

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**



**"BIOADSORCIÓN DE PLOMO (II) DE LAS AGUAS DEL RÍO  
AYAVIRI, MEDIANTE EL USO DE SALVADO DE CEBADA"**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**MAMANI CRUZ RONY ANGEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PROMOCIÓN 2014**

**PUNO - PERÚ**

**2016**

**AREA : PROCESOS INDUSTRIALES**

**TEMA : TRATAMIENTO DE AGUAS**

**LINEA : TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**

**"Bioadsorción de plomo (II) de las aguas del río Ayaviri, mediante el uso de salvado de cebada"**

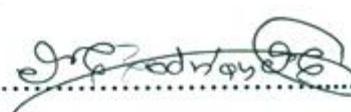
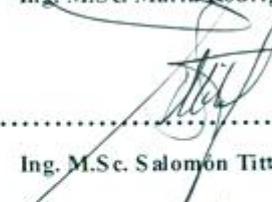
**TESIS PRESENTADA POR:**

**Mamani Cruz Rony Angel**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO**

**FECHA DE SUSTENTACION: 28 DE DICIEMBRE DE 2016**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

<b>PRESIDENTE</b>	:	.....  Ing. M.Sc. Norberto Sixto Miranda Zea
<b>PRIMER MIEMBRO</b>	:	.....  Ing. M.Sc. María Rodríguez Melo
<b>SEGUNDO MIEMBRO</b>	:	.....  Ing. M.Sc. Salomón Tito León
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>	:	.....  Ing. Mg. Higinio Alberto Zúñiga Sánchez
<b>ASESOR DE TESIS</b>	:	.....  Ing. M.Sc. Moisés Pérez Capa

**AREA : PROCESOS INDUSTRIALES**

**TEMA : TRATAMIENTO DE AGUAS**

**LINEA : TECNOLOGIA AMBIENTAL**



### **DEDICATORIA**

A Dios porque siempre estuvo presente en cada etapa de mi vida para darme fortaleza y sustento, y no dejarme solo en los momentos difíciles; llegar a la meta en este gran proyecto y seguir avanzando.

A mis Padres Pedro y Mauricia por brindarme su ayuda y apoyo incondicional en mi desarrollo personal y profesional.

A mis hermanos por regalarme un poco de cada uno; Ronald por su constancia y ánimos, Marco por su apoyo, Cesar por su disciplina y Yesica por su fortaleza.

Gracias a cada uno de ellos.

A Roger y mis sobrinitos Jhon, Bryan y Yamila.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

Al Ing. Moisés Pérez Capa, asesor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Al Ing. Higinio Alberto Zúñiga Sánchez y a todos los profesores del Departamento Académico de la facultad de Ingeniería Química, en especial a los ingenieros Juan Ramón encargado del laboratorio de análisis, control y calidad de aguas y Jorge Aruhuanca del laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano por el apoyo brindado.

A mi amigo Roger y su Familia por su hospitalidad, apoyo y amistad, a ellos un agradecimiento especial.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	13
<b>ABSTRACT</b> .....	14
<b>INTRODUCCION</b> .....	15
<b>CAPITULO I</b> .....	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1.1. Problema general.....	17
1.1.2. Problemas específicos .....	17
1.2. ANTECEDENTES .....	18
1.2.1. Antecedentes internacionales .....	18
1.2.2. Antecedentes nacionales .....	19
1.2.3. Antecedentes locales .....	19
1.3. JUSTIFICACION .....	21
1.3.1. Justificación ambiental y social.....	21
1.3.2. Justificación técnica .....	21
1.4. OBJETIVOS .....	22
1.4.1. Objetivo general.....	22
1.4.2. Objetivos específicos.....	22
<b>CAPITULO II</b> .....	23
2.1. MARCO TEORICO.....	23
2.1.1. Los metales pesados .....	23
2.1.2. El plomo toxicidad y efectos sobre el ambiente.....	23
2.1.3. Legislación aplicable a los metales pesados .....	25
2.1.4. Principales industrias y procesos fuente de producción de plomo.....	27
2.1.5. Tratamientos convencionales de eliminación de metales pesados.....	28
2.1.6. Bioadsorción: una tecnología alternativa .....	32
2.1.7. Mecanismos de biosorción.....	35
Adsorción física.....	35
Adsorción química .....	36
Intercambio iónico.....	36

Complejación .....	36
Precipitación.....	36
2.1.8. Factores que afectan el proceso de biosorción .....	36
2.1.9. Equilibrio de biosorción.....	38
2.1.10. Modelos cinéticos de adsorción .....	39
2.1.11. Modelos teóricos para el tratamiento de datos experimentales.....	40
Modelo de adsorción de Langmuir.....	40
Modelo de adsorción de Freundlich .....	41
2.1.12. Cebada.....	42
Estructura del grano de cebada .....	42
Composición química de los granos de trigo y cebada .....	44
2.1.13. Salvado de cebada .....	45
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	47
2.3. HIPOTESIS.....	49
2.2.1. Hipótesis general.....	49
2.2.2. Hipótesis específicos .....	49
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>50</b>
3.1. AMBITO DE ESTUDIO .....	50
3.2. MATERIALES .....	50
3.2.1. Materia prima .....	50
3.2.2. Material de laboratorio, reactivos y equipos .....	50
3.3. PREPARACION DE SOLUCIONES .....	52
3.4 METODOLOGIA .....	53
3.4.1. Muestreo, manipulación y transporte de las muestras del río Ayaviri.....	53
3.4.2. Caracterización del salvado de cebada .....	54
3.4.2.1. Características físicoquímicas .....	54
3.4.3. Tratamiento del biopolimero natural salvado de cebada para la adsorción	57
3.4.3.1. Tratamiento físico .....	57
3.4.3.2. Tratamiento químico .....	57
3.4.4. Proceso de bioadsorción del ion plomo (II) .....	59
3.4.4.1. Determinación del peso óptimo de adsorción de plomo .....	59
3.4.4.2. Determinación del tiempo máximo de adsorción.....	59
3.4.4.3. Determinación del pH de adsorción.....	60

3.4.4.4. Determinación de la temperatura de adsorción.....	60
3.4.4.5. Determinación de la adsorción de plomo .....	61
3.4.4.6. Determinación de adsorción de plomo de las aguas del río Ayaviri...	61
3.4.4.7. Análisis de la muestra .....	62
3.4.4.8. Evaluación de variables.....	62
3.4.5. Diseño experimental.....	63
3.4.5.1. Diseño central compuesto rotacional de segundo orden .....	63
3.4.5.2. Sistema del diseño experimental .....	64
3.4.6. Isotermas de adsorción.....	65
3.4.6.1. Ajuste a una isoterma de equilibrio.....	66
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1. CARACTERÍSTICAS DEL SALVADO DE CEBADA .....</b>	<b>67</b>
4.1.1. Características físicas .....	67
4.1.2. Características físicoquímicas .....	67
4.1.3. Caracterización del salvado de cebada por espectrofotometría de infrarrojo .....	68
4.2. ACTIVACIÓN DEL SALVADO DE CEBADA .....	70
4.3. PROCESO DE BIO ADSORCION DEL ION PLOMO (II) .....	70
4.3.1. Adsorción de plomo mediante el salvado de cebada.....	70
4.3.1.1. Adsorción de iones de plomo, en función de pesos del salvado de cebada y diferentes concentraciones iniciales de plomo .....	71
4.3.2. Evaluación de las variables más influyentes .....	72
4.3.2.1. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de plomo (II) mediante el salvado de cebada. ....	72
4.3.2.2. Efecto del pH en la adsorción de plomo (II) mediante el salvado .....	74
4.3.2.3. Efecto de la temperatura en la adsorción de plomo (II) mediante el salvado de cebada .....	75
4.4. ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL .....	77
4.5. ISOTERMA DE ADSORCIÓN .....	82
4.5.1. Ajuste a una isoterma de equilibrio .....	83
4.6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE PLOMO DE LAS AGUAS DEL RIO AYAVIRI.....	86
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	89
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	90
<b>ANEXOS</b> .....	98

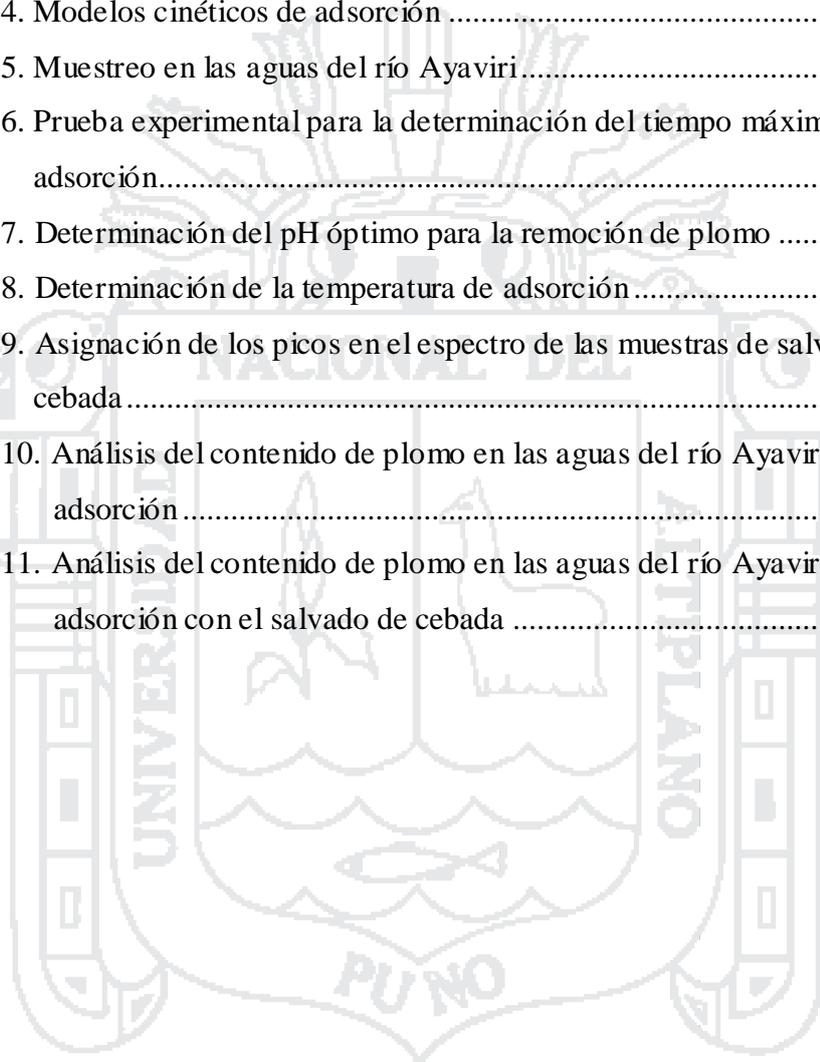


## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las tecnologías de membranas .....	30
Tabla 2. Diferencias entre adsorción física y química .....	32
Tabla 3. Composición química del cariósido de cebada .....	44
Tabla 4. Datos del diseño experimental .....	63
Tabla 5. Variable respuesta .....	63
Tabla 6. Diseño experimental .....	64
Tabla 7. Isotermas de adsorción.....	66
Tabla 8. Análisis físicoquímico del salvado de cebada .....	68
Tabla 9. Resultados de la adsorción con salvado de cebada a diferentes pesos y concentraciones iniciales .....	71
Tabla 10. Resultados de la adsorción para determinar el tiempo máximo de adsorción	72
Tabla 11. Efecto de pH sobre la adsorción de nitrato de plomo (II) mediante salvado de cebada .....	74
Tabla 12. Efecto de la temperatura sobre la adsorción mediante salvado de cebada .....	76
Tabla 13. Datos de diseño central compuesto rotacional para k=3 puntos centrales y valor de alfa 1.414 .....	78
Tabla 14. Datos del diseño experimental .....	78
Tabla 15. Análisis de varianza para la superficie de respuesta de Y (mg/L/g) de plomo adsorbido versus tiempo, pH y temperatura .....	79
Tabla 16. Coeficientes Codificados para el modelo matemático de Y (mg/L/g) de plomo adsorbido versus tiempo, pH y temperatura .....	80
Tabla 17. Adsorción del ion plomo (II) mediante el salvado de cebada.....	82

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Estándares de calidad ambiental para agua poblacional y recreacional.....	26
Cuadro 2. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos.....	27
Cuadro 3. Metales pesados presentes en efluentes industriales .....	28
Cuadro 4. Modelos cinéticos de adsorción .....	39
Cuadro 5. Muestreo en las aguas del río Ayaviri.....	54
Cuadro 6. Prueba experimental para la determinación del tiempo máximo de adsorción.....	59
Cuadro 7. Determinación del pH óptimo para la remoción de plomo .....	60
Cuadro 8. Determinación de la temperatura de adsorción .....	60
Cuadro 9. Asignación de los picos en el espectro de las muestras de salvado de cebada .....	69
Cuadro 10. Análisis del contenido de plomo en las aguas del río Ayaviri antes de la adsorción .....	86
Cuadro 11. Análisis del contenido de plomo en las aguas del río Ayaviri después de la adsorción con el salvado de cebada .....	87



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto A: Ubicación N° 01 (Latitud 14° 48' 20" S - Longitud 70° 43' 19" W).....	102
Foto B: Ubicación N° 02 (Latitud 14° 51' 14" S – Longitud 70° 40' 7" W) .....	102
Foto C: Ubicación N° 03 (Latitud 14° 53' 29" S – Longitud 70° 35' 42" W) .....	103
Foto D: Ubicación N° 04 (Latitud 14° 54' 30" S - Longitud 70° 30' 26" W).....	103
Foto E: Ubicación N° 05 (Latitud 14° 57' 7" S – Longitud 70° 26' 51" W) .....	104
Foto F: Principales minas y ríos afluentes del río Ayaviri (fuente ANA) .....	104
Foto N° 01: Punto N° 01 de muestreo naciente del río Ayaviri.....	105
Foto N° 02: Toma de muestra y rotulado en el punto N° 01 .....	105
Foto N° 03: Toma de muestra en el punto N° 02 del río Ayaviri .....	105
Foto N° 04: Rotulado de la muestra en el punto N° 02 .....	105
Foto N° 05: Toma de muestra en el punto N° 03 (Captación cáisson N° 01-Ayaviri) .	105
Foto N° 06: Rotulado de la muestra en el punto N° 03 .....	105
Foto N° 07: Toma de muestra en el punto N° 04.....	106
Foto N° 08: Rotulado de la muestra en el punto N° 04 .....	106
Foto N° 09: Punto de muestreo N° 05 (Unión de los ríos Ventilla y Ayaviri) .....	106
Foto N° 10: Toma de muestra y rotulado en el punto N° 05 .....	106
Foto N° 11 a-b y 12 a-b: Tratamiento granulométrico del salvado de cebada .....	106
Foto N° 13: Determinación del nivel de acidez (pH) del salvado de cebada .....	107
Foto N° 14 Activación ácida de la biomasa con ácido clorhídrico .....	107
Foto N° 15: Tratamiento térmico y/o secado de la biomasa (salvado de cebada) .....	107
Foto N° 16: Pulverizado de la biomasa (salvado de cebada) .....	107
Foto N° 17: Pesado de la biomasa para pruebas de concentración de bioadsorbente...	107
Foto N° 18: Prueba I efecto de la concentración del bioadsorbente .....	107
Foto N° 19 y 20: Preparación de la solución acuosa $Pb(NO_3)_2$ .....	108
Foto N° 21: Prueba II efecto del tiempo de contacto .....	108
Foto N° 22: Filtración de las muestras, realizadas en distintos tiempos.....	108
Foto N° 23: Prueba III efecto del pH (solución acuosa a diferentes pH con HCl Y NaOH).....	108
Foto N° 24: Filtración de las muestras, realizadas en distintos pH .....	108
Foto N° 25: Prueba IV efecto de la temperatura en la bioadsorción .....	109
Foto N° 26: Filtración de la mezcla por centrifugación.....	109
Foto N° 27: Análisis de las muestras por el método complexométrico .....	109

Foto N° 28: Viración del color de las muestras de violeta a azul, indicativo de presencia de plomo en las aguas del río Ayaviri ..... 109



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación está orientado a proporcionar un alcance tecnológico adecuado y necesario para la "bioadsorción de plomo de las aguas del río Ayaviri mediante el uso de salvado de cebada", producto de la actividad minera que en forma general crea alteraciones en el medio ambiente, frente a estos hechos se planteó como objetivo determinar la capacidad de biosorción del salvado de cebada utilizando como material adsorbente del catión plomo, obteniéndose los siguientes resultados: que el salvado de cebada de granulometría malla 100, activado con HCl 0.1 N y secado a 70°C, adsorbe al catión plomo. Los experimentos sobre el efecto del pH en el proceso de bioadsorción de Pb(II) con salvado de cebada, mostraron que el pH óptimo fue de 5, del estudio del proceso de bioadsorción, se determinó que el tiempo de contacto en que alcanza el equilibrio es a los 60 minutos, trabajando con un volumen de solución por etapa de 25 mL (batch), a una temperatura promedio de 15 °C, del cual se pueden determinar en las gráficas de concentración retenida por gramo de salvado de cebada contra el tiempo de adsorción. Se estudió las isotermas de Langmuir y Freundlich para lo cual se varió la concentración del  $Pb(NO_3)_2$  de 50 - 200 mg/L. Los resultados demostraron que la isoterma de Freundlich represento adecuadamente la bioadsorción del ion Pb (II) con capacidad máxima  $q_{max} = 21.8$  mg/g y constante de afinidad del adsorbente por el adsorbato  $k = 1.0594$  L/mg;  $R^2 = 0,98$ . Estos valores son permisibles porque los puntos óptimos determinan un rendimiento óptimo de la adsorción de plomo por el salvado de cebada, la cual se presenta para un tiempo óptimo de adsorción de plomo de una solución acuosa de 59.85 minutos, un pH óptimo de aproximadamente 5.02, para una temperatura de extracción de aproximadamente de 15.45°C, cuyos valores garantizan lo óptimo del trabajo experimental.

El salvado de cebada utilizado como bioadsorbente se utilizó en la etapa final como adsorbente para la remoción de plomo de las aguas del río Ayaviri, de los puntos muestreados los análisis reportados antes fueron 1.34, 1.38, 1.26, 1.29, 1.23 mg/L y después de la adsorción muestran que la concentración de este metal fue de, 0.63, 0.71, 0.52, 0.58, 0.50 mg/L disminuyendo aproximadamente en la mitad de su concentración original después de la adsorción.

Del análisis de las pruebas de adsorción de plomo de las aguas del río Ayaviri se concluye que es factible utilizar residuos vegetales, como una tecnología limpia.

**Palabras claves:** Bioadsorción, isoterma, plomo, salvado de cebada, solución acuosa.

## ABSTRACT

The present research work is oriented to provide an adequate and necessary technological scope for the "bioadsorption of lead of waters of the river Ayaviri by means of the use of bran of barley", product of the mining activity that generally creates alterations in the means. The objective of this study was to determine the biosorption capacity of the barley bran using as adsorbent material of the lead cation, obtaining the following results: that barley bran granulometry 100 mesh, activated with 0.1 N HCl and dried at The experiments on the effect of pH on the bioadsorption process of Pb (II) with barley bran, showed that the optimum pH was 5, from the study of the biosorption process, it was determined that The contact time at which it reaches equilibrium is at 60 minutes, working with a solution volume per step of 25 mL (batch), at an average temperature of 15 °C, which can be determined in the graphs of concentration retained by Gram of barley bran against the adsorption time. The Langmuir and Freundlich isotherms were studied for which the concentration of  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  of 50-200 mg / L was varied. The results showed that the Freundlich isotherm adequately represented the bioadsorption of Pb (II) ion with maximum capacity  $q_{\text{max}} = 21.8 \text{ mg / g}$  and adsorbent affinity constant for adsorbate  $k = 1.0594 \text{ L / mg}$ ;  $R^2 = 0.98$ . These values are permissible because the optimum points determine an optimum lead adsorption performance by the barley bran, which is presented for an optimal lead adsorption time of an aqueous solution of 59.85 minutes, an optimum pH of about 5.02, For an extraction temperature of approximately 15.45 ° C, whose values guarantee the optimum of the experimental work.

The barley bran used as a bioadsorbent was used in the final stage as an adsorbent for the removal of lead from the waters of the Ayaviri River, from the sampled points, the analyzes previously reported were 1.34, 1.38, 1.26, 1.29, 1.23 mg / L and then Of the adsorption show that the concentration of this metal was 0.63, 0.71, 0.52, 0.58, 0.50 mg / L decreasing by approximately half of its original concentration after adsorption.

From the analysis of the adsorption tests of lead of waters of the river Ayaviri it is concluded that it is feasible to use vegetal residues, as a clean technology.

**Key Words:** Aqueous solution, barley bran, bioadsorption, isotherm, lead.

## INTRODUCCION

La actividad minera, como la mayor parte de las actividades que el hombre realiza para su subsistencia, crea alteraciones en el medio natural, desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se desarrollan.(Collazos, 2005).

La consecuencia directa de esta contaminación es una ausencia inicial de vegetación o la pérdida de su productividad, la disminución de la biodiversidad e indirectamente la contaminación del aire, y aguas superficiales y subterráneas el cual se ha convertido en un tema de actual importancia tanto en el campo ambiental como en la salud pública. La contaminación de las aguas por la descarga de efluentes mineros con contenido de metales pesados entre ellos el plomo al medio acuático ha ocasionado un impacto negativo en el medio ambiente a lo largo de su cauce. (Rosas, 2001).

En la actualidad existen métodos convencionales para el tratamiento de efluentes industriales pero su elevado costo ha impedido que su aplicación sea viable, sin embargo en la actualidad ha surgido la bioadsorción como una alternativa prometedora debido a sus ventajas como son: el adsorbente es económico y puede ser regenerado, también existe la posibilidad de recuperar el metal pesado (Reyes *et al.*, 2006).

Este trabajo pretende utilizar el salvado de cebada como biopolímero natural, de acuerdo a la bibliografía los materiales de origen vegetal secuestran o acumulan metales pesados por sustitución de los hidrogeniones o por donación de un par de electrones de manera que forman ligandos o complejos con los iones metálicos (Ofomaja y Ho, 2006).

Por lo expuesto, la finalidad de esta investigación es comprobar que el salvado de cebada tiene capacidad para bioadsorber el ion plomo (II) presente en solución acuosa en sistema discontinuo (batch) siguiendo la metodología descrita por este trabajo con la preparación de soluciones acuosas de nitrato de plomo  $Pb(NO_3)_2$  y para el análisis de la concentración final de  $Pb^{2+}$  que queda después de las pruebas de bioadsorción, se utiliza la técnica de Complexometría propuesta por Flaschka, (1995).

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, JUSTIFICACION Y OBJETIVOS**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el proceso de tratamiento de aguas residuales se aplican operaciones unitarias de adsorción, absorción y extracción líquido-sólido, generalmente empleando diferentes tipos de moléculas que tienen la propiedad de adsorber cationes metálicos, en la mayoría de las veces la más utilizadas son los derivados de macrocíclicos de ocurrencia natural como las arcillas, ciclodextrinas aminoácidos, carbón activado. Estas sustancias son preparadas basadas en las propiedades y estructura química del adsorbente como las propiedades físico-químicos de los cationes metálicos a extraer. (Hidalgo, 2004)

Existe una variedad de productos sintéticos que se encuentran disponibles actualmente en el mercado que son utilizados como fuerza motriz para la transferencia de cationes metálicos desde un medio acuoso a una fase orgánica, el hecho de que se elijan correctamente los agentes extractantes hacen de esta técnica de extracción por adsorción pueda ser utilizado como una alternativa para la descontaminación y purificación de agua ya sea para consumo humano o aplicación industrial. Lo más importante de estos materiales adsorbentes es que muchas veces es selectivo para determinado contaminante lo cual puede reducir significativamente el uso de intercambiadores iónicos como medio de separación de estos ya que las zeolitas de intercambio iónico no son selectivas para un propósito determinado. (Hidalgo, 2004)

De acuerdo con lo anterior la separación de metales pesados de aguas contaminadas por bioadsorción viene a ser una alternativa aun cuando los cationes metálicos estén disueltos en concentraciones elevadas. (Greenpeace, 2012).

Las aguas del río Ayaviri, presenta contaminación debido a la acumulación de metales pesados principalmente provenientes de los ríos afluentes que provienen de zonas mineras los cuales en la actualidad sobrepasan los límites permitidos por los organismos reguladores, en el trabajo “Estudio Integral de la Contaminación de la Cuenca del Ramis, (Arizaca et al, 2010) reporta para la sub-cuenca del río Ayaviri; límites de plomo en el rango 0,56 mg/L y máx. 55 mg/Kg en sedimentos, los cuales son necesarios descontaminarlos ya sea utilizando técnicas convencionales los que son costosos en países en vías de desarrollo debido a sus altos costos de operación y mantenimiento, de aquí la necesidad de buscar tecnologías limpias de descontaminación como la utilización de biopolímeros naturales, entre ellas la aplicación de un producto natural de la zona como la cáscara de cebada que técnicamente se conoce como “salvado de cebada”. (Ahluwalia et. al., 2005).

Es de interés confirmar que los biopolímeros de origen natural tal es el caso de salvado de cebada; son capaces de adsorber cationes de metales disueltos en el agua como los metales pesados, lo que significaría en la práctica que adsorbe ciertos cationes metálicos y que es necesario caracterizar y las reacciones de adsorción, y esta propiedad podría ser válida para otros cationes metálicos, si es así se plantea la siguiente interrogante.

#### **1.1.1. Problema general**

¿Cuál es la capacidad de biosorción del salvado de cebada, para su utilización como material adsorbente del ion plomo?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del biosorbente seleccionado para su aplicación como biosorbente del ion plomo?
- ¿Cuál es el pH más adecuado en la biosorción del ion plomo mediante el salvado de cebada?
- ¿Cuál es la temperatura, el tiempo óptimo de contacto del bioadsorbente y la cantidad de bioadsorbente para la remoción de ion plomo de aguas contaminadas?
- ¿Cuál es el modelo matemático más adecuado que permita, no solo analizar e interpretar los resultados experimentales, sino también ayudar a predecir la respuesta del sistema ante diferentes condiciones de operación?

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. Antecedentes internacionales

Bulut y Tez (2007), utilizando aserrín de madera de Nogal (*Juglans regia*), mostró que la máxima adsorción de Pb (II) en solución, se obtuvo con un tiempo de contacto de 60 min, una concentración inicial del metal de 200mg/L, una temperatura de 25°C y una velocidad de agitación de 150 rpm. Además, la ecuación de la cinética que mejor ajustó los datos experimentales fue la de pseudo-segundo orden con un  $R_2$  de 0,9996; los autores reportaron una máxima adsorción de Pb (II) de 3,78mg/g.

Gundogdua (2009), concluye que el potencial de biosorción de la corteza de pino (*Pinus brutia*) para la eliminación de iones Pb (II); la máxima capacidad de adsorción de 76,8mg/g, con un pH de 4, un tiempo de 4 horas, una concentración inicial del metal entre 50 y 1000mg/L y una masa de la corteza de 1g/L; los autores reportaron que el modelo cinético que mejor ajustó los datos experimentales fue el de pseudo-segundo orden, con un coeficiente de correlación  $R_2 = 0,999$ .

Rafatullaha (2009), trabajaron el aserrín de meranti (*Acuminata shorea*) para la eliminación de Pb (II) en solución; la máxima adsorción se obtuvo a pH 6, con un tiempo de 120 min, una dosis de adsorbente de 10g/L, una temperatura de 30°C y una velocidad de agitación de 100 rpm. La cinética de adsorción que se ajustó fue la de pseudo-segundo orden, con un  $R_2$  de 0,999, obteniéndose una máxima adsorción de 34,246mg/g.

Aparicio (2005), cita un polímero amino fosforado derivativo de calixareno como agente extractante para la selectiva extracción de mercurio (II) desde agua contaminada, encontrando una capacidad de saturación del adsorbente de  $5.48 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  como picrato de mercurio trabajando en flujo continuo.

Dabrowsky et al (2004), reporta un trabajo realizado en la Universidad de Kirikkale, Turquía una técnica de bioadsorción utilizando una planta llamada *Lentinus sajor-caju* como una técnica de tratamiento de aguas residuales encontrando los siguientes resultados para la remoción de metales pesados como la capacidad de remoción de cadmio de 23.4 mg/g y 104.8 mg/g usando el bioadsorbente antes citado.

### 1.2.2. Antecedentes nacionales

Muñoz y Tapia (2007), concluyó que la biosorción de plomo (II) usando cáscara de naranja “*citrus cinensis*” pretratada; fue usando un peso de biosorbente de 0.2g, 50 mL de solución de Pb (II) a un pH óptimo de 5 bajo agitación constante de 200rpm a temperatura ambiente el cual facilitó la mayor cantidad adsorbida de plomo.

El tratamiento de los datos experimentales utilizando el modelo de Langmuir se obtuvo la capacidad máxima de biosorción 140.84 mg/g y la constante de equilibrio de 0.4.

La cinética se determinó que el proceso de biosorción alcanza el equilibrio dentro de las 4 horas de iniciado el proceso.

García-Rosales y Colín-Cruz (2010), reportaron la eliminación de Pb (II) con tallos de maíz (*Zea mays*) y demostraron que el modelo cinético de pseudo-segundo orden fue el que mejor representó el proceso, con una capacidad de adsorción máxima de 80mg/g y un pH óptimo de 6.

Soto (2009), concluyó que la biosorción de cobre (II) usando albedo de la cáscara de naranja, que la capacidad de adsorción de 91 mg/g, con un pH de 5, un tiempo de 20 minutos, una concentración inicial del metal entre 0,79 a 1,10 mmol/L; el autor reportó que el modelo cinético que mejor ajustó los datos experimentales fue el de pseudo-segundo orden.

### 1.2.3. Antecedentes locales

Hilasaca (2008), menciona que la cinética de adsorción de metales pesados por el biopolímero natural (cáscara de cacao) presentan una correlación dependiendo del tamaño de catión, presentado una mayor constante de velocidad de adsorción para el catión más grande (plomo) seguido por el mercurio, cadmio, zinc y cobre igual a 0.1706, 0.1276, 0.067, 0.0406 y 0.0388 h<sup>-1</sup> respectivamente para estos cationes. Con valores de k que varían en forma ascendente desde 0.0246 para el cobre hasta un máximo de 0.2243 para el plomo, encontrándose el resto de los valores para el cadmio, mercurio y zinc con valores intermedios de estos dos límites. Tiempo promedio en la cual se alcanza el equilibrio entre el biopolímero natural con los cationes metálicos aproximadamente se encuentra entre las 3.30 horas para el plomo y un promedio de 4.00 horas para el resto de los cationes.

Leon (2011), menciona que capacidad de bioadsorción de  $\text{Cu}^{+2}$  y  $\text{Pb}^{+2}$  por biomasa pretratada de cactus, lo cual concluye. La combinación de niveles de factores que maximizan la velocidad de bioadsorción de  $\text{Pb}^{+2}$  en un tiempo óptimo de 40 segundos con una concentración de 0,5225 g cactus se obtiene 0.001187772 mg/L.g.s. de velocidad de bioadsorción.

La combinación de niveles de factores que maximizan la velocidad de bioadsorción de  $\text{Cu}^{+2}$  en un tiempo óptimo de 20 segundos con una concentración de 0,548625 g cactus se obtiene 0.0132805 mg/ L.g.s. de velocidad de bioadsorción.

Condori (2011), ultima que la biosorción con carbón activado de eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*) para la remoción de iones Pb (II) y Zn, fue utilizando K(OH) como agente activante, a una temperatura de activación de 70 °C. Los carbones activados presentan altas áreas superficiales de hasta 650,7 m<sup>2</sup>/g, el pH fue la variable que mayor influencia tuvo en la remoción de plomo y zinc, se logró remover 1.76 mg/L que corresponde al 93,85 % del Pb (II) y 6.69 mg/L que corresponde al 86,11% de Zn a un pH de 5 y un tiempo de equilibrio de 3 horas.

Ttito (2008), estudió la bioadsorción de plomo y cadmio por quitina de la caparazón de molusco en aguas de actividad minera afluentes del Río Ramis de la cuenca del lago Titicaca. Realizó pruebas experimentales en el laboratorio donde el plomo alcanzó un alto porcentaje de adsorción de 55 % a un adecuado pH de 2,87 en un tiempo de 13 minutos y para el cadmio se obtuvo un mayor porcentaje de adsorción de 47% a un pH de 5 en un tiempo de 2 minutos.

Quispe (2010), investigó la energía de activación para la adsorción de iones ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$ ) con raíz de queñua (*Polylepis spp*). Previamente realizó el análisis fisicoquímico de la raíz de queñua con los siguientes resultados: 18,6 % de humedad; 6,3 % de cenizas; 33,37 % de fibra cruda; 0,5 g/mL de densidad aparente y pH de 5,53. Obtuvo mejores resultados al activar la raíz de queñua con HCl 0,1 M, este tratamiento creó centros activos en el adsorbente. Desarrolló un diseño experimental lineal coincidiendo para los tres metales los mismos valores óptimos: temperatura de 30 °C, pH de 4 y tiempo de 10 min, con capacidad de adsorción para el  $\text{Pb}^{2+}$  de 1,593 mg/g; para el  $\text{Cu}^{2+}$  de 1,867 mg/g y  $\text{Cd}^{2+}$  de 1,607 mg/g para condiciones de trabajo de concentración inicial de solución metálica 100 mg/L, volumen de 20 mL.

### 1.3. JUSTIFICACION

#### 1.3.1. Justificación ambiental y social

La creciente preocupación por la contaminación ambiental, ha dado como resultado un aumento en la investigación y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como un normatividad cada vez más estricta. Como resultado, la introducción de tecnologías limpias en los procesos industriales ha logrado disminuir las descargas de sustancias contaminantes al medio ambiente.

Dentro de los efluentes líquidos industriales, uno de los contaminantes que afectan más al medio ambiente es el de los metales pesados. Estos están considerados como uno de los grupos más peligrosos debido a su alta toxicidad a bajas concentraciones y su capacidad para acumularse en diferentes organismos. (Aderhold et al, 1996).

Por la actividad minera; la presencia de un gran número de minas que se encuentran en las partes altas de la cuenca del Titicaca, que utilizan elementos tóxicos como el mercurio para la amalgación de minerales auríferos, argentíferos y otros metales. También hay presencia de arsénico por efecto de la remoción de la tierra y rocas; además de presencia de plomo y cadmio por la propia acción antrópica; tal es el caso de la Mina Arasi y/o Aruntani, EP las águilas, Ciemsa y otras que se encuentran ubicadas en cabeceras de subcuenca de los ríos chaquelle, chacapalca, asufrini, pataqueña que son afluentes del río Ayaviri. (Cuentas, 2009).

Debido a la gran importancia que tiene el conocer la calidad del agua en la sub-cuenca del río Ayaviri, este estudio centrará sus esfuerzos en efectuar un análisis detallado de la evolución de la contaminación por metales pesados del agua del río Ayaviri, depositados debido a la temporalidad en los sedimentos mediante el análisis de cada uno de los contaminantes que caracterizan la calidad del agua. Esta investigación sirve para conocer con cierto grado de aproximación el nivel de contaminación del río Ayaviri, desde sus nacientes hasta su desembocadura como afluente de uno de los contribuyentes del lago Titicaca.

#### 1.3.2. Justificación técnica

Desde hace varias décadas se investigan y desarrollan métodos para determinar la contaminación del sistema abiótico para mitigar, controlar la contaminación sistemática de todas las fuentes naturales dentro del concepto de aplicación de desarrollo sostenible, por lo que es necesario contar con información detallada del avance de la contaminación

en aguas, sedimentos y otros componentes que pueden alterar el estándar de calidad ambiental de un recurso natural.

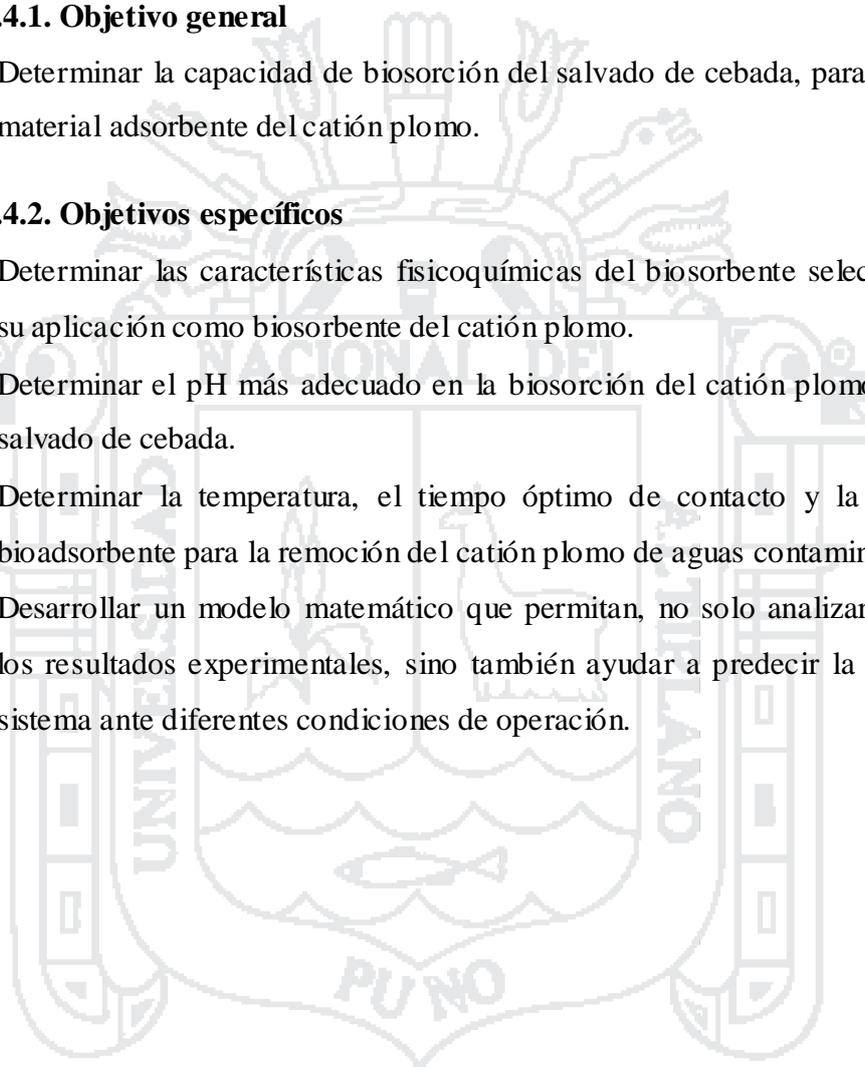
## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar la capacidad de biosorción del salvado de cebada, para su uso como material adsorbente del catión plomo.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas del biosorbente seleccionado para su aplicación como biosorbente del catión plomo.
- Determinar el pH más adecuado en la biosorción del catión plomo mediante el salvado de cebada.
- Determinar la temperatura, el tiempo óptimo de contacto y la cantidad del bioadsorbente para la remoción del catión plomo de aguas contaminadas.
- Desarrollar un modelo matemático que permitan, no solo analizar e interpretar los resultados experimentales, sino también ayudar a predecir la respuesta del sistema ante diferentes condiciones de operación.



## CAPITULO II

### MARCO TEORICO CONCEPTUAL E HIPOTESIS

#### 2.1. MARCO TEORICO

##### 2.1.1. Los metales pesados

Los metales pesados son todos aquellos que tienen una densidad mayor de  $5 \text{ g/cm}^3$ , poseen una conductividad eléctrica alta, son dúctiles, la mayoría son elementos de transición con capacidad para formar compuestos que pueden o no sufrir actividad redox. De los 902 elementos que se encuentran naturalmente 21 son no metales, 16 son metales ligeros y los tres restantes, incluyendo el As, son metales pesados. Se incluyen el Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Co, Hg, Ni, Al y Se (Weast, 1984).

En general la expresión “metales pesados” se usa cuando hay una connotación de toxicidad. Entre los elementos que suelen citarse como “metales pesados”, se cuentan principalmente el plomo, el cadmio, el mercurio, el arsénico, el zinc, el cobre, el hierro, el cromo y el níquel (Ansari y col., 2004).

##### 2.1.2. El plomo toxicidad y efectos sobre el ambiente

El plomo se encuentra en la naturaleza formando una gran variedad de minerales, entre los que se encuentran principalmente la galena ( $\text{PbS}$ ), la anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ) y la cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ), (Landrigan, 1990).

Actualmente la máxima concentración aceptada para el agua de bebida está fijada en todos los países del mundo a niveles muy bajos. La Directiva 98/83 de la Unión Europea y la guía de la Organización Mundial de la Salud fijan la concentración máxima de plomo para el agua de consumo en un valor de  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$  a partir de diciembre de 2013, siendo el valor actual de  $25 \mu\text{g.L}^{-1}$ . (OMS, 2013)

### **Fuentes naturales**

El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental, obteniéndose básicamente de la galena (PbS) y, en menor proporción, de otros minerales de plomo asociados a la galena y a los sulfuros complejos como la anglesita (PbSO<sub>4</sub>), cerusita (PbCO<sub>3</sub>), crocoita (PbCrO<sub>4</sub>), etc. (Ministerio del Medio Ambiente, 2007).

### **Toxicidad**

Los efectos de la intoxicación por plomo fueron descritos por Hipócrates en la antigua Grecia (Landrigan, 1990). Benjamín Franklin también describió el efecto de la ingesta de este metal entre los trabajadores de su imprenta, especialmente los que fabricaban y manipulaban los linotipos hechos de plomo. A pesar de tener referencias tan antiguas, el problema del plomo no se ha atendido como se debiera. Los textos de toxicología hasta la década de los setenta no dedicaban mayor atención a este problema. Desde los mediados a los años setenta, las autoridades de salud de los Estados Unidos reconocieron al envenenamiento por plomo en niños como un problema grave al que llamaron epidemia silenciosa. Este envenenamiento en niño se ha asociado a las superficies vidriadas como ventanas, puertas y pigmentos en determinadas pinturas (Klein, et al, 1970).

El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano. Puede causar, entre otros, estos daños y perturbaciones: de la biosíntesis de hemoglobina y anemia. (Klein, et al, 1970).

Dos estados de oxidación del plomo (+2, +4) son estables, pero la química ambiental está dominada por el ión Pb<sup>+2</sup>, sus compuestos y complejos. En general el ion Pb<sup>+2</sup> es más tóxico que los complejos inorgánicos, y por tanto cualquier factor que aumente la complejación y disminuya la concentración del ion libre afectará inversamente su toxicidad. (Greenpeace, 2012).

### **Efectos sobre el medio ambiente**

Cuando el plomo se libera al ambiente tiene un largo tiempo de residencia en comparación con la mayoría de los contaminantes. Como resultado tiende a acumularse en tierra y sedimentos. Ahí debido a su baja solubilidad, puede permanecer accesible a la cadena alimentaria y al metabolismo humano por mucho tiempo. En estudios recientes sobre el uso de las aguas residuales han indicado que el 85 % de los oligoelementos (cadmio, cromo, plomo y zinc etc.). Aplicados se acumulan en el suelo

y que la mayoría de ellos se acumulan en los primeros centímetros. Además la absorción de estos elementos por las plantas es tan pequeña, que no se puede esperar que reduzca apreciablemente su acumulación en los suelos, en un tiempo razonable. (FAO, 2010).

La contaminación antropogénica de plomo es mucho más significativa que la natural. Todavía en muchos países en vías de desarrollo, la aplicación del plomo en gasolinas da lugar a un ciclo no natural de este metal: los motores de los coches queman el plomo, generando sales de plomo (cloruros, bromuros, óxidos) que entran en el ambiente a través de los tubos de escape. Las partículas grandes precipitan en el suelo o en la superficie de aguas y las pequeñas viajan largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. El plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen plomo. (Eaton, 1994).

La contaminación por plomo afecta por al fitoplancton, que es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos animales marinos grandes lo comen. El plomo es un elemento químico particularmente peligroso ya que no solo se puede acumular en organismos individuales sino que también puede entrar en las cadenas alimenticias, modifica substancialmente la reproducción de invertebrados marinos y cambios neurológicos y de la sangre en los peces. Todos estos factores llevan al impacto en el equilibrio del ecosistema en el largo plazo por la presencia contaminante del plomo. (Higuera y Oyarzun, 2007).

### **2.1.3. Legislación aplicable a los metales pesados**

El problema de la contaminación por metales pesados ha estado presente en las últimas décadas en la definición de normas y leyes de carácter ambiental, tanto en Europa como en Estados Unidos. Para el caso de Europa, la legislación existente en materia de aguas y de control de los vertidos de contaminantes al medio acuático es muy amplia y variada, por lo que se ha generado un marco legal que en ocasiones resulta complejo y difícil de interpretar. En la actualidad se está tratando de unificar y homogenizar este marco de referencia para conseguir una mayor aplicación y control de las medidas previstas, con el objetivo de que se facilite su cumplimiento y que, progresivamente, se puedan aplicar condiciones más restrictivas que redunden en un beneficio social y ambiental considerable (Tenorio, 2006).

**Reglamentos a nivel nacional**

- Decreto supremo N°010-2010-MINAM, Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, promulgado y publicado el 21 de agosto de 2010.
- Decreto supremo N°021-2009-VIVIENDA valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.
- Resolución de consejo directivo N° 009-2015-SUNASS-CD Modifican la directiva sobre valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, promulgado y publicado el 26 de marzo de 2015.
- Decreto supremo N°002-2008-MINAM (cuadro 1), aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua en su categoría 1: poblacional y recreacional (parámetros inorgánicos), promulgado y publicado el 31 de julio de 2008.

Cuadro 1. Estándares de calidad ambiental para agua poblacional y recreacional.

PARAMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
<b>INORGANICOS</b>						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	"
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	"
Arsenico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	"
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	"
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	"
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	"
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	"
Cobre	mg/L	2	2	2	2	"
Cromo total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	"
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	"
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	"
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	"
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	"
Niquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	"
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	"
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	"
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	"

Fuente: MINAM, 2008.

- Decreto supremo N°015-2015-MINAM Modifican los estándares nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación, promulgado y publicado el 19 de diciembre de 2015
- Reglamento de la calidad del agua para consumo humano (cuadro 2) sección de parámetros inorgánicos. Aprobado por decreto supremo N°031-2010-SA del 24 de setiembre del 2010 /Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental.

Cuadro 2. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Níquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015

Fuente: MINSAs, 2011.

#### 2.1.4. Principales industrias y procesos fuente de producción de plomo

El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones.

Debido a su excelente resistencia a la corrosión, el plomo encuentra un amplio uso en la construcción, en particular en la industria química. Es resistente al ataque por parte de muchos ácidos, porque forma su propio revestimiento protector de óxido. Como consecuencia de esta ventajosa característica, el plomo se utiliza mucho en la fabricación y el manejo del ácido sulfúrico, (Dabrowski A. 2001).

Se utiliza también como forro para cables de teléfono y de televisión. La ductilidad única del plomo lo hace particularmente apropiado para esta aplicación, porque puede estirarse para formar un forro continuo alrededor de los conductores internos. El uso del plomo en pigmentos ha sido muy importante, pero está decreciendo en volumen.

El pigmento que se utiliza más, en que interviene este elemento, es el blanco de plomo  $2PbCO_3.Pb(OH)_2$ ; otros pigmentos importantes son el sulfato básico de plomo y los cromatos de plomo. (Duffus, 2001).

Se utilizan una gran variedad de compuestos de plomo, como los silicatos, los carbonatos y sales de ácidos orgánicos, como estabilizadores contra el calor y la luz para los plásticos de cloruro de polivinilo. Se usan silicatos de plomo para la fabricación de fritas de vidrio y de cerámica. El azuro de plomo, es el detonador estándar para los explosivos. Los arseniatos de plomo se emplean como insecticidas para la protección de los cultivos. El litargirio (óxido de plomo) se emplea mucho para mejorar las propiedades magnéticas de los imanes de cerámica de ferrita de bario. (Duffus, 2001).

Cuadro 3. Metales pesados presentes en efluentes industriales.

	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Al	Sn
Refinerías de petróleo	X		X	X	X		X		X	X		
Pulpa y papel			X	X	X	X	X		X			
Textiles	X	X	X	X	X		X	X	X			
Metalúrgicas	X		X		X		X	X	X	X		
Químicos orgánicos	X		X			X	X	X	X	X	X	X
Químicos inorgánicos	X		X			X	X	X	X	X	X	
Plásticos	X											
Curtiembres									X			
Míneras		X		X		X	X	X		X		
Drenaje ácido de minas	X	X	X	X							X	
Galvanoplastia		X	X	X	X		X		X			

Fuente: (Duffus, 2001).

Las aguas del río Ayaviri, presenta contaminación debido a la acumulación de metales pesados principalmente provenientes de los ríos afluentes que provienen de zonas mineras los cuales en la actualidad sobrepasan los límites permitidos por los organismos reguladores, (Arizaca, et al, 2010), en el trabajo “Estudio Integral de la Contaminación de la Cuenca del Ramis, reporta para la sub-cuenca del rio Ayaviri; límites de plomo en el rango 0,56 mg/L y máx. 55 mg/Kg en sedimentos.

### 2.1.5. Tratamientos convencionales de eliminación de metales pesados de efluentes acuosos industriales

La inexistencia de vías naturales para la eliminación de los metales vertidos, hace que se acumulen, redistribuyéndose en el medio natural e introduciéndose en la cadena trófica donde pueden alcanzar niveles tóxicos para los seres vivos con graves implicaciones en la salud de los seres humanos y de los animales. Una vez emitidos al

medio los metales pueden permanecer en el entorno durante centenares de años, (Tenorio, 2006).

El tratamiento de efluentes contaminados es un proceso, a veces, más complicado que cualquier otro proceso de fabricación o manufactura de productos, debido a que las aguas a tratar pueden tener una composición muy variable en cuanto a componentes orgánicos e inorgánicos, acidez o basicidad extrema, presencia de sustancias volátiles, etc. Por tanto, son pocos los procesos que permiten la descontaminación de efluentes cumpliendo a la vez requisitos como pueden ser los costes económicos, flexibilidad en cuanto a la cantidad tanto de efluente a tratar como a la carga contaminante de este, continuidad del sistema, mínima supervisión y mantenimiento y suficiente selectividad en cuanto a la descontaminación de los metales considerados. (Vílchez, 2005).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales no están diseñadas para manejar residuos tóxicos. Los metales y su toxicidad persisten incluso en los lodos después del tratamiento, por esto se debe eliminar en la fuente emisora, en un pre-tratamiento especial diseñado a tal efecto. Este tratamiento específico no debe tener un alto coste, ya que a menudo se enfrentaría con grandes volúmenes de efluente. Con el fin de eliminar los metales pesados del agua y a su vez reducir el impacto a la salud pública se han empleado diferentes tecnologías tradicionales. (Navarro, et al. 2006).

En general estas tecnologías son inadecuadas para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales pues crean problemas secundarios como lodos extremadamente difíciles de tratar, costes prohibitivos o no son suficientemente efectivas. (Gavrilescu, 2004).

No obstante, para disoluciones con altas concentraciones de metales pesados (cientos o miles de mg/l) pueden emplearse algunas tecnologías citadas (Volesky, 2005).

A continuación se realizara una breve descripción de las tecnologías que han alcanzado mayor desarrollo:

#### **A. Precipitación química**

Consiste en la eliminación del ion metálico indeseable disuelto, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo. Normalmente, las especies metálicas en disoluciones precipitan al aumentar el pH. El proceso tiene lugar al de solubilizarse el metal y formarse el precipitado (Benefield y Morgan, 1999).

La capacidad de eliminación de los metales por precipitación química depende de dos factores (Landford, 1990):

- La solubilidad de la especie más soluble del metal que puede formarse, la cual es función del producto de solubilidad, pH del medio y concentración de la especie precipitante.
- La separación del sólido de la disolución acuosa.

**B. Intercambio iónico**

Se trata de un mecanismo de interacción electrostática, debido a las fuerzas de atracción de Coulomb que tienen lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. (Vigneswaran y col., 2004).

Así para la eliminación de metales pesados se han usado diferentes tipos de cambiadores de ion; así, se ha comprobado la eficacia de clinoptilolita para la recuperación de cadmio y plomo (Maliou y col., 1992).

**C. Tecnología de membranas**

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringimiento el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado (Ho y Sirkar, 1992)

En la tabla 1. se resumen características de las tecnologías de membranas más empleadas.

Tabla 1. Características de las tecnologías de membranas.

Tecnología	Sustancias que pasan		Sustancias que retienen		
	Tipo	Fuerza impulsora	Estado físico	Tipo	Dimensión
Micro filtración	Agua y sólidos disueltos	0-1 atm	Suspendidos	Bacterias, sílice	>500.000g/mol (0,02-10 µm)
Ultra filtración	Agua y sustancias de bajo peso molecular	0-10 atm	Suspendidos coloides disueltos	Macromoléculas Coloides	>500 g/mol(0,001-0,02 µm)
Osmosis inversa	Agua	1-6 atm	Inorgánicos coloides orgánicos	Inorgánicos Coloides orgánicos	>50g/mol

Fuente: (Volesky y Holan, 1995).

#### **D. Procesos electroquímicos**

Están basados en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo (Chen, 2004; Sonune y Ghate, 2004).

Electrodiálisis: Este método aprovecha la propiedad que tienen los iones en solución de migrar, al aplicarles un potencial eléctrico, los iones positivos se desplazan hacia el electrodo negativo (cátodo) y los iones negativos se desplazan hacia el electrodo positivo (ánodo) y el agua purificada se conduce al recipiente de almacenamiento. (Landford, 1990).

#### **E. Adsorción**

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). Por ello se considera como un fenómeno subsuperficial. La sustancia que se concentra en la superficie se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente". El proceso en el cual las moléculas se concentran en una capa interfacial se conoce como adsorción. Si las moléculas penetran al interior de la fase sólida, el proceso es conocido como absorción. (Dabrowski A, 2001).

La adsorción física está causada principalmente por fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, dándose estas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente. Estos adsorbentes están caracterizados principalmente por las propiedades de la superficie, como su área superficial y su polaridad. El ion es adsorbido por el sólido dependiendo de la carga relativa entre ambos. Este proceso puede ser lento o rápido, dependiendo de la composición del adsorbente, del adsorbato y de la temperatura.

La adsorción química o quimiadsorción es debida a fuerzas de naturaleza química y es un proceso que depende de la temperatura, la naturaleza química del sólido y la concentración de la especie a adsorber. En los sistemas naturales es frecuente que ambos se den en la misma superficie sólida. Volesky (2003)

La diferencia fundamental entre ambas es que en el caso de la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, mientras que durante la quimiadsorción la especie adsorbida (quimiadsorbida) sufre una transformación, dando lugar a una especie distinta. (Tenorio, 2006).

Las diferencias entre adsorción física y química según Volesky (2003), se resumen en la tabla 2.

Tabla.2. Diferencias entre adsorción física y química

Parámetro	Adsorción física	Adsorción química
Temperatura	Baja	Alta
Calor de adsorción	Baja	Alto
Velocidad	Rápido	Lento
Energía de activación	Baja	Baja
Cobertura	Posible multicapas	Monocapa
Reversibilidad	Alta	Irreversible

Fuente: Volesky (2003)

En el proceso de adsorción intervienen las propiedades de los compuestos que se requiere extraer, las características del adsorbente y las condiciones de contacto entre las fases fluida y sólida. Propiedades del adsorbato tales como peso molecular, concentración, grupos funcionales, solubilidad en el líquido, al igual que las propiedades del sólido adsorbente (tales como distribución de tamaño de poros y los grupos químicos de superficie, entre otras) son determinantes en la mayor o menor afinidad del adsorbato por el sólido adsorbente (Tenorio, 2006).

#### 2.1.6. Bioadsorción: una tecnología alternativa

La necesidad de métodos económicos y efectivos para la eliminación de los metales pesados ha tenido como resultado el desarrollo de nuevas tecnologías de separación. En este sentido, existen varios procesos que están siendo investigados con el fin de retirar metales pesados de residuos líquidos, destacando entre ellos: la precipitación extracelular, la biosorción y la captación a través de biopolímeros purificados y de otras moléculas especializadas derivadas de células microbianas, basadas las dos últimas en la capacidad de los metales para unirse por distintos mecanismos a materiales biológicos (Pagnanelli, 2005).

Un proceso de biosorción involucra una fase sólida (biosorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente agua) que contiene las especies disueltas que van a ser biosorbidas (sorbato, esto es, iones metálicos). Debido a la gran afinidad del sorbente por las especies del sorbato, éste último es atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos. Este proceso continúa hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato enlazado al sólido. La afinidad del biosorbente por el

sorbato determina su distribución entre las fases sólida y líquida. (Cañizares – Villanueva, 2000).

#### a. Definición.

El término “biosorción”, se utiliza para referirse a la captación de iones de metales por una biomasa viva o muerta, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. (Davis, 2003).

En los últimos años se ha diversificado la utilización de biomasa muerta o productos derivados de ella, ya que, además de eliminar el problema de la toxicidad, presenta ventajas económicas, tanto de mantenimiento como evitando el suplemento de nutrientes. Sin embargo, las células vivas pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos de la biosorción y bioacumulación, término que a veces son utilizados erróneamente de forma indistinta (Cañizares-Villanueva, 2000).

#### b. Proceso de biosorción.

Los dos mecanismos diferenciados para la captación de los metales pesados por parte de la biomasa son:

- **Bioacumulación.** Basada en la absorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación en la parte interna de las células de biomasa vivas (fig.1).

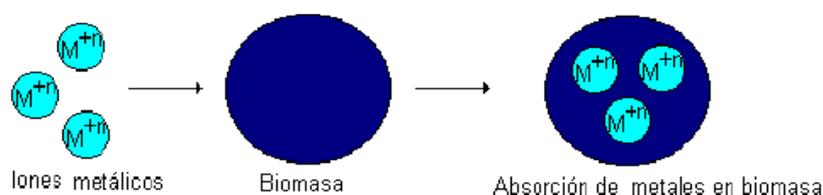


Fig. 1. Bioacumulación de metales pesados

- **Bioadsorción.** Basada en la adsorción de los iones por biomasa muerta tratada con sustancias químicas y sin tratar. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación y atracción electrostática (fig. 2).

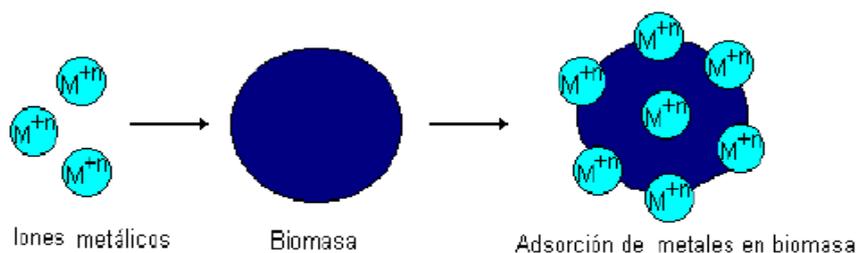


Fig. 2. Bioadsorción de metales pesados

La remoción y recuperación de metales pesados de efluentes líquidos por el mecanismo de biosorción ha sido mencionado en varias publicaciones utilizando diferentes combinaciones de metales y biosorbentes. Sus ventajas más evidentes en comparación con los métodos tradicionales son:

- Uso de materiales renovables que pueden ser producidos a bajo costo.
- Alta capacidad para acumular iones metálicos de manera eficaz y rápida.
- Capacidad para tratar grandes volúmenes de agua contaminada debido a la rapidez del proceso.
- Alta selectividad en relación a metales específicos.
- Capacidad de captar varios metales pesados y mezclas de residuos.
- Gran reducción en el volumen de los residuos peligrosos producidos.
- Bajo capital invertido.

Actúa bajo un amplio rango de condiciones fisicoquímicas incluyendo temperatura, pH y presencia de otros iones.

### c. Ventajas y desventajas de la bioadsorción

#### Ventajas

- Es una tecnología limpia; utiliza materiales naturales o los residuos de la industria, (utilizando productos naturales no sintéticos).
- Es al mismo tiempo una técnica de fácil implementación.
- El proceso de bioadsorción provee un rendimiento comparable al competido comercial más cercano: resinas sintéticas de intercambio iónico, carbón activado y otros disponibles comercialmente.
- El precio de un bioadsorbente está en el orden de 1/10 del precio de una resina de intercambio.
- Protege el medio ambiente de los metales tóxicos contenidos en los efluentes líquidos, removiéndolos de los relaves mineros previo a su evacuación.
- Bajo consumo energético.
- Alta selectividad.

#### Desventajas

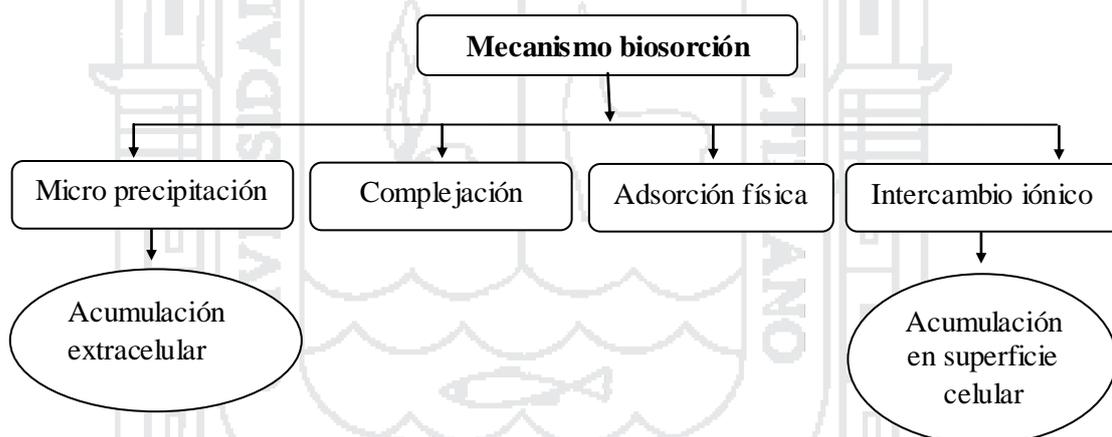
- No se puede compactar el bioadsorbente, porque el proceso de transferencia de masa se vuelve deficiente.

- Por los cambios de temperatura que se da en la región es complicado mantenerla, en ese caso necesita utilizar un reactor enchaquetado que mantenga la temperatura adecuada para el proceso de adsorción.

### 2.1.7. Mecanismos de biosorción

La complejidad que las estructuras biosorbentes presentan, implica que existan diferentes maneras de que el metal sea capturado por las paredes celulares de estos. Los mecanismos de biosorción son por tanto variados y dependen en cada caso del metal y del material sorbente. En muchas ocasiones es difícil explicar el/los mecanismos que tienen lugar en un proceso de biosorción determinado (Ho y col., 2001).

En el esquema 1, se muestran esquemáticamente los distintos mecanismos de biosorción que se han sugerido para explicar la retención por parte del biosorbente (Volesky, 2003).



Esquema 1: Mecanismos implicados en la biosorción

Generalmente se considera que en la biosorción de metales pesados puede aparecer simultáneamente más de uno de los mecanismos señalados, siendo, en algunos casos, muy difícil de explicar el o los mecanismos que tienen lugar en el proceso de biosorción considerado (Ho y col., 2001).

#### A. Adsorción física

En esta categoría se incluyen los fenómenos asociados con la presencia de fuerzas de Van der Waals, por lo que las fuerzas de atracción de los metales a la superficie del sólido son relativamente débiles, en este caso la biosorción es rápida y reversible. (Kuyucak y Volesky, 1988).

### **B. Adsorción química**

Es aquella adsorción en la que el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente. Se considera que las moléculas "adsorbidas químicamente" no están libres para el movimiento en la superficie o dentro de la interface. Los procesos de adsorción química exhiben elevadas energías de adsorción, debido a que el adsorbato forma unos enlaces fuertes localizados en los centros activos del adsorbente. La interacción química entre el adsorbente y el adsorbato viene favorecida por una temperatura más elevada, debido a que las reacciones químicas proceden más rápidamente a temperaturas elevadas que a temperaturas más bajas. (Weber, 1990).

### **C. Intercambio iónico**

Propio de los iones metálicos divalentes que se intercambian con iones propios de los polisacáridos presentes en la biomasa. El proceso también es rápido y reversible. Las paredes celulares de la biomasa en general, se componen de polisacáridos como estructura básica de construcción. Las propiedades para el intercambio iónico de los polisacáridos naturales han sido estudiadas con detalles, y se han establecido fielmente la propiedad de que los iones metálicos divalentes se intercambian con ciertos iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) de los polisacáridos. (Al-Asheh y Duvnjak, 1998).

### **D. Complejación o quelación**

La retirada de metales de una disolución puede tener lugar a través de un mecanismo de formación de complejos en la pared celular, después de haberse llevado a cabo la interacción entre el metal y los centros activos. El metal se puede unir a estos centros a través de ligaduras simples o a través de quelación. (Treen-Sears y col., 1984).

### **E. Precipitación**

El mecanismo está asociado a la formación de un complejo en la pared celular que posteriormente es hidrolizado. (Quiñones, et al, 2014).

#### **2.1.8. Factores que afectan el proceso de biosorción**

El proceso de adsorción se ve influenciado por diferentes factores como el pH, la temperatura, la naturaleza del adsorbente, el tipo y concentración de adsorbato, entre otros (Castro, 1998; Hidalgo, 2004).

Los siguientes factores afectan el proceso de biosorción:

#### **❖ pH**

Los metales en disolución acuosa se encuentran en forma de diferentes especies químicas en función del pH de la disolución, de aquí la fuerte dependencia que existirá

entre el pH de la disolución y la posibilidad de extracción del metal, ya que según la especie química los mecanismos de sorción varían (Castro, 1998).

Los metales son sustancias electropositivas ya que ceden cargas positivas a la superficie del sorbente, el cual va aumentando el número de cargas negativas para lograr la adsorción, lo cual se facilita en soluciones ácidas. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4. (Navarro, et al. 2006).

#### ❖ **Naturaleza del adsorbato**

El adsorbato es un factor influyente en el equilibrio de adsorción. Existe una regla general para predecir el efecto de la polaridad del soluto sobre la adsorción y consiste en que el soluto polar preferirá la fase que es más polar. En otras palabras, un soluto polar será fuertemente adsorbido por un adsorbente polar, cuando esté en un disolvente no polar (Castro, 1998).

Es decir, en el caso de las sales de metal utilizadas en este estudio presentan un carácter polar o alta solubilidad en el agua y la matriz de adsorción o adsorbente también es polar, si estos dos fueran sumergidos en una solución de alcohol, los metales serán fácilmente adsorbidos por la matriz debido al carácter apolar del alcohol.

Otro factor referente a la naturaleza del adsorbato en el caso de los metales, se refiere al radio atómico del metal, pues se cree que a mayor tamaño de este disminuye la afinidad por los ligandos de la pared (Quingbiao, *et al.* 2004).

#### ❖ **Concentración inicial de metal**

Para determinar la efectividad de un material sorbente hay que conocer cuál es la cantidad máxima de metal (la capacidad máxima) que puede adsorber. Los materiales establecen diferentes equilibrios de extracción cuando se ponen en contacto con concentraciones distintas de metal.

Estos equilibrios dependen en todos los casos de las condiciones experimentales y son diferentes para cada temperatura, son equilibrios isotérmicos. Idealmente los modelos teóricos que se utilizan para describir los resultados experimentales deben ser capaces de predecir los procesos de sorción a bajas y altas concentraciones, además de permitir una interpretación física del mecanismo de sorción (Hidalgo, 2004).

### ❖ **Temperatura**

La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado. La cantidad de material que se acumula depende del equilibrio dinámico que se alcanza entre la tasa a la cual el material se adsorbe a la superficie y la tasa a la cual se puede liberar, y que normalmente dependen de forma importante de la temperatura (Carrera, 2008).

### ❖ **Grupos activos**

En la bibliografía se reporta, que la presencia de funcionalidades oxigenadas de naturaleza acida o polarizable en la estructura del sorbente, principalmente grupos carboxilos, carbonilos, fenoles y lactosas, favorece la captación de cationes metálicos. (Banwell C., 1994)

### ❖ **Tamaño de partícula**

La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (solute) que se puede adsorber es directamente proporcional al volumen, y es bien conocido que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa. (Garcés, 2012).

### **2.1.9. Equilibrio de bioadsorción**

Debido a la gran afinidad del sorbente por el sorbato, este último es atraída hacia el sólido y es contenida allí por diferentes mecanismos. La cantidad retenida en este proceso en el equilibrio es establecida entre la cantidad de sorbente y la diferencia de la especie sorbato y su porción remanente en la solución (residuo final o concentración en equilibrio  $C_f$ ). El grado de la afinidad del sorbente por el sorbato es determinado por la distribución entre las fases sólidas y líquidas. (Chu y Hashim, 2001).

La calidad del material sorbente es evaluada de acuerdo a qué cantidad del sorbato es atraída y retenida ('inmovilizada'). Para este propósito es costumbre determinar la captación del metal ( $q$ ) por el biosorbente como la cantidad de sorbato inmovilizado por unidad de sorbente en fase sólida (peso, volumen, etc.).

El cálculo de la cantidad de metal está basado sobre el balance de materia en la sorción del sistema (mg metal / g de sorbente seco): el sorbato la cual desaparece de la solución;

deba de estar en el sólido, la cual puede ser calculada mediante la expresión, (Wagner y Jula, 1981).

$$q = \frac{(C_i - C_f)}{S}$$

Donde:

$C_i$  y  $C_f$  = concentración inicial y del equilibrio (residual) del metal de la solución respectivamente. Ellos tienen que ser determinados analíticamente (mg/L).

$S$  = cantidad del biosorbente añadido sobre la base seca.

### 2.1.10. Modelos cinéticos de adsorción

Los modelos cinéticos permiten darle explicación al fenómeno de adsorción dentro de un proceso específico, estableciendo la velocidad con la cual los contaminantes (iones metálicos) son retirados del medio acuoso. En este sentido, se han propuesto numerosos modelos cinéticos para describir el mecanismo por el que transcurre el proceso de bioadsorción, estos se encuentran registrados en el cuadro 4. (Tejada-Tovar, et al. 2015).

Cuadro 4. Modelos cinéticos de adsorción.

Modelo cinético	Ecuación	Parámetros
Pseudo-primero orden	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	$q_e$ es la capacidad de adsorción en equilibrio (mmol/g), $k_1$ es la constante de pseudo primer orden (min. <sup>-1</sup> )
Pseudo-segundo orden	$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{k_2 q_e^2}\right) + \left(\frac{t}{q_e}\right)}$	$k_2$ es la constante de pseudo segundo orden (g/mmol.min), $q_e$ es la capacidad de adsorción en equilibrio (mmol/g)
Ecuación de Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$	$\alpha$ es la constante de la ecuación de Elovich (mmol/g min), $\beta$ es el exponente en la ecuación de Elovich (g/mmol)

Fuente: Meitei, 2013.

#### Modelo de primer orden reversible

Se basa en la suposición de que a cada ión metálico se le asigna un sitio de adsorción del material adsorbente y, por tanto, el mecanismo y la velocidad de adsorción dependerá de varios factores como: la presencia de otro ion en la solución, la selectividad, tipo y, en general, características del adsorbente. (Cheung et al. 2000).

#### Modelo de pseudo segundo orden

Supone que el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa, por tanto, el mecanismo controlante del fenómeno es la velocidad de adsorción del ion metálico en el adsorbente y no la transferencia de masa. (Ho & McKay (1999).

### Modelo de Elovich

Supone que los sitios activos del bioadsorbente son heterogéneos y, por ello, exhiben diferentes energías de activación, basándose en un mecanismo de reacción de segundo orden, para un proceso de reacción heterogénea. (Cheung et al. 2000).

### Modelo de difusión intraparticular

Establece un proceso controlado por la adsorción en los poros, en el que: la velocidad inicial es directamente proporcional a la concentración del soluto, se caracteriza por la dependencia entre la adsorción específica y la raíz cuadrada del tiempo, siendo la pendiente la velocidad de difusión (Weber & Morris, 1963).

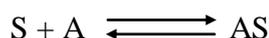
#### 2.1.11. Modelos teóricos de isothermas para el tratamiento de datos experimentales

Para el tratamiento de los datos experimentales obtenidos en las condiciones de equilibrio, y el análisis de los procesos de adsorción, los datos de equilibrio se expresan normalmente como isothermas de adsorción, relacionando analíticamente la cantidad de un determinado componente adsorbido en una interfase con la concentración de este componente en el seno de la fase. (Tejada-Tovar, et al. 2015)

##### A. Modelo de adsorción de Langmuir

Es el modelo más simple y el más antiguo formulado por Langmuir en 1918. Supone que las moléculas se adsorben sobre la superficie hasta formar una monocapa completa (saturación) en cuyo momento cesa la adsorción, y que la superficie es homogénea.

La adsorción es frecuentemente descrita en términos de isoterma el cual muestra una relación entre la actividad de la fase acuosa (concentración) de adsorbato y cantidad adsorbida a temperatura constante, asumimos que los sitios de adsorción S, en la superficie de un sólido (adsorbente) son ocupados por el adsorbato A de la solución. Podemos derivar la ecuación de Langmuir de la aplicación de la ley de masa. (Schiewer S. Wong H., 1999).



Esto implica que las actividades de las especies superficiales son proporcionales para sus concentraciones. (Brierley J. Brierley C., 1987).

La ecuación del modelo de Langmuir es como sigue:

$$q_e = \left( \frac{q_{max} * C_e * b}{1 + b * C_e} \right)$$

El modelo de Langmuir fue originalmente desarrollado para sistemas en que la adsorción de plomo es realizada sobre una capa simple de soluto en la superficie de un adsorbente. (Weber, 1991).

A bajas superficies cubiertas, la isoterma de Langmuir se reduce a una relación lineal de calibración del modelo de una serie de datos experimentales que pueden ser realizados por una simple regresión de la forma linealizada del modelo. (Atkins P., 1991).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * b} + \frac{1}{q_{max}} * C_e$$

Donde:

$q_e$  = Cantidad de adsorbato retenida en dependencia de la concentración inicial.

$q_{max}$  = Máxima cantidad de adsorbato retenida por 1g de bioadsorbente.

$C_e$  = Concentración de adsorbato cuando el sistema de adsorción alcanza el estado de equilibrio termodinámico.

$b$  = Constante de equilibrio correspondiente al proceso de adsorción.

### B. Modelo de Adsorción de Freundlich

La Isoterma de Freundlich fue una de las primeras ecuaciones propuestas para relacionar la cantidad adsorbida con la concentración del material en la solución. (Castellan G., 1987).

Este modelo muestra una relación empírica que no permite determinar con exactitud la capacidad de adsorción, solo es aplicado a rangos de concentración bajos e intermedios. (Brierley J., 1987).

La ecuación de Freundlich se expresa a través de la ecuación:

$$q_e = K * C_e^{\frac{1}{n}}$$

O en su forma lineal:

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} * \log C_e$$

Donde:

$q_e$  = representa los gramos adsorbidos por gramo de adsorbente.

$C_e$  = en g/L.

$K$  y  $n$  = son constantes que dependen de la temperatura, naturaleza del adsorbente y adsorbato.

## 2.1.12. Cebada

### a. Estructura del grano de cebada

Los granos de cebada se componen de una parte externa constituida por algunas capas secas y duras, las cuales protegen al grano, denominadas glumas y glumillas que son estructuras florales en forma de hoja que encierran a las cariósides de los cereales (Serna, 2001).

Las cubiertas más externas forman parte del pericarpio, que se subdivide en epicarpio (protegido por cutículas y vellosidades), mesocarpio (formado por células transversales) y endocarpio (formado por células tubulares). El pericarpio protege a la semilla, formada por germen y endospermo y rodeada por su propia envoltura.

La función principal del pericarpio es la de proteger el grano contra agentes bióticos externos, impedir la pérdida de humedad, conducir y distribuir el agua y otros nutrientes durante la germinación. Otra parte del grano es la testa o envoltura de la semilla, la cual está adherida a la parte ventral de las células tubulares y consiste en una o dos capas de células (Serna, 2001).

La capa más externa del endospermo, de naturaleza proteica, se denomina capa de aleurona (figura 3), que en la mayoría de los cereales está compuesta por una sola capa de células, pero en la cebada hay dos o cuatro estratos. La capa de aleurona es muy importante durante la germinación porque sintetiza enzimas indispensables para lograr desdoblar el almidón que se encuentra en el endospermo (Desrosier, 1999).

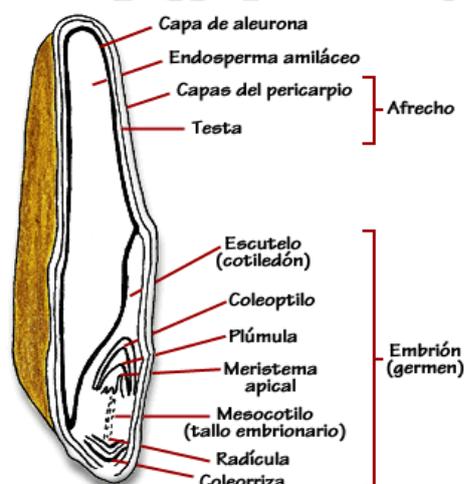


Figura 3. Grano de cebada y su estructura

El endospermo puede ser vítreo o almidonoso. En el endospermo vítreo, no existen espacios de aire y los gránulos de almidón están bien recubiertos por la matriz proteica, por lo que adquieren formas angulares. El endospermo almidonoso se encuentra encerrado por el vítreo. Contiene las mismas estructuras del endospermo vítreo, pero las unidades de almidón son de mayor tamaño y menos angulares; la asociación entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es más débil y en general tiene menos contenido de proteína que el vítreo (Serna, 2001)

El almidón del endospermo, excluyendo la capa de la aleurona, está compuesto por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. Las células varían en tamaño, forma y localización dentro del grano. Las células periféricas son la primera hilera de células que están en el interior de la capa de la aleurona, y son usualmente pequeñas, siendo igual en diámetro en todas direcciones o ligeramente prolongadas hacia el centro del grano. El endospermo periférico se caracteriza por su alto contenido proteico y por contener unidades de almidón pequeñas, angulares y compactadas. (Serna, 2001).

Las células maduras del endospermo vítreo contienen básicamente cuatro estructuras: paredes celulares, gránulos de almidón, matriz y cuerpos proteicos. Las paredes celulares son delgadas y encierran a los demás componentes. En ellas hay un alto contenido de fibra insoluble (celulosa y  $\beta$ -glucanos) y soluble (pentosanas). Los gránulos de almidón ocupan la mayoría del espacio celular y están rodeados y separados por la matriz proteica que sirve como pegamento para mantener la estructura interna de la célula. Los cuerpos proteicos son para mantener la estructura interna de la célula. Éstos son redondos y muy pequeños si se comparan con las unidades de almidón. Están dispersos en el espacio celular y en su mayoría incrustados en la membrana de los gránulos de almidón. En las células del endospermo vítreo, no existen espacios de aire y los gránulos de almidón están bien recubiertos por la matriz proteica, por lo que adquieren formas angulares (poligonales). Esta estructura tiene una apariencia vítrea o traslúcida debido a que la luz no es difractada cuando pasa a través del endospermo (Serna, 2001).

El endospermo almidonoso contiene las mismas estructuras del endospermo vítreo y se encuentra encerrado por él, pero las unidades de almidón son de mayor tamaño y menos angulares; la asociación entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es más débil y las unidades de almidón tienen menos incrustaciones de los

cuerpos proteicos, las paredes celulares son más delgadas y en general tienen un menor contenido de proteína. En otras palabras, estas estructuras no están tan aprisionadas como en el endospermo vítreo. Esto en virtud de la presencia de minúsculos espacios de aire que dan al endospermo su apariencia almidonosa u opaca. (Serna, 2001).

La proporción entre ambos endospermos determina la dureza y densidad del grano y por consiguiente muchos factores que afectan el procesamiento de los alimentos.

### **b. Composición química de los granos de trigo y cebada**

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (Fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melódiosa, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: Albúmina, globulina, prolamina, residuo y gluteínas), lípidos (Ac. grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oleico, linoléico, linolénico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas y otras sustancias como pigmentos. (Callejo, 2002).

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida, casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona (Callejo, 2002).

La cebada contiene una alta proporción de carbohidratos y proteínas (Tabla 3). Dicho cereal puede contener una humedad del 10 al 14%, el contenido de materia inorgánica y grasas es muy bajo respectivamente (Callejo, 2002).

Tabla 3. Composición química del cariósido de cebada

<b>Componentes</b>	<b>Porcentajes (%)</b>
Humedad	12.0 – 13.0
Carbohidratos	65.0 – 72.0
Proteína	10.0 – 11.0
Grasa	1.5 – 2.5
Fibra	2.5 – 4.5
Ceniza	2.0 – 3.0

Fuente: Callejo, 2002

### 2.1.13. Salvado de cebada

Es el subproducto obtenido en el proceso del pulido para la obtención de morón para consumo humano. La producción mundial de morón se estima en unos 50 millones de Tn por año. (Serna, 2001).

La composición del salvado varía según su origen, especialmente el nivel de grasa. Así se ha observado una proporción de extracto etéreo más elevada en muestras australianas (22%), que en muestras procedentes del Sudeste asiático (16%) o de California (13,5%). Además, en numerosas ocasiones el producto de importación que se ofrece procede de partidas previamente desengrasadas. El salvado puede ser adulterado con cascarilla, lo que reduce notablemente su valor nutritivo, dada la escasa concentración en nutrientes digestibles de ésta. (Serna, 2001).

El salvado de cebada es una buena fuente energética en todas las especies, y sobre todo en rumiantes, dado su alto contenido en grasa (12-18%) y su apreciable contenido en almidón (21-28%). Tiene también un notable contenido en proteína, con una composición en aminoácidos esenciales relativamente bien equilibrada. Su contenido en fósforo es bastante alto (1,35%), pero en su mayor parte (90%) está en forma de fosfatos. Su contenido en calcio es bajo, aunque en algunas partidas puede elevarse notablemente por la adición de carbonato cálcico. (Callejo, 2002).

La principal característica del salvado de cebada es su alto contenido en grasa poliinsaturada (4% de ácido linoleico). Además, contiene una lipasa capaz de hidrolizar los triglicéridos. En consecuencia, el riesgo de enranciamiento es muy elevado, especialmente en zonas de clima cálido y húmedo, y donde las condiciones de almacenamiento no sean adecuadas. La adición de antioxidantes ayuda a prevenir el problema, pero deben añadirse inmediatamente después del proceso de fabricación, y en cualquier caso no impiden la presencia de un elevado contenido en ácidos grasos libres. Otras alternativas son la extracción del aceite, lo que reduce su valor energético, y su granulación posterior, o el tratamiento del salvado a altas temperaturas (extrusión, expansión) para inactivar la lipasa. (Serna, 2001).

El elevado contenido en grasa poliinsaturada plantea también problemas en la alimentación de vacas de leche (por sus efectos negativos sobre la digestión de la fibra) y en piensos de acabado de monogástricos. En éste último caso debe tenerse en cuenta que el efecto del ácido linoléico sobre la calidad de la grasa producida se pone

especialmente de manifiesto para valores superiores de linoléico a un 15% del total de la grasa corporal. La norma general para evitar los problemas de grasa líquida es mantener la concentración de ácidos grasos poliinsaturados de la dieta por debajo de un 1.6%. Se presenta habitualmente granulado. (Serna, 2001).

El salvado es el resultado de una parte de la molienda de los granos de cereales, en concreto procede de las cinco capas más externas del grano, formadas por una primera capa exterior de envuelta, o cutícula, la segunda o epicarpio, la tercera o endocarpio, la cuarta capa, denominada testa y la quinta, denominada aleurona, contiene celulosa, polisacáridos o hemicelulosa, proteínas, grasas, minerales y agua. Se presenta como granulado y también en polvo. Proporciona fibra insoluble en agua, aunque (según su origen) otros tienen fibra hidrosoluble. (Serna, 2001).



## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. Metales pesados

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre (Cu) 63,55 uma y (Hg) 200,59 uma que presentan un peso específico superior a  $4 \text{ g.cm}^{-3}$ . Los metales pesados pueden encontrarse en aguas superficiales bajo forma particulada, coloidal o fases disueltas como hidróxidos, óxidos, silicatos, sílice o materia orgánica. (Duffus, 2002).

### 2.2.2. Plomo

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19, las valencias químicas normales son 2 y 4. Es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 s  $16^{\circ}\text{C}$  ( $61^{\circ}\text{F}$ )), de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad a  $327.4^{\circ}\text{C}$  ( $621.3^{\circ}\text{F}$ ) y hierve a  $1725^{\circ}\text{C}$  ( $3164^{\circ}\text{F}$ ). Relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos, (Landrigan, 1990).

### 2.2.3. Bioadsorción

Se define como el fenómeno de captación pasiva de iones metálicos, basado en la propiedad que ciertos tipos de biomásas inactivas o muertas poseen propiedades para acumular metales pesados. Debido a la gran afinidad del adsorbente por las especies del adsorbato, este último es atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos. Este proceso continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido (Awwad *et al.*, 2012).

### 2.2.4. Solución acuosa

Se llama solución acuosa a la mezcla de dos o más componentes en el caso de acuosas significa que el agua es el disolvente mayoritario. El agua como disolvente es muy polar y forma puentes de hidrógeno (Hawley, 1993).

### 2.2.5. Salvado de cebada

El salvado de cebada está constituido por parte de la almendra harinosa, la capa de aleurona y el germen, y representa del orden del 8% del peso del grano. En el proceso se obtienen además la cascarilla (20% del peso del grano), rica en fibra (65% FND) y en cenizas (20%, principalmente sílice), y cebada partido. (Serna, 2001).

### 2.2.6. Activación

Es el tratamiento químico que se le aplica a un material adsorbente con un ácido o con una base para crear sitios activos y dar origen a una superficie insaturada (Hawley, 1993).

### 2.2.7. Isoterma de adsorción

La isoterma de adsorción es la relación matemática entre la cantidad de iones adsorbidos por el material adsorbente y la concentración del metal después del proceso de adsorción cuando alcanza el equilibrio. Las isotermas de Langmuir y Freundlich describen el comportamiento de la reacción de adsorción, las cuales se identifican de acuerdo a su forma y curvatura (Volesky y Holan, 1995).

### 2.2.8. Humedad

Es el número de kilogramos de vapor de agua contenidos en un kilogramo de materia húmeda, con esta definición también se puede expresar en % Humedad; el contenido de agua en muestras sólidas (Palma, 2000).

### 2.2.9. Cenizas

Ceniza es el residuo que queda después de la incineración del material orgánico en una mufla y está compuesto por materiales inorgánicos (minerales) en el estado altamente oxidado, los componentes fundamentales son óxido de calcio, sodio, potasio y fósforo (Palma, 2000).

### 2.2.10. Densidad aparente

Es definida como el peso (bajo condiciones específicas) por unidad de volumen en polvo, expresada en gramos por  $\text{cm}^3$  (Fennema, 2000).

## 2.3. HIPOTESIS

### 2.3.1. HIPOTESIS GENERAL

La capacidad de biosorción del catión plomo en solución acuosa, se determina mediante el uso del salvado de cebada, como material adsorbente.

### 2.3.2. HIPOTESIS ESPECÍFICOS

- Las características fisicoquímicas presentes en el salvado de cebada son responsables de la interacción con el plomo.
- La variación de pH tiene mayor incidencia en la remoción de plomo mediante sorción con salvado de cebada.
- La temperatura y el tiempo de contacto son variables que permiten remover plomo de aguas contaminadas.
- Los resultados obtenidos en esta investigación sirven de base para el desarrollo de un modelo matemático que permite su aplicación en la eliminación de plomo presentes en efluentes contaminados.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.1. AMBITO DE ESTUDIO**

El trabajo experimental está compuesto de la caracterización del salvado de cebada, determinación de su capacidad de adsorción de plomo, la cual se determinó con solución valorada de plomo, se hicieron pruebas con soluciones patrón de este catión metálico a diferentes concentraciones y tiempo variado, estos trabajos experimentales se han realizado en la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a condiciones ambientales de 487 mm de Hg de presión, altitud de 3 827 msnm y una temperatura variable entre 10 y 20 °C registrados durante la ejecución de las pruebas experimentales.

#### **3.2. MATERIALES**

##### **3.2.1. MATERIA PRIMA**

La materia prima utilizada es la biomasa de salvado de cebada de la variedad de cebada de semilla protegida caballar, el cual proviene de la empresa molinera el Inka, y fue adquirida en el mercado cono norte de la ciudad de Ayaviri, provincia de Melgar, departamento de Puno.

##### **3.2.2. MATERIAL DE LABORATORIO, REACTIVOS Y EQUIPOS**

A continuación se detallan los materiales, equipos y reactivos empleados:

###### **3.2.2.1. Materiales de laboratorio**

- Papel filtro WHATMAN N° 42.
- Matraz aforado de 500 mL.
- Vaso de precipitados de 100, 250, 400, 1000 mL.

- Crisoles de porcelana.
- Lunas de reloj.
- Probeta graduada de 100 mL.
- Matraces Erlenmeyer: 50, 100, 250 mL.
- Tubos de ensayo.
- Bureta graduada de 50 mL.
- Pipetas: 1, 5, 10 y 25 mL.
- Pro-pipetas.

#### 3.2.2.2. Reactivos

- Agua, destilada y desionizada.
- Ácido clorhídrico HCl, (33 %, Aldrich).
- Sal del metal pesado (nitrate de plomo grado analítico, Aldrich)
- Hidróxido de sodio, NaOH, (Fisher).
- Etylen diamino tetra acético, EDTA (Fluka, grado analítico).
- Ácido tartárico. (Aldrich, Grado analítico).
- Erio cromo negro T, (indicador)
- Solución Buffer pH 10.
- Carbonato de sodio.
- Cloruro de calcio.
- Cloruro de amonio.
- hidróxido de amonio.
- cloruro de hidroxilamina.

#### 3.2.2.3. Equipos

- Estufa eléctrica.
- Balanza analítica, (METTLER TOLEDO).
- Agitador magnético, (LMIN tipo LE-302).
- Equipo de filtración.
- Centrifugadora BOECO xc-2000.
- Baño maría, (PRECISION SCIENTIFIC modelo 66618).
- pH-metro Metrohm 914.
- Bureta automática BRAND class A.

- Juego de tamices, (TAYLER ASTM 200).
- Termómetro.

### 3.3. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

Se prepararon soluciones de acuerdo a los siguientes métodos:

#### **Solución de ácido clorhídrico**

Se ha preparado una solución de HCl 0.1 N, a partir del ácido clorhídrico concentrado, que se diluye con agua destilada hasta la concentración deseada, en un volumen de 100 ml, estandarizado con carbonato de sodio, la misma que se utilizará para el lavado del biopolímero natural.

#### **Solución de EDTA**

Se ha preparado 0.1 M estándar solución de EDTA a partir de 37.22 gramos de dietylen diamino tetra acético en un litro de solución. Se estandarizó con cloruro de calcio previamente secado usando como indicador Eriocromo Negro T, esta solución patrón de EDTA se usó como solución patrón para las pruebas de determinación complexométrica de cationes de metales pesados.

#### **Solución buffer de pH 10**

Esta solución se preparó siguiendo la técnica de disolver 70 gramos de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) en 570 ml de solución de amonio, ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), luego se diluye con agua destilada hasta un volumen final de 1.0 litro, lo cual se guarda en una botella de plástico.

#### **Indicador Eriocromo negro-T**

Tomar 0.1 g de indicador puro y mezclar con 9.9 g de cloruro de sodio finamente molido, lo cual se guarda en un envase pequeño de plástico bien cerrada.

#### **Solución patrón de plomo.**

Con la finalidad de determinar las isotermas de adsorción y demostrar la capacidad de adsorción del salvado de cebada se prepara una solución de plomo, como nitrato, se preparó solución estándar de este metal en agua destilada con una concentración aproximada de 100 mg/L en promedio, el cual fue valorado para determinar la concentración con EDTA 0.0118 M tal como se detalla en las secciones siguientes, esta solución patrón fue utilizado para la prueba de adsorción y determinar la curva de equilibrio de adsorción y la cinética de la misma.

### 3.4. METODOLOGIA

#### 3.4.1. MUESTREO, MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS DEL RIO AYAVIRI

El muestreo, la manipulación y el transporte de las muestras se realizaron según las especificaciones del instructivo de (Environmetal Quaity-Analytical Services S.A - EQUAS S.A.) para monitoreo de calidad de agua. (Ver anexo N° 01)

El muestreo de las aguas del río Ayaviri se realizó en cinco puntos estratégicos (cuadro 5).

El procedimiento es como sigue:

- Adquirimos envases para metales de polietileno de 500 ml previamente esterilizado.
- Se inspeccionó cada punto de muestreo, con el propósito de determinar si nos permitía tomar la muestra representativa.
- En el transcurso de la toma de las muestras se usaron guantes de látex y los envases tuvieron un agente de preservación ( $\text{HNO}_3$ ) 1ml por 500ml de muestra.
- Inmediatamente se etiquetó cada muestra con la fecha, hora y ubicación.
- Las muestras se colocaron en una caja térmica (cooler), para luego ser transportadas al laboratorio de control y calidad de agua de la facultad de ingeniería química en donde se llevó a cabo esta investigación.

Cuadro 5. Muestreo en las aguas del río Ayaviri

Parámetro a analizar	Puntos de muestreo	Ubicación coordenadas	Ubicación en UTM modelo de elipsoide WGS84	Volumen (mL)	Agente de preservación
Plomo (II)	Punto 1: Unión del río santa rosa con los ríos Llallimayo y Macarimayo	Latitud: -14° 48' 20" S Longitud: -70° 43' 19" W	X: 314683.6205536 m Y: 8362442.880119 m Zona: 19 Hemisferio: S	500	HNO <sub>3</sub>
	Punto 2: Fundo de la prelatura de Ayaviri	Latitud: -14° 51' 14" S Longitud: -70° 40' 7" W	X: 320451.65499431m Y: 8357162.777719 m Zona: 19 Hemisferio: S	500	HNO <sub>3</sub>
	Punto 3: Captación río Ayaviri (moya)	Latitud: -14° 53' 29" S Longitud: -70° 35' 42" W	X: 328411.9288354 m Y: 8353059.981672 m Zona: 19 Hemisferio: S	500	HNO <sub>3</sub>
	Punto 4: Sector fundo del Sr. Bellido	Latitud: -14° 54' 30" S Longitud: -70° 30' 26" W	X: 337861.9045917 m Y: 8351252.111626 m Zona: 19 Hemisferio: S	500	HNO <sub>3</sub>
	Punto 5: Unión del río Ayaviri y ventilla	Latitud: -14° 57' 7" S Longitud: -70° 26' 51" W	X: 344306.6493352m Y: 8346470.660947 m Zona: 19 Hemisferio: S	500	HNO <sub>3</sub>

Fuente: elaboración propia

### 3.4.2. CARACTERIZACIÓN DEL SALVADO DE CEBADA

La materia prima utilizada en el presente trabajo proviene de la zona rural de la provincia de Melgar distrito de Ayaviri, región Puno. Las referencias iniciales del cultivo de esta gramínea data desde tiempos antiguos, ya sea para forraje de animales en verde o para consumo humano de la semilla cosechada al madurar.

El material de trabajo se ha encontrado en forma de sub producto o deshecho de la cebada, el producto en si tiene estudios muy detallados acerca de su cultivo, producción propiedades fisicoquímicas y composición. (Ministerio del ambiente, 2007)

#### 3.4.2.1. Características físicoquímicas

##### A. Características físicas.

La determinación de estas propiedades físicas se realizó por observación manual directa

Las características físicas principales son:

Lustre, Raya, sistema, cristales, estructura, color

El tamaño de partícula del adsorbente se determinó por análisis granulométrico.

### **B. Características fisicoquímicas.**

Para la determinación de humedad, ceniza, densidad aparente, pH y caracterización por espectrofotometría de infrarrojo se han realizado los siguientes procedimientos:

#### **Determinación de la humedad.**

En la determinación de humedad se realizó el siguiente método (Palma, 2000):

- Se colocó la cápsula de porcelana en una estufa durante 20 minutos, después se enfrió en un desecador y se pesó.
- Seguidamente se pesó 5 g de la muestra sobre la cápsula de porcelana ( $W_t$ ).
- La muestra se introdujo dentro de la estufa a 105 °C durante 3 horas.
- La muestra se retiró de la estufa y se introdujo dentro de un desecador durante 30 min. Luego se pesó la muestra con la cápsula.
- Finalmente para llegar hasta peso constante ( $W_f$ ), se volvió a colocar la muestra en la estufa por 30 min.

$$\%Humedad = \frac{W_t - W_f}{W_h} * 100 \quad (3-1)$$

Donde:

$W_t$  = Peso de la capsula + muestra húmeda.

$W_f$  = Peso de la capsula + muestra seca.

$W_h$  = Peso de la muestra húmeda.

#### **Determinación de cenizas**

En un crisol previamente secado y pesado se colocaron 2 g de muestra a 600 °C en una mufla por un tiempo de 3 horas. Seguidamente el crisol con la muestra se retiró de la mufla y se enfrió en un desecador hasta peso constante. Los cálculos se realizaron considerando la masa de la muestra incinerada como el 100% (Palma, 2000).

$$\%Cenizas = \left( \frac{CC - C}{W} \right) * 100 \quad (3-2)$$

Donde:

CC = Peso del crisol + cenizas.

C = Peso del crisol.

W = Peso de la muestra.

La determinación se realizó por duplicado y se reportó el promedio aritmético.

### **Determinación de la densidad aparente**

La densidad aparente se determinó por el método gravimétrico, el cual consistió en pesar sobre la balanza analítica, una cantidad (W) de 5 g que luego se sometió a caída libre en el interior de una probeta graduada de 25 mL y se midió el (V) volumen (mL) que ocupó la muestra a temperatura ambiente (Fennema, 2000).

$$Densidad = \frac{W}{V} \quad (3-5)$$

Donde:

W = Cantidad de la muestra pesada (g).

V = Volumen ocupado por la muestra (mL).

D = Densidad aparente (g/mL).

### **Determinación del pH**

El pH se determinó con un pH metro, el cual consistió en pesar sobre la balanza analítica, una cantidad (W) de 10 g con 25ml de agua destilada en un matraz de 250 mL el cual se agito por 15 minutos y se dejó en reposo para luego leer el pH. (Fennema, 2000).

### **3.4.3. TRATAMIENTO DEL BIOPOLÍMERO NATURAL (SALVADO DE CEBADA) PARA LA ADSORCIÓN.**

El tratamiento del biopolímero natural para las pruebas de adsorción consistió en lo siguiente:

#### **3.4.3.1. Tratamiento físico.**

El tratamiento que se hizo al salvado de cebada es la reducción de tamaño, esto para aumentar la superficie de contacto, con un molino, por abrasión y fricción, luego este fue tamizado en un tamiz hasta malla 100.

#### **3.4.3.2. Tratamiento químico.**

Preparación, lavado y secado del salvado de cebada:

Al salvado de cebada reducido a malla 100 se le adicionó una solución de HCl 0.1 M, para la activación manteniéndolo en reposo por un lapso de 24 horas, para luego ser lavado varias veces con agua hasta pH neutro. De 50 g de biopolímero molido y tamizado en malla 100 se obtiene 20 g de este material que se coloca en una cápsula refractaria, lavándose con agua destilada, con el fin de eliminar algunas sustancias solubles. Se secan cuidadosamente en una estufa a temperatura de 70 °C por 48 horas.

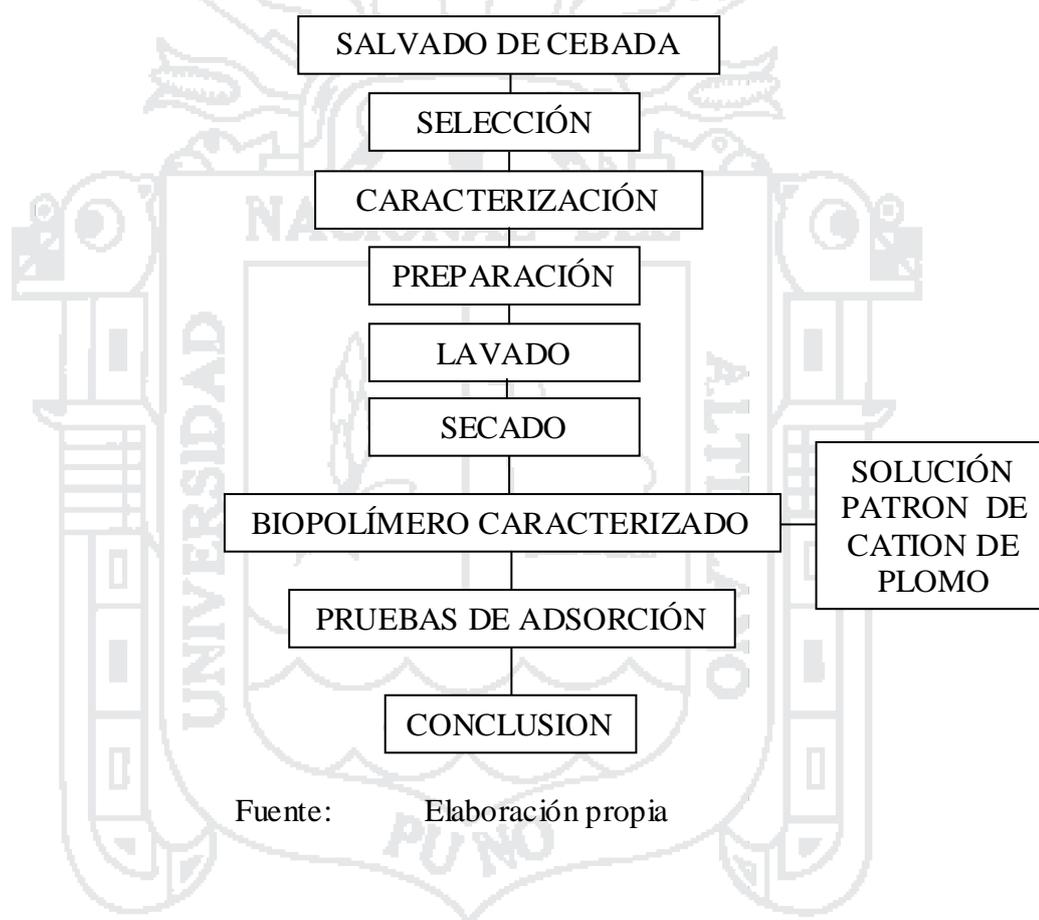
#### **Activación del salvado de cebada**

Debido a la complejidad del proceso de activación y del número de variables que afectan las propiedades del producto resultante es difícil prever las condiciones óptimas. Como variables se eligen, la naturaleza y concentración del ácido, tiempo que dura la acción del ácido, temperatura del proceso, relación biopolímero activo/volumen de ácido, tamaño de partícula. Para ello existen diversos métodos de activación en los que cada investigador elige las variables que considere más adecuado de acuerdo a la naturaleza del material original.

De acuerdo al estudio físico químico se procede al tratamiento de la muestra después de una trituración y molienda no mayor a malla 100 se lava varias veces con agua destilada para disolver los compuestos solubles en agua, para luego añadir un ácido inorgánico (HCl), una vez mezclado se filtra al vacío y se lava el sólido filtrado por varias veces con agua destilada hasta restaurar el pH entre 6 y 7, seguidamente se somete a un secado a 70 °C.

La activación del salvado de cebada se realiza con la finalidad que la presencia de un ácido fuerte protona y deprotona los sitios donores compuesto por los átomos de oxígeno o el nitrógeno presentes en la estructura del adsorbente, para la facilitar la coordinación de los iones metálicos de plomo de carga positiva con los átomos donores en donde se forma los momentos dipolares negativos.

**DIAGRAMA 1. CUALITATIVO PARA LAS PRUEBAS DE ADSORCIÓN DEL BIOPOLÍMERO NATURAL**



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4. PROCESO DE BIOADSORCION DEL ION PLOMO (II)

Para las pruebas del proceso de biosorción de los iones Pb (II) se desarrolló el siguiente procedimiento:

#### 3.4.4.1. Determinación del peso óptimo de adsorción de plomo

Se tomaron 1 g de salvado de cebada de tamaño de partícula (malla 100) y se colocaron en 4 erlenmeyers.

A cada erlenmeyer se le agregó 25 mL de una solución de Pb (II) a una concentración de 50, 70, 100 y 200 mg/L.

El mismo procedimiento se realizó tomando otros pesos de salvado de cebada (1.5, 2, 2.5 y 3 g) y agregándosele a cada erlenmeyer respectivamente.

Las muestras se colocaron en un agitador durante 40 minutos a 120 rpm.

Se filtraron las muestras y la determinación de plomo se realizó por complexometría.

#### 3.4.4.2. Determinación del tiempo máximo de adsorción.

La adsorción depende de la rapidez de cada uno de los procesos de la difusión de los iones desde el seno del líquido hasta la superficie externa de una partícula, hasta el sitio del intercambio.

Las pruebas de intercambio han permitido establecer la máxima adsorción con respecto a la capacidad de adsorción del salvado de cebada.

Para la muestra se ha efectuado pruebas experimentales en la que se evalúa el intercambio a diferentes intervalos de tiempo y después del equilibrio, las pruebas experimentales se prepararon para determinar el tiempo de adsorción los cuales se analizaron en base al siguiente cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba experimental para la determinación del tiempo máximo de adsorción

Experimento	Salvado de cebada (Gramos)	Solución del metal Pesado inicial, (mg/L)	Tiempo (min)
1	2.5	100	5
2	2.5		10
3	2.5		20
4	2.5		30
5	2.5		60
6	2.5		90
7	2.5		120
8	2.5		150
9	2.5		180
10	2.5		240

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4.3. Determinación del pH de adsorción.

Debido a que en los sistemas en solución el comportamiento de los iones metálicos está sujeto a la concentración de iones hidrogeno y sus respectivos aniones en los procesos de adsorción la medición de pH fue un parámetro determinante.

Se evaluó la adsorción del catión de plomo a diferentes pH y se determinó el pH óptimo, según el cuadro 7.

**Cuadro 7. Determinación del pH óptimo para la remoción del plomo**

Experimento	Salvado de cebada (g)	Solución del metal Pesado inicial, (mg/L)	Tiempo (min)	pH
1	2.5	100	5	Variación de 3 a 10
2	2.5		10	
3	2.5		20	
4	2.5		30	
5	2.5		60	
6	2.5		90	
7	2.5		120	
8	2.5		150	
9	2.5		180	
10	2.5		240	

Fuente: elaboración propia

### 3.4.4.4. Determinación de la temperatura de adsorción.

Igualmente en el cuadro 8, se evaluó la adsorción del catión de plomo a diferentes temperaturas y se determinó la temperatura óptima.

**Cuadro 8. Determinación de la temperatura para la adsorción del plomo**

Experimento	Salvado de cebada (Gramos)	Solución del metal Pesado inicial, (mg/L)	Tiempo (min)	Temperaturas °C
1	2.5	100	5	Variación de 15 a 30
2	2.5		10	
3	2.5		20	
4	2.5		30	
5	2.5		60	
6	2.5		90	
7	2.5		120	
8	2.5		150	
9	2.5		180	
10	2.5		240	

Fuente: elaboración propia

### 3.4.4.5. Determinación de la adsorción de plomo

La evaluación de la capacidad de adsorción del salvado de cebada hacia los cationes de plomo, se evaluaron por lotes o batch analizando la concentración del plomo antes y después del equilibrio mediante titulación complexométrica con EDTA.

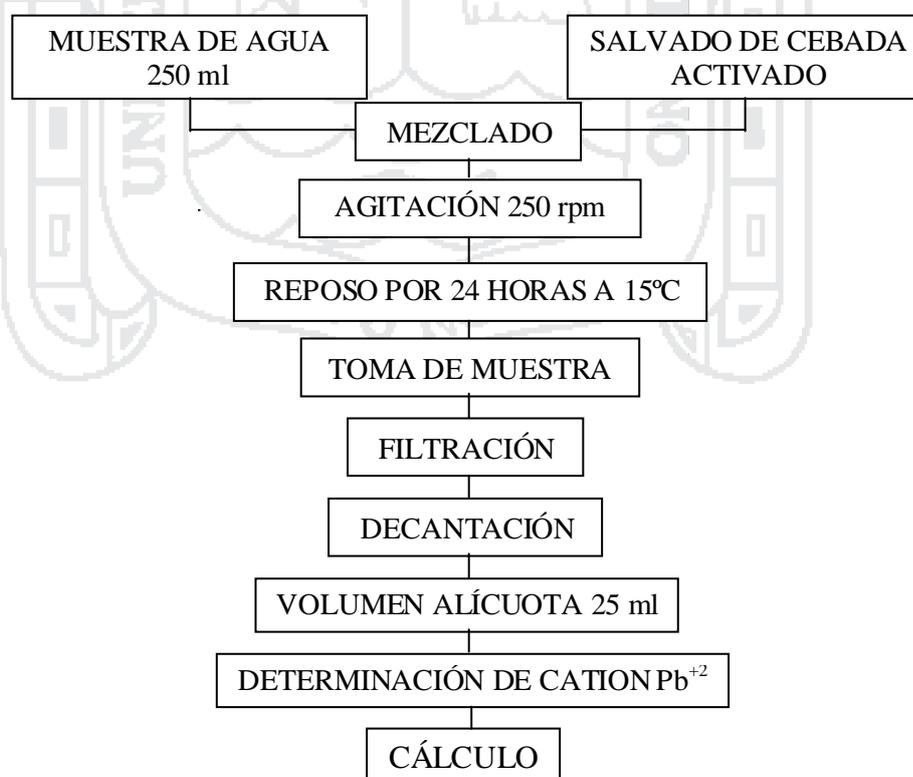
### 3.4.4.6. Determinación de adsorción de plomo de las aguas del río Ayaviri

Las pruebas de adsorción de plomo de las aguas del río Ayaviri, se ha desarrollado con muestras de agua provenientes de 5 puntos anteriormente descritos del río Ayaviri.

#### Procedimiento.

Se pesa 25 gramos de salvado de cebada previamente tratada, se coloca en un frasco, se le añade 250 ml de agua cruda, se agita y se mantiene en reposo por 24 horas en una bañó maria a 15 °C. Después de transcurrido el tiempo se filtra a un vaso de precipitados, se toma un volumen alícuota para hacer la valoración complexométrica para la determinación de los iones de plomo, antes y después del intercambio, las muestras a analizar se muestra en el anexo 03. Se hace los respectivos cálculos, tal como se muestra en el diagrama 2.

**DIAGRAMA 2 CUALITATIVO PARA LA ADSORCIÓN DEL PLOMO DE LAS AGUAS DEL RIO AYAVIRI**



Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.4.7. Análisis de la muestra

##### Procedimiento

Se pesa 2.5 g de salvado de cebada en 4 erlenmeyer de 250 ml de capacidad, para cada muestra: se coloca en los recipientes etiquetados con las denominaciones 1 hasta 4. Se le añade 25 ml de solución de plomo con una concentración de que varía de 50 a 200 mg/L, se agita y se pone en reposo por 24 horas en baño María a 15 °C, transcurrido el tiempo se toma un volumen alícuota de la solución resultante para su evaluación.

La concentración final de plomo en la muestra se determinó por el método complexométrico (Flaschka, 1995):

- 1) De la muestra filtrada, se tomó alícuota de 25 mL en un matraz de 150 mL y se disolvió a 50 mL con agua destilada.
- 2) Seguidamente se adicionó 3 mL de solución buffer pH 10.
- 3) Luego se adicionó 0,02 g de ácido tartárico con una espátula y se agitó la solución.
- 4) Finalmente se procedió a titular con solución de EDTA 0,1 M hasta el cambio de color violeta a color azul.

#### 3.4.4.8. Evaluación de las variables.

Las pruebas experimentales a realizar necesitan caracterizar el biopolímero natural y establecer como constantes los parámetros siguientes:

- El tiempo en que el salvado de cebada alcanza el equilibrio con la solución intercambiadora que contiene el catión metálico.
- La concentración efectiva en el equilibrio.

Las variables a estudiar influyen en la variable respuesta. Y las variables elegidas que podemos controlar son:

##### **pH**

La mayoría de las aguas naturales tienen valores de pH entre 4 y 10 y las condiciones de operación para una zeolita natural se encuentra en los rangos de pH 6.8 y 8.0, razón por el cual, se elige como una variable, para las condiciones de operación con el salvado de cebada.

##### **Temperatura**

Esta referida a la temperatura del ambiente para el intercambio iónico. En nuestro medio la temperatura oscila en un promedio de 10°C a 18 °C y las condiciones de operación

para un biopolímero natural se puede considerar aproximadamente igual a 30°C de temperatura máxima tal como cita Dabrowski.

Los niveles antes indicados, para la temperatura y las condiciones de trabajo para un biopolímero natural, han permitido determinar el máximo y mínimo rango de temperatura para el diseño experimental desde 15 hasta 30 °C para el biopolímero natural y determinar las condiciones de operación.

### 3.4.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.4.5.1. Diseño central compuesto rotacional de segundo orden.

La rotabilidad se obtiene haciendo pruebas a puntos espaciados alrededor de una circunferencia en el plano  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x_3$ , con el centro de (0.0), los puntos de la circunferencia caen en los vértices del polígono regular, el diseño consiste en un cubo con centros en las caras, en la práctica se requieren tres puntos centrales para la estimación del error experimental.

Las variables establecidas se muestran en la Tabla 4 a la que se le denomina variables naturales.

TABLA 4. DATOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Símbolo	Variables independientes	Unidades	$X_{\min}$	$X_{\max}$
$X_1$	Tiempo de adsorción	Min	5	240
$X_2$	pH	pH	3	10
$X_3$	Temperatura	°C	15	30

Fuente: Elaboración propia

La variable respuesta “Y” está en función a la capacidad de adsorción del biopolímero natural por gramo tal como se muestra a continuación.

TABLA 5. VARIABLE RESPUESTA

Símbolo	Variable dependiente	Unidad
Y	Capacidad de adsorción de Pb (II)	mg de $Pb^{2+}$ / g de salvado de cebada

Fuente: Elaboración propia

**3.1.5.2. Sistema del diseño experimental.**

Un paso preliminar del experimento consiste en establecer las relaciones entre la  $X_1$  codificadas y los valores originales en los cuales se registraron los niveles. El número de experimentos se calculó según la ecuación siguiente:

$$N = 2^k + 2*k + n_0 \quad (3-7)$$

Donde:

$N$  = es el número de experimentos

$k$  = es el número de factores

$n_0$  = es el número de puntos centrales

Reemplazando en la ecuación (3-7) tenemos:

$$N=2^3 + 2(3) +3 \Rightarrow N=17 \text{ experimentos.}$$

Se colocan en 17 matraces Erlenmeyer un volumen de 25 mL de solución de Pb (II) 100 mg/L y se añade cantidad de adsorbente de 2.5 g; se regula el pH con HCl 0,1 M a valores de pH 3 y 10 con variación de temperatura de 15 y 30 °C se agitan todos los ensayos a 120 rpm con variación del tiempo entre 5 y 240 min como indica la matriz de diseño de la tabla 6.

**TABLA 6. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Exp	Relación de Variables	MATRIZ DE DISEÑO			
		VARIABLES CODIFICADAS			
		$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	1	+1	-1	-1	-1
2	a	+1	+1	-1	-1
3	b	+1	-1	+1	-1
4	ab	+1	+1	+1	-1
5	c	+1	-1	-1	+1
6	ac	+1	+1	-1	+1
7	bc	+1	-1	+1	+1
8	abc	+1	+1	+1	+1
9	axial	+1	+1.414	0	0
10	axial	+1	-1.414	0	0
11	axial	+1	0	+1.414	0
12	axial	+1	0	-1.414	0
13	axial	+1	0	0	+1.414
14	axial	+1	0	0	-1.414
15	central	+1	0	0	0
16	central	+1	0	0	0
17	central	+1	0	0	0

Fuente: MONTGOMERY (2004)

Basado en el diseño se han efectuado las pruebas experimentales en el laboratorio para la respuesta del vector observación. Lo cuales se analizaron aplicando el paquete estadístico MINITAB 17

### Ecuación de regresión

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2 + b_8X_1X_3 + b_9X_2X_3 \quad (3-8)$$

Donde:

Y: variable respuesta.

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> y X<sub>3</sub>: variables codificadas

b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>, b<sub>5</sub>, b<sub>6</sub>, b<sub>7</sub>, b<sub>8</sub> y b<sub>9</sub>: coeficientes de la ecuación de regresión.

#### A. Análisis estadístico

El análisis estadístico del diseño experimental central compuesto ortogonal se realiza utilizando el paquete estadístico MINITAB 17.

### 3.4.6. ISOTERMA DE ADSORCIÓN

Se colocan en 4 matraces Erlenmeyer un volumen de 25 mL a cada uno pero con diferentes concentraciones de Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (50, 70, 100 y 200 mg/L) en los cuales se trabajan con los valores óptimos que se obtengan del diseño experimental de cantidad de adsorbente de 2.5 g, pH 5 y temperatura de 15 °C, con agitación de 120 rpm durante 60 min. Al finalizar las pruebas los matraces se filtran y se analizan por titulación complexométrica.

Para calcular la capacidad de adsorción se emplea la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{(C_i - C_f)}{W} \quad (3-9)$$

Donde:

q<sub>e</sub> : capacidad de adsorción (mg/g).

C<sub>i</sub>: concentración inicial del adsorbato (mg/L).

C<sub>f</sub>: concentración final del adsorbato (mg/L).

W: cantidad de adsorbente utilizada (g).

### 3.4.6.1. Ajuste a una isoterma de equilibrio

Los datos experimentales se representan de acuerdo con las isotermas de adsorción mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Isotermas de adsorción.

Isoterma	Ecuación
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * b} + \frac{1}{q_{max}} * C_e$
Freundlich	$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} * \log C_e$

Fuente: Davis *et al.* (2003).

Donde:

$q_e$  : capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g).

$C_e$  : concentración final del adsorbato en el equilibrio (mg/L).

$q_{max}$  : capacidad máxima de adsorción (mg/g).

$b$  : constante de Langmuir relacionada con la afinidad del adsorbente por el adsorbato.

$K$  : constante de Freundlich, es un indicador del equilibrio adsorción.

$n$  : intensidad de adsorción.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos del capítulo anterior, a través de tablas y figuras, la interpretación de los mismos y la discusión basado en el marco teórico, marco conceptual y en los antecedentes de este trabajo.

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SALVADO DE CEBADA

##### 4.1.1. Características físicas

Las características físicas que presenta el salvado de cebada son las siguientes:

##### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SALVADO DE CEBADA

Lustre	:	mate
Raya	:	no
Sistema	:	amorfo.
Estructura	:	terrosa a grano fino.
Color	:	claro parduzco.

Posee capacidad para absorber agua con el consiguiente aumento de volumen, es higroscópico.

##### 4.1.2. Características fisicoquímicas

En la tabla 8 se reportan los resultados del análisis fisicoquímico del salvado de cebada.

Tabla 8. Análisis fisicoquímico del salvado de cebada.

Composición	Unidades	Valores Promedios
Humedad	%	20.02
Cenizas	%	5.16
Densidad aparente	g/mL	0.38
Ph	pH	6.27

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis fisicoquímico del salvado de cebada muestran un contenido de humedad de 20,02%; indica que tiene contenido de agua; se observa un menor porcentaje de ceniza 5,16% este valor constituye el residuo inorgánico.

La densidad aparente es 0,38 g/mL significa que en 1 mL están contenidos 0,38 g de salvado de cebada y pH de 6,27 indica que el salvado de cebada tiene carácter ligeramente ácido.

Por su parte Quispe (2010), realizó el análisis fisicoquímico de la raíz de queñua con los siguientes resultados: cenizas 6,3%; densidad aparente 0,5 g/mL y pH de 5,53.

Comparando estos resultados con los obtenidos por este trabajo, se observa que el salvado de cebada presenta un valor ligeramente mayor de pH de 6,27. Los valores de ceniza 5,16% y de densidad aparente 0,38 g/mL del salvado de cebada son similares a los obtenidos por la raíz de queñua.

#### 4.1.3. Caracterización por espectrofotometría infrarrojo del salvado de cebada

La caracterización química del salvado de cebada se realizó mediante un análisis espectrofotométrico de rayos Infrarrojo (Espectrofotómetro Infrarrojo PERKIN ELMER, FRONTIER), de la Universidad Nacional de Ingeniería, facultad de ciencias, laboratorio N° 12 (LABICER).

En la Fig. 4 se puede apreciar los resultados de análisis mediante rayos infrarrojo en un gráfico de % de Transmitancia versus la frecuencia de vibración en  $\text{cm}^{-1}$  las diferentes señales de los grupos funcionales que a continuación se identifican.

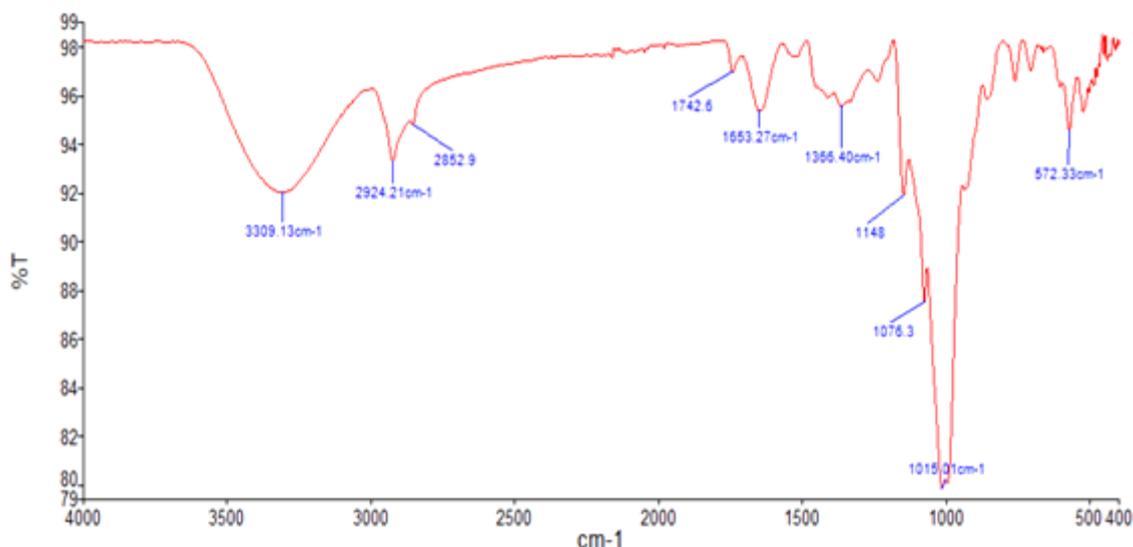


Fig. 4 Espectro infrarrojo de la muestra de salvado de cebada, corresponde a la celulosa

Cuadro 9. Asignación de los picos en el espectro de la muestra de salvado de cebada.

PICOS (cm <sup>-1</sup> )	VIBRACION	ESTRUCTURA
3309.13	O-H	
2924.21	C-H <sub>2</sub>	
2852.9	C-H	
1366.40	C-O-C	
1148	C-O-C	
1015.01	C-O	

Fuente: INFORME TÉCNICO N°1530 – 16 – LAB. 12. (Ver anexo N° 04)

Del análisis del cuadro 9 se puede concluir que el salvado de cebada está compuesto por una familia carbonada por la frecuencia de absorbancia identificada.

La presencia en la estructura química de un adsorbente de grupos funcionales que contengan grupos oxígeno e hidroxilo, determinan la selectividad y/o afinidad de una adsorción, en base a este postulado citado por Izatt y colaboradores, podemos concluir que el salvado de cebada seleccionado para este estudio por la presencia de los grupos oxígeno e hidroxilo coordina e inmoviliza al catión metálico plomo.

Afinidad grupos funcionales e iones metálicos.

Tipo de ligandos	Ligandos	Grupos de metales
I : ligandos que prefieren al grupo	$H^{-}$ , $I^{-}$ , $R^{-}$ , <b>OH</b> , <b>CO</b> , $S^{2-}$ , $RS^{-}$ , $R_2S$ , $R_3As$ .	Grupo: Rh, Pd, Ag, Lr, Pt, Au, Hg, Ti, <b>Pb</b> , Bi

Fuente: J. Plaza Cazón (2012).

## 4.2. ACTIVACION DEL SALVADO DE CEBADA

Se ha pesado aproximadamente 20 gramos de salvado de cebada, para cada frasco, sobre el que se añade 30 mL de HCl (0.1 M), se deja en reposo por 30 minutos, se filtra y se lava el salvado de cebada con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, de este material lavado y secado se pesa 2.5 gramos de adsorbente y se añade la solución patrón de plomo ( $Pb(NO_3)_2$ ), según el diseño experimental, ajustándose previamente el pH, se somete cada frasco al baño isotérmico a la temperatura indicada por 24 horas aproximadamente hasta que sedimento y el líquido sobrenadante se valora contrastándose con la solución patrón obtenido dándose un valor para la respuesta.

## 4.3. PROCESO DE BIOADSORCIÓN DEL ION PLOMO (II)

### 4.3.1. Adsorción de plomo mediante el salvado de cebada

La capacidad de adsorción de salvado de cebada se realizó a 15 °C y 487 mm de Hg de presión, la temperatura se mantuvo constante mediante un baño maría como se describe en la parte experimental. El salvado de cebada debidamente activado, con ácido clorhídrico 0.1 M se utilizó como medio adsorbente para determinar y caracterizar la capacidad de adsorción de este biopolímero natural.

### Análisis de resultados

Los resultados de la adsorción de plomo mediante el uso de salvado de cebada, fueron realizados en proceso batch como se describe en la parte experimental utilizando el salvado de cebada previamente activado con ácido clorhídrico, se evalúa con la solución del nitrato de plomo analizando la concentración antes y después del equilibrio, la cantidad de iones intercambiables del metal pesado se evaluaron por titulación complexométrica con una solución de EDTA. Cuyos resultados discutimos a continuación:

**4.3.1.1. Adsorción de iones de plomo, (nitrato como anión) en función de pesos del salvado de cebada activado y diferentes concentraciones iniciales de plomo.**

Se realizó para encontrar el peso óptimo el que se obtiene al mantener en contacto el adsorbato ( $Pb^{2+}$ ) con el adsorbente (salvado de cebada), tamaño de partícula malla 100, el proceso de pretratamiento estabiliza la biomasa y lo hace un mejor adsorbente ya que se forman mallas estructurales que mejoran la capacidad de adsorción, en este proceso se mantuvo un pH 5, temperatura de 15 °C con agitación constante 120 rpm, ya que los iones Plomo se encuentran libres, los resultados se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9. Resultados de la adsorción a diferentes pesos de salvado de cebada activada y concentraciones iniciales de plomo.**

Peso de salvado de cebada activada, (g)	Tiempo contacto (min)	Concentración de plomo inicial 200 mg/L	Concentración de plomo inicial 100 mg/L	Concentración de plomo inicial 70 mg/L	Concentración de plomo inicial 50 mg/L
1	40	76.88	48.13	32.34	21.46
1.5	40	85.77	52.55	34.91	23.54
2	40	94.31	55.22	35.44	24.05
2.5	40	100.08	57.13	36.15	24.52
3	40	101.46	57.04	36.06	24.49

FUENTE: Elaboración propia.

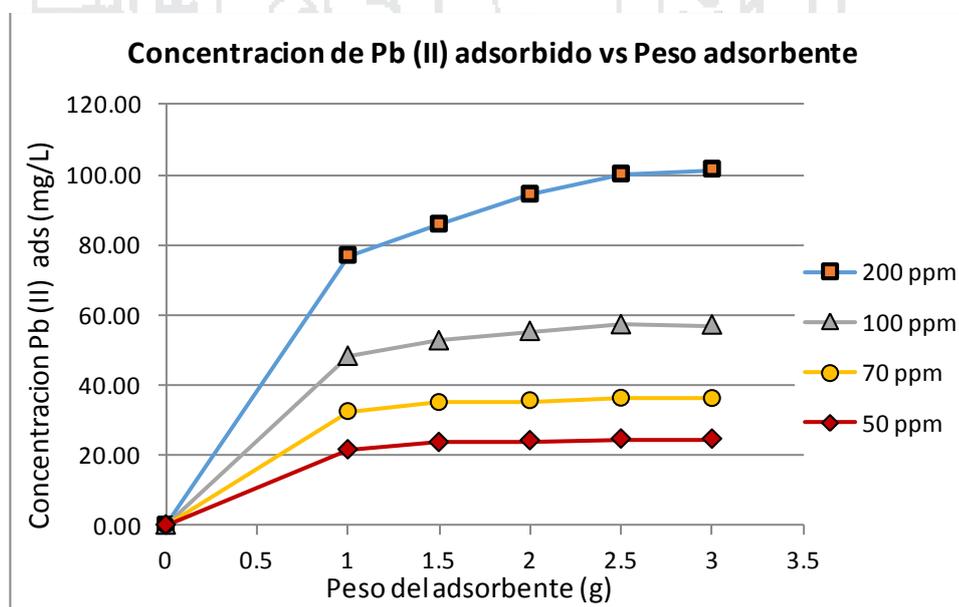


Figura 5. Isotermas de adsorción a diferentes concentraciones de Pb (II) y pesos

La Figura 5 muestra las isotermas de equilibrio a diferentes concentraciones de Pb (II) y a diferentes pesos de material adsorbente. En esta misma figura se observa que a medida que aumenta el peso de bioadsorbente aumenta la biosorción de Pb (II). Con lo

que se concluye que la partícula aumenta la capacidad de biosorción y hay mayor capacidad de formar enlaces con el biosorbente, el peso óptimo de bioadsorbente es 2.5 g y concentración de 100 mg/L para los experimentos subsiguientes.

#### 4.3.2. EVALUACION DE LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES

##### 4.3.2.1. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de plomo (II) mediante el salvado de cebada activado.

La adsorción de plomo mediante el salvado de cebada en una proporción de 2.5 gramos de salvado de cebada en contacto con 25 ml de solución de plomo de una concentración 100 mg/L. Los resultados de efecto del tiempo de contacto del adsorbente (salvado de cebada) con solución de plomo se muestran en la tabla 10 y fig 6.

**Tabla 10. Resultados de la adsorción de plomo (II), por adsorción con salvado de cebada activado, para determinar el tiempo máximo de adsorción**

Peso de salvado de cebada, (g)	Tiempo de equilibrio (min)	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L	[Pb] <sub>Ads</sub> , mg/L
2.5023	5	63.458	36.694
2.5032	10	51.265	48.887
2.5017	20	47.841	52.311
2.5029	30	44.349	55.803
2.5041	60	42.138	58.014
2.5021	90	42.131	58.021
2.502	120	42.129	58.023
2.5035	150	42.123	58.029
2.5014	180	42.120	58.032
2.5026	240	42.098	58.054

Fuente: Elaboración propia.

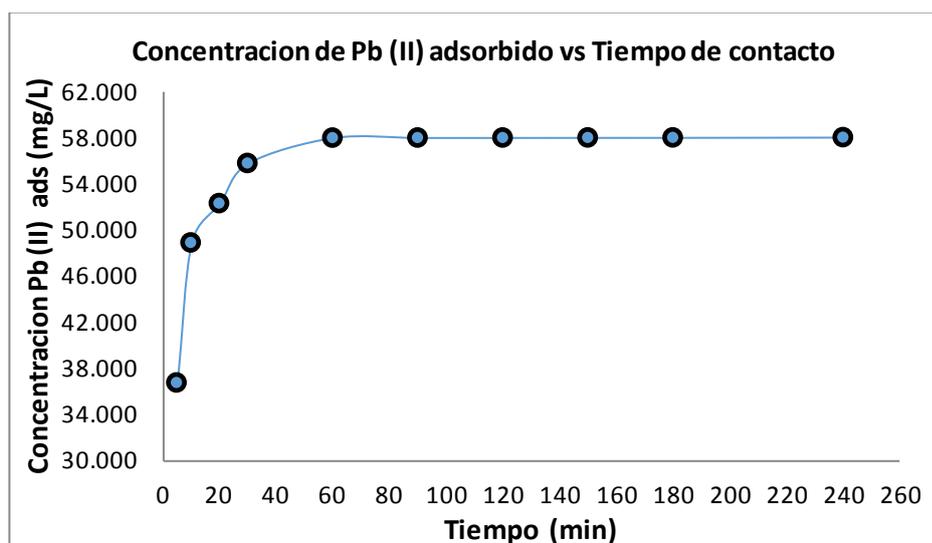


Fig. 6. Tiempo máximo de adsorción de plomo mediante el uso de salvado de cebada.

Como se muestra en la Tabla 10 y la Figura 6, la difusión de iones alcanza el equilibrio desde el seno del líquido hasta la superficie externa de la partícula intercambiada, difundándose a través del sólido hasta el sitio de adsorción del salvado de cebada en 60 minutos, que viene a ser el tiempo de contacto necesario para alcanzar el equilibrio.

Por lo que la máxima adsorción equivale a una concentración de 58.014 mg/L/g para un tiempo de absorción óptimo de 60 minutos, como se muestra en la Fig. 6, de lo que se puede deducir que la adsorción de plomo mediante el salvado de cebada aumenta con el tiempo hasta alcanzar una concentración máxima de absorción para un tiempo de contacto de 60 minutos, después de este tiempo la concentración de plomo absorbido se hace constante debido a que la velocidad de adsorción alcanza el equilibrio solvente soluto.

Algunos autores muestran procesos de adsorción muy rápidos, pero una gran mayoría coincide que el tiempo requerido se encuentra en el rango de 0.5 a 3 horas de contacto para alcanzar el equilibrio.

Visto de otra forma puede apreciar en la figura 6 la concentración de la solución de plomo en función del tiempo (min), en el cual se tomaron las muestras periódicamente desde el tiempo cero hasta alcanzar el equilibrio, se puede apreciar que cerca del 50% de la adsorción de Plomo ha ocurrido dentro de los 20 a 30 min. de agitación y apreciándose una disminución de la concentración durante los siguientes minutos.

El equilibrio fue alcanzado dentro de los 60-150 min. donde no se observaron diferencias significantes en el perfil cinético mostrado en la figura 7.

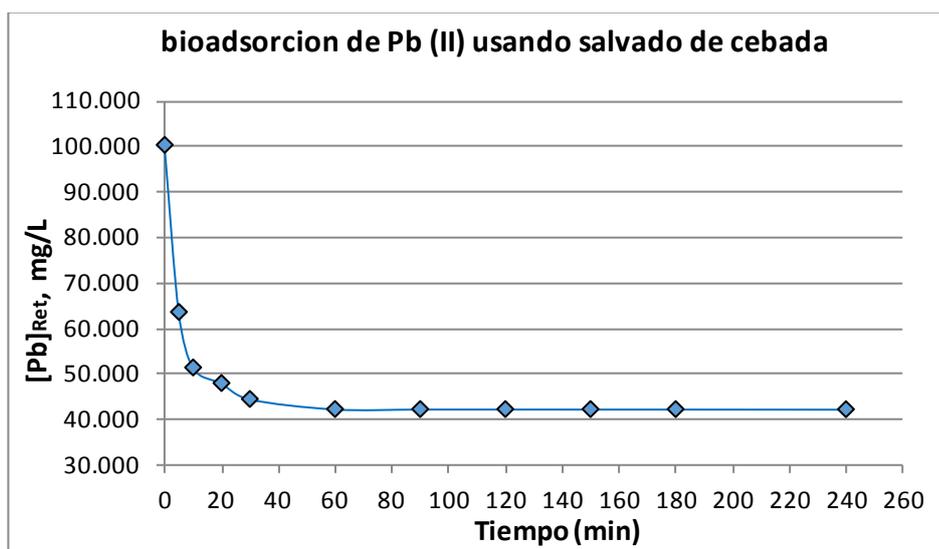


Fig 7. Proceso de adsorción de Pb (II) con salvado de cebada a una concentración inicial de 100 mg/L.

**4.3.2.2. Efecto del pH en la adsorción de plomo (II) mediante el salvado de cebada.**

Para determinar el efecto del pH en la adsorción de plomo mediante el salvado de cebada se corrió experimentos a pH diferentes (3, 5, 7, 8 y 10) a una concentración inicial de 100 mg/L. Los resultados de efecto del pH en el proceso de adsorción durante el contacto del adsorbente (salvado de cebada) con solución de plomo se muestran en la tabla 11 y fig. 8.

**Tabla 11. Efecto del pH sobre la adsorción de nitrato de plomo (II), mediante salvado de cebada.**

Tiempo de equilibrio (min)	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a pH 3	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a pH 5	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a pH 7	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a pH 8	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a pH 10
5	22.161	36.694	5.533	2.666	0.168
10	40.127	48.887	8.775	4.996	0.584
20	45.958	52.311	10.263	5.614	1.293
30	50.584	55.803	12.554	6.137	1.551
60	51.986	58.014	13.991	6.886	1.956
90	52.007	58.021	13.998	6.901	1.969
120	52.015	58.023	14.104	6.907	1.974
150	52.053	58.029	14.171	6.912	1.971
180	52.068	58.032	14.055	6.917	1.975
240	52.051	58.054	14.179	6.911	1.973

Fuente: Elaboración propia

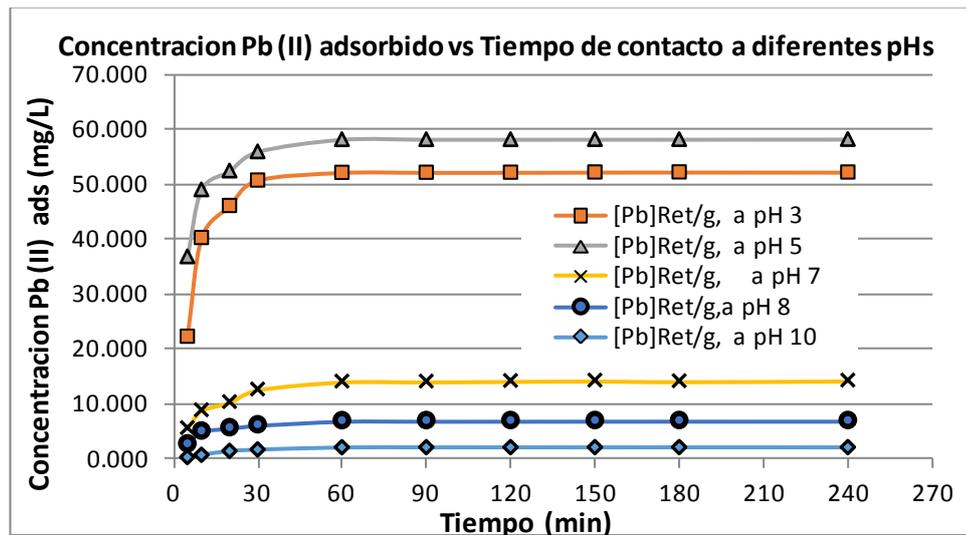


Fig. 8. Efecto del pH sobre la adsorción de plomo mediante el uso de salvado de cebada.

Variando el pH desde 3 (ácido) hasta 10 (básico), como se muestra en la Fig. 8 y tabla 11. La eliminación aumentó de 51.986 a 58.014 mg/L/g cuando el pH aumenta de 3 a 5. A pH 7 (neutro) la eliminación es de 13.991 mg/L/g y a partir de entonces la adsorción se redujo de 13.991 a 1.956 mg/L/g cuando se aumentó el pH de 7 a 10 como se muestra en la Fig. 8. El pH óptimo para la adsorción de Pb (II) mediante el salvado de cebada fue de 5.

En la Fig. 8 se muestra claramente que la adsorción de plomo fue mayor en un pH ácido. Sin embargo, mostrando una eliminación menor a pH básico y alcanzando un máximo a pH 5 esto debido que a pH ácido la superficie del adsorbente es altamente protonado el cual no es favorable para la absorción de plomo. Esto porque en solución  $Pb^{++}$  es la especie dominante debido a la repulsión eléctrica con la superficie del adsorbente. Cuando el pH aumentó el grado de protonación de la superficie se reduce gradualmente, que implica como resultado un aumento gradual en la adsorción de plomo.

#### 4.3.2.3. Efecto de la temperatura en la adsorción de plomo (II) mediante el salvado de cebada activado.

La temperatura de plomo se varió desde la temperatura ambiente hasta una temperatura de 30 °C, todos medidos hasta un tiempo máximo de adsorción de 4 horas, para un trabajo de extracción a pH 5.00, cuyos datos e muestran el Tabla 12.

**Tabla 12. Efecto de la temperatura sobre la adsorción de nitrato de plomo (II), mediante salvado de cebada.**

Tiempo de equilibrio (min)	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a 15 °C	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a 25°C	[Pb] <sub>Ret</sub> , mg/L a 30 °C
5	35.014	28.684	23.663
10	49.686	43.029	37.127
20	53.931	51.887	45.508
30	54.586	52.987	50.284
60	56.363	54.996	52.986
90	56.491	55.203	53.096
120	56.904	56.136	53.257
150	57.173	54.186	53.389
180	57.164	55.253	53.168
240	57.127	55.387	53.149

Fuente: Elaboración propia

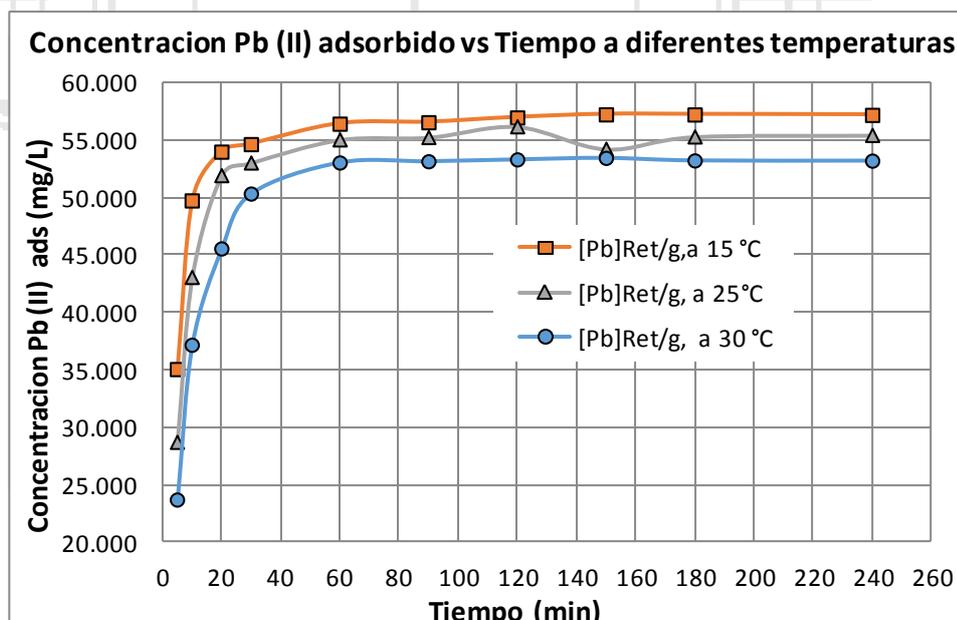


Fig. 9. Efecto de la temperatura sobre la adsorción de plomo mediante el uso de salvado de cebada.

Los datos de la Tabla 12, son utilizados para realizar la Fig 9, donde se representa la concentración de plomo adsorbido por gramo de salvado de cebada a tres temperaturas diferentes, la mayor adsorción se presenta a temperatura de 15 a 30 °C, presentando los mejores resultados de adsorción a la temperatura de 15 °C, como se puede apreciar en la figura 9.

Quispe (2010), encontró para la adsorción de Pb (II) a una temperatura óptima de 30 °C, pH de 4 y tiempo de 10 min, con capacidad de adsorción para el  $Pb^{2+}$  de 1,593 mg/g para condiciones de trabajo de concentración inicial de solución metálica 100 mg/L, volumen de 20 mL.

#### 4.4. ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental en el presente trabajo se realiza con el fin de encontrar los parámetros óptimos a los cuales se debe trabajar la experimentación o las pruebas de adsorción de plomo utilizando el salvado de cebada como material adsorbente.

El diseño experimental es el conjunto de experiencias a ser realizadas para las condiciones de operación de las variables independientes que influyen en la experimentación en la variable respuesta, esta influencia sólo puede ser decidida en forma estadística a través del test y análisis de varianza.

El diseño ortogonal nos permitirá, postular un modelo matemático de segundo orden que describe el experimento y por lo tanto nos da la información para optimizar la respuesta, por medio de las experiencias que nos lleva a una zona en donde finalmente podemos ajustar el modelo matemático que nos da la información total. El análisis del diseño utilizado establece las variables que determinan el proceso de adsorción de plomo mediante el salvado de cebada. Las variables elegidas para el tiempo de contacto, pH, y temperatura.

Las variables codificadas  $X_1$ ,  $X_2$ , y  $X_3$  como se describe en la sección experimental los resultados del vector respuesta se muestran en la Tabla 13. Y los pasos subsecuentes que han de darse son la suma de productos de las columnas de la matriz de diseño con la columna de los valores y como hallar los coeficientes de regresión y estimar el modelo matemático.

El problema general que consiste en ajustar el modelo matemático de la forma,

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2 + b_8X_1X_3 + b_9X_2X_3 \quad (4.1)$$

Donde:

$Y$  : Variable respuesta.

$X_1, X_2, X_3$  : Variables codificadas.

$b_0, b_1, \dots, b_9$  : Coeficientes a determinar por diseño experimental.

**Tabla 13. Datos de diseño central compuesto rotacional para  $K = 3$  puntos centrales y valor de alfa 1.414**

Nº	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y
1	1	-1	-1	-1	0.831
2	1	1	-1	-1	0.931
3	1	-1	1	-1	0.565
4	1	1	1	-1	0.899
5	1	-1	-1	1	1.151
6	1	1	-1	1	1.943
7	1	-1	1	1	1.964
8	1	1	1	1	0.717
9	1	1.414	0	0	0.390
10	1	-1.414	0	0	0.360
11	1	0	1.414	0	0.910
12	1	0	-1.414	0	0.606
13	1	0	0	1.414	0.646
14	1	0	0	-1.414	0.432
15	1	0	0	0	0.935
16	1	0	0	0	0.835
17	1	0	0	0	0.933

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la tabla 14 para las siguientes condiciones de operación en función de variables reales: representadas en la Tabla 13, se aplican a análisis de diseño experimental, aplicando el programa estadístico MINITAB 17

**Tabla 14. Datos del diseño experimental**

SIMBOLO	NOMBRE DE LOS FACTORES	UNIDADES	X <sub>min</sub>	X <sub>máx</sub>
tiempo	Tiempo de contacto	min	5	240
pH	pH	escala	3	10
T	Temperatura	°C	15	30

Fuente: Elaboración propia

El análisis de regresión y correlación, para un modelo de diseño experimental hexagonal compacto que nos da utilizando el programa estadístico MINITAB 17 para un modelo matemático cuadrático de interacción es la siguiente:

**Tabla 15. Análisis de Varianza para la superficie de respuesta de Y (mg/L/g) de plomo adsorbido versus tiempo, pH y Temperatura**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	2.95401	0.32822	4.10	0.067
Linear	3	0.06556	0.02185	0.27	0.443
tiempo	1	0.00006	0.00006	0.00	0.480
pH	1	0.04993	0.04993	0.62	0.465
T	1	0.01558	0.01558	0.19	0.378
Square	3	1.81661	0.60554	7.57	0.026
tiempo*tiempo	1	0.94677	0.94677	11.83	0.018
pH*pH	1	0.50787	0.50787	6.35	0.053
T*T	1	0.26199	0.26199	3.27	0.130
2-Way Interaction	3	1.07184	0.35728	4.46	0.070
tiempo*pH	1	0.01369	0.01369	0.17	0.496
tiempo*T	1	1.03938	1.03938	12.99	0.015
pH*T	1	0.01877	0.01877	0.23	0.649
Error	5	0.40015	0.08003		
Lack-of-Fit	3	0.27271	0.09090	1.43	0.437
Pure Error	2	0.12744	0.06372		
Total	14	3.35416			

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.082895	98.07%	98.60%	0.00%

El análisis de varianza (ANOVA) se muestra en la Tabla 15, indica los parámetros más influyentes en el proceso de adsorción de plomo con un intervalo de confianza del 95 %, donde un valor  $P < 0.5$  será considerado como relevante en el proceso para obtener el mayor concentración en la retención de plomo en el salvado de cebada, en este caso, los efectos del tiempo de contacto adsorbente solución (Tiempo), pH y temperatura (T) tienen los p-valores inferiores a 0.5 (0.00 y 0.496 respectivamente). Con un ajuste adecuado da una correlación R-cuadrado = 98.07% lo cual indica que el modelo explica el 98.07% de las variaciones en la concentración de plomo es extraído por el salvado de cebada.

En la Fig. 10 Se ilustra el efecto principal de las tres variables independientes frente a la adsorción de plomo por el salvado de cebada, en donde se muestra que los efectos más importantes son la relación de cantidad de tiempo de contacto, pH y la temperatura, en donde en todos los efectos presentan un máximo o un mínimo en los diferentes puntos de inflexión.

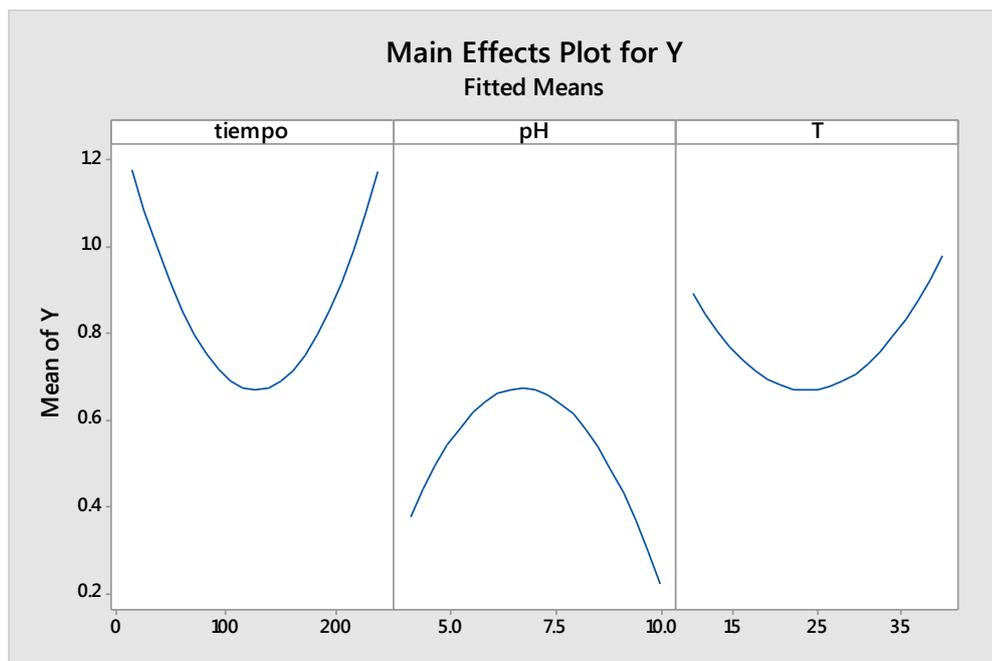


Fig. 10. Efectos principales de los 3 factores en la adsorción de plomo mediante el biopolímero salvado de cebada

Tabla 16. Coeficientes codificados para el modelo matemático de Y(mg/L/g) de plomo adsorbido versus Tiempo, pH y Temperatura.

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.671	0.163	4.11	0.009	
tiempo	-0.005	-0.003	0.100	-0.03	0.980	1.00
pH	-0.158	-0.079	0.100	-0.79	0.465	1.00
T	0.088	0.044	0.100	0.44	0.678	1.00
tiempo*tiempo	1.013	0.506	0.147	3.44	0.018	1.01
pH*pH	-0.742	-0.371	0.147	-2.52	0.053	1.01
T*T	0.533	0.266	0.147	1.81	0.130	1.01
tiempo*pH	0.117	0.059	0.141	0.41	0.696	1.00
tiempo*T	-1.020	-0.510	0.141	-3.60	0.015	1.00
pH*T	-0.137	-0.068	0.141	-0.48	0.649	1.00

En base a los datos de los coeficientes codificados de la Tabla 16 como consecuencia de la variación de los factores tiempo, pH y T, mediante el uso del Software estadístico MINITAB 17 se obtiene la ecuación del modelo en función de variables reales, dado por:

$$Y = -0.92 - 0.00389 \text{ tiempo} + 0.567 \text{ pH} - 0.0071 \text{ T} + 0.000040 \text{ tiempo} \cdot \text{tiempo} - 0.0412 \text{ pH} \cdot \text{pH} + 0.001184 \text{ T} \cdot \text{T} + 0.000173 \text{ tiempo} \cdot \text{pH} - 0.000302 \text{ tiempo} \cdot \text{T} - 0.00152 \text{ pH} \cdot \text{T}$$

Donde:

Y: Concentración de plomo adsorbido por el salvado de cebada mg/L/g

pH: pH

T: Temperatura (°C)

Las ecuación se pueden usar para hallar el punto estacionario que vendría a representar las condiciones óptimas a las cuales se puede realizar los experimentos, esto se consigue derivando parcialmente esta última ecuación de forma que las derivadas parciales cumplan la siguiente relación:

$$\frac{\partial Y}{\partial RV} = \frac{\partial Y}{\partial T} = \frac{\partial Y}{\partial \text{tiem}} = 0$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones que resulta de hacer la igualdad de cada derivada parcial a 0, se obtiene los valores óptimos siguientes en términos de variables naturales los valores óptimos que representan el punto estacionario son:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo} &= 59.85 \text{ minutos} \\ \text{pH} &= 5.02 \\ T &= 15.45 \text{ °C} \end{aligned}$$

Estos valores son permisibles porque los puntos óptimos determinan un rendimiento óptimo de la adsorción de plomo por el salvado de cebada, la cual se presenta para un tiempo óptimo de adsorción de plomo de una solución acuosa de 59.85 minutos, un pH óptimo de aproximadamente 5.02, para una temperatura de extracción de aproximadamente de 15.45°C, cuyos valores garantizan lo óptimo del trabajo experimental. En la Fig. 11, se aprecia el efecto de las dos variables importantes como pH y la temperatura como factores influyentes sobre la concentración de plomo removido.

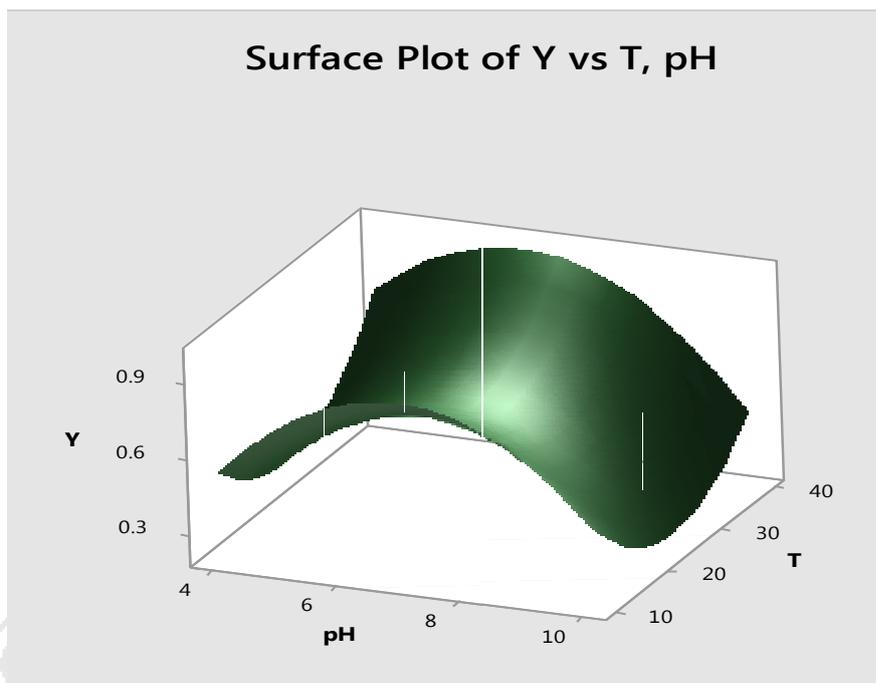


Fig. 11. Superficie de respuesta de la adsorción de plomo por el salvado de cebada en función de los factores influyentes

#### 4.5. ISOTERMA DE ADSORCIÓN

Los experimentos de bioadsorción de Pb(II) con salvado de cebada, se realizaron variando la concentración inicial del Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> en cada ensayo y se emplearon los valores óptimos del diseño experimental de cantidad de adsorbente de 2.5 g; pH de 5 y temperatura de 15 °C durante 60 minutos. La capacidad de adsorción se calculó según la ecuación (3-9) del capítulo III, sus resultados se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Adsorción de ion plomo (II), mediante el salvado de cebada.

Peso, (g)	[Pb] <sub>o</sub> ppm	[Pb] <sub>F</sub> ppm (C <sub>eq</sub> )	[Pb] <sub>Ret/g</sub> , mg/L/g (q)	Ln[Pb] <sub>F</sub> , mg/L (Ln C <sub>eq</sub> )	Ln [Pb] <sub>Ret/g</sub> , mg/L/g (Ln q)	1/[Pb] <sub>F</sub> mg/L (1/C <sub>eq</sub> )	1/[Pb] <sub>Ret/g</sub> , mg/L/g (1/q)
2.5043	50.00	24.52	10.17	3.20	2.31988458	0.040783	0.098
2.5027	70.00	36.15	13.53	3.59	2.60456885	0.027663	0.074
2.5091	100.00	57.13	17.09	4.05	2.83824816	0.017504	0.059
2.5018	200.00	153.48	18.59	5.03	2.92287185	0.006516	0.054

FUENTE: Elaboración propia.

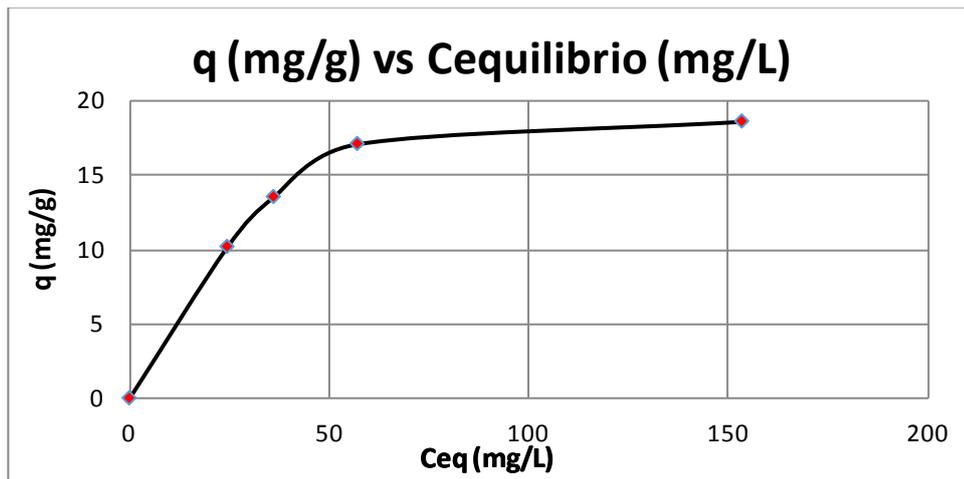


Fig. 11.1 Isoterma de adsorción de Pb (II) en 2.5 g de salvado de cebada

De los resultados que se muestran en la Tabla 17, donde se muestran el peso de material adsorbente por cada lote, los valores de la concentración inicial y final de la solución de plomo, como la cantidad de plomo retenido por gramo de adsorbente, se puede apreciar claramente que la adsorción aumenta cuando aumenta la concentración inicial.

#### 4.5.1. AJUSTE A UNA ISOTERMA DE EQUILIBRIO

Se emplearon los modelos isotérmicos de Langmuir y Freundlich para evaluar los resultados experimentales de equilibrio.

Utilizando los datos de la tabla N°17. se determinó la isoterma de adsorción para la extracción de plomo, la cual se muestra en la Fig. 12a isoterma de Langmuir y Fig 12b isoterma de Freundlich, en donde se grafica en unidades de logaritmo la concentración de plomo retenido/gramo de biopolímero versus la concentración final de plomo después del equilibrio.

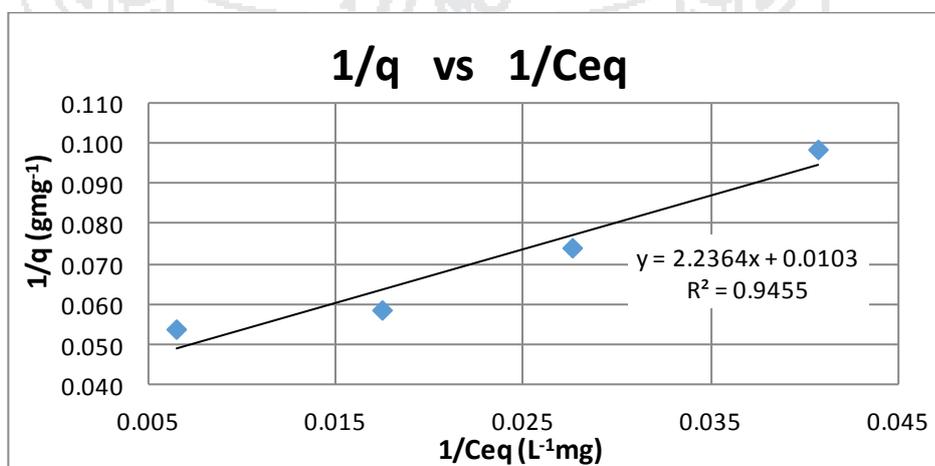


Fig. 12a. Forma lineal de la ecuación de Langmuir correspondiente a la Isoterma de la figura 11.1

Donde la isoterma de adsorción de Langmuir:

$$q_e = \left( \frac{q_{max} * C_e * b}{1 + b * C_e} \right)$$

O su forma lineal

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max} * b} * \frac{1}{C_e}$$

Donde:

$q_e$  = Cantidad de adsorbato retenida en dependencia de la concentración inicial.

$q_{max}$  = Máxima cantidad de adsorbato retenida por g de bioadsorbente.

$C_e$  = Concentración de adsorbato cuando el sistema de adsorción alcanza el estado de equilibrio termodinámico.

$b$  = Constante de equilibrio correspondiente al proceso de adsorción.

La ecuación ajustada de la isoterma de Langmuir que se muestra en la Fig. 12a, nos da una regresión menor 94.55 % que en la isoterma de Freundlich 98.41% de confianza, los valores de las constantes con una ecuación de la forma:

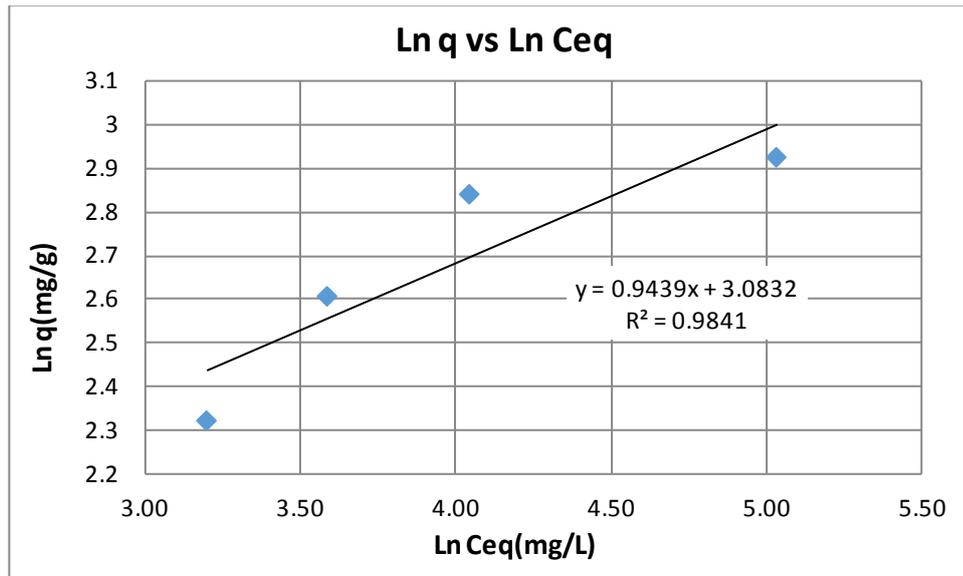
$$Y = 0.0103 + 2.236X \quad \leftarrow \quad \frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max} * b} * \frac{1}{C_e}$$

$$\frac{1}{q_{max}} = 0.0103 \quad \rightarrow \quad q_{max} = 97,087$$

$$\frac{1}{q_{max} * b} * \frac{1}{C_e} = 2.236X \quad \rightarrow \quad b = 4.606 * 10^{-3}$$

Siendo los valores de las constantes,  $b$  igual  $4.606 * 10^{-3}$  y  $q_{max}$  igual 97,087 y, que escrito en su ecuación de Langmuir nos da la ecuación siguiente:

$$q_e \left( \frac{(mg), Pb^{2+}}{g, Salvado de cebada} \right) = \left( \frac{97,087 * C_e \left( \frac{Pb^{2+} + mg}{L} \right) * 4.606 * 10^{-3}}{1 + 4.606 * 10^{-3} * C_e \left( \frac{Pb^{2+} + mg}{L} \right)} \right)$$



**Fig. 12b.** Forma lineal de la ecuación de Freundlich correspondiente a la Isoterma de la figura 11.1

Donde claramente se puede apreciar que la isoterma de adsorción se ajusta a la isoterma de adsorción de Freundlich de la forma logarítmica:

$$\ln q_e = \ln k_F + 1/n \ln C_{eq}$$

O en su forma potencial:

$$q_e = k_F \cdot C_{eq}^{1/n}$$

Donde:

$q_e$  = representa los miligramos adsorbidos por gramo de adsorbente.

$C_{eq}$  = en mg/L.

$k_F$  y  $n$  = son constantes características para cada tipo de elemento respectivamente.

La ecuación ajustada de la isoterma de Freundlich que se muestra en la Fig. 12b, nos da una regresión de 98.41 % de confianza, los valores de las constantes con una ecuación de la forma:

$$\ln q_e = \ln 3.0832 + 0.9439 \ln C_{eq}$$

Siendo los valores de las constantes,  $k_F$  igual 21.8 y  $n$  igual 0.9439, que escrito en la forma potencial de la ecuación de Freundlich nos da la ecuación siguiente:

$$q_e \left( \frac{\text{mg}}{\text{g. Salvado de cebada}} \right)_{Ret} = 21.8 * C_{eq} \left( \text{Pb}^{2+} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)_F^{1.0594}$$

#### 4.6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE PLOMO DE LAS AGUAS DEL RÍO AYAVIRI

Las pruebas de adsorción de  $Pb^{2+}$  de las aguas del Río Ayaviri mediante el salvado de cebada se ha desarrollado con muestras de agua proveniente del río Ayaviri, tomadas en cinco puntos estratégicos del distrito de Ayaviri provincia de Melgar los cuales fueron analizados antes y después del equilibrio. Los resultados que se muestran en el cuadro 10, corresponden a las muestras tomadas antes de la adsorción y el cuadro 11 al análisis después de la adsorción con el salvado de cebada, este análisis se realizó por triplicado en ambos casos, también se incluye en estos cuadros la desviación estándar.

Analizando los resultados que se muestra en el cuadro 10. Se aprecia claramente que el contenido de plomo se encuentra en una proporción que todavía está por encima de los ECAs que se estipula para aguas de río.

**CUADRO 10. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE PLOMO EN LAS AGUAS DEL RÍO AYAVIRI ANTES DE LA ADSORCIÓN**

<b>Muestra</b>	<b>Ubicación en UTM modelo de elipsoide WGS84</b>	<b>Concentración en mg/L de plomo en las aguas del río Ayaviri</b>
<b>Punto 01:</b> Unión del río Santa Rosa con los ríos Llallimayo y Macarimayo	X: 314683.6205536 m Y: 8362442.880119 m Zona: 19 Hemisferio: S	1.34
<b>Punto 02:</b> Fundo de la prelatura de Ayaviri	X: 320451.65499431 m Y: 8357162.777719 m Zona: 19 Hemisferio: S	1.38
<b>Punto 03:</b> Captación río Ayaviri (moya)	X: 328411.9288354 m Y: 8353059.981672 m Zona: 19 Hemisferio: S	1.26
<b>Punto 04:</b> Sector fundo del Sr. Bellido	X: 337861.9045917 m Y: 8351252.111626 m Zona: 19 Hemisferio: S	1.29
<b>Punto 05:</b> Unión del río Ayaviri y ventilla	X: 344306.6493352 m Y: 8346470.660947 m Zona: 19 Hemisferio: S	1.23

Fuente: elaboración propia (Ver anexo N° 05)

Los resultados del cuadro 11. Muestran la concentración de plomo en el efluente después de la adsorción con el salvado de cebada, en donde se puede apreciar claramente que la concentración de plomo comparando con los resultados del cuadro 10 disminuyen en promedio aproximadamente a la mitad de su concentración, lo cual en la práctica indica que el salvado de cebada sería una buena alternativa para la remoción de aguas contaminadas con plomo.

**CUADRO 11. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE PLOMO EN LAS AGUAS DEL RIO AYAVIRI DESPUES DE LA ADSORCIÓN CON EL SALVADO DE CEBADA**

<b>Muestra</b>	<b>Ubicación en UTM modelo de elipsoide WGS84</b>	<b>Concentración en mg/L de plomo en las aguas río Ayaviri después de la adsorción con salvado de cebada</b>	<b>Porcentaje de adsorción del plomo de las aguas del río Ayaviri (%)</b>
<b>Punto 01:</b> Unión del río Santa Rosa con los ríos Llallimayo y Macarimayo	X: 314683.6205536 m Y: 8362442.880119 m Zona: 19 Hemisferio: S	0.63	52.99
<b>Punto 02:</b> Fundo de la prelatura de Ayaviri	X: 320451.65499431 m Y: 8357162.777719 m Zona: 19 Hemisferio: S	0.71	54.55
<b>Punto 03:</b> Captación río Ayaviri (moya)	X: 328411.9288354 m Y: 8353059.981672 m Zona: 19 Hemisferio: S	0.52	58.73
<b>Punto 04:</b> Sector fundo del Sr. Bellido	X: 337861.9045917 m Y: 8351252.111626 m Zona: 19 Hemisferio: S	0.58	55.04
<b>Punto 05:</b> Unión del río Ayaviri y ventilla	X: 344306.6493352 m Y: 8346470.660947 m Zona: 19 Hemisferio: S	0.50	59.35

Fuente: elaboración propia (Ver anexo N° 05)

## CONCLUSIONES

1. La parte experimental se ha desarrollado a condiciones de la ciudad de Puno (15 °C de temperatura y presión atmosférica de 487 mm de Hg) utilizando una instrumentación básica cuyas técnicas son fácilmente reproducibles.
2. El salvado de cebada está compuesto por una familia carbonada; la presencia de los grupos carbonilo e hidroxilo coordina e inmoviliza al catión metálico plomo.
3. Las pruebas de adsorción desarrollados en el diseño experimental a permitido determinar las condiciones de experimentación y operación las cuales se pueden resumir que el salvado de cebada activado con HCl 0.1M, puede adsorber óptimamente si se trabaja a un pH de 5, con un volumen de solución por etapa de 25 mL a una temperatura promedio de 15 °C.
4. El tiempo promedio en la cual se alcanza el equilibrio el salvado de cebada con el catión plomo se encuentra en 60 minutos el cual fácilmente se pueden determinar en las figuras de concentración retenida por gramo de salvado de cebada contra el tiempo de adsorción.
5. El diseño rotacional compuesto de segundo orden, utilizado en el presente trabajo, muestra claramente la región experimental de la máxima y mínima respuesta y ajusta un modelo matemático cuadrático de la siguiente forma.

$$Y = -0.92 - 0.00389 \text{ tiempo} + 0.567 \text{ pH} - 0.0071 T + 0.000040 \text{ tiempo} \cdot \text{tiempo} - 0.0412 \text{ pH} \cdot \text{pH} \\ + 0.001184 T \cdot T + 0.000173 \text{ tiempo} \cdot \text{pH} - 0.000302 \text{ tiempo} \cdot T - 0.00152 \text{ pH} \cdot T$$

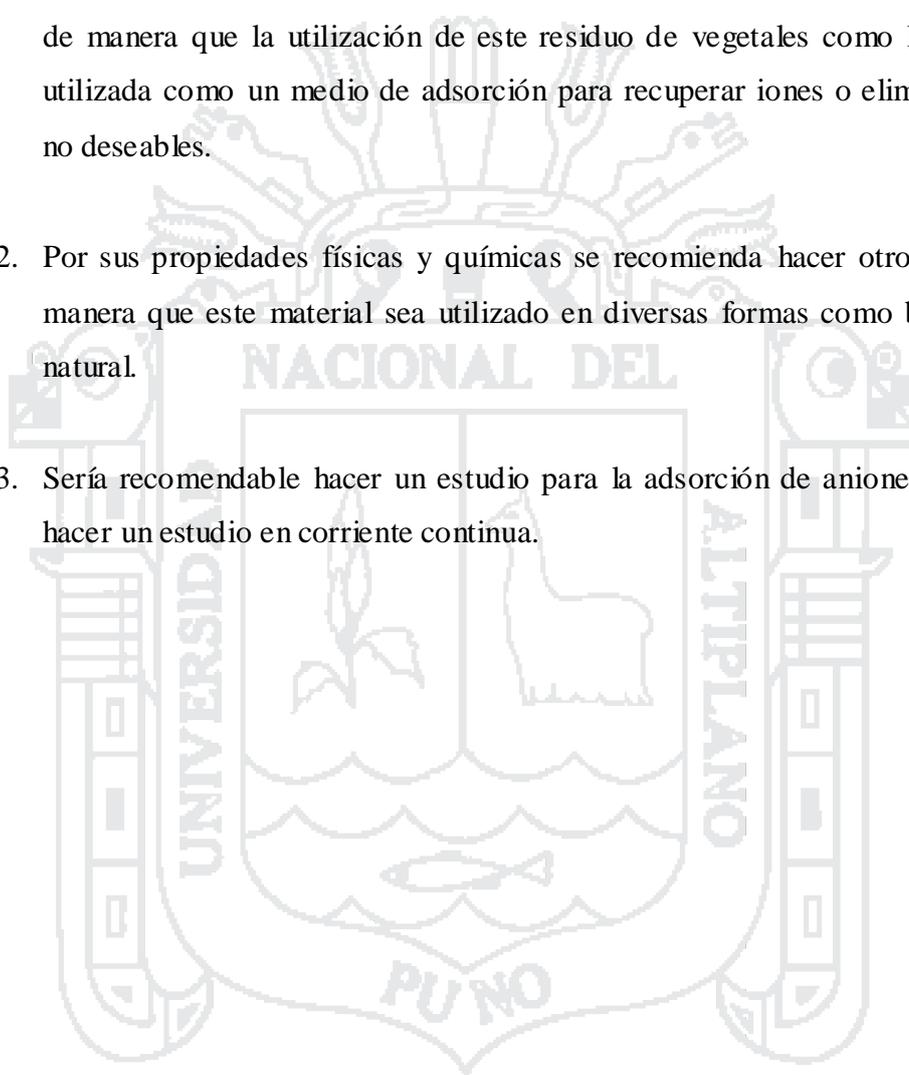
6. Los resultados de la evaluación de la adsorción de metales pesados cuyos datos se ajustan a las isothermas de Freundlich presentan una capacidad de remoción de catión plomo ajustado a la curva siguiente:

$$q_e \left( \frac{\text{(mg), Pb}^{2+}}{\text{g. Salvado de cebada}} \right)_{Ret} = 21.8 * C_{eq} \left( \text{Pb}^{2+} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)_F^{1.0594}$$

Los coeficientes de correlación encontradas en las pruebas de adsorción para determinar las isoterma individual de adsorción, presentan una confiabilidad del 98 % lo cual es un indicador de la confiabilidad de las ecuaciones encontradas.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir analizando el comportamiento de este bioadsorbente con la finalidad de que sea utilizada como una resina o zeolita de intercambio iónico, de manera que la utilización de este residuo de vegetales como la cebada sea utilizada como un medio de adsorción para recuperar iones o eliminar cationes no deseables.
2. Por sus propiedades físicas y químicas se recomienda hacer otros estudios de manera que este material sea utilizado en diversas formas como bioadsorbente natural.
3. Sería recomendable hacer un estudio para la adsorción de aniones y al mismo hacer un estudio en corriente continua.



**BIBLIOGRAFIA**

- ADERHOLD D., WILLIAMS C. J. AND EDYVEAN R. G. J. (1996). Removal of Heavy Metals Ions by Seaweed and Their Derivates. *Biores. Technol.* pp: 1-6.
- AHLUWALIA, S., GOYAL, D. (2005). Removal of heavy metals by waste tea leaves from aqueous solution. *Eng. Life sci. No.2* pp: 158-162.
- AL-ASHEH, S., DUVNJAK, K. (1998). Binary metal sorption by pine bark: study of equilibrium and mechanisms. *Separation science and technology.* No.33, pp.1303-1329.
- ANSARI, M. y ABDUL M. (2004). Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. *Bioresource Technology.* pp: 3149–3153.
- ARIZACA J, AGUILAR T, CORNEJO D, HUANQUI R, MEDINA R, MIRANDA N, PACHECO M, PEREZ M, PIMENTEL J, ROQUE W, TTITO S., (2009). “Estudio Integral de la Contaminación de la Cuenca del Ramis”. Perú.
- APARICIO-ARAGON W.B. (2005). “Fully substituted p-tert-butyl Calix[4]arene Derivatives Selective for mercury(II) Cations” Post Doctoral Research Programme, University of Surrey, UK.
- ATKINS P. (1991). “Fisicoquímica”. 3ra Edición, Editorial Addison Wesley Iberoamericana, USA, pp: 452-458.
- AWWAD, A. and Salem, N. (2012). Biosorption of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by modified loquat (*Eriobotrya japonica*) leaves. *Journal of Chemical Engineering and Materials Science.* 3 (1): 7-17.
- BANWELL C. N. Y MCCASH E. M., (1994). “Fundamentals Of Molecular Spectroscopy”, Ed. Mc Graw Hill Co, England, UK.
- BENEFIELD Y MORGAN, (1999). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *Journal of Hazardous Materials.* No.97. pp: 219- 243.
- BRIERLEY J. BRIERLEY C. (1987). Treatment of Microorganisms with Alkaline solution to Enhance Metal Uptake Properties. U.S. Patent pp: 690, 874.
- BULUT, Y.; TEZ, Z. (2007). Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption. *J. Environ. Sci.* pp: 160-166.

- CALCINA RONDAN, L. E., (2007). “Presencia de Metales Pesados en la Biota Acuática, (*Orestias* sp y *Schoenoplectus tatora*) de la Desembocadura del río Ramis-Lago Titicaca” Tesis de grado Facultad de Biología-UNA-Puno
- CALLEJO, G. M. J. (2002). Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi-prensa. Madrid-España. pp: 24-35.
- CAÑIZARES-VILLANUEVA, R.O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana, *Revista Latinoamericana de Microbiología*. pp: 131-143.
- CASTELLAN G. (1987). “Físicoquímica”. 2da Edición, Editorial Addison Wesley Iberoamericana, USA. pp: 452-458.
- CASTRO, C. (1998). Estudios de remoción de Cadmio y Plomo de aguas residuales industriales por adsorción empleando arcillas. Ingeniero Químico. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.
- CHEN, SONUNE Y GHATE, (2004). Estudio comparativo de polifenoles y determinación de la presencia citoquininas en *Lupinus mutabilis* Sweet y *Zea mays*. *Rev cubana plant med*. Nueva Granada.
- CHEUNG, C.W.; PORTER, J.F.; McKAY, G. (2000). Elovich equation and modified second-order equation for sorption of cadmium ions onto bone char. *J. Chem. Techn & Biotechn*. pp: 963-970.
- CHU, K. AND HASHIM, M. (2001). Adsorption of Cooper from polyvinyl alcohol immobilized seaweed biomass. *Acta Biotechnol*. 21: 295-306.
- COLEPAND, R.A. (1971). Non-destructive neutron activation analysis of environmental samples, In Proc.161<sup>st</sup> Annu Meet., American Chemical Society, Washington, USA.
- COLLAZOS CERRON, JESUS, (2005) “Manual de Evaluación Ambiental de Proyecto” Anibal Paredes Galvan – Editor, Composición, Diagramación y Montaje Editor San Marcos, Primera Edición, 2005.
- CONDORI CALLUSANI, J. (2011). Remoción de plomo (II) y zinc de las aguas residuales de la mina san Genaro por adsorción de carbón activado obtenida del eucalipto (*eucaliptus globulus labill*). *FIQ-UNA-Perú*. pp: 73.
- CUENTAS ALVARADO, MARIO S. (2009). “Evaluación Cualitativa del Impacto Ambiental Generado por la Actividad Minera en la Rinconada- Puno”.

- DABROWSKI A. (2001). Adsorption - from theory to practice. Advances in Colloid and Interface Science 93: pp. 135-224.
- DABROWSKI A., HUBICKI Z., PODKOSCIENLY P. ROBENS E. (2004). Selective Removal of the Heavy Metal Ions From Waters and Industrial Wastewaters by Ion-Exchange Method, Chemosphere, 56, 91.
- DAVIS, T.A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by Brown algae, Water Research. Et al, pp: 4311-4330.
- DUFFUS, J. H. (2001). Heavy metals a meaningless term Chemistry International. Ed. Leck. Florida, USA. pp: 163-167.
- DUFFUS, J. H. (2002). Heavy metals-a meaningless term. Pure and Applied Chemistry. 74: 793-807.
- EATON, (1994). Sorption of Pb (II), Ni (II), Cu (II) and Cd (II) from aqueous solution by olive stone waste. Separation and purification technology. No.50. pp: 132-140.
- FAO, (2010). Estudio sobre riego y drenaje. Segunda Edición. Vol 1. Gudafléch. pp: 78-91.
- FENNEMA. (2000). Química de los alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia. S.A.
- FLASHKA, H.A. (1995). EDTA Titration. Pergamon Press. New York. USA.
- GARCÉS L. AND COAVAS S. (2012). Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales,” Universidad de Cartagena.
- GARCÍA-ROSALES, G.; COLÍN-CRUZ, A. (2010). Biosorption of lead by maize (*Zea mays*) stalk sponge. J. Environ. Manag. pp: 2079-2086.
- GRAVILESCU, M. (2004). Removal of heavy metals from the environment by biosorption. Engineering in Life Sciences, Volume 4 pp: 219-232.
- GUNDOGDUA, A.; OZDESA, D.; DURANA, C.; BULUT, V.; SOYLAKB, M.; SENTURKA, H. (2009). Biosorption of Pb(II) ions from aqueous solution by pine bark (*Pinus brutia* Ten). J. Chem. Eng. pp: 62-69.
- HAWLEY, G. (1993). Diccionario de química y de productos químicos. Ediciones Omega. España.

- HIDALGO S., MARTÍNEZ M. (2004). Reutilización de residuos de raspo de uva para la eliminación de metales tóxicos en los efluentes líquidos. Ingeniero Químico. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Química.
- HIGUERAS Y OYARZUN, (2007). Removal of copper ions from aqueous solutions by dried sunflower leaves, Chemical Engineering and Processing, Volume 46. pp: 14-622.
- HILASACA CHURA, Y. (2008). Cinética de la bionadsorción de metales pesados de las aguas de la bahía interior del lago Titicaca mediante el uso de biopolímeros naturales, (cáscara de cacao). FIQ-UNA-Perú. pp: 49.
- HO Y COL., (2001). Copper removal from aqueous solutions by sugar beet pulp treated by NaOH and citric acid, Journal of Hazardous Materials.
- HO Y SIRKAR, (1992). Sorption of Heavy Metals Ions by the NonLiving Biomass of Freshwater Macrophytes. Environ. Sci. Technol., pp: 2213-2217.
- HO, Y.S.; MCKAY, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. Process Biochem. pp: 451-465.
- J. PLAZA CAZÓN, (2012) "Remoción de metales pesados empleando algas marinas," Universidad Nacional de La Plata.
- KLEIN, M; HARPUR, E Y COBIN, R. (1970). Earthenware containers as a source of fatal lead poisoning: case study and public health considerations, New England Journal of Medicine. pp: 283,669.
- KUYUCAK Y VOLESKY, (1988). Sorption of zinc and lead on coir, Bioresource Technology, Volume 98. pp: 89-97.
- LANDFORD, P.W. (1990). Toxicity reduction in industrial effluents. Van Nostrand Reinhold Company. pp. 18-34, 98-124.
- LANDRIGAN, P.L. (1990). Lead in the modern workplace, American Journal of Public Health. pp: 907-908.
- LEON HANCCO, H. (2011). Bioadsorción de Cu y Pb de aguas contaminadas de la mina Ananea por biomasa pretratada de cactus. FIQ-UNA-Perú. pp: 68.
- Madrid Cenzano, J. (2001). Nuevo manual de industria alimentaria. Tercera Edición. Editorial Mundi- Prensa.
- MALIOU Y COL., (1992). Biosorption of Cu(II) ions onto the litter of natural trembling poplar forest; Journal of Hazardous Materials, Volume 151, pp: 86-95.

- MARTÍN LARA, A. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. Tesis para el grado de Doctor. Universidad de Granada. Colombia.
- MEITEI M. AND PRASAD M. (2013). Lead (II) and cadmium (II) biosorption on *Spirodele polyrhiza* (L.) Schleiden biomass,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol.1, N°3, pp: 200-207.
- MINAM, (2008). Aprueban los estándares nacionales de calidad para agua. N.L. 377223 Ed. Perú.
- MONTGOMERY, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Editorial Limusa S.A: México. Ed. 2da.
- MUÑOZ, J. Y TAPIA, N. (2007). Biosorción de plomo (II) por cascara de naranja “*citrus cinensis*” pretratada. FQIQ-UNMSM-Perú. pp: 54.
- NAVARRO A, RAMOS K, CAMPOS K, MALDONADO H. (2006). Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 7. pp: 113 -126
- OFOMAJA, A.E. and Ho, S. (2006). Effect of pH on Cadmium biosorption by coconut copra meal. *Journal of Hazardous Materials*. 139 (2):356-362.
- OMS, (2013). Niveles de plomo en aguas de consumo humano para poblaciones mineras. pp: 84-96
- PAGNANELLI; PAPINI, M.P.; TORO, L.; TRIFONI, M. Y VEGLIO, F. (2005). Biosorption of metal ions on *Arthrobacter* sp.: biomasa characterization and biosorption modeling; *Environmental Science & Technology*, Volume 34. pp: 2773-2778.
- PALMA, A. (2000). Caracterización de residuos lignocelulósicos como precursores de carbón activado. Departamento de química Inorgánica. Universidad de Alicante. España.
- QINGBIAO LI, SONGTAO WU, GANG LIU, XINKAI LIAO, XU DENG, DAOHUA SUN, YUELIN HU, YILI HUANG. (2004). Simultaneous biosorption of cadmium (II) and lead (II) ions by pretreated biomass of *Phanerochaete chrysosporium*. *Separation and Purification Technology*. pp: 135–142

- QUIÑONES E., TEJADA C., Y RUIZ V. (2014). Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. Revista Ciencias e Ingeniería al Día. CUBA. pp: 28
- QUISPE HUARCALLO, J. M. (2010). Determinación de la energía de activación para la adsorción de iones ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$ ) con raíz de queñua (*Polylepis spp*) en las aguas del Río Ramis Puno-Perú. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.
- RAFATULLAHA, M.; SULAIMANA, O.; HASHIMA, R.; AHMADB, A. (2009). Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust. J. Haz. Mat. pp: 969-977.
- REYES, TORIZ.; CERINO, C.F.J. y Suárez H.M.A. (2006). Remoción de metales pesados con biomasa lignocelulósica. Ingenierías. 4 (38).
- ROSAS, H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis para el grado de Doctor. Inglaterra.
- SCHIEWER S. WONG H. (1999). Metal binding Stoichiometry and Isotherm choice in biosorption. Environmental Science and Technology. pp: 3821-3828.
- SERNA-SANDIVAR, S. R. O. (2001). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. México, D. F. pp: 3-23.
- SOTO HUARINGA, E. (2009). Estudio de la remoción de Cu (II) en medio acuoso utilizando el albedo de la cáscara de naranja. FCEPQ-UNI-Perú. pp: 112-114
- TEJADA-TOVAR, C., VILLABONA-ORTIZ A., Y GARCÉS-JARABA L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico”, Tecno Lógicas, vol.18, N°34, pp: 109-123.
- TENORIO, (2006). Remoción de Metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa”. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. UANL. México. Pp: 59-64
- TREEN-SEARS Y COL., (1984). Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: Equilibrium and kinetic studies; Journal of Colloid and Interface Science, Volume 288. pp: 371- 376.
- TTITO LEÓN, S (2008). Bioadsorción de plomo y cadmio por quitina de la caparazón de molusco en aguas de actividad minera afluentes del Río Ramis de la cuenca del lago Titicaca. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en extracción de metales estratégicos. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

- VIGNESWARAN Y COL., (2004). Biosorption for the next century, El Escorial. Junio. pp: 20-23.
- VÍLCHEZ, (2005). Tratamiento de Residuos Líquidos y Sólidos. Avances en Biotecnología Ambiental. Chile.
- VOLESKY Y HOLAN, (1995). Sunflower stalks as adsorbent for the removal of metal ions from wastewater. Ind. Eng. Chem. Res. No.37. pp: 1324-1328.
- VOLESKY, B. (2005). Removal and recovery of heavy metals by biosorption. In: Biosorption of heavy metals. Boston, USA, CRC press. pp: 7-43.
- VOLESKY, (2003). Sorption of cadmium and lead from aqueous by spent grain. Process Biochemistry. No 36. pp: 59-64.
- WAGNER, N.J. Y JULA, R.J. (1981). Activated carbon adsorption, en Activated carbon adsorption for waste treatment; RC Pres, INC. Boca Raton (Florida), USA. pp: 98-125.
- WEAST, T. (1984). Metales pesados en ciclos biológicos. Editorial Iberoamericana. Guadalajara, México. pp: 421-423
- WEBER, W.J.; MORRIS, J.C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. J. San. Eng. Div. ASCE. pp: 31-59.
- WEBER W. J., (1990). "Control de Calidad del Agua Proceso fisicoquímico", Editorial Reverte S.A. Barcelona.
- WEBER W. MC GINGLEY P. (1991). Sorption phenomena in subsurface systems: concepts, models and effects on contaminant fate and transport. Water Res. pp: 499-528.

## WEBGRAFIAS

- CARRERA A. (2008). Adsorción siguiendo el modelo de isoterma de adsorción de langmuir. <http://www.quimica.urv.es/~w3siiiq/DMAPLE/Alumnes02-03/Aalbertocarrera.html>
- GREENPEACE, (2012). <http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2310.pdf>
- LENNTECH AGUA RESIDUAL & PURIFICACIÓN DEL AIRE HOLDING B.V. Copyright © (1998-2006) <http://www.lenntech.com/espanol/tablaperiodica/Cd.htm> Holanda.
- MINISTERIO AMBIENTE. (2007). [http://www.mma.es/secciones/participacion\\_publica/calidad\\_contaminacion/pdf/Orden\\_modifica\\_RD\\_RRAAEE\\_a\\_info\\_de\\_Industria\\_13-12-2007\\_.pdf](http://www.mma.es/secciones/participacion_publica/calidad_contaminacion/pdf/Orden_modifica_RD_RRAAEE_a_info_de_Industria_13-12-2007_.pdf).
- MINSA, (2011). <http://www.minsa.gob.pe/webftp.asp?ruta=normaslegales/2010/DS031-2010-SA.pdf>
- TUÑÓN I. (2007). Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea. [http://www.uv.es/tunon/pdf\\_doc/Superficies\\_Solidas\\_A.pdf](http://www.uv.es/tunon/pdf_doc/Superficies_Solidas_A.pdf). Valencia.



# ANEXOS

## Anexo N° 01: Instructivo para muestreo, manipulación y transporte de muestra (EQUAS).

Environmental Quality  
Analytical Services S.A.  
EQUAS S.A.



### MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA INSTRUCTIVO MUESTREO, MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRA

*"LA GARANTIA Y LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS ANALITICOS SE INICIA CON LA RECOLECCION FISICA DE LA MUESTRA"*

#### 1. OBJETIVO

Alcanzar a nuestros clientes un procedimiento que permita asegurar que se cumplan los requisitos técnicos y de protección a la integridad de las muestras a ensayar, basados en nuestra política de control de calidad e interés del cliente.

#### 2. GENERALIDADES

- 2.1 Asegúrese de que la muestra pueda colectarse de manera segura, sin representar riesgo para el técnico de campo, equipos e instrumentos. Si existieran condiciones de riesgo, la estación de muestreo deberá reubicarse.
- 2.3 Los parámetros no conservativos deben ser medidos in situ, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, etc.

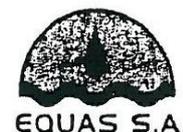
#### 3. PROCEDIMIENTO

- 3.1 Inspeccionar el punto o estación de muestreo, con el propósito de determinar si nos permite tomar una muestra representativa.
- 3.2 Verificar si cuenta con el tipo y volumen de envases requeridos para cada parámetro o grupo de parámetros.
- 3.3 Verificar, si cuenta con los preservantes a utilizarse, así como los formatos de identificación de las muestras.
- 3.4 Colocarse los guantes y proceder a tomar la muestra considerando 2 aspectos: Si es necesario hacer uso de un muestreador.
  - a) Si los envases van sin preservante, estas deben ser enjuagadas 3 veces antes de ser llenada con la muestra e inmediatamente preservarla según el requerimiento del parámetro.  
Ver al reverso Tabla N° 1: Requerimientos para la Toma de Muestras o Manipulación.
  - b) Si los envases contienen los preservantes no deben enjuagarse, tener el mayor cuidado en no rebosar el envase con la muestra.

Dirección Laboratorio: Mz.1, Lote 74 - Urb. Naranjito - Puente Piedra (Ref. Km. 28.5 Panamericana Norte)  
Sucursal: Calle Cibernéticos No. 297 - Urb. Las Acacias - La Molina  
Telefax: 548-3696 - 349-4050  
E-mail: equas@fonogocio.net.pe, equas\_lab@fonogocio.net.pe

Página 1 de 3

Environmental Quality  
Analytical Services S.A.  
EQUAS S.A.



- 3.5 Seleccionar los envases de acuerdo al parámetro de interés.
- 3.6 Si se tiene que tomar varias muestras en el mismo punto, coleccionar un volumen mayor a los requeridos (5 litros); previa agitación, adicionar a los frascos de muestreo.
- 3.7 Colectar muestras duplicadas para el Control de Calidad Analítico del Laboratorio.
- 3.8 Adicionar los preservantes en la cantidad que se indica en la Tabla 1.
- 3.9 Identificar los envases con las muestras, llenando correctamente las etiquetas adheridas usar un marcador a prueba de agua, si es necesario proteger la etiqueta con cinta adhesiva transparente para evitar su deterioro :
  - Solicitante: Persona o empresa que solicita el servicio.
  - Nombre de la Fuente: Descripción del punto de muestreo; río manantial, laguna, etc.
  - Punto de Muestreo: Lugar donde se toma de muestra;
  - Fecha de Muestreo: Fecha en la que se realiza la toma de muestra;
  - Responsable del Muestreo: Nombre de la persona que efectuó la toma de muestra;
  - Parámetro(s): Se refiere a los elementos que se van a analizar, identificados en cada envase;
  - Condición de la Muestra: Se refiere al pre-tratamiento de las muestras; preservación, conservación o filtrado.
- 3.10 Tener presente, que para determinar metales disueltos las muestras deben ser filtradas inmediatamente de haber sido tomadas y luego proceder con la preservación. Ver Tabla N° 1.
- 3.11 El responsable del muestreo esta en la obligación de llenar todos los datos solicitados en la "Cadena de Custodia" y debidamente firmada se debe adjuntar a las muestras.
- 3.12 Colocar las muestras en una caja térmica (cooler) o equivalente que contenga el medio refrigerante (Ice Pack) y mantener en posición vertical. Proteger los envases, especialmente los de vidrio con burbujas y/o espuma de aire (Burbu Pack), cartón u otro material para evitar roturas.
- 3.11 Las muestras deben ser remitidas al laboratorio a la brevedad posible. Durante el almacenamiento y el transito, las muestras deberán mantenerse siempre en posición vertical.

---

*Dirección Laboratorio: Mz I, Lote 74 – Urb. Naranjito – Puente Piedra (Ref. Km. 28.5 Panamericana Norte)  
Sucursal: Calle Cibernéticos No. 297 – Urb. Las Acacias – La Molina  
Telefax: 548-3696 - 349-4050  
E-mail: equas@infnegocio.net.pe , equas\_lab@infnegocio.net.pe*

*Página 2 de 3*

Environmental Quality Analytical Services S.A.  
 EQUAS S.A.



TABLA N° 1: Requerimientos para la Toma de Muestras o Manipulación

PARAMETRO	VOLUMEN MINIMO REQUERIDO (mL)	TIPO DE ENVASE	PRESERVACIÓN Y/O CONSERVACION
ACEITES Y GRASAS	1000	V	Añadir 1 mL* de Acido Sulfúrico - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Concentrado Conservar ± 4°C
ALCALINIDAD TOTAL	200	P, V	Conservar ± 4°C
CLORUROS	200	P, V	Conservar ± 4°C
CONDUCTIVIDAD, pH	200	P, V	Recomendable Medir In Situ Conservar ± 4°C
CIANURO	1000	P, V	Añadir 2 lentejos (granallas) de Hidróxido de Sodio - NaOH Conservar ± 4°C
DUREZA TOTAL	200	P, V	Añadir 1 mL* de Acido Nítrico - HNO <sub>3</sub> concentrado Conservar ± 4°C
DUREZA CALCICA	200	P, V	Añadir 1 mL* de Acido Nítrico - HNO <sub>3</sub> concentrado Conservar ± 4°C
DQO, NITRÓGENO AMONIACAL	1000	P, V	Añadir 2 mL* de Acido Sulfúrico - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Conservar ± 4°C
NITRATOS	500	P	Conservar ± 4°C
FENOLES	500	V	Añadir 1 mL* de Acido Sulfúrico - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Conservar ± 4°C
DEMANDA BIOQUÍMICA OXIGENO	1000	P	Conservar ± 4°C
OXIGENO DISUELTO	300	Frasco Winkler	Fijar in situ Añadir 1 mL OD1 y 1 mL OD2
SULFATOS	50	P, V	Conservar ± 4°C
SULFUROS	500	P, V	Añadir 1 mL* de Acetato de Zinc (2N) y 08 gotas de Hidróxido de Sodio Conservar ± 4°C
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	1000	P, V	Conservar ± 4°C
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	500	P, V	Conservar ± 4°C
SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSION	500	P, V	Conservar ± 4°C
METALES DISUELTOS: Cu, Fe, Pb, Zn, otros	500	P	Filtrar in Situ y añadir 1 mL* de Acido Nítrico - HNO <sub>3</sub> concentrado
METALES TOTALES: Cu, Fe, Pb, Zn y otros	500	P	Añadir 1 mL* de Acido Nítrico - HNO <sub>3</sub> concentrado Conservar ± 4°C
<u>BACTERIOLOGICO</u> Coliformes Totales Coliformes Fecales	300	V	Conservar ± 4°C
Fitoplankton/ Zooplankton	1000	P	En Campo se realizará el filtrado correspondiente por malla 80 μ y preservado en 50 mL de formalina al 5%.

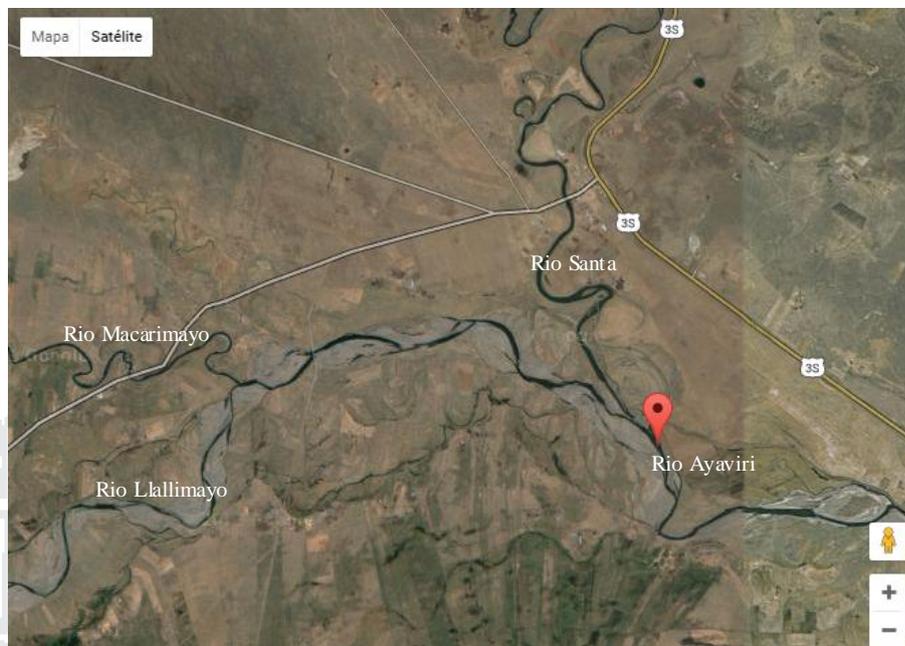
\* 21 gotas ± equivalen a 1 mL

Lima, Junio 2009

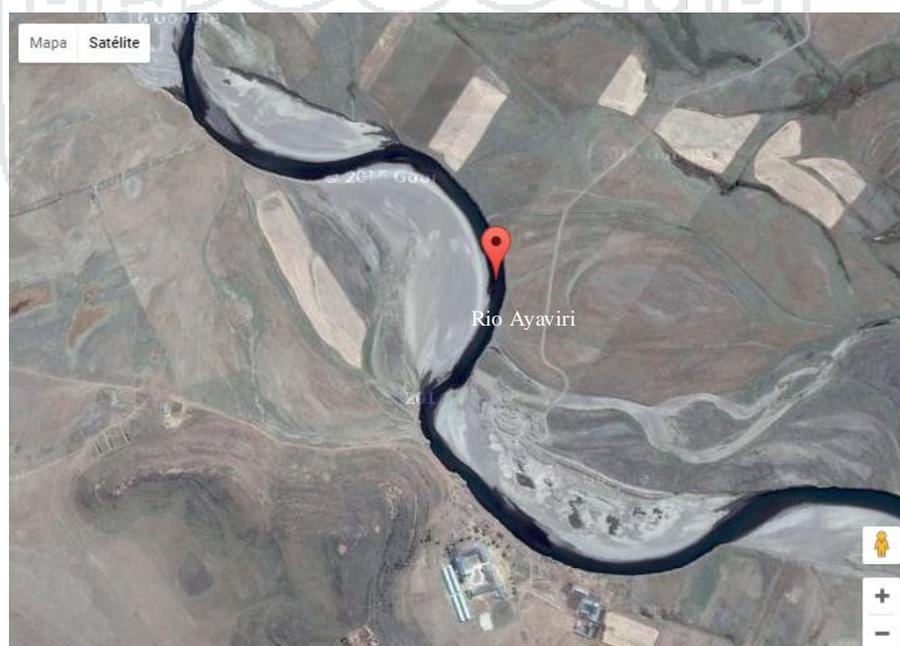
Dirección Laboratorio: MzI, Lote 74 - Urb. Naranjito - Puente Piedra (Ref. Km. 28.5 Panamericana Norte)  
 Sucursal: Calle Cibernéticos No. 297 - Urb. Las Acacias - La Molina  
 Telefax: 548-3696 - 349-4050  
 E-mail: equas@infonegocio.net.pe , equas\_lab@infonegocio.net.pe

Página 3 de 3

**Anexo N° 02: Ubicación de los cinco puntos estratégicos de muestreo del río Ayaviri (GPS)**



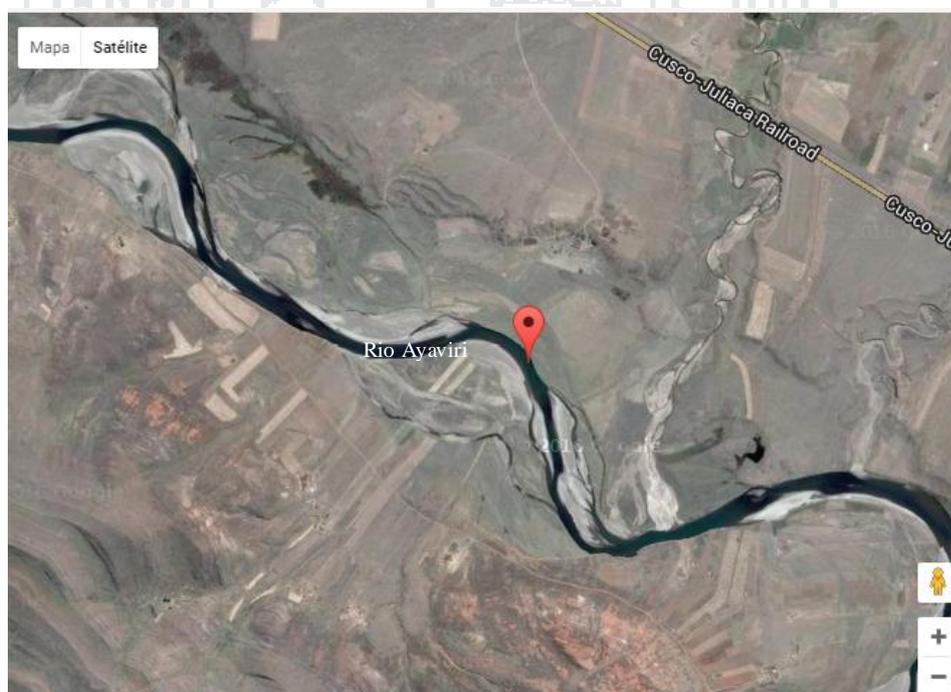
**Foto A:** Ubicación N° 01 (Latitude 14° 48' 20" S - Longitude 70° 43' 19" W) Unión del río santa Rosa con los ríos llallimayo y macarimayo



**Foto B:** Ubicación N° 02 (Latitude 14° 51' 14" S – Longitude 70° 40' 7" W) Fondo de la prelatura de Ayaviri



**Foto C:** Ubicación N° 03 (Latitude 14° 53' 29" S – Longitude 70° 35' 42" W) Captación río Ayaviri (moya)



**Foto D:** Ubicación N° 04 (Latitude 14° 54' 30" S - Longitude 70° 30' 26" W) Sector fundo del Sr. Bellido

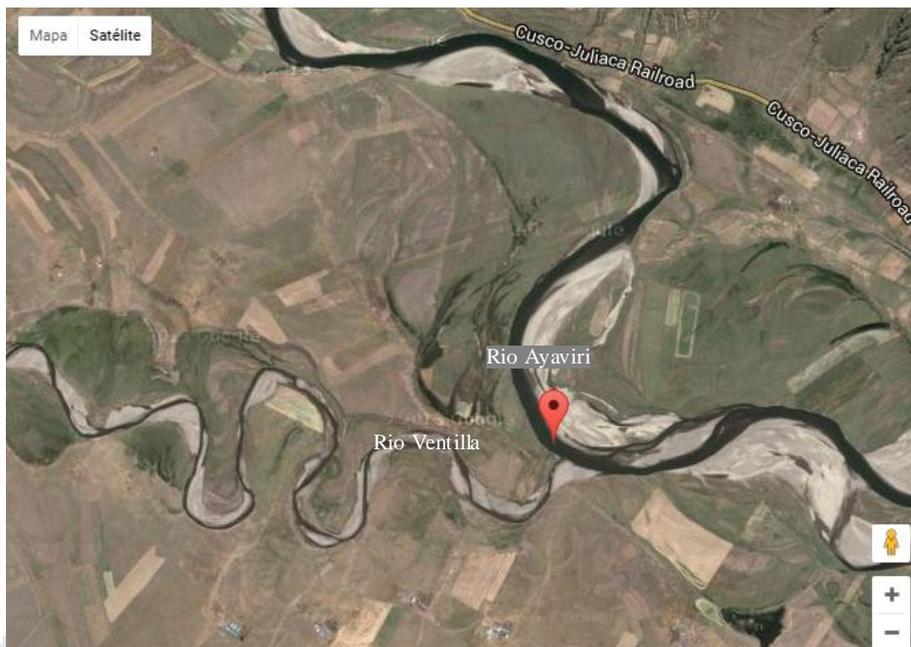


Foto E: Ubicación N° 05 (Latitude 14° 57' 7" S - Longitude 70° 26' 51" W) Unión del rio Ayaviri y ventilla



Foto F: Principales minas y ríos afluentes del rio Ayaviri (FUENTE ANA 2014)

**Anexo N° 03: trabajo de campo, recolección (in situ) de muestras en los cinco puntos del rio Ayaviri**



**Foto N° 01:** Punto N° 01 de muestreo (Unión de los ríos Llallimayo, Macarimayo y Santa Rosa) naciente del rio Ayaviri



**Foto N° 02:** Toma de muestra y rotulado en el punto N° 01



**Foto N° 03:** Toma de muestra en el punto N° 02 del rio Ayaviri



**Foto N° 04:** Rotulado de la muestra en el punto N° 02



**Foto N° 05:** Toma de muestra en el Punto N° 03 (Captación del cáisson N° 01 de la planta de tratamiento de rio Ayaviri)



**Foto N° 06:** Rotulado de la muestra en el punto N° 03



Foto N° 07: Toma de muestra en el punto N° 04



Foto N° 08: Rotulado de la muestra en el punto N° 04



Foto N° 09: Punto de muestreo N° 05 (Unión de los ríos Ventilla y Ayaviri) termino del río Ayaviri



Foto N° 10: Toma de muestra y rotulado en el Punto N° 05 (Unión de los ríos Ventilla y Ayaviri) naciente del río Pucara

\*El muestreo, la manipulación y el transporte de las muestras se realizaron según las especificaciones del instructivo de (Environmental Quality -Analytical Services S.A -EQUAS S.A.) para monitoreo de calidad de agua.

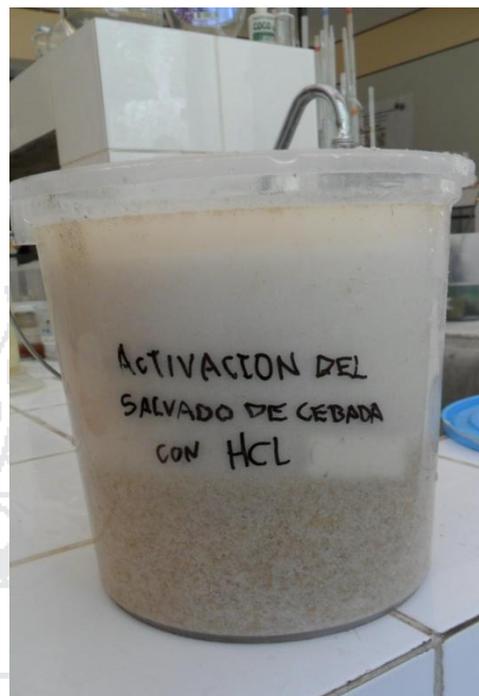
**Fotos de laboratorio: tratamiento del biopolímero (salvado de cebada)**



Foto N° 11 a-b y 12 a-b: Tratamiento granulométrico (molido y tamizado) del salvado de cebada



**Foto N° 13:** Determinación del nivel de acidez (pH) del salvado de cebada



**Foto N° 14:** Activación acida de la biomasa con ácido clorhídrico



**Foto N° 15:** Tratamiento térmico y/o secado de la biomasa (salvado de cebada)



**Foto N° 16:** Re pulverizado de la biomasa (salvado de cebada) para su uso como material bioadsorbente

**Fotos de laboratorio: Proceso de bioadsorción de plomo con biomasa activa**



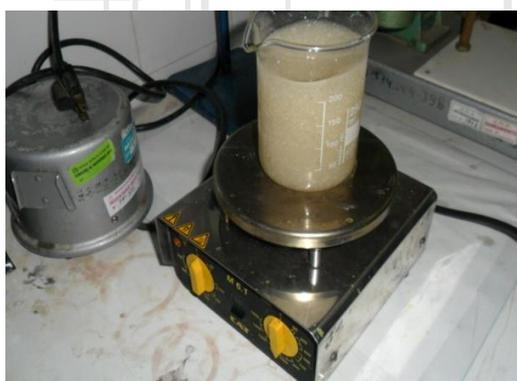
**Foto N° 17:** Pesado de la biomasa activada para pruebas de concentración de bioadsorbente



**Foto N° 18:** Prueba I efecto de la concentración del bioadsorbente en una solución acuosa de  $Pb(NO_3)_2$



**Foto N° 19-20:** Preparación de la solución acuosa  $Pb(NO_3)_2$  para determinar el grado de adsorción de la biomasa activada



**Foto N° 21:** Prueba II efecto del tiempo de intercambio y/o contacto (biomasa activada-solución acuosa  $Pb(NO_3)_2$ )



**Foto N° 22:** Filtración de las muestras, realizadas en distintos tiempos



**Foto N° 23:** Prueba III efecto del pH (ajuste de la solución acuosa a diferentes pHs con HCL Y NaOH)



**Foto N° 24:** Filtración de las muestras, realizadas en distintos pHs



**Foto N° 25:** Prueba IV efecto de la temperatura en la bioadsorción



**Foto N° 26:** Filtración de la mezcla por centrifugación



**Foto N° 27:** Análisis de las muestras por el método complexométrico



**Foto N° 28:** Viración del color de las muestras de violeta a azul, indicativo de presencia de plomo en las aguas del río Ayaviri

\*El método de complexometría se aplico en todas las distintas pruebas de análisis de las muestras.

**Anexo N° 04: Informe técnico (Análisis por espectroscopia infrarroja para el salvado de cebada).**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
**LABICER (Laboratorio N° 12)**  
**ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN**



**INFORME TÉCNICO N°1530 – 16 – LAB. 12**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RONY ANGEL MAMANI CRUZ
  - 1.2 DNI : 74211301
2. CRONOGRAMAS DE FECHAS
  - 2.1 FECHA RECEPCIÓN : 10 / 10 / 2016
  - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 12 / 10 / 2016
  - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 10 / 2016
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL CLIENTE
  - 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : MUESTRA DE SALVADO DE CEBADA
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO N°12 - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 25.5 °C; Humedad relativa: 54%
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro Infrarrojo PERKIN ELMER ,FRONTIER
8. RESULTADOS

MUESTRA	ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO
Muestra de salvado de cebada	Perfil de espectro infrarrojo	Según el perfil del espectro infrarrojo obtenido para la muestra, este corresponde a la celulosa.*	Espectroscopia Infrarroja

\*Ver espectros de la muestra en anexo.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
 Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Mitzi Palacios Gomez  
 Analista Químico  
 LABICER - UNI

M. Sc. Otilia Acha de la Cruz  
 Responsable del análisis  
 Jefe de Laboratorio  
 CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO N° 04

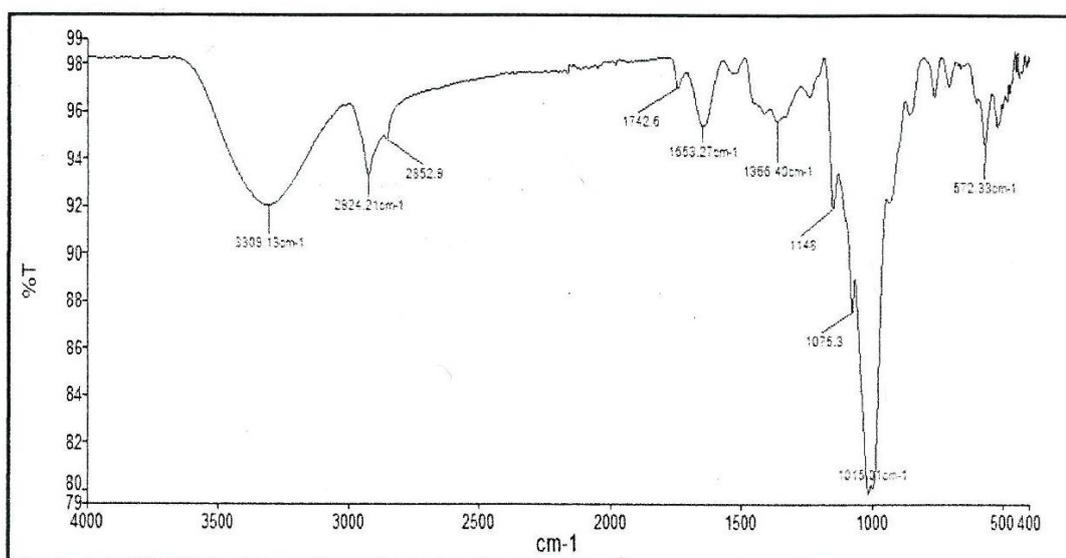


Figura N° 1: Espectro infrarrojo de la muestra de salvado de cebada, corresponde a la celulosa.

TABLA N°1. Asignación de los picos en el espectro de la muestra de salvado de cebada.

PICOS (cm <sup>-1</sup> )	VIBRACIÓN	ESTRUCTURA
3309.13	O-H	
2924.21	C-H <sub>2</sub>	
2852.9		
1366.40	C-H	
1148	C-O-C	
1015.01	C-O	



**Anexo N° 05: Certificado de análisis (resultados de la adsorción del ion plomo de las aguas del río Ayaviri).**

Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**IQ-2016**      **N0827**

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de AGUA de: RIO AYAVIRI

**PROCEDENCIA** : Rio Ayaviri, Distrito de Ayaviri, Provincia de Melgar - Puno

**INTERESADO** : Bach. Rony Angel Mamani Cruz

**MOTIVO** : Ejecucion de tesis

**MUESTREO** : 03/10/2016, por el interesado

**ANÁLISIS** : 03/10/2016

**COD. MUESTRA:** B - 2021

---

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:**

**ASPECTO** : Líquido

**COLOR** : No Característico

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

Muestra	Concentración en mg/L de Plomo en las aguas del rio Ayaviri antes del tratamiento	Concentración en mg/L de Plomo en las aguas del rio Ayaviri despues del tratamiento
Punto 01: Union del rio Santa Rosa con los rios Lallimayo y Macarimayo	1.34	0.63
Punto 02: Fundo de la Prelatura de Ayaviri	1.38	0.71
Punto 03: Captación rio Ayaviri (moya)	1.26	0.52
Punto 04: Sector fundo del señor Bellido	1.29	0.58
Punto 05: Union del rio Ayaviri y Ventanilla	1.23	0.50
<b>Valores promedio</b>	<b>1.300</b>	<b>0.588</b>

**OBSERVACIONES**

1.- Técnica utilizada: Valoracion volumétrica con EDTA para plomo (II)

2.- Indicador utilizado: Eriocromo Negro T

Puno, C.U. 20 de octubre de 2016.  
VºBº

*[Firma]*

*[Firma]*

Ciudad Universitaria Av. Fierro s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 -352992.

## Anexo N° 06 – A: Decreto supremo N°010-2010-MINAM.

424114

 NORMAS LEGALES

El Peruano

Lima, sábado 21 de agosto de 2010

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 ARÁOZ 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 meritados;

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:

° 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

424116

 NORMAS LEGALES

 El Peruano  
Lima, sábado 21 de agosto de 2010

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 Berlin 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

Anexo N° 06 – B: Decreto supremo N°021-2009-VIVIENDA.



# Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales No domésticas

VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D.S. N° 021-2009-VIVIENDA

ANEXO N° 02

Valores Máximos Admisibles<sup>(1)</sup>

**Art. 1° FINALIDAD, ÁMBITO Y OBLIGATORIEDAD DE LA NORMA**

La presente norma regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales No domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Los VMA, son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales No domésticas en el alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (SEDAPAL).

**Art. 3° DEFINICIÓN DE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA)**

Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA), como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente No doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido en sus parámetros aprobados (Anexo N° 1, y Anexo N° 2) causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, tratamiento de aguas residuales y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr+6	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	500
Sulfuros	mg/L	S <sup>-2</sup>	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	80
pH <sup>(2)</sup>		pH	6-9
Sólidos Sedimentables <sup>(2)</sup>	mL/L/h	S.S.	8.5
Temperatura <sup>(2)</sup>	°C	T	<35

**ANEXO N° 01**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendedos Totales (S.S.T)	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	A y G	100

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, está precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas, en este código deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.

(2) Estos parámetros, serán tomados de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

**Art. 5° SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO**

SEDAPAL se encuentra facultada en virtud a la presente norma a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado conforme a la regulación prevista en el reglamento y que deriven de la vulneración de los Anexos N° 01 y N° 02.

**Art. 9° PROHIBICIONES**

Queda totalmente prohibido descargar directa o indirectamente a los sistemas de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos sólidos líquidos o gaseosos que en razón de su naturaleza, propiedades y cantidad causen por sí solos o por interacción con otras descargas algún tipo de daño, peligro e inconvenientes en las instalaciones de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo indicado en el reglamento de la presente norma.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

PRIMERA.- La presente norma entró en vigencia a partir de la aprobación de su Reglamento mediante el D.S. N° 003-2011-VIVIENDA, vigente a partir del 22 de junio de 2011.

SEGUNDA.- Los usuarios que a la fecha de entrada en vigencia del presente D.S., se encuentran efectuando descargas de aguas residuales No domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, deberán adecuar sus descargas a las disposiciones establecidas en la presente norma, en un plazo no mayor de cinco (05) años.

En el caso de nuevos usuarios del sistema de alcantarillado sanitario las disposiciones de la presente norma son de aplicación inmediata.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS:**

**Art. 56°.- Son derechos de SEDAPAL:**

(...)

- g) Suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes No domésticos que se vierten en él, no cumplan con los VMA, establecidos en la norma vigente. SEDAPAL o la que haga sus veces, queda facultada para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio.
- h) Cobrar el costo adicional por las cargas contaminantes descargados en el sistema de alcantarillado que superan los VMA, establecidos. Dicho pago adicional se encuentra incorporado en el Reglamento de Prestación de Servicios de SEDAPAL.

**REGLAMENTO DEL D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, QUE APRUEBA LOS VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO APROBADO POR D.S. N° 003-2011-VIVIENDA**

**Art. 1.- Del Objeto**

El presente Reglamento tiene por objeto regular los procedimientos para controlar las descargas de aguas residuales No domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.

**TÍTULO II**

**OBLIGACIONES Y DERECHOS DE LOS USUARIOS NO DOMÉSTICOS QUE HACEN USO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO**

**Art. 5.- De las obligaciones**

Los Usuarios No Domésticos que descargan aguas residuales No domésticas al sistema de alcantarillado están obligados a:

- a) Presentar anualmente a SEDAPAL la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico.
- b) Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales, cuando sus descargas excedan o puedan exceder los VMA establecidos en el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.
- c) Efectuar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS.
- d) Pagar el importe correspondiente a la toma de Muestra Inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante INDECOPI, siempre que el valor del parámetro analizado sobrepase los VMA, en caso de no sobrepasar los VMA el importe será asumido por SEDAPAL.
- e) Informar a SEDAPAL, cuando la descarga de sus aguas residuales No domésticas presenten alguna modificación derivada de la ampliación o variación de las actividades que realiza el Usuario

No Doméstico, dentro de un plazo que no deberá exceder los quince (15) días hábiles a partir de la ampliación o variación de sus actividades.

- f) Brindar todas las facilidades, accesos e ingresos necesarios para que, en la oportunidad debida, el personal de SEDAPAL o la entidad que haga sus veces y el laboratorio acreditado ante INDECOPI, efectúe la toma de muestra inopinada.
- g) Implementar el mecanismo o dispositivo especial para la toma de muestra inopinada, cuyo costo será asumido por el Usuario No Doméstico.
- h) Asumir los costos asociados al incumplimiento procesos y otras actividades adicionales que estén relacionadas con la implementación de los VMA, de acuerdo al procedimiento establecido por la SUNASS.
- i) Los Usuarios No Domésticos cuyas actividades estén clasificadas según el CIU, deberán declarar, reportar y cumplir con las obligaciones que se establecen en el presente Reglamento, en función de los parámetros que para dichas actividades se establecen en el referido código. Aquellas actividades que no estén incluidas en el CIU, deberán cumplir con los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.
- j) Cumplir con las demás disposiciones que se emitan para la regulación de la aplicación de los VMA.

**Capítulo II**

**Derechos de los Usuarios No Domésticos**

**Art. 6 De los derechos**

Los Usuarios No Domésticos que descargan aguas residuales No domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, tienen derecho a:

- a) Recibir información sobre la normatividad, las modificaciones y actualizaciones respecto a los VMA.
- b) A solicitar, de conformidad al artículo 6 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, la exoneración del pago o suspensión del servicio de alcantarillado sanitario, cuando por caso fortuito o fuerza mayor se haya excedido los VMA, de acuerdo con el procedimiento establecido en el artículo 33 del presente reglamento.
- c) Presenciar la toma de muestra inopinada, a participar de dicho acto y a suscribir el Acta de Toma de Muestra Inopinada, cuyo contenido será como mínimo el establecido en el Anexo II del presente reglamento.
- d) Solicitar directamente a cualquier laboratorio acreditado ante INDECOPI, la toma de muestra de parte y los análisis de sus descargas.
- e) Presentar reclamos, si consideran que ha sido vulnerado alguno de sus derechos, de acuerdo a los procedimientos que para tal fin se establezcan.

**Capítulo II**

**Del Pago Adicional**

**Artículo 11.- Del pago adicional por exceso de concentración**

SEDAPAL, cobrará a los Usuarios No Domésticos el pago adicional por exceso de concentración cuando haya verificado excesos de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por SUNASS.

**Artículo 12.- De la oportunidad del cobro**

Cuando SEDAPAL, haya verificado que se ha excedido uno o más de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, aplicará lo dispuesto por la SUNASS. Para ello, emitirá el recibo que será remitido al Usuario No Doméstico junto con el costo de los análisis, la toma de muestra inopinada y cualquier otro costo relacionado a la labor del laboratorio acreditado ante el INDECOPI.

La SUNASS emitirá las normas correspondientes para tal efecto, debiendo precisar los temas referidos a fechas de pago, conceptos facturables, falta de entrega de recibo, entre otros.

**TÍTULO III**

**OBLIGACIONES Y DERECHOS DE SEDAPAL O LA QUE HAGA SUS VECES**

Capítulo I Obligaciones de SEDAPAL o la que haga sus veces	
<p><b>Art. 7.-De las obligaciones:</b></p> <p>a) Solicitar al Usuario No Doméstico la presentación anual de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico conforme al Anexo I del presente reglamento, según lo establecido en la segunda Disposición Complementaria Final del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p> <p>b) Registrar al Usuario No Doméstico una vez revisada y evaluada la Declaración Jurada de Usuarios No Domésticos, conforme al procedimiento establecido en el artículo 17 del presente reglamento.</p> <p>c) Emitir pronunciamiento, previa evaluación de la información presentada, y asignar un Código de Usuario No Doméstico.</p> <p>d) Pagar el importe correspondiente a la toma de muestra inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante INDECOPI, siempre que el valor del parámetro analizado no sobrepase los VMA; en caso de sobrepasar los VMA el importe será asumido por el Usuario No Doméstico.</p> <p>e) Solicitar al Usuario No Doméstico el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros por sobrepasar los VMA fijados en el Anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la Metodología establecida por SUNASS.</p> <p>f) Reponer el servicio de alcantarillado sanitario previa verificación del cumplimiento de los parámetros establecidos en el Anexo N° 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p> <p>g) Suspender el cobro del pago adicional por exceso de concentración al Usuario No Doméstico, previa verificación del cumplimiento de los parámetros del Anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p> <p>h) Comunicar los Usuarios No Domésticos sobre la normatividad, las modificaciones y actualizaciones respecto a los VMA.</p> <p>i) En caso fortuito o fuerza mayor, evaluar si temporalmente procede exonerar al Usuario No Doméstico, previa verificación de cumplimiento de los parámetros o de la suspensión del servicio de descargas del sistema de alcantarillado.</p> <p>j) Cobrar a los Usuarios No Domésticos el pago adicional por exceso de concentración, de acuerdo a la metodología establecida por SUNASS, según lo dispone el artículo 4° del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p> <p>k) Cumplir con las demás disposiciones que se emitan para regular la aplicación de los VMA.</p>	<p>en el sistema de alcantarillado sanitario, sin pago o sanción alguna, siempre que no excedan los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p> <p>SEDAPAL, o la entidad que haga sus veces, en cumplimiento del artículo 7 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, verificará el cumplimiento de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del mencionado Decreto Supremo.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Capítulo II Derechos de SEDAPAL o la que haga sus veces</b></p> <p><b>Art. 8.- De los derechos:</b></p> <p>a) Solicitar al laboratorio acreditado por INDECOPI que efectúe la Toma de Muestra Inopinada a las descargas del Usuario No Doméstico que, según su criterio, amerite la revisión de uno, dos o más VMA contenidos en los Anexos N° 1 y 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p> <p>b) Realizar el estudio para caracterizar el tipo de descarga No doméstica a fin de proponer su evaluación al MVCS, y de ser el caso, modificar y/o actualizar los parámetros contenidos en los anexos N° 1 y 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p>	<p><b>Art. 10.- De las descargas no permitidas</b></p> <p>No está permitido descargar aguas residuales No domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, que sobrepasen los VMA establecidos en el N° 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.</p> <p>En cumplimiento del artículo 9 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, concordante con el literal i) del artículo 72 del T.U.O del Reglamento, no está permitido descargar, verter, arrojar o introducir bajo cualquier modalidad al sistema de alcantarillado sanitario, elementos tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos sólidos</li> <li>• Material orgánico de cualquier tipo y estado</li> <li>• Mezclas inflamables, radioactivas, explosivas, corrosivas, tóxicas y/o venenosas que provoquen daño al sistema de alcantarillado.</li> <li>• Aquellas descargas que puedan causar obstrucciones físicas, interferencias, perturbaciones</li> <li>• Residuos sólidos o viscosos, capaces de obstruir el libre flujo.</li> <li>• Gases procedentes de escapes de motores de cualquier tipo.</li> <li>• Disolventes orgánicos y pintura, cualquiera sea su proporción o cantidad.</li> <li>• Carburo calcio y otras sustancias sólidas potencialmente peligrosas, tales como hidruros, peróxidos, clorados, bromatos y sus derivados.</li> <li>• Hidrocarburos y sus derivados</li> <li>• Materias colorantes</li> <li>• Agua salobre</li> <li>• Residuos que generen gases nocivos.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>TÍTULO IV VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Capítulo I De las Descargas</b></p> <p><b>Art.9.- De las descargas permitidas</b></p> <p>Se permitirá la descarga directa de aguas residuales No domésticas</p>	<p style="text-align: center;"><b>RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 025-2011-SUNASS-CD METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN ANEXO 1 DEL D.S. N° 021-2009-VIVIENDA</b></p> <p>Art. 1°.- Aprobar la metodología para determinación de pago adicional por exceso de concentración respecto de los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales No domésticas en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado y que obra como anexo de la presente resolución.</p> <p>Art. 3°.- Modificar el artículo 42° del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS, de la siguiente manera: "Artículo 42°.- Descargas en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario".</p> <p>Los usuarios no deben descargar, directa o indirectamente, en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado, aguas residuales No domésticas o cualquier otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que no cumplan con la normativa de descargas de aguas residuales.</p> <p>SEDAPAL, podrá cobrar a los usuarios el costo adicional correspondiente a las descargas en el servicio de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles establecidos por la normativa correspondiente, conforme a la metodología aprobada por SUNASS.</p> <p>Art. 4°.- La SUNASS supervisará y fiscalizará a SEDAPAL el cumplimiento de efectuar el monitoreo y control de la concentración de parámetros de descarga de aguas residuales No domésticas en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario, de acuerdo, a lo establecido por la normativa vigente, asimismo</p>

impondrá las sanciones correspondientes.

Para este efecto aplicará el Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, aprobado Resolución de Concejo Directivo N° 003-2007-SUNASS-CD, en lo que corresponda.

**ANEXO N° 1**

**METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN EL ANEXO N° 1 DEL D.S. N° 021-2009-VIVIENDA**

**1. Establecimiento de rangos**

En concordancia con el principio de incentivar la reducción de las descargas de los parámetros del anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, la presente metodología establece cinco (05) rangos de concentración de los parámetros (DBO, DQO, SST, A y G) en relación a los incrementos de concentraciones establecidas como valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario y la transición de estos valores en relación a la dilución de la ciudad y los efectos generados y proyectados en la operación y mantenimiento de la red colectora y plantas de tratamiento de desagüe, con la finalidad de incentivar en los usuarios no domésticos la adecuación de sus sistemas con un pre tratamiento antes de verter sus desagües a la red colectora:

**Definición de Rangos de Parámetros**

RANGO	PARÁMETROS			
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Ay G
VMA (mg/L)	500	1000	500	100
Rango 1	500,1-550	1000,1-1100	500,1-550	100,1-150
Rango 2	550,1 - 600	1100,1 - 1200	550,1 - 600	150,1 - 200
Rango 3	600,1 - 1000	1200,1 - 2500	600,1 - 1000	200,1 - 450
Rango 4	1000,1 - 10 <sup>4</sup>	2500,1 - 10 <sup>4</sup>	1000,1 - 10 <sup>4</sup>	450,1 - 10 <sup>3</sup>
Rango 5	> a 10 <sup>4</sup>	> a 10 <sup>4</sup>	> a 10 <sup>4</sup>	> a 10 <sup>3</sup>

**2. Establecimiento de límite de pago adicional por cada rango**

Adicionalmente se establece límites de pago adicional para cada rango establecido:

**Definición de Límite de Pago Adicional**

RANGO	LÍMITE DE PAGO ADICIONAL
Rango 1	25% del importe facturado por servicio de alcantarillado
Rango 2	75% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 3	100% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 4	10 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 5	20 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado

**3. Establecimiento de pesos específicos para cada uno de los parámetros.**

La metodología establece pasos específicos para cada uno de los parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, Ay Gy SST:

**ASIGNACIÓN PORCENTUAL**

PARÁMETRO	ASIGNACIÓN PORCENTUAL
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	25%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	35%
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	20%
Aceites y Grasas	20%

**II Fórmula**

El pago adicional a ser aplicado a los usuarios No domésticos que producen agua residual No doméstica con concentraciones de DBO, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los Valores Máximos Admisibles del Anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, en adelante VMA, será aplicado sobre la estructura tarifaria previamente definida entre SEDAPAL y la SUNASS.

Por tanto, únicamente los usuarios que opten por arrojar en la red colectora pública agua residual No doméstica con concentraciones de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los VMA deberán realizar el pago adicional.

**Ecuación 1:**

PA =	Importe a facturar por el servicio de alcantarillado	*F
------	--	----

Donde:

PA = Pago adicional

F = Factor de ajuste para calcular el pago adicional

**FACTORES POR CADA RANGO:**

RANGO	FACTORES				TOTAL
	F DBO <sub>5</sub>	F DQO	F SST	F Ay G	
Asignación porcentual	25%	15%	20%	20%	
Rango 1	6%	9%	5%	5%	25%
Rango 2	19%	26%	15%	15%	75%
Rango 3	25%	35%	20%	20%	100%
Rango 4	250%	350%	200%	200%	10 veces más
Rango 5	500%	700%	400%	400%	20 veces más

**Ecuación 2:**

$$F = FDBO_5 + FDQO + FSST + FAyG$$

Donde:

F = Factor de ajuste para calcular el pago adicional.

FDBO<sub>5</sub> = Factor de exceso de DBO<sub>5</sub> de acuerdo al rango.

FDQO = Factor de exceso de DQO de acuerdo al rango.

FSST = Factor de exceso de SST de acuerdo al rango.

FAyG = Factor de exceso de A y G de acuerdo al rango.

**III Etapa de Implementación**

La presente Metodología será aplicada en cumplimiento con lo dispuesto en el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.

## Anexo N° 06 – C: Resolución de consejo directivo N° 009-2015-SUNASS-CD.

**SUPERINTENDENCIA  
NACIONAL DE SERVICIOS  
DE SANEAMIENTO**

**Modifican la Directiva sobre Valores  
Máximos Admisibles de las descargas  
de aguas residuales no domésticas en  
el sistema de alcantarillado sanitario**

**RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO  
N° 009-2015-SUNASS-CD**

Lima, 24 de marzo de 2015

VISTO:

El Informe N° 007-2015-SUNASS-100, presentado por las gerencias de Políticas y Normas, Supervisión y Fiscalización y Asesoría Jurídica y el Tribunal Administrativo de Solución de Reclamos -TRASS, el cual contiene la propuesta de "Modificación de la Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario aprobada por el artículo 1 de la Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD", su correspondiente exposición de motivos y la evaluación de los comentarios recibidos;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3.1 literal c) de la Ley Marco de los Organismos Reguladores de la Inversión Privada en los Servicios Públicos, aprobada por Ley N° 27332 y modificada por la Ley N° 27631, faculta a los organismos reguladores a dictar, en el ámbito y materia de su competencia, los reglamentos, normas de carácter general y mandatos u otras normas de carácter particular referidas a intereses, obligaciones o derechos de las entidades o actividades supervisadas o de sus usuarios;

Que, mediante el artículo 1 de la Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD, se aprobó la Directiva sobre Valores Máximos Admisibles – VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, la cual tiene como objeto establecer normas complementarias al Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA-Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA-, que aprueba los VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario;

Que, mediante Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA, se modificaron diversos artículos del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, así como de su reglamento, disponiéndose en su Quinta Disposición Complementaria y Transitoria que la SUNASS debe emitir las disposiciones legales correspondientes a fin de adecuarlas a este decreto supremo;

Que, en consecuencia, corresponde modificar la Directiva de VMA aprobada por Resolución N° 044-2012-SUNASS-CD. Del mismo modo, resulta necesario perfeccionarla, tomando en consideración los casos presentados hasta la fecha;

Que, el artículo 5 del Reglamento General de la SUNASS, aprobado mediante Decreto Supremo N° 017-2001-PCM, establece el Principio de Transparencia, en virtud del cual las decisiones normativas o regulatorias, para su aprobación, deben ser previamente publicadas a fin de que los interesados tengan la oportunidad de expresar su opinión;

Que, de conformidad a lo antes señalado, la SUNASS aprobó, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 006-2015-SUNASS-CD, la publicación de la propuesta de modificación correspondiente, otorgándose un plazo de quince días calendario para recibir comentarios de los interesados;

Que, evaluados los comentarios recibidos, corresponde aprobar el texto definitivo de la norma;

Según lo dispuesto por el artículo 20 del Reglamento General de la SUNASS y con la conformidad de las gerencias de Políticas y Normas, Supervisión y

Fiscalización, Asesoría Jurídica, Tribunal Administrativo de Solución de Reclamos –TRASS y la Gerencia General, el Consejo Directivo en su sesión del 9 de marzo de 2015;

HA RESUELTO:

**Artículo 1º.-** Modificar los artículos 1, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 22, sumilla del Título Cuarto, artículos 24, 25, 26, 28, 30.1, 31, 33 y Anexo N° 2 de la Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, aprobada por el artículo 1 de la Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD, bajo los términos siguientes:

**\*Artículo 1.- Objetivo**

La presente directiva tiene como objetivo establecer las normas complementarias al Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA y sus modificatorias, en lo referido a:

i) Registro de Usuarios No Domésticos; y monitoreo y control de los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

ii) Metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

iii) Disposiciones relacionadas a la facturación del pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, así como sobre la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

iv) Procedimiento de reclamos referidos a los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas."

**\*Artículo 3.- Definiciones**

a) Descargar: Acción de verter o depositar aguas residuales al sistema de alcantarillado sanitario de forma continua o intermitente.

b) Declaración Jurada: Es la declaración jurada de Usuario No Doméstico, la que debe ir acompañada de los resultados de los análisis del laboratorio acreditado entre otros, conforme lo señalado en el Anexo I del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

c) EPS: Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento.

d) Factor de Ajuste: Factor de ajuste para calcular el Pago Adicional, determinado sobre la base de la metodología aprobada por la SUNASS.

e) Pago adicional: Pago por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

f) Punto de muestreo: Lugar seleccionado para la toma de muestras ubicado antes de la red de alcantarillado sanitario, cuando no sea posible tomarla en la caja de registro de la conexión de alcantarillado.

g) Registro de Usuarios No Domésticos: Base de datos donde la EPS inscribe a los Usuarios No Domésticos, la que deberá incluir la Declaración Jurada, los resultados de las pruebas de laboratorio y demás documentos anexos, conforme la normativa sobre la materia."

**\*Artículo 4.- Declaración Jurada de Usuario No Doméstico**

4.1 La EPS está obligada a solicitar a los Usuarios No Domésticos, que realicen las actividades señaladas en el Anexo N° 1 de esta directiva, la presentación de la Declaración Jurada y a mantener actualizado el Registro de Usuarios No Domésticos; debiendo entregar a éstos un código de registro.

Sin perjuicio de lo antes expuesto, la EPS podrá requerir la presentación de la Declaración Jurada a aquellos Usuarios No Domésticos que no realicen alguna de las actividades señaladas en el Anexo N° 1 de la presente directiva de considerarlo conveniente y previa prueba inopinada.

4.2 La Declaración Jurada podrá ser presentada por un tercero siempre que este cuente con poder otorgado por el Usuario No Doméstico con firma legalizada notarialmente."

**\*Artículo 7.- Obligaciones de la EPS referidas al monitoreo y control**

7.1 La EPS tendrá a su cargo el monitoreo y control de los VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas como mínimo una vez al año.

7.2 De forma anual, la EPS está obligada a realizar pruebas de ensayo inopinadas a un porcentaje mínimo, de sus Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos, de la siguiente manera:

a. Si la EPS cuenta con más de 50,000 Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos, está obligada a realizar pruebas de ensayo al uno por ciento (1%) de estos.



b. Si la EPS cuenta con menos de 50,001 Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos y más de 20,000, está obligada a realizar pruebas de ensayo al uno punto cinco por ciento (1.5%) de estos.

c. Si la EPS cuenta con menos de 20,001 Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos y más de 10,000, está obligada a realizar pruebas de ensayo al dos por ciento (2%) de estos.

d. Si la EPS cuenta con menos de 10,001 Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos y más de 5,000, está obligada a realizar pruebas de ensayo al dos punto cinco por ciento (2.5%) de estos.

e. Si la EPS cuenta con menos de 5,001 Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos y más de 1,000, está obligada a realizar pruebas de ensayo al uno punto tres por ciento (3%) de estos.

f. Si la EPS cuenta con menos de 1,001 Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos y más de 500, está obligada a realizar pruebas de ensayo al tres punto cinco por ciento (3.5%) de estos.

g. Si la EPS cuenta con menos de 501 Usuarios No Domésticos inscritos en el Registro de Usuarios No Domésticos, está obligada a realizar pruebas de ensayo al cuatro por ciento (4%) de estos.

La selección de los Usuarios No Domésticos a los que se realizará las pruebas de ensayo inopinadas, se efectuará teniendo en consideración a aquellos que tienen los mayores consumos de agua potable o información de la caracterización de sus descargas que más afectan al sistema de alcantarillado."

"Artículo 8.- Obligaciones del Usuario No Doméstico

Los Usuarios No Domésticos cumplirán las obligaciones señaladas en el Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA; asimismo, deberán:

a) Para el caso de Usuarios No Domésticos con fuente de agua propia, instalar y mantener en buen estado los dispositivos de aforo y medición (de la fuente de agua).

b) Informar a la EPS cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características de las aguas residuales.

c) Informar a la EPS la planificación de reducción o expansión futura de las instalaciones existentes."

"Artículo 10.- Consideraciones para el muestreo

Para determinar si las descargas a la red de alcantarillado exceden los VMA, se deberá cuantificar los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la información contenida en el Registro de Usuarios No Domésticos. La EPS, en los controles inopinados, sólo analizará los parámetros que así lo considere."

"Artículo 11.- Caracterización de la descarga

La caracterización de la descarga se realizará en función de la concentración de los parámetros que corresponda evaluar y de preferencia en el mes de mayor actividad productiva."

"Artículo 12.- Muestra puntual

Los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA serán determinados a partir de análisis de muestras puntuales.

La muestra puntual deberá ser tomada en un día normal de operación, que refleje cuantitativa y cualitativamente la caracterización de la descarga."

"Artículo 13.- Seguimiento de la implementación de los VMA

Para efectuar el seguimiento de la implementación de los VMA, la EPS debe elaborar, como mínimo una vez al año, un informe que contenga las actividades de implementación y monitoreo de los VMA y dará cuenta de las inversiones y costos de operación y mantenimiento de las redes de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales hasta su disposición final, efectuados en aplicación de lo señalado en el tercer párrafo del artículo 4 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, incorporado por el Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA."

"Artículo 14.- Laboratorio Acreditado

Las características y condiciones de los envases,

preservación y volúmenes, así como los tiempos y métodos de análisis de los parámetros a evaluar, serán realizados únicamente por laboratorios acreditados, cumpliendo las normas y protocolos técnicos aprobados por la entidad que los acredita."

"Artículo 15.- Toma de muestra

15.1 La toma de muestra se realizará en la respectiva caja de registro de la conexión de alcantarillado sanitario y en su defecto en el punto de muestreo. Si el Usuario No Doméstico cuenta con más de una conexión de alcantarillado, se deberá tomar una muestra independiente en cada una de estas.

15.2 La toma de muestra será responsabilidad del laboratorio acreditado contratado para tal fin. Asimismo, será responsable de la preservación y traslado al laboratorio respectivo."

"Artículo 16.- Informe Técnico

El laboratorio acreditado emitirá un Informe Técnico, que incluirá los resultados de las concentraciones de los parámetros que correspondan, los cuales se resumirán en el Anexo N° 2 de la presente Directiva. El informe tiene carácter potestativo."

"Artículo 17.- Establecimiento de rangos

(...)  
DEFINICIÓN DE RANGO DE PARÁMETROS

RANGO	DBO	DQO	SST	AYG
VMA (mg/L)	500	1000	500	100
Rango 1	500,1-550	1000,1-1100	500,1-550	100,1-150
Rango 2	550,1-600	1100,1-1200	550,1-600	150,1-200
Rango 3	600,1-1000	1200,1-2500	600,1-1000	200,1-450
Rango 4	1000,1-10 <sup>4</sup>	2500,1-10 <sup>4</sup>	1000,1-10 <sup>4</sup>	450,1-10 <sup>3</sup>
Rango 5	Mayor a 10 <sup>4</sup>	Mayor a 10 <sup>4</sup>	Mayor a 10 <sup>4</sup>	Mayor a 10 <sup>3</sup>

"Artículo 22.- Incorporación al Reglamento de Prestación de Servicios

Las EPS deberán incorporar en sus Reglamentos de Prestación de Servicios la presente metodología, sin perjuicio de su aplicación inmediata."

"TÍTULO CUARTO

DISPOSICIONES RELACIONADAS A LA FACTURACIÓN DEL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN EL ANEXO N° 1 DEL DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA, ASÍ COMO SOBRE LA SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO SANITARIO"

"Artículo 24.- Criterios Generales para la Facturación

24.1 La EPS sólo facturará el Pago adicional a las conexiones domiciliarias de alcantarillado que se encuentren en condición de activas, sin perjuicio de la facturación que corresponda realizar por periodos anteriores a la fecha de suspensión.

24.2 Para la aplicación de la metodología, se utilizará la información contenida en el Registro de Usuarios No Domésticos.

24.3 La EPS aplicará el cobro por Pago adicional por exceso de concentración en el ciclo de facturación en el que el Usuario No Doméstico presentó su Declaración Jurada.

24.4 La EPS se encuentra obligada a comunicar al Usuario No Doméstico los resultados de la prueba de ensayo inopinada practicada por un laboratorio acreditado.

La mencionada comunicación deberá ser realizada conforme la disposición contenida en el artículo 36 del Reglamento General de Reclamos de Usuarios de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 066-2006-SUNASS y la Ley del Procedimiento Administrativo General, Ley N° 27444, en lo que corresponda.

La EPS aplicará el cobro por pago adicional por exceso de concentración en el ciclo de facturación en el que comunicó los resultados de laboratorio.

24.5 En caso el Usuario No Doméstico presente nuevos análisis, la EPS procederá a revisar y evaluar dichos análisis en el plazo establecido en el artículo 20 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA debiendo, de ser procedente, actualizar y aplicar el Factor de Ajuste o suspender el cobro del pago adicional por exceso de concentración, según sea el caso. La actualización, aplicación y suspensión antes mencionadas se efectuarán a partir del ciclo de facturación en el que se presentaron los nuevos análisis.

24.6 En el supuesto que la EPS efectúe el registro de oficio previsto en el artículo 17.6 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, aplicará el recupero del pago adicional por exceso de concentración de las descargas de aguas residuales no domésticas, debiendo cumplir las siguientes consideraciones:

a) El recupero se aplicará a los ciclos de facturación inmediatamente anteriores a la fecha de comunicación de los resultados de la prueba inopinada.

b) El recupero se aplicará hasta el ciclo de facturación en que venció el plazo para que el Usuario No Doméstico presente su Declaración Jurada y no podrá exceder de doce meses."

"Artículo 25.- Facturación

Con los resultados del laboratorio, la EPS determinará el Factor de Ajuste (F) y el importe a facturar por Pago adicional.

25.1 En caso un Usuario No Doméstico cuente con una conexión de alcantarillado, el Factor de Ajuste (F) del Pago adicional se aplicará al monto facturado por el servicio de alcantarillado.

25.2 En caso un Usuario No Doméstico cuente con más de una unidad de uso y una conexión de alcantarillado, el Factor de Ajuste (F) para el cálculo del Pago adicional se aplicará al monto facturado por alcantarillado de las unidades de uso no domésticas.

25.3 En caso un Usuario No Doméstico cuente con más de una conexión de alcantarillado y una o más unidades de uso, para el cálculo del pago adicional se aplicará, al monto facturado por alcantarillado de sus unidades de uso no domésticas, el mayor Factor de Ajuste (F) de sus conexiones de alcantarillado."

"Artículo 26.- Comprobante de pago

(...)

26.3 Los cargos por conceptos de suspensión (cierre) y reposición (reapertura) del servicio de alcantarillado sanitario, generados como consecuencia de la suspensión temporal conforme a lo establecido en el artículo 8-A del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, se incluirán en el comprobante de pago del periodo de facturación que corresponda, para lo cual se le aplicarán las mismas reglas de facturación y cobranza para dichos conceptos."

"Artículo 28.-Tipos de Reclamos

28.1. Los tipos de reclamos que pueden presentarse en aplicación de la normatividad sobre VMA de descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, son:

a) Reclamo comercial relativo a la facturación

Es aquel originado por controversias sobre aspectos que tienen incidencia directa en el monto a pagar por exceso de concentración en la descarga de agua residual no doméstica en los sistemas de alcantarillado sanitario, como son: i) El Factor de Ajuste y (ii) El Factor de Ajuste y el importe facturado por el servicio de alcantarillado.

b) Reclamo comercial no relativo a la facturación

Es aquel originado cuando: i) Se suspende el servicio de alcantarillado sanitario por alguno de los supuestos establecidos en el artículo 8-A del Decreto Supremo N° 003-2011- VIVIENDA o ii) No se rehabilita el servicio de alcantarillado sanitario a pesar de que cesaron las causas que determinaron la imposición de esa medida.

Esta tipología de reclamos no es taxativa. Ante cualquier controversia sobre la validez de los resultados de la muestra, deberá tomarse en cuenta la disposición

contenida en el numeral 13) del artículo 4 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

28.2 No procede el reclamo contra la suspensión del servicio de alcantarillado cuando la medida se adopta sobre la base de los resultados presentados por el Usuario No Doméstico en la Declaración Jurada a que se refiere el artículo 20 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

28.3 Será de aplicación el Reglamento General de Reclamos de Usuarios de Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 066-2006-SUNASS-CD, si a través del reclamo únicamente se cuestiona la facturación de: i) Los costos de la prueba inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ii) Los servicios colaterales de cierre y reapertura del servicio de alcantarillado y iii) El importe facturado por el servicio de alcantarillado."

"Artículo 30.- Plazo para la presentación de reclamos

30.1. Reclamo comercial relativo a la facturación

Los reclamos señalados en el artículo 28, numeral 28.1, literal a) de la presente directiva, podrán ser presentados ante la EPS dentro de los dos (2) meses siguientes a la fecha de vencimiento de la facturación o de producido el hecho que lo motiva.

Toda ampliación del reclamo posterior a la presentación inicial por cualquier concepto o meses reclamados, se aceptará hasta los cinco (5) días hábiles posteriores a la presentación del reclamo.

Sin perjuicio de lo señalado, el Usuario No Doméstico podrá solicitar, en la vía administrativa, la devolución del monto cancelado por el concepto de pago adicional por exceso de concentración, incluyendo los intereses correspondientes, dentro del plazo de un año contado a partir del día siguiente de efectuado el pago."

"Artículo 31.- Etapa de investigación: medios probatorios

Durante el presente procedimiento, se podrán ofrecer los siguientes medios probatorios:

31.1 Los previstos en el Reglamento General de Reclamos de los Usuarios de los Servicios de Saneamiento, aprobado por Resolución de Consejo Directivo N° 066-2006-SUNASS-CD, en lo que corresponda.

Reclamo comercial relativo a la facturación

31.2 El Informe Técnico de la EPS que, según el tipo de reclamo, análisis e interpretación, debe contener:

a) El Acta de toma de muestra inopinada, conforme el Anexo II del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

b) Los resultados de la prueba de laboratorio acreditado de los parámetros establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de ser el caso.

c) Los resultados de la prueba de laboratorio referida a la muestra dirimente, conforme lo señalado en el numeral 13 del artículo 4 del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, de ser el caso.

(...)

Reclamo comercial no relativo a la facturación

31.4 Informe que sustente la causa que originó la suspensión del servicio o la falta de reposición, el que deberá ir acompañado de:

a) Órdenes de Servicio correspondientes.

b) Resultados de la prueba de laboratorio.

c) Histórico de suspensión y reposición del servicio.

d) Documentación que acredite el motivo que originó la suspensión del servicio."

"Artículo 33º.- Prohibición de suspensión del servicio de alcantarillado durante el procedimiento.

Ninguna EPS podrá disponer la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario cuando la medida se fundamenta en la falta de pago de los montos y conceptos reclamados."

**"ANEXO N° 2  
FORMATO DE RESULTADO DE MONITOREO DE AGUAS  
RESIDUALES NO DOMÉSTICAS**

FORMATO DE RESULTADO DE MONITOREO DE AGUAS  
RESIDUALES NO DOMÉSTICAS

N° de suministro   
Código de registro VMA   
Fecha

**1.- DATOS DEL USUARIO NO DOMÉSTICO**

1.1 Titular de la conexión

1.2 Dirección  Teléfono

1.3 Actividad económica

1.4 Turnos de funcionamiento   
Información de los días y horarios de la actividad

1.5 Meses de funcionamiento durante el año

**2. DATOS DEL LABORATORIO**

2.1 Razón social

2.2 Responsable de resultados

**3.- RESULTADOS DEL MONITOREO**

3.1 Código de muestra

3.2 Responsable de la toma de muestra

3.3 Fecha y hora de la toma

3.4 Lugar de toma de muestra (Ubicación exacta)

**ANEXO 1**

PARÁMETRO	VMA	RESULTADO	EXCEDE LOS VMA (SI/NO)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	500 mg/L		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000 mg/L		
Sólidos suspendidos totales	500 mg/L		
Aceites y grasas	100 mg/L		

**ANEXO 2**

Aluminio	10 mg/L		
Arsénico	0,5 mg/L		

Boro	4 mg/L		
Cadmio	0,2 mg/L		
Cianuro	1 mg/L		
Cobre	3 mg/L		
Cromo hexavalente	0,5 mg/L		
Cromo total	10 mg/L		
Manganeso	4 mg/L		
Mercurio	0,02 mg/L		
Niquel	4 mg/L		
Plomo	0,5 mg/L		
Sulfatos	1000 mg/L		
Sulfuros	5 mg/L		
Zinc	10 mg/L		
Nitrogeno amoniacal	80 mg/L		
pH	6 a 9		
Sólidos Sedimentables	8.5		
Temperatura	<35C		

*Firma del Representante del laboratorio*

*Firma del Titular del Servicio*

**Artículo 2°.-** Incorporar a la Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, aprobada por el artículo 1 de la Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD, el artículo 25-A bajo los términos siguientes:

**"Artículo 25-A.- Suspensión Temporal del Servicio de Alcantarillado**

La EPS suspenderá temporalmente el servicio de alcantarillado, sin necesidad de previo aviso ni intervención de autoridad alguna, en caso de incumplimiento en el pago de dos recibos que incluyan el cobro por exceso de los parámetros de VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, los costos generados por la toma de muestra, análisis y la suspensión o reposición del servicio de alcantarillado sanitario.

Lo antes señalado no impide que la EPS suspenda temporalmente el servicio ante el incumplimiento de las obligaciones a que se refiere el artículo 8A del Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA."

**Artículo 3°.-** Derogar los artículos 5, 6 y el Título VI "Procedimiento de sanción por incumplimiento de Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas

residuales no domésticas" de la Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, aprobada por el artículo 1 de la Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD.

**Artículo 4°.-** El Tribunal Administrativo de Solución de Reclamos - TRASS queda facultado para resolver los recursos de apelación interpuestos contra las sanciones impuestas por las EPS antes de la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA.

**Artículo 5°.-** Disponer la publicación de la presente resolución en el diario oficial El Peruano, la cual entrará en vigencia al día siguiente de su publicación.

**Artículo 6°.-** Disponer la publicación de la presente resolución, exposición de motivos y matriz de comentarios en la página web de la SUNASS [www.sunass.gob.pe](http://www.sunass.gob.pe).

Regístrese y publíquese.

FERNANDO MOMIY HADA  
Presidente del Consejo Directivo

1216248-1

## Anexo N° 06 – D: Decreto supremo N°002-2008-MINAM.

377222

**NORMAS LEGALES**

El Peruano

Lima, Lunes 31 de Julio de 2008

Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON  
Jefe (e)  
Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1

**AMBIENTE****Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua**

DECRETO SUPREMO  
N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 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; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611-Ley General del Ambiente, establece que 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 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 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013; En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

**Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua**

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, 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 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.

**Artículo 2°.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA**

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

DIARIO OFICIAL

**REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS**

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico. [normaslegales@editoraperu.com.pe](mailto:normaslegales@editoraperu.com.pe)

LA DIRECCIÓN

**ANEXO I**

**ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA**

**CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL**

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
Aceite y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	µs/cm <sup>25</sup>	1 500	1 600	**	**	**
D.B.D. <sub>5</sub>	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentos (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitritos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	-- 6	-- 5	-- 4	-- 5	-- 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT <sup>90</sup>	5	100	**	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTPP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs</b>						
1,1,1-Tricloroetano -- 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano -- 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno -- 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno -- 87-68-3	mg/L	0,0006	0,0006	**	**	**
Tetracloroetano -- 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloro de Carbono -- 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano -- 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
<b>BTEX</b>						

377224

**NORMAS LEGALES**

El Peruano  
Lima, Lunes 31 de Julio de 2008

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Benceno -- 71-43-2	mg/L	0,01	0,01	**	**	**
Etilbenceno -- 100-41-4	mg/L	0,3	0,3	**	**	**
Tolueno -- 108-88-3	mg/L	0,7	0,7	**	**	**
Xilenos -- 1330-20-7	mg/L	0,5	0,5	**	**	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzopireno -- 50-32-8	mg/L	0,0007	0,0007	**	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**	**	**
Triclorobencenos (Totales)	mg/L	0,02	0,02	**	**	**
<b>Plaguicidas</b>						
<b>Organofosforados:</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	**	**	**
Metamidofós (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paratión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
<b>Organoclorados (COP)*:</b>						
Aldrín -- 309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Dieldrín -- 60-57-1	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	*	**	**
Endrín -- 72-20-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro -- 76-44-3	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro epóxido 1024-57-3	mg/L	0,00003	0,00003	*	**	**
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
<b>Carbamatos:</b>						
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
<b>Policloruros Bifenilos Totales (PCBs)</b>						
(PCBs)	mg/L	0,000001	0,000001	**	**	**
<b>Otros</b>						
Asbesto	Millones de fibras/L	7	**	**	**	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2 000	20 000	200	1 000
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0		200	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0		0	
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
<i>Vibrio Cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad  
NMP/100 mL Número más probable en 100 mL

\* Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

\*\* Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

**CATEGORÍA 2: ACTIVIDADES MARINO COSTERAS**

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1 Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Sub Categoría 2 Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Sub Categoría 3 Otras Actividades (C3)
<b>ORGANOLÉPTICOS</b>				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
<b>FISICOQUÍMICOS.</b>				
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0
DEO <sub>2</sub>	mg/L	**	10,0	10,0
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4	>=3	>=2,5
pH	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	**	50,0	70,0
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	**	0,06	0,08
Temperatura	centígrados	**delta 3 °C	**delta 3 °C	**delta 3 °C
<b>INORGÁNICOS</b>				
Amoníaco	mg/L	**	0,08	0,21
Arsénico total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cadmio total	mg/L	0,0093	0,0093	0,0093
Cobre total	mg/L	0,0031	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fosfatos (P-PO4)	mg/L	**	0,03 - 0,09	0,1

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/L	0,00094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	**	0,07 - 0,28	0,3
Piombo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O <sub>3</sub> )	mg/L	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/L	0,081	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤88 (área restringida)		

NMP/ 100 mL. Número más probable en 100 mL.

\* **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.

\*\* Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine.

\*\*\* La temperatura corresponde al promedio mensual multianual del área evaluada.

**CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES**

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P <sup>3</sup>	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Piombo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 305-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

377226

**NORMAS LEGALES**

El Peruano  
Lima, Lunes 31 de Julio de 2008

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

**CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES**

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	UNIDAD	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
<b>Biológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
<b>PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES</b>			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	
<b>Fisicoquímicos</b>			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitros (NO3-N)	mg/L	50	
Nitros (NO2-N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/l.	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
<b>Inorgánicos</b>			
Aluminio	mg/l.	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/l.	5	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/l.	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/l.	1	
Litio	mg/l.	2,5	
Magnesio	mg/L	150	
Manganeso	mg/l.	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Niquel	mg/l.	0,2	
Plata	mg/L	0,05	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/l.	24	
<b>Orgánicos</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	
<b>Plaguicidas</b>			
Aldicarb	ug/L	1	
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7	
Endosulfán	ug/l.	0,02	

Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5
<b>Biológicos</b>		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helminths	huevo/litro	<1
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente

**NOTA :**

**NMP/100:** Número más probable en 100 mL.

**Vegetales de Tallo alto:** Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

**Vegetales de Tallo bajo:** Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo ( 10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

**Animales mayores:** Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

**Animales menores:** Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

**SAAM:** Sustancias activas de azul de metileno

**CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO**

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DEO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8-8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
<b>INORGÁNICOS</b>						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	----
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	----
Clorofila A	mg/L	10	----	----	----	----
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenolas	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitros (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
<b>INORGÁNICOS</b>						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		----	----
Niquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	----	----	----	----	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno ( H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

**NOTA :** Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

**Dureza:** Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

**Nitrógeno total:** Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)

**Amonio:** Como NH3 no ionizado

**NMP/100 mL:** Número más probable de 100 mL.

**Ausente:** No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

232538-1

**Anexo N° 06 – E: Decreto supremo N°015-2015-MINAM.**

569076

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 /  El Peruano
**PODEREJECUTIVO**
**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 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 Integral 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

FISICOS - QUIMICOS

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>				
Hydrocarburos 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>Hydrocarburos 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	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptaclo + Heptaclo 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	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
Vibrio cholerae	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:

569080

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 / El Peruano

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}} + C_{\text{Dibromoclorometano}} + C_{\text{Cromodibromoclorometano}} + C_{\text{Cromoformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}} + E_{\text{CADibromoclorometano}} + E_{\text{CABromodibromoclorometano}} + E_{\text{CACromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:  
C = Concentración en mg/L y  
ECA: Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodibromoclorometano)

(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
Escherichia coli	E.coli /100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella sp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	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.

CATEGORÍA 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 Suspendidos 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
Níquel	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>					
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos 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 amoniacal en diferente pH y temperatura para la protección de la vida acuática (mg/L de NH<sub>3</sub>)

Temp (°C)	pH							
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	10.0
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 NH<sub>3</sub>) 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
Níquel	mg/l	0,2	1
Plomo	mg/l	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,02	0,05

569082

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 / El Peruano

CATEGORÍAS		ECA AGUA: CATEGORÍA 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.

CATEGORÍA 4

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS COSTA Y SIERRA		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
<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 Pt/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 Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	30

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS COSTA Y SIERRA		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
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	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
HTTP						
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
Antraeno	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>ORGANOCORADOS</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	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
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.

1325630-1