Primera Impresión, Marzo 2016

Tiraje: 200 ejemplares

Impreso por: Gráfica Industrial Alarcón S.R.L.

Jr. Cailloma 270 - 272, Cercado de Lima

Telf.: 511-428 3121





Protocolo Nacional para el  
**Monitoreo de la Calidad**  
de los Recursos Hídricos Superficiales  
(Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)

**Autoridad Nacional del Agua**

Ministerio de Agricultura

**Jefe de la Autoridad Nacional del Agua**

Ing. Juan Carlos Sevilla Gildemeister

**Secretaría General**

Abg. Janet Aída Velásquez Arroyo

**Director de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos**

Blgo. Juan Carlos Castro Vargas

**Coordinadora del Protocolo**

Blga. María Esther Palacios Burbano

**Equipo colaborador**

Ing. Paola Chinen Guima

Blga. Melisa Salbatier Portugal

Ing. Flor de María Huamaní

Ing. Lourdes Chang Cristóbal

Quím. Daniel Medrano Mallqui

Ing. Rony Colque Granda

Ing. Jorge Silva Morán

Ing. Ramón Gonzales Cornejo

Blgo. Juan José Ocola Salazar

Lic. Llojan Chuquisengo Picon

Blgo. Percy Pérez Díaz

Blga. Lizeth Ananí Cárdenas Villena

**Apoyo Consultor Internacional de la GIZ**

Ing. Klaus Holzner - Experto Integrado CIM



CUT: 135807

Expediente  
Materia

: CUT - 135807 - 2015  
: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la  
Calidad de los Recursos Hídricos

**RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 010 -2016-ANA**

Lima, 11 ENE. 2016

**VISTO:**

El Memorando N°2484-2015-ANA-DGCRH de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos; y,

**CONSIDERANDO:**

Que, conforme el artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es función de la Autoridad Nacional del Agua, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos;

Que, según el artículo 76° de la acotada Ley, la Autoridad Nacional del Agua en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad del ambiente. También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad de recurso;

Que, el artículo 126° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que el monitoreo de la calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua;

Que, asimismo el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, y modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, prescribe que la autoridad competente establece el protocolo de monitoreo de la calidad ambiental del agua, en coordinación con el MINAM y la participación de los sectores respectivos;

Que, el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial" fue aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA;

Que, con Resolución Jefatural N° 251-2015-ANA se publicó un proyecto de protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial, para que durante el plazo de quince (15) días hábiles, se reciban los opiniones y comentarios respectivos;



Que, con documento del visto, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos remite el Informe Técnico N° 175-2015-ANA-DGCRH/GECRH-MEPB/KH y la nueva propuesta de Protocolo que propone estandarizar criterios y procedimientos técnicos para evaluar la calidad de los recursos hídricos, continentales y marino costeros, considerando las normas internacionales en su última actualización y estableciendo mayores precisiones para el monitoreo; propuesta que contempla los aportes, comentarios y sugerencias efectuados por las autoridades ambientales correspondientes;

Que, en tal sentido el citado informe recomienda se apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, ello en cumplimiento a lo previsto en el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobadas por el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM;

Que, por lo expuesto resulta necesario dictar el acto administrativo que apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, y deje sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA; y

Con el vistos de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica y de la Secretaría General, y en uso de las facultades conferidas en el artículo 11° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.- Aprobación**

Aprobar el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", que forma parte integrante de la presente resolución.

**Artículo 2°.- Publicación**

Disponer la publicación de la presente resolución y del Protocolo aprobado mediante el artículo precedente en el portal institucional de la Autoridad Nacional del Agua: [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe).

**Artículo 3°.- Derogatoria**

Dejar sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA.

Regístrese, comuníquese y publíquese,



**JUAN CARLOS SEVILLA GILDEMEISTER**

Jefe  
Autoridad Nacional del Agua





# ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	12
<b>2. Objetivo</b>	14
<b>3. Base legal</b>	14
<b>4. Alcance y aplicación del protocolo</b>	15
<b>5. Monitoreo de la calidad del cuerpo receptor de vertimientos autorizados</b>	18
5.1. Ubicación de los puntos de control de la calidad del cuerpo receptor de un vertimiento de aguas residuales	18
En cuerpo de agua lótico	18
En cuerpo de agua léntico	20
En cuerpo de agua marino-costero	21
Identificación de los puntos de monitoreo y/o control en el cuerpo receptor	23
5.2. Frecuencia de monitoreo de la calidad del cuerpo receptor de un vertimiento de aguas residuales tratadas	23
5.3. Parámetros de control en función de la actividad generadora de las aguas residuales	23
5.4. Toma, conservación, preservación y análisis de las muestras de agua	26
5.5. Remisión de los reportes de monitoreo	26
<b>6. Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales</b>	28
6.1. Recursos humanos	28
6.2. Recursos económicos	28
6.3. Tipos de muestras de agua	29
6.4. Planificación del monitoreo	31
6.5. Establecimiento de la red de puntos de monitoreo	32
Cuenca e intercuenca	32
Lagos, lagunas y embalses	33
Mar	34
Codificación del punto de muestreo	34
6.6. Frecuencia de monitoreo	37
6.7. Parámetros recomendados en el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	38
6.8. Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección	39
6.9. Seguridad en el trabajo de campo	40
6.10. Reconocimiento del entorno	41

6.11. Rotulado y etiquetado	41
6.12. Medición de las condiciones hidrográficas en aguas continentales y marino-costeras	42
Condiciones hidrográficas y dinámicas en aguas continentales	42
Condiciones hidrográficas y dinámicas en aguas marino-costeras	45
6.13. Georreferenciación del punto de monitoreo	47
6.14. Medición de los parámetros de campo	48
6.15. Procedimiento para la toma de muestras	48
6.16. Preservación, llenado de la cadena de custodia, almacenamiento, conservación y transporte de las muestras	57
6.17. Aseguramiento de la calidad del muestreo	59
Blancos	60
Duplicados de campo	61
Recomendaciones para el aseguramiento de la calidad del muestreo	61
6.18. Actividades posmuestreo	62
<b>7. Referencias Bibliográficas</b>	63

## Anexos

- Anexo I: Formato de registro de datos de campo
- Anexo II: Etiqueta para muestras de agua
- Anexo III: Cadena de custodia
- Anexo IV: Formato de identificación del punto de monitoreo
- Anexo V: Manguera muestreadora
- Anexo VI: Frecuencias de monitoreo establecidas en las normas ambientales sectoriales
- Anexo VII: Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado
- Anexo VIII: Glosario de términos



# INTRODUCCIÓN



## 1. Introducción

La creciente presión sobre los cuerpos naturales de agua originada por las actividades antropogénicas (poblacionales y productivas) puede afectar la calidad de los recursos hídricos, impactando en los ecosistemas acuáticos y comprometiendo la disponibilidad del recurso hídrico, dado que el uso de aguas contaminadas constituyen un riesgo para la salud de las personas y para la calidad de los productos agropecuarios, agroindustriales e hidrobiológicos.

Por tal motivo, se hace necesaria la ejecución de acciones de vigilancia y fiscalización de la calidad de los recursos hídricos que permitan evaluar su calidad para planificar e implementar acciones de prevención, mitigación y control de los impactos negativos.

El monitoreo orientado a la evaluación de la calidad de los recursos hídricos conlleva a un diagnóstico de su estado a través de la evaluación de indicadores químico-físicos de la calidad del agua, obtenidos a través de mediciones y observaciones sistemáticas de las variables de las aguas continentales y marino-costeras. Estas mediciones se desarrollan a través de una metodología y procedimientos estandarizados que involucran la toma de muestras de agua con criterios establecidos en el protocolo de monitoreo. La aplicación de los procedimientos estandarizados en todas las fases del monitoreo de la calidad del agua permite minimizar y eliminar errores y garantizar la generación de datos e información consistente y confiable para determinar la línea de base y las proyecciones de medidas de recuperación y control de la calidad del agua, las cuales permitirán a los diferentes niveles de gobierno tomar decisiones de forma informada y desarrollar los planes de gestión de recursos hídricos y otros instrumentos de gestión hídrica.

La planificación de una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos permite el uso de agua en cumplimiento de las normas ambientales.

En el marco de sus competencias establecidas en el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por D.S. N.° 006-2010-AG y en cumplimiento del artículo 126.° del D.S. N.° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, dirección de línea de la Autoridad Nacional del Agua, elabora el **Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales**.

El presente documento sustituye el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial, publicado en el año 2011; después de cuatro años de aplicación del protocolo, se ha considerado conveniente actualizar y complementar las metodologías establecidas integrando las mejores prácticas desarrolladas en las actividades de monitoreo de la Autoridad, las normas internacionales en su última actualización y estableciendo mayores precisiones para el monitoreo de las aguas marino-costeras, lagos y lagunas.



# OBJETIVO, BASE LEGAL, ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

## 2. Objetivo

Estandarizar los criterios y procedimientos técnicos para desarrollar el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos, continentales y marino-costeros.

## 3. Base legal

- ◆ Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos
- ◆ Ley N° 28611, Ley General del Ambiente
- ◆ Decreto Legislativo N° 1147, Decreto Legislativo que Regula el Fortalecimiento de las Fuerzas Armadas en las Competencias de la Autoridad Marítima Nacional – Dirección General de Capitanías y Guardacostas.
- ◆ Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA – Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales y Marino-Costeros, Perú.
- ◆ Resolución Jefatural N° 489 -2010-ANA; modifica el anexo N.º 1 de la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA referente a la Clasificación de los Cuerpos de Agua Marino-Costeros, Perú.
- ◆ Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA, aprobación del nuevo Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales Tratadas, Perú.
- ◆ Resolución Jefatural N° 139-2014-ANA; aprueba la Clasificación del Cuerpo de Agua Marino-Costero ubicado frente a los distritos de Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo y Santa María del Mar, provincia y departamento de Lima, Perú.
- ◆ Resolución Jefatural N° 203-2014-ANA; aprueba la Clasificación del Cuerpo de Agua Marino-Costero ubicado frente al distrito de Lurín, provincia y departamento de Lima, Perú.

### **Ministerio de Energía y Minas.**

- ◆ Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA, Guía de Monitoreo de Agua y Aire para la Actividad Minero-Metalúrgica, publicada por el Ministerio de Energía y Minas, Perú.
- ◆ Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI, aprueba el Protocolo del Monitoreo de Efluentes Líquidos del sector Industria, publicada por el Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales, Perú.

### **Ministerio de Agricultura .**

- ◆ Decreto Supremo N° 001-2010-AG, aprueba el Reglamento de la Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, Perú.
- ◆ Decreto Supremo N° 006-2010-AG, aprueba el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua - ANA, Perú.

### **Ministerio del Ambiente**

- ◆ Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM - Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, Perú.
- ◆ Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que aprueba los Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, Perú.
- ◆ Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM - Aprueban Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, Perú.
- ◆ Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM – Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación, Perú.

### **Ministerio de la Producción**

- ◆ Resolución Ministerial N° 003-2002-PE, aprueba el Protocolo para el Monitoreo de Efluentes para la Actividad Pesquera de Consumo Humano Indirecto y del Cuerpo Marino Receptor, Perú.
- ◆ Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE - Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias, Perú.

### **Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento**

- ◆ Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, Perú.

## **4. Alcance y aplicación del protocolo**

El presente *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales* es de uso obligatorio a nivel nacional para el monitoreo de la calidad ambiental del agua de los cuerpos de agua tanto continentales (ríos, quebradas, lagos, lagunas, entre otras) como marino-costeros (bahías, playas, estuarios, manglares, entre otros) en cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N.° 29338, su Reglamento y demás normas de calidad del agua.

El Protocolo tiene las siguientes aplicaciones:

- 1. El Capítulo 5:** “Monitoreo de la calidad del cuerpo receptor de vertimientos autorizados” establece los criterios para el monitoreo de la calidad del cuerpo receptor sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua a aplicarse por los titulares de autorizaciones de vertimiento de aguas residuales tratadas a cuerpos naturales de agua.
- 2. El Capítulo 6:** “Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” establece los criterios técnicos y lineamientos generales a aplicarse en las actividades de monitoreo de la calidad del agua realizadas tanto por la Autoridad Nacional del Agua como por otras entidades.





# MONITOREO DE LA CALIDAD DEL CUERPO RECEPTOR DE VERTIMIENTOS AUTORIZADOS



## 5. Monitoreo de la calidad del cuerpo receptor de vertimientos autorizados

Este capítulo establece los criterios de cumplimiento obligatorio para el monitoreo de la calidad del cuerpo receptor de vertimientos autorizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el diseño del programa de monitoreo en el instrumento de gestión ambiental (IGA), la verificación de su cumplimiento y el monitoreo del impacto del vertimiento autorizado de agua residual tratada en el cuerpo de agua receptor.

Asimismo, los criterios establecidos serán aplicables, en lo que corresponde, a la evaluación del impacto ambiental de vertimientos de aguas residuales realizados sin autorización de la Autoridad Nacional del Agua.

### 5.1. Ubicación de los puntos de control en el cuerpo receptor de un vertimiento de aguas residuales

Los puntos de control establecidos en la autorización de vertimiento deben ser concordantes con lo señalado en el instrumento de gestión ambiental según las exigencias de las diferentes entidades de fiscalización ambiental (sector ambiental competente, DIGESA, ANA, etc.) para evitar sobrecostos por duplicidad de monitoreos.

En la elaboración y evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, se tomarán en cuenta los siguientes criterios para la ubicación de los puntos de control en cuerpos de agua lóticos (ríos o similares), lénticos (lagos y similares) y marino-costeros.

#### En cuerpo de agua lótico

Los puntos de control en el cuerpo de agua lótico se ubican fuera de la zona de mezcla<sup>1</sup>: un punto aguas arriba a una distancia de 50 metros del vertimiento y un punto de aguas abajo a una distancia de 200 metros desde donde se realiza el vertimiento.



<sup>1</sup> Véase el Decreto Supremo N.° 023-2009-MINAM, artículo 5°. Implementación del ECA para Agua y la Zona de Mezcla: "En aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua deberá verificar el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, considerando como referente la categoría asignada para el cuerpo de agua".

La distancia de 50 m del punto de control aguas arriba del vertimiento corresponde a una distancia referencial; la ubicación exacta dependerá de las condiciones naturales del cauce del río o quebrada en lo referente a su forma, turbulencias y obstáculos para el respectivo muestreo, por lo que no necesariamente sería la distancia de 50 m; empleada en todos los monitoreos, por ejemplo, pueden ser 20 o 30 m aguas arriba del vertimiento. Asimismo, cuando existan recursos hídricos tributarios al cuerpo receptor, usos de agua o vertimientos de aguas residuales ubicados aguas arriba del vertimiento a distancias menores de 50 metros, el punto de control será ubicado aguas abajo de estos.

Sin embargo, para los siguientes casos los puntos de control serán ubicados a distancias mayores:

- Cuando el Instrumento de Gestión Ambiental compruebe mediante la metodología simplificada publicada por la USEPA<sup>2</sup> y otra metodología debidamente sustentada que la extensión de la zona de mezcla es mayor a 200 metros, el punto de control aguas abajo será ubicado en el límite de la zona de mezcla calculada.
- Cuando los puntos determinados según los criterios anteriores no son representativos<sup>3</sup> o accesibles en condiciones seguras, los puntos de control aguas arriba y/o aguas abajo serán ubicados en los sitios representativos<sup>4</sup> de acceso seguro más cercanos a aquellos. Para el caso de los puntos de control aguas abajo, serán ubicados preferentemente fuera de la zona de mezcla.
- Cuando el mismo proyecto realice varios vertimientos al mismo cuerpo receptor, se podrán establecer dos puntos de control aguas arriba y aguas abajo de los vertimientos en el límite del área de influencia directa solamente, los cuales constituyen los puntos de control de todos los vertimientos. Esto permitirá la evaluación

<sup>2</sup> Metodología simplificada de la Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos - USEPA (1995):

$$L_{zdm} = \frac{w^2 u}{f \pi c d \sqrt{g d s}}$$

- **L<sub>zdm</sub>** es la extensión de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento (m).
- **w** es el ancho promedio del cuerpo de agua (m).
- **u** es la velocidad de flujo promedio del río en la ubicación del vertimiento (m/s).
- **f** es un factor que considera la ubicación del vertimiento: f = 2 para un vertimiento en la orilla; f = 8 para un vertimiento en el centro del río/quebrada.
- **c** es el factor de irregularidad del cauce observada en campo:
  - c = 0,1** para ríos rectos con cauce rectangular
  - c = 0,3** para ríos canalizados
  - c = 0,6** para cauces naturales con serpentear moderado
  - c = 1,0** para cauces naturales con serpentear significativo
  - c = 1,3** para ríos con cambios de dirección bruscos de 90° o mayor
- **d** es la profundidad media del río aguas abajo del vertimiento (m).
- **g** es la aceleración por gravedad = 9,80665 m/s<sup>2</sup>
- **s** es la pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento (m/m), determinada con base en el mapa topográfico o medición en campo con GPS.

<sup>3</sup> Evitar zonas de embalse o turbulencia.

<sup>4</sup> Ubicar el punto de monitoreo en el lugar donde el cuerpo natural de agua presente un cauce regular y uniforme.



de todos los impactos potenciales del proyecto en la calidad de los recursos hídricos incluyendo los impactos de los vertimientos de aguas residuales tratadas.

Si aguas abajo del vertimiento existieran usos del agua u otros vertimientos de aguas residuales realizados por terceros, el punto de control en todos los casos deberá ser ubicado aguas arriba de estos.

### En cuerpo de agua léntico

Los puntos de control en el cuerpo receptor léntico se ubican fuera de la zona de mezcla. Se considerarán por lo menos cuatro (04) puntos de control en las diferentes direcciones alrededor y a una distancia de 200 metros del dispositivo de descarga.

Sin embargo, los puntos de control serán establecidos en distancias mayores cuando el Instrumento de gestión ambiental compruebe mediante modelo numérico u otra metodología debidamente sustentada que la extensión de la zona de mezcla es mayor de 200 metros. Asimismo, cuando los puntos determinados según los criterios anteriores no son accesibles en condiciones seguras, serán ubicados en el sitio de acceso seguro más cercano.

En caso de lagos y lagunas donde no existen vertimientos de aguas residuales o usos del agua<sup>5</sup> se podrán establecer mínimamente dos (02) puntos, preferentemente en la entrada y en la salida de la laguna.

Sin embargo, se puede establecer mínimamente un punto de control si el Instrumento de gestión ambiental indica la batimetría en el punto de vertimiento, el caudal de descarga máxima, la temperatura y la conductividad eléctrica de las aguas residuales tratadas, el perfil de la temperatura y la conductividad eléctrica de las aguas naturales y el diseño del dispositivo de descarga y determine la extensión de la zona de mezcla mediante un modelo numérico u otra metodología debidamente sustentada<sup>6</sup>. En tal caso, el punto de control será establecido en el límite de la zona de mezcla donde esta alcance su extensión máxima.

Si en la proximidad del vertimiento existieran usos de agua u otros vertimientos autorizados, el punto de control en todo caso debe ser ubicado entre el punto de vertimiento y el uso de otro vertimiento.

---

<sup>5</sup> Usos del agua son tomas de agua para uso poblacional, agrícola, ganadero, industrial, acuícola y otros, zonas de uso primario (preparación de alimentos, consumo directo, aseo personal, uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales), zonas de uso recreativo de contacto primario (actividades como natación, canotaje o similares), zonas de extracción de especies hidrobiológicas para el consumo humano directo y zonas utilizadas para bebida de animales.

<sup>6</sup> Software reconocido por una institución internacional de derecho público. Se recomiendan los modelos de simulación auspiciados por el Centro de Modelamiento para la Evaluación de la Exposición (Center for Exposure Assessment Modeling - CEAM) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), como el software libre Visual Plumes (USEPA, 2003).

## Anexo VII

### Conservación y Preservación de Muestra de Agua en Función del Parámetro Evaluado

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
<b>1.- Químico-Físicos</b>			
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
	Botellas de vidrio Winkler	Fijar el oxígeno. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	4 días
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Turbiedad	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
Bicarbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	14 días
Carbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	14 días
Cianuro libre	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	7 días
Cianuro WAD			(24 horas si está presente sulfuro)
Cianuro total	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	14 días (24 horas si está presente sulfuro)
Cloruros	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Color	Plástico o vidrio	Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	5 días
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días	Plástico o vidrio	Llenar recipiente y sellar sin burbujas. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
	Plástico	Congelar por debajo de -18° C. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	1 mes (6 meses si >50 mg/L)
Demanda química de oxígeno	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6 meses
	Plástico	Congelar por debajo de -18°C.	6 meses
Dureza	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Fluoruros	Plástico, pero sin PTFE	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Olor	Vidrio	Se puede realizar un análisis cualitativo <i>in situ</i> .	6 horas
Silicatos	Plástico	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	7 días
Sólidos suspendidos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	2 días
Sulfatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Sulfuros	Plástico	Fijar el sulfuro al agregar 2 ml de solución de acetato de zinc. Si el pH no está entre 8,5 y 9,0, agregar NaOH. Si se sospecha que el agua ha sido clorada, por cada 1000 ml de muestra agrega 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O al recipiente tras la recolección de la muestra (o tras el muestreo).	7 días
Sulfuro de hidrógeno			

## Conservación y Preservación de Muestra de Agua en Función del Parámetro Evaluado

PARÁMETRO	TIPO DE RECIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
<b>2.- Nutrientes</b>			
Fosfatos	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
		Congelar por debajo de -18° C.	1 mes
Fósforo total	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o HNO <sub>3</sub>	1 mes
		Congelar por debajo de -18° C.	6 meses
Nitrógeno amoniacal	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	24 horas
	PE	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 3 ±0,5 con HNO <sub>3</sub>	14 días
	Vidrio o PTFE	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	14 días
	Plástico	Congelar por debajo de -18°C.	1 mes
Nitratos	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
Nitritos	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
Nitrógeno total	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
	Plástico	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	1 mes
<b>3.- Metales y metaloides</b>			
Corrida de metales totales	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Corrida de metales disueltos	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Aluminio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Antimonio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> . Se debería usar HCl si se usa la técnica de hidruros para análisis.	1 mes
Arsénico	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> . Se debería usar HCl si se usa la técnica de hidruros para análisis.	6 meses
Bario	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Berilio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Boro	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Cadmio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Calcio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Cobalto	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Cobre	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Cromo	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Cromo hexavalente	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	24 horas
Hierro	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes

## Conservación y Preservación de Muestra de Agua en Función del Parámetro Evaluado

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Litio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Magnesio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Manganeso	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Mercurio	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Niquel	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Plata	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Plomo	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Selenio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub> . Se debería usar HCl si se usa la técnica hídrica para análisis.	1 mes
Sodio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Uranio	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Vanadio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Zinc	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
<b>4.- Orgánicos</b>			
Aceites y grasas	Vidrio, boca ancha	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl, HNO <sub>3</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes
Hidrocarburos totales de petróleo, HTTP	Vidrio, boca ancha	Conservadas a 5°C ± 3°C	4 días
		Acidificar a pH 1 - 2 con HCl, HNO <sub>3</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes
Detergentes	Vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	2 días
		Agregar solución de formaldehído.	4 días
		Congelar por debajo de -18° C.	1 mes
<b>5.-Compuestos orgánicos volátiles</b>			
1,1,1-Tricloroetano	Vidrio o viales (espacio de cabeza) con tapa con septa de PTFE	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2 días (24 horas sin preservación)
1,1-Dicloroetano			
1,2-Dicloroetano			
1,2-Diclorobenceno			
Tetracloroetano			
Tetracloruro de Carbono			
Trihalometanos totales			
Tricloroetano			
Hexaclorobutadieno	Vidrio oscuro	Ajustar pH a 5,0 - 7,5	7 días (24 horas, si el pH está fuera del rango de 5.0-7.5)

- ◆ Sector Minería: El Ministerio de Energía y Minas, establece una frecuencia desde semanal hasta trimestral, en función del volumen diario del efluente:

Parámetro	Efluente mayor que 300 m <sup>3</sup> /día	Efluente de 50 a 300 m <sup>3</sup> /día	Efluente menor que 50 m <sup>3</sup> /día
Muestreo	Semanal	Trimestral	Semanal
pH	Semanal	Trimestral	Semanal
Sólidos suspendidos	Semanal	Trimestral	Semanal
Aceites y grasas	Mensual	Trimestral	Semanal
Metales	Mensual	Trimestral	Semanal
Cianuro total	Quincenal	Trimestral	Semanal

Fuente: Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM

Se debe precisar que la frecuencia de monitoreo de los efluentes minero-metalúrgicos sigue regulado por la R.M. N°011-96-EM/VMM (véase D.S. 010-2010-MINAM; Disposición Complementaria Derogatoria Única. Deróguese la Resolución Ministerial N°011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7°, 9°, 10°, 11° y 12°, así como los anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos).

- ◆ Sector Hidrocarburos: El Ministerio de Energía y Minas, con Decreto Supremo N°039-2014-EM, establece que la frecuencia de monitoreo se aprueba en el Estudio Ambiental respectivo.
- ◆ Sector Energía: El Ministerio de Energía y Minas, con Resolución Directoral N°008-97-EM/DGAA, establece una frecuencia de monitoreo mensual.

## Anexo VII

### Conservación y Preservación de Muestra de Agua en Función del Parámetro Evaluado

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
<b>1.- Químico-Físicos</b>			
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
	Botellas de vidrio Winkler	Fijar el oxígeno. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	4 días
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Turbiedad	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
Bicarbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	14 días
Carbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	14 días
Cianuro libre	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	7 días
Cianuro WAD			(24 horas si está presente sulfuro)
Cianuro total	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	14 días (24 horas si está presente sulfuro)
Cloruros	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Color	Plástico o vidrio	Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	5 días
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días	Plástico o vidrio	Llenar recipiente y sellar sin burbujas. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
	Plástico	Congelar por debajo de -18° C. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	1 mes (6 meses si >50 mg/L)
Demanda química de oxígeno	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6 meses
	Plástico	Congelar por debajo de -18°C.	6 meses
Dureza	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Fluoruros	Plástico, pero sin PTFE	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Olor	Vidrio	Se puede realizar un análisis cualitativo <i>in situ</i> .	6 horas
Silicatos	Plástico	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	7 días
Sólidos suspendidos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	2 días
Sulfatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Sulfuros	Plástico	Fijar el sulfuro al agregar 2 ml de solución de acetato de zinc. Si el pH no está entre 8,5 y 9,0, agregar NaOH. Si se sospecha que el agua ha sido clorada, por cada 1000 ml de muestra agrega 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O al recipiente tras la recolección de la muestra (o tras el muestreo).	7 días
Sulfuro de hidrógeno			

## Conservación y Preservación de Muestra de Agua en Función del Parámetro Evaluado

PARÁMETRO	TIPO DE RECIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
<b>2.- Nutrientes</b>			
Fosfatos	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
		Congelar por debajo de -18° C.	1 mes
Fósforo total	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o HNO <sub>3</sub>	1 mes
		Congelar por debajo de -18° C.	6 meses
Nitrógeno amoniacal	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	24 horas
	PE	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 3 ±0,5 con HNO <sub>3</sub>	14 días
	Vidrio o PTFE	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	14 días
	Plástico	Congelar por debajo de -18°C.	1 mes
Nitratos	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
Nitritos	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
Nitrógeno total	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
	Plástico	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	1 mes
<b>3.- Metales y metaloides</b>			
Corrida de metales totales	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Corrida de metales disueltos	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Aluminio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Antimonio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> . Se debería usar HCl si se usa la técnica de hidruros para análisis.	1 mes
Arsénico	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> . Se debería usar HCl si se usa la técnica de hidruros para análisis.	6 meses
Bario	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Berilio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Boro	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Cadmio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Calcio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Cobalto	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Cobre	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Cromo	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Cromo hexavalente	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	24 horas
Hierro	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes

## Conservación y Preservación de Muestra de Agua en Función del Parámetro Evaluado

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Litio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Magnesio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Manganeso	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Mercurio	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Niquel	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Plata	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Plomo	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
Selenio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub> . Se debería usar HCl si se usa la técnica hídrica para análisis.	1 mes
Sodio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Uranio	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Vanadio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Zinc	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	6 meses
<b>4.- Orgánicos</b>			
Aceites y grasas	Vidrio, boca ancha	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl, HNO <sub>3</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes
Hidrocarburos totales de petróleo, HTTP	Vidrio, boca ancha	Conservadas a 5°C ± 3°C	4 días
		Acidificar a pH 1 - 2 con HCl, HNO <sub>3</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes
Detergentes	Vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	2 días
		Agregar solución de formaldehído.	4 días
		Congelar por debajo de -18° C.	1 mes
<b>5.-Compuestos orgánicos volátiles</b>			
1,1,1-Tricloroetano	Vidrio o viales (espacio de cabeza) con tapa con septa de PTFE	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2 días (24 horas sin preservación)
1,1-Dicloroetano			
1,2-Dicloroetano			
1,2-Diclorobenceno			
Tetracloroetano			
Tetracloruro de Carbono			
Trihalometanos totales			
Tricloroetano			
Hexaclorobutadieno	Vidrio oscuro	Ajustar pH a 5,0 - 7,5	7 días (24 horas, si el pH está fuera del rango de 5.0-7.5)