

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**CINÉTICA DE ADSORCIÓN DEL  $Mn^{2+}$  DE LAS AGUAS  
RESIDUALES DE LA MINA LUNAR DE ORO MEDIANTE EL USO  
DE RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS DE LAS  
ACTIVIDADES ACUÍCOLAS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**FREDY DAVID BARRANTES ENRIQUEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

CINÉTICA DE ADSORCIÓN DEL  $Mn^{2+}$  DE LAS AGUAS  
RESIDUALES DE LA MINA LUNAR DE ORO MEDIANTE EL USO  
DE RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS DE LAS  
ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

TESIS PRESENTADA POR:

FREDY DAVID BARRANTES ENRIQUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO



APROBADA POR:

PRESIDENTE

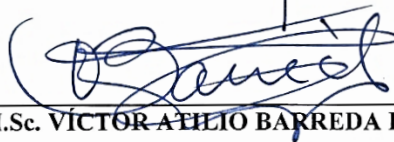
:



Dr. ALVARO GABINO SARMIENTO MENA

PRIMER MIEMBRO

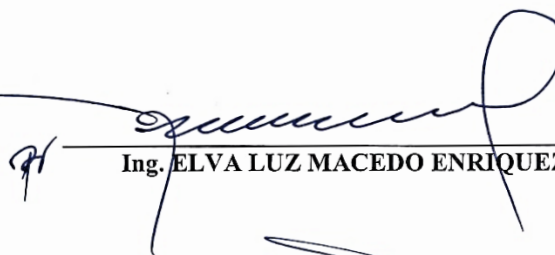
:



M.Sc. VÍCTOR ATHLIO BARREDA DEL ARROYO

SEGUNDO MIEMBRO

:



Ing. ELVA LUZ MACEDO ENRIQUEZ

DIRECTOR / ASESOR

:



M.Sc. EDITH TELLO PALMA

ÁREA: Investigación

TEMA: Cinética de adsorción del Manganese

LÍNEA: Tecnologías ambientales y recursos naturales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 de diciembre del 2017

## DEDICATORIA

*Dedico con mucho cariño a Dios, a toda mi familia en especial a mis padres David Barrantes Flores y Adriana Enriquez Apaza, que con su amor, paciencia y sacrificio me dieron el valor para lograr mis metas. Así mismo a mis docentes en especial a la Dra. Edith Tello Palma, por el apoyo incondicional que me brindaron durante la elaboración de la tesis.*

*Fredy David Barrantes Enriquez*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de esta tesis, así como a la jefatura y los responsables de los laboratorios de la FIZ – UNAP. En especial a mi directora de tesis Dra. Edith Tello Palma que gracias a sus conocimientos, experiencias, vivencias, consejos, etc. Pude seguir adelante a pesar de mis caídas.*

*Agradezco a todos mis docentes de la FIZ – UNAP, los que supieron inculcar sabias enseñanzas, valores, amistad, etc. Para así lograr mis metas.*

*Agradezco a mis queridos padres, a mi hermano por las fuerzas que me dieron para seguir adelante.*

*Fredy David Barrantes Enriquez*



**ÍNDICE GENERAL**

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	8
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	10
<b>RESÚMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	15
<b>2.1. ANTECEDENTES</b> .....	15
<b>2.2. REFERENCIAS TEÓRICAS</b> .....	19
2.2.1. EL AGUA .....	19
2.2.1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....	20
2.2.1.2. AGUAS RESIDUALES .....	20
2.2.1.2.1. Tipos de aguas residuales.....	21
2.2.1.2.2. Características de las aguas residuales .....	21
2.2.1.2.3. Contaminantes de Importancia en el Tratamiento del Agua Residual .....	23
2.2.1.2.4. Tratamientos de aguas residuales.....	24
2.2.1.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS .....	27
2.2.1.4. REMOCIÓN DE METALES PESADOS .....	28
2.2.1.5. ENSAYOS DE BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS EN MEDIO ACUOSO.....	29
2.2.1.6. MECANISMOS IMPLICADOS EN LA BIOADSORCIÓN DE METALES PESADOS .....	33
2.2.2. MANGANESO .....	35
2.2.2.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR MANGANESO .....	40
2.2.2.2. RIESGOS .....	41
2.2.2.2.1. Absorción, Distribución y Excreción .....	41
2.2.2.2.2. Exposición.....	42
2.2.2.2.3. Intoxicación Crónica por Manganeso (Manganismo) .....	43
2.2.2.3. MEDIDAS DE SALUD Y SEGURIDAD .....	45
2.2.3. ADSORCIÓN.....	47
2.2.3.1. BIOADSORCIÓN.....	48
2.2.3.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ADSORCIÓN .....	48
2.2.3.3. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE ADSORCIÓN.....	49

2.2.3.4. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN .....	50
2.2.3.5. CINÉTICA DE ADSORCIÓN .....	51
2.2.3.5.1. Modelo cinético de primer orden (Lagergren) .....	52
2.2.3.5.2. Modelo cinético de Pseudo segundo orden.....	53
2.2.3.5.3. Modelo de Elovich .....	54
2.2.3.5.4. Modelo de difusión intraparticular.....	55
2.2.3.6. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....	56
2.2.3.6.1. Modelo de Langmuir .....	57
2.2.3.6.2. Modelo de Freundlich.....	57
2.2.3.6.3. Modelo de Langmuir – Freundlich .....	58
<b>2.3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>59</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS .....</b>	<b>60</b>
3.2.1. MATERIA PRIMA .....	60
3.2.2. INSUMOS Y REACTIVOS.....	60
3.2.3. MATERIALES DE LABORATORIO .....	60
3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	61
<b>3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>62</b>
3.3.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	62
3.3.1.1. Diagrama de flujo del proceso de desarrollo experimental.....	62
3.3.1.2. Preparación del bioadsorbente .....	63
3.3.1.3. Preparación de la muestra contaminada .....	64
3.3.1.4. Proceso de adsorción.....	65
3.3.2. DETERMINACIÓN DE LA ADSORCIÓN DEL $Mn^{2+}$ .....	67
3.3.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN .....	68
3.3.4. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN .....	68
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HUESO DE TRUCHA .....</b>	<b>69</b>
<b>4.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL HUESO DE TRUCHA .....</b>	<b>69</b>
4.2.1. Caracterización del Hueso de Trucha por Espectroscopia de Plasma .....	69
4.2.2. Caracterización del hueso por Microscopio Electrónico de Barrido .....	71
4.2.3. Caracterización del hueso por Espectrofotometría de infrarrojo.....	72
<b>4.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL (ADSORBATO).....</b>	<b>74</b>
<b>4.4. PROCESO DE ADSORCIÓN .....</b>	<b>75</b>

<b>4.5. CINÉTICA DE ADSORCIÓN</b> .....	78
4.5.1. Modelo cinético de primer orden de Lagengren.....	80
4.5.2. Modelo cinético de pseudo segundo orden .....	82
<b>4.6. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN</b> .....	85
4.6.1. Modelo Langmuir .....	87
4.6.2. Modelo de Freundlich .....	88
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	90
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	91
<b>VII. REFERENCIAS</b> .....	92
<b>ANEXOS</b> .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los tratamientos de aguas convencionales. ....	25
Figura 2. Clasificación de los tratamientos de aguas mediante tecnologías emergentes. .....	26
Figura 3. Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico.....	29
Figura 4. Diagrama esquemático de los diferentes procesos para la preparación de biosorbentes usando biomasas naturales. ....	31
Figura 5. Esquema general de los mecanismos del proceso de bioadsorción en columna de lecho fijo. ....	34
Figura 6. Diagrama de estabilidad para varias especies de manganeso en agua. ....	36
Figura 7. Diagrama de Pourbaix para las principales especies del Manganeso. ....	39
Figura 8. Representación esquemática del proceso de adsorción. ....	49
Figura 9. Factores que determinan la adsorción de un sistema. ....	50
Figura 10. Procesos de transporte de adsorción mediante adsorbentes microporosos. .	52
Figura 11. Clasificación de los modelos de isothermas aplicables a sistemas en fase líquida. ....	56
Figura 12. Localización del ámbito de estudio. ....	60
Figura 13. Huesos de trucha lavado. ....	63
Figura 14. Huesos de trucha secado.....	63
Figura 15. Activación y secado del bioadsorbente (Huesos de Trucha).....	64
Figura 16. Ubicación y muestra de agua residual de Lunar de Oro.....	65
Figura 17. Adsorción de Mn del agua residual con huesos de Trucha. ....	67
Figura 18. Muestras de agua tratada y equipo de absorción atómica. ....	68
Figura 19. Caracterización de los huesos de pescado natural por MEB – EDS. ....	71
Figura 20. Caracterización de los huesos de pescado tratados con Ácido Sulfúrico por.MEB – EDS. ....	72
Figura 21. Caracterización de los huesos de pescado por espectrofotometría de.infrarojo.....	73
Figura 22. Gráfico de comparación de resultados de los análisis con los límites máximos permisibles del ECA para el agua, Categoría 1, subcategoría A - A1 establecidos por el decreto supremo N° 004-2017-MINAM. ....	74

Figura 23. Gráfico de la curva de calibración.....	75
Figura 24. Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.....	76
Figura 25. Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH. ....	77
Figura 26. Gráfico del comportamiento de la concentración respecto al tiempo. ....	79
Figura 27. Gráfico del comportamiento del % de adsorción del $Mn^{2+}$ respecto al tiempo. ....	79
Figura 28. Gráfico del modelo cinético de primer orden de Lagergren (Linealizada). .	82
Figura 29. Gráfico del modelo cinético de Pseudo segundo orden. ....	84
Figura 30. Gráfico de la isoterma del hueso de Trucha. ....	86
Figura 31. Gráfico de la isoterma de Langmuir de los residuos acuícolas. ....	87
Figura 32. Gráfico de la isoterma de Freundlich de los residuos acuícolas.....	88

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias. ....	22
Tabla 2. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual. ....	23
Tabla 3. Tipos de biomásas naturales usadas para la preparación de biosorbentes. ....	30
Tabla 4. Métodos de modificación de biosorbentes en su estado natural para el mejoramiento de sus capacidades de biosorción. ....	32
Tabla 5. Propiedades Físicas – Químicas del Manganeseo. ....	35
Tabla 6. Estados de oxidación del Manganeseo. ....	36
Tabla 7. Distribución y abundancia del Manganeseo en la naturaleza. ....	39
Tabla 8. Ecuaciones de primer y Pseudo-segundo orden. ....	54
Tabla 9. Constantes del proceso de adsorción del $Mn^{2+}$ . ....	65
Tabla 10. Evaluación del proceso de adsorción. ....	66
Tabla 11. Evaluación del tiempo de contacto del adsorbente con la muestra contaminada. ....	67
Tabla 12. Composición Química inorgánica del Hueso de Trucha. ....	70
Tabla 13. Características físico químicas del agua residual. ....	74
Tabla 14. Curva de calibración para el análisis de $Mn^{2+}$ por espectroscopia de absorción atómica. ....	75
Tabla 15. Comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH. ....	76
Tabla 16. Comportamiento de la capacidad de adsorción (%) en función a la masa del bioadsorbente y pH. ....	77
Tabla 17. Comportamiento de la concentración y el porcentaje de adsorción respecto al tiempo. ....	78
Tabla 18. Resultados del modelo cinético de primer orden de Lagengren. ....	81
Tabla 19. Resultados del modelo cinético de Pseudo segundo orden. ....	83
Tabla 20. Parámetros cinéticos del modelo de primer orden de Lagergren y Pseudo segundo orden. ....	85
Tabla 21. Datos de la isoterma del hueso de Trucha. ....	86
Tabla 22. Parámetros de Langmuir y Freundlich. ....	89

## RESÚMEN

El objetivo del estudio fue “Determinar la cinética de adsorción del  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas”. El presente trabajo se ejecutó en los laboratorios de Investigación y Control de Calidad Ambiental adscrita a la Oficina Universitaria de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado en el Distrito, Provincia y Departamento de Puno, bajo las condiciones ambientales de una temperatura promedio de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , presión atmosférica de 486 mmHg, altitud de 3828 m.s.n.m., para los análisis y resultados, las muestras se enviaron a los Laboratorios Analíticos de Sur de la ciudad de Arequipa y al laboratorio RHLAB S.A.C. de la ciudad de Juliaca. Para la adsorción de  $Mn^{2+}$  se trabajó con hueso de Trucha tratado mediante una activación ácida, para lo cual se utilizó ácido sulfúrico al 3 %, con una relación de 1:2, de biomaterial (g) y ácido (mL) respectivamente. En el proceso de contacto, se evaluaron pH de 3,8; 5,55; 7,3 y dosis de 0,5 g, 1 g, y 1,6 g para un volumen de 50 mL, tiempo de residencia de 23 minutos y una velocidad de agitación de 200 RPM en cada prueba, obteniendo como buen resultado el de pH 5,55, dosis de 1,6 g; por lo que se midieron tiempos de 7, 10, 16, 23, 30, 40, 80, 120, 160 y 200 minutos; Alcanzando un porcentaje de adsorción igual a 80,707 % y  $q_e$  de 0,1463 mg/g. El modelo cinético al que se ajustó más, fue el de Pseudo segundo orden con un factor de correlación de  $R^2$  igual a 0,9984; su constante de velocidad de adsorción máxima de  $1,8169\text{ min}^{-1}$  y con una velocidad de  $0,0364\text{ mg/g}\cdot\text{min}$ . En cuanto a las isothermas de adsorción que se evaluó, al que más se ajusta fue a la isoterma de Freundlich en donde se obtuvo un coeficiente de correlación  $r^2$  de 1, coeficiente de Freundlich  $K_f$  igual a 0,0312 y n de 0,9998.

**Palabras claves:** adsorción, bioadsorbente, manganeso, parámetros cinéticos, isothermas de adsorción.

## ABSTRACT

The objective of the study was "Determining the adsorption kinetics of  $Mn^{2+}$  of Lunar de Oro gold mine by using organic waste generated from aquaculture activities", The present work was executed in the Environmental Quality Research and Control Laboratories attached to the University Research Office of the National University of the Altiplano, located in the District, Province and Department of Puno, under the environmental conditions of  $15^{\circ}C$  average temperature, 486 mmHg atmospheric pressure, 3828 m.s.n.m. altitude, of analysis and results, the samples were sent to the Southern Analytic Laboratories of Arequipa city and the RHLAB S.A.C. laboratory of Juliaca city. For  $Mn^{2+}$  adsorption was used the trout bone treated by acid activation, for that was used 3% of sulfuric acid, with a relationship 1:2, biomaterial (g) and acid (mL) respectively. In the contact process, assessed pH of 3,8; 5,55; 7,3 and 0,5 g, 1 g, and 1,6 g dose for a volume of 50 mL, with 23 minutes of resistance and a stirring speed of 200 RPM for each test, obtaining a good result in pH 5.55, of 1,6 g dose; so the time measurements were 7, 10, 16, 23, 30, 40, 80, 120, 160 and 200 minutes; Reaching an adsorption percentage rate equal to 80,707% and  $q_e$  of 0,1463 mg/g. The kinetic model adjustment corresponds to the Pseudo Second order with a correlation factor of  $R^2$  equal to 0,9984 its maximum adsorption rate constant is  $1,8169 \text{ min}^{-1}$  and with a speed of  $0,0364 \text{ mg/g*min}$ . In terms of the adsorption isotherms that was evaluated, certainly corresponds to the Freundlich isotherm where was assessed a correlation coefficient  $R^2$  of 1, Freundlich coefficient  $K_f$  equal to 0,0312 and n of 0,9999.

**Key words:** adsorption, bioadsorbent, manganese, kinetic parameters, adsorption isotherms.



## I. INTRODUCCIÓN

La industria minero metalúrgicos ha conducido a un gran avance en la economía del Perú, aunque asimismo ha implicado daños medioambientales graves e irreversibles. La contaminación a estado aumentando debido a las grandes y pequeñas minerías que son los responsables de la contaminación ambiental que a través de sus diversas operaciones como extracción, lixiviación, filtraciones de las presas de relave, acumulación de material en botaderos, drenaje ácido de mina (DAM), pasivos ambientales, etc. por otro lado la galvanoplastia es otra de las industrias que son los responsables de la contaminación por la falta de fiscalización por parte del estado Peruano y así establecer normas cada vez más estrictas, así mismo generar investigación para remediar problemas medioambientales, lo que hace la necesidad de implementar tecnologías limpias que sean aplicables en la descontaminación del agua como el presente proyecto de investigación que utilizó el residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas, como son los huesos de la Truchas, además es fácil de acceder ya que hay bastante consumo Trucha, lo cual favoreció a realizar este trabajo y así reducir al máximo la concentración de Manganeseo en aguas contaminadas de Lunar de Oro.

La reducción de metales como Manganeseo en aguas contaminadas es importante debido a los impactos que produce al medio ambiente como al agua, lo cual las formas del Manganeseo predominantes en el medio acuático a medida que aumenta el pH son  $Mn^{2+}$ ,  $MnCO_3(s)$ ,  $MnO_2(s)$  y  $MnS(s)$ , siendo poco comunes formas como carbonatos ácidos, sulfatos y cloruros. El manganeseo no disuelto puede encontrarse asociado a materia orgánica o a otros metales. Los problemas en el consumo de agua que produce el Hierro y Manganeseo son las precipitaciones que generando un color oscuro que provoca el rechazo de los consumidores, manchan la ropa, obstruyen tuberías, accesorios y bombas; debido a que estos dos siempre se encuentran juntos.

En la salud de los seres vivos en especial de los humanos; el consumo del Manganeseo es una parte importante de la dieta diaria pero en mínimas cantidades. En lo concerniente a su toxicidad, ha sido documentada la provocación de desórdenes neurológicos y psiquiátricos resultantes de la exposición laboral al Manganeseo, primariamente por inhalación. En casos de grandes exposiciones a Manganeseo, pueden ocurrir serias enfermedades como el “*Manganismo*”. Esta situación ha sido experimentada por mineros de Manganeseo, por personas que trabajan en la fabricación de acero y que son

expuestos a niveles altos de polvo de Manganeso en el aire durante muchos meses o años; los síntomas incluyen perturbaciones mentales y emocionales, los movimientos del cuerpo pueden llegar a ser lentos y torpe. Algunos síntomas pueden reducirse por tratamiento médico, pero el manganeso daña una parte del cerebro que controla los movimientos del cuerpo y esto es permanente. La inhalación de polvo también puede producir irritación pulmonar que causa dificultades para respirar y puede aumentar la infección pulmonar como la pulmonía. Hombres expuestos a los niveles altos de polvo en el aire también pueden volverse impotentes.

El Ministerio Nacional del Ambiente (2017), estableció Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua mediante el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, donde indica el límite máximo permisible de 0,4 mg/L de Manganeso en aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, como también para las aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional y de 0,5 mg/L de Manganeso en aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado, debido al riesgo de intoxicación por Manganeso (*Manganismo*) que puede tener manifestaciones nerviosas y/o pulmonares.

Existen varios métodos para remover el Manganeso del agua, pero muchos de los cuales son costosos y no reutilizables. La bioadsorción es una alternativa prometedora, la cual utiliza biomasas vivas o muertas para captar y concentrar metales pesados. Para llevar a cabo la investigación, el objetivo general que se planteó fue: Determinar la cinética de adsorción del  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas. Y los objetivos específicos: Caracterizar los huesos de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) para ser utilizado como bioadsorbente, determinar el mejor modelo matemático que ajuste a la cinética de adsorción del  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro, determinar el porcentaje de remoción del  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

#### Antecedentes a nivel local

**Coyla (2012)**, en su trabajo de investigación de “Efecto de pH y la concentración de Cloro para la eliminación de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  en agua de pozo de Alta Gracia (Antauta-Melgar)” indica que trabajó con una muestra de 250 mL, en donde preparó una solución patrón de hierro y manganeso con una concentración de 2,291 ppm  $\text{Fe}^{2+}$  y 6,001 ppm  $\text{Mn}^{2+}$  a un pH que varía de acuerdo al diseño experimental, llegando a eliminar hasta un 97,15% y 93,65% de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  respectivamente. También determinó un pH de 7, concentración de cloro activo de 1,5 ppm y el tiempo de contacto de 10 minutos, y realizó una corrida adicional con muestra real que pertenece al pozo mencionado y observó el porcentaje de eliminación de 98,04% y 92,90% de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  respectivamente.

**Apaza (2009)**, en su trabajo de investigación estudió la cinética de adsorción de iones metálicos pesados como el Plomo, Cadmio y Mercurio sobre carbón de hueso de Alpaca, donde el porcentaje de adsorción de los metales pesados fueron de 27%, 47,8% y 14,7% respectivamente, a un pH 5,5 de temperatura de 10 a 20 °C por un tiempo de contacto de 15, 30, 60, 60, 90, 120 minutos. Evaluó los modelos de pseudo primer orden y el modelo de Elovich, lo cual llegó a la conclusión que el modelo Elovich es el mejor al que se adecua el proceso con un valor de  $R^2$  para el plomo 96,8%, cadmio 91,64% y mercurio 98,6%.

### Antecedentes a nivel nacional

**Loarte y Sanabria (2015)**, en su trabajo de investigación evaluó el efecto de pH y tipo de adsorbente en la remoción de Manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros, realizó la curva de masas para cada adsorbente, obteniendo 0,9 g para la bentonita, 1,2, g para el aserrín y 0,9 para la mezcla bentonita-aserrín, por lo que trabajó con una masa constante de 1 g en un volumen de solución de 50 mL. Realizó 6 puntos experimentales para cada adsorbente con soluciones de  $Mn^{2+}$  de concentraciones iniciales de 3, 6, 9, 12, 18 ppm, logro determinar las isotermas de bentonita, el aserrín y la mezcla; la que más se ajusta es la de Freundlich, con un rango de confiabilidad R 0,9758, 0,9909 y 0,9935 respectivamente.

Las variables óptimas obtenidas fueron de adsorbente bentonita a pH 8, logrando una remoción de una concentración inicial de 18 ppm a una concentración de equilibrio de 0,827 ppm que representa un 95,56% de remoción. Llego a la conclusión de que tanto como el pH como el tipo de adsorbente son influyentes en la remoción de  $Mn^{2+}$  de las aguas del río Yauli, siendo el tipo de adsorbente el más influyente con  $F_B=6772,41$ . Removió  $Mn^{2+}$  de las muestras contaminada empleando las variables óptimas, la remoción fue desde una concentración de 18,41 ppm hasta una concentración en equilibrio de 1,173 ppm, el porcentaje de remoción es 93,63%.

**Delgado (2013)**, en su trabajo de investigación evaluó las escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de aguas residuales, en donde llevó a cabo la adsorción por lotes. Se realizaron ensayos con 500 mL de muestra problema filtrado para evitar sólidos suspendidos, para cada análisis en vasos precipitados de 600 mL, con nivel de agitación 10 del agitador magnético HANNA. El peso de adsorbente necesario para la adsorción de la mezcla de cuatro iones metálicos  $Mn^{2+}$  (97,45%),  $Ni^{2+}$  (77,28%),  $Pb^{2+}$  (82,01%) y  $Zn$  (98,15%) fue 10 gramos; dosis menores como 5 gramos de adsorbente remueve la mayor parte de  $Mn^{2+}$  (94,54%),  $Ni^{2+}$  (69,38%) y  $Zn^{2+}$  (96,47%) pero no de plomo (23,74%). El efecto de tiempo de residencia, para el agua residual preparada en el laboratorio fue de menor o igual que 5 minutos en los cuales se adsorbe la mayor parte de los metales contaminantes como  $Mn^{2+}$  (96,33%),  $Ni^{2+}$  (76%),  $Pb^{2+}$  (88,22%) y  $Zn^{2+}$  (97,45%) respecto a otros adsorbentes naturales estudiados hasta el momento, además estos resultados son compatibles a los estudios realizados para escamas por Viza. El proceso de adsorción y la capacidad de adsorción de las escamas dependió del

pH de la solución del metal a la cual se realizó la adsorción y para cada metal tuvo un valor de pH donde se dio la mejor performance de adsorción, así se tiene que niveles de pH entre 3,7 y 6,7 que permitieron una mayor adsorción para  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  y  $Zn^{2+}$ , mientras que para el plomo requirió un nivel de pH entre 3 y 5.

**Lazo (2012)**, en su trabajo de investigación realizó la caracterización físico-química de la fuente de agua determinando que la concentración promedio de manganeso excede los valores límites establecidos por DIGESA D.S. N° 031-2010-S.A. Realizó 4 pruebas de jarras a escala de laboratorio para ajustar los reactivos a usar, donde se ha determinado que la remoción de manganeso con la tecnología de oxidación-filtración tuvo una eficiencia de 83%, empleando una dosificación de reactivos de 6 mg/L de cal, 2,5 mg/L de Hipoclorito de Calcio y 6 mg/L de Sulfato de aluminio.

#### **Antecedentes a nivel internacional**

**Martínez (2014)**, en su trabajo de investigación utilizó como bioadsorbente huesos de pescado (*Oreochromis niloticus*) con el fin de remover iones de cadmio, en donde el estudio consistió en utilizar el biomaterial de dos formas: a) huesos de forma natural, b) huesos tratados con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) de (1:2 biomaterial-ácido sulfúrico). Ambos tratamientos fueron caracterizados mediante Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y microanálisis elemental (EDS) antes y después de las pruebas de contacto, se manejó un intervalo de pH de 2 a 4 en las diferentes soluciones de Cd que se prepararon en el laboratorio. Los mejores resultados en la remoción de cadmio se obtuvieron con los huesos tratados con  $H_2SO_4$ .

**Cechinel et al. (2014)**, en su investigación evaluaron la capacidad de adsorción de plomo a través de carbón proveniente de huesos de vaca, el cual fue modificado químicamente con  $HNO_3$ , obtuvieron porcentajes de remoción de 31,1, 50,1 y 42,3 mg/g para concentraciones de 100, 150 y 200 mg/L respectivamente.

**Wei et al. (2013)**, en su trabajo de investigación emplearon carbón proveniente de huesos de cerdo para la eliminación de Cr (VI), el material demostró una capacidad máxima de adsorción de 398,40 mg/g a un pH=2. Los datos experimentales se ajustaron al modelo cinético de pseudo-segundo orden así como al modelo de Langmuir, el material se comparó con un carbón activado comercial sin embargo resultó ser más eficiente el carbón de hueso de cerdo.

**Cuchimaque et al. (2013)**, en su trabajo de investigación de “Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita” comprueba la eficiencia en la remoción de Fe y Mn de aguas naturales por el empleo de un medio adsorbente que consiste de zeolita natural (Clinoptilolita), recubierta con  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}_2$  a partir de  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{MnSO}_4$ , respectivamente. La zeolita por su gran capacidad de intercambio de cationes es un excelente soporte de estos óxidos. El mecanismo de la remoción fue por adsorción-oxidación de estos metales sobre la superficie de la capa de óxido que cubre el grano de zeolita. En las pruebas de remoción mediante un sistema de filtración se estudiaron las variables pH, concentraciones de Fe y Mn, caudal en el afluente y altura de la capa de la zeolita, resultando las dos últimas ser las de mayor relevancia en la remoción. Se utilizaron concentraciones de 1,0-7,0 mg/L para Fe y de 0,5-3,0 mg/L para Mn, en un rango de pH de 6,0-8,0. La eficiencia de la remoción disminuye con el aumento de la concentración de Fe, especialmente a valores de pH altos ( $> 7,5$ ), por la formación de precipitados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  causando aceleración en la saturación del medio. No obtuvieron una diferencia significativa sobre la remoción con el empleo de los dos tipos de recubrimiento, aunque a altas concentraciones de estos metales, con la capa de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtuvieron porcentajes de remoción un poco mayores, pero la desventaja es que con este tipo de óxido se obtuvo menor corrida de los filtros por la saturación del medio, así como para la remoción del Mn por zeolita la mejor fue de 53,3% a un pH de 7,99-8,04.

**Zayed et al. (2013)**, en su trabajo de investigación utilizaron huesos de peces salmonete proveniente del mar rojo para la eliminación de Cd y Pb, los cuales fueron injertados con ácido acrílico mediante polimerización inducida por radiación. Las capacidades máximas de adsorción de iones de plomo y de cadmio fueron de 855 mg/g y 785 mg/g, respectivamente en condiciones óptimas.

**Lim et al. (2012)**, en su trabajo de investigación determinaron la viabilidad del uso de los huesos de pescado como adsorbente para la eliminación de Zn (II) en solución acuosa. Los resultados del estudio, revelaron que pudo ser retenido el 98% de Zn (II) en las mejores condiciones de adsorción: pH=5, dosis adsorbente de 1,80 g/100 mL, y un tiempo de reacción de 12 horas. Los resultados se ajustaron a los modelos cinéticos de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden.

**Kizilkaya et al. (2010)**, en su trabajo de investigación realizó un estudio para la eliminación de Cu (II) en un sistema acuoso utilizando huesos de varias especies de pescado. Las variables que determinaron la eficiencia de remoción fueron el pH, tiempo de contacto, la concentración inicial de metal, temperatura, proceso de limpieza, las especies de peces y la dosis adsorbente. La máxima capacidad de adsorción fue 150,7 mg/g en condiciones óptimas.

**Pan et al. (2009)**, en su trabajo de investigación emplearon huesos de cerdo como biosorbente para remover Co (II) en solución acuosa a una concentración inicial de 200 mg/L donde se obtuvo 75,31% que equivalen a 15,06 mg/g durante los primeros 5 minutos, mientras que a 24 horas fue de 18,37 mg/g.

## 2.2. REFERENCIAS TEÓRICAS

### 2.2.1. EL AGUA

El agua, es la sustancia fundamental para supervivencia de la vida, según la Autoridad Nacional del Agua (2016), es definido como un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3,000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Alrededor del 98%, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y



océanos, el agua dulce que poseemos en un 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos. El agua es una molécula simple y extraña, puede ser considerada como el líquido de la vida. Es la sustancia más abundante en la biosfera, donde la encontramos en sus tres estados y es además el componente mayoritario de los seres vivos, pues entre el 65 y el 95% del peso de la mayor parte de las formas vivas es agua. (Loarte y Sanabria, 2015)

#### **2.2.1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La contaminación de cuerpos de agua (ríos, lagos, océanos y agua subterránea) ocurre cuando los contaminantes son descargados directamente o indirectamente en cuerpos de agua sin un adecuado tratamiento que remueva los componentes dañinos. La contaminación del agua afecta plantas y organismos que viven en estos cuerpos de agua, y en la mayoría de los casos afecta dañando no solamente a las especies individuales y las poblaciones así como en las comunidades biológicas. El agua de dichos cuerpos se ha contaminado mediante sustancias tóxicas como ácidas, solventes orgánicas, pinturas, metales y demás, derivados de actividades industriales, agrícolas, ganaderas, domésticas, dicha agua ya no es apta para el consumo. La descarga de contaminantes específicos no es la única causa de contaminación del agua, también la construcción de presas, embalses y desviaciones de ríos pueden degradar seriamente su calidad (Loarte y Sanabria, 2015).

#### **2.2.1.2. AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillas.

En general, se consideran aguas residuales domésticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llama aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura. También se acostumbra denominar aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos



humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliforme fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.

Aunque el precio del agua es un factor de gran incidencia en el consumo, la cantidad de agua de consumo doméstico no debería superar los 200L/c.d con un promedio de 60 a 70% para baño, lavandería, cocina y aseo, y un 30 a 40 % para arrastre sanitario de excrementos y orina. Sin embargo, este último porcentaje puede disminuirse con el fomento de los inodoros de volumen más eficientes. (Jairo, 2013)

#### 2.2.1.2.1. Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales se definen según la siguiente tipología:

- **Aguas residuales domésticas:** Son aquellas procedentes de zonas habitadas y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- **Aguas residuales industriales:** Son todas las aguas vertidas desde locales comerciales o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de lluvia.
- **Aguas residuales urbanas:** Son las mezclas de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas.

#### 2.2.1.2.2. Características de las aguas residuales

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico, sin embargo, vale la pena anotar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de un laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. En general, un programa de muestreo para caracterización y control de calidad aguas supone un análisis cuidadoso de tipo de muestras, número de ellas y parámetros que se deben analizar.

Aunque en la práctica, como se verá a continuación, existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las cuales son muy importantes como referencia de los parámetros de importancia por analizar y de su magnitud, hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de polución deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica. (Jairo, 2013)

**Tabla 1.** Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.

<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
Color	Aguas residuales domesticas e industriales Degradación natural de materia orgánica
Olor	Agua residual en descomposición, residuos
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración
Temperatura	Aguas residuales domesticas e industriales
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas e industriales
Grasas animales, aceite	Aguas residuales domésticas e industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comercial
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
pH	Aguas residuales domésticas e industriales
Fósforo	Aguas residuales domésticas e industriales
Azufre	Aguas residuales domésticas e industriales
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas y agua de suministro

**Fuente:** Jairo (2013).

### 2.2.1.2.3. Contaminantes de Importancia en el Tratamiento del Agua Residual

En la Tabla 2, se describen los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual.

Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos.

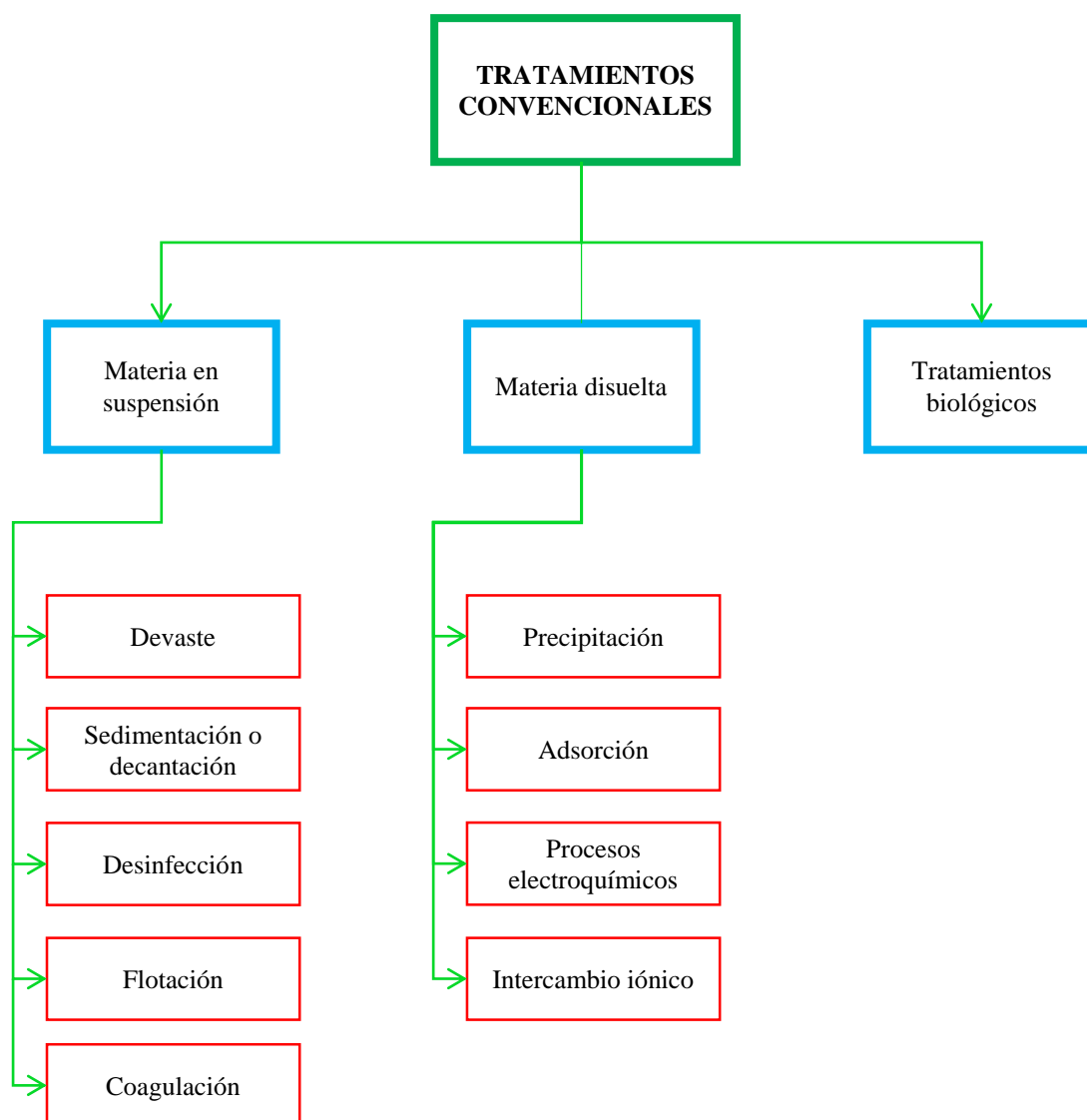
**Tabla 2.** Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

Contaminante	Parámetros típicos de medida	Impacto ambiental y efectos
Sólidos en suspensión	SST y SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.
Materia orgánica biodegradable	DBO y DQO	Desoxigenación de agua, generación de olores indeseables
Patógenos	CF	Hace el agua insegura para consumo humano y recreación
Amoniaco	$NH_4^+-N$	Desoxigena Tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas.
Fósforo	Ortofosfatos	Puede estimular el crecimiento de las algas
Materiales tóxicos	Como cada material específico	Peligroso para la vida vegetal y animal.
Metales pesados		Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos
Zinc		Tóxico agudo y crónico
Plomo		Acumulativo en seres humanos y ganado
Mercurio		Tóxico para los seres vivos
Antimonio		Se acumula en el hígado, afecta al corazón
Arsénico		Tóxico agudo orgánico para los seres vivos

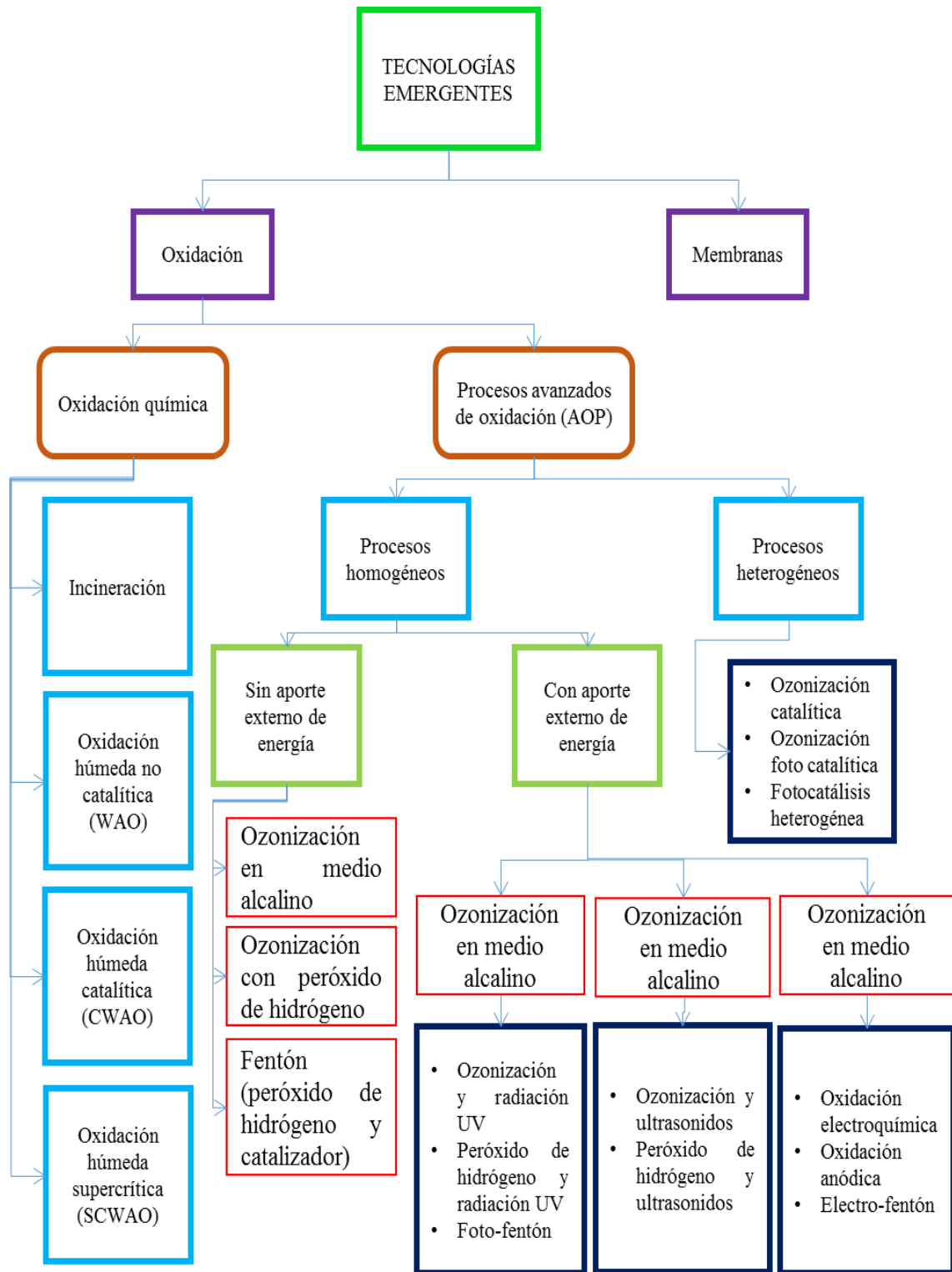
Fuente: Jairo (2013).

#### **2.2.1.2.4. Tratamientos de aguas residuales**

Existe una gran variedad de tratamientos aplicables a las aguas residuales industriales, dependiendo del tipo de contaminante a eliminar. Dichos tratamientos se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios. La clasificación más clásica es aquella que considera el tipo de proceso que sufre el compuesto, dando lugar a tratamientos físicos, que son aquéllos en los que el compuesto no sufre ninguna transformación en su estructura; tratamientos químicos, en los que se produce un cambio químico de los compuestos; y finalmente los tratamientos biológicos, en los que se recurre a la acción de los microorganismos para eliminar los contaminantes. Sin embargo, algunos autores distinguen entre tecnologías convencionales y tecnologías emergentes. Dentro de las tecnologías convencionales, hacen diferencia entre los tratamientos para la eliminación de materia en suspensión, la materia disuelta y los tratamientos biológicos. (Mestanza, 2012)



**Figura 1.** Clasificación de los tratamientos de aguas convencionales.



**Figura 2.** Clasificación de los tratamientos de aguas mediante tecnologías emergentes.

Para elegir un método de tratamiento es conveniente conocer la concentración de contaminante en el agua, así como el caudal de agua a tratar, ya que en función de éstos el tratamiento recomendable es diferente. (Mestanza, 2012)

### 2.2.1.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS

La calidad de las aguas puede ser alterada como consecuencia de las actividades antropogénicas o naturales que producen efectos adversos que cambian su valor para el hombre y la biota. En forma general, puede definirse la contaminación del agua como la alteración desfavorable que sufre, al incorporársele una serie de sustancias que cambian sus condiciones naturales de calidad, ocasionando grandes riesgos para la salud y el bienestar de la población. Particularmente peligroso es la contaminación provocada por las altas concentraciones de algunos metales pesados y su incremento en los efectos adversos causados por la persistencia y el fenómeno de bio magnificación. De forma natural, los metales son introducidos a los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación de suelos y rocas, y erupciones volcánicas. También pueden provenir de las actividades antropogénicas como son, agrícolas, domésticas, industriales y mineras. La actividad minera-metalúrgica a través del procesamiento de minerales y fundición, podría causar la dispersión y depósito de grandes cantidades de metales hacia el medio ambiente, si existe alguna operación inadecuada. Al contrario de muchos contaminantes orgánicos los metales pesados, generalmente, no se eliminan de los ecosistemas acuáticos por procesos naturales debido a que no son biodegradables. Por el contrario son muy contaminantes y sufren un ciclo global eco biológico, donde las aguas naturales son el principal camino. Hoy en día los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a su toxicidad y muy especialmente al comportamiento bio acumulativo. Asimismo los metales pesados tienen tendencia a formar asociaciones con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares. Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros tales como el arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) pueden atribuirse a la minería lo cual son causa del fuerte impacto en el medio ambiente. En cambio, otros metales no-sulfurosos como el cromo (Cr), níquel (Ni) y mercurio (Hg) posiblemente indican una contaminación antropogénica de metales pesados que están estrechamente asociados con las descargas industriales. (Loarte y Sanabria, 2015)

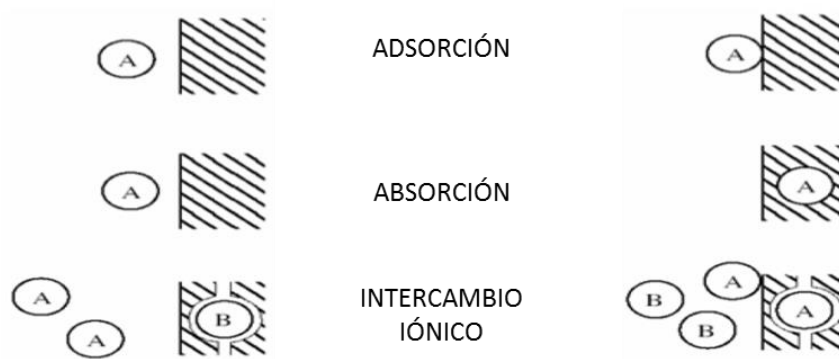
#### 2.2.1.4. REMOCIÓN DE METALES PESADOS

En la actualidad existen una serie de procesos que son utilizados en la remoción de metales pesados, entre los que se encuentran la precipitación química, la filtración por medio de membranas, la reducción electrolítica, la extracción por medio de solventes, el intercambio iónico, y la adsorción. Algunas de estas tecnologías no son aplicables en todas las situaciones, debido a una serie de inconvenientes tales como: baja eficiencia y aplicabilidad a una amplia gama de contaminantes, generación de residuos, dificultad de encontrar condiciones óptimas de operación cuando se presentan distintos metales pesados en una solución y la necesidad de pre-tratamientos. (Loarte y Sanabria, 2015)

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. El término adsorción generalmente es utilizado cuando los procesos de adsorción y absorción ocurren simultáneamente y no se pueden distinguir uno de otro, mientras que si la adsorción de una o varias especies iónicas es acompañada por la desorción simultánea de una cantidad equivalente de especies iónicas, el proceso se denomina como intercambio iónico (Dabrowski, 2001). La representación esquemática de la adsorción, absorción e intercambio iónico se puede observar en la Figura N° 3.

La adsorción puede ser resultado de interacciones de Van der Waals (adsorción física o fisisorción) o puede ser resultado de procesos de carácter químico (adsorción química o quimisorción). 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 quimisorción la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, dando lugar a una especie distinta. (Loarte y Sanabria, 2015)





**Figura 3.** Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico.

Fuente: Appelo y Postma (1993).

#### 2.2.1.5. ENSAYOS DE BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS EN MEDIO ACUOSO

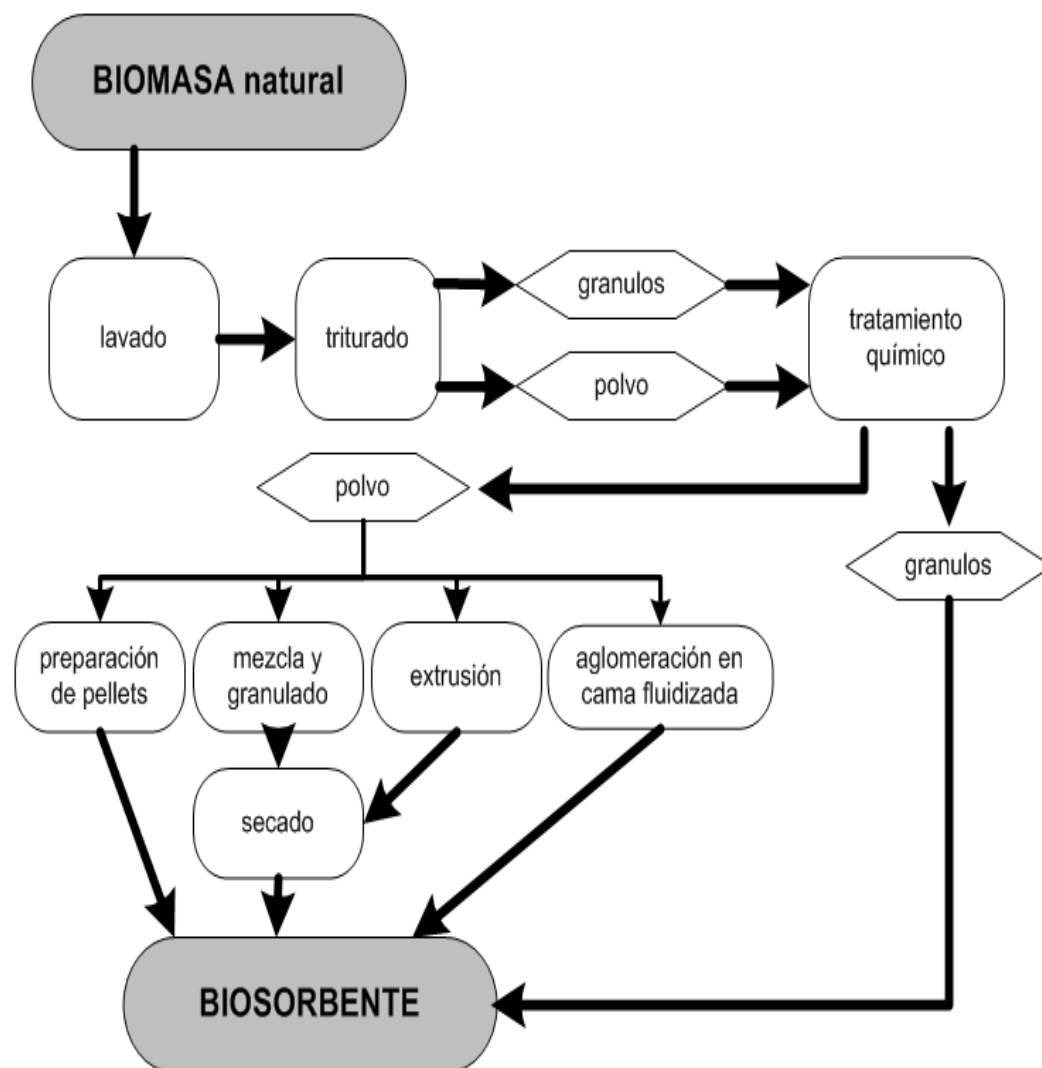
El primer reto de los investigadores ha sido seleccionar las mejores biomásas, que sean altamente disponibles y de bajo costo, para ser considerados para su aplicación a gran escala. Un amplio rango de tipos de biomasa y capacidades de biosorción han sido comparados de manera cuantitativa en años anteriores bajo condiciones variables, sin embargo aún se siguen probando nuevos tipos de biomasa que tengan un bajo costo y alta efectividad. (Trelles, 2013)

**Tabla 3.** Tipos de biomosas naturales usadas para la preparación de biosorbentes.

<b>Categoría de biomasa</b>	<b>Ejemplos</b>
Bacterias	Bacterias gram-positivas, gram-negativas y cianobacterias
Hongos	Mohos, setas y levaduras
Algas	Micro algas, algas marrones, algas marinas rojas, etc.
Residuos industriales	Residuos de fermentación, residuos de la industria de alimentos y bebidas, lodos activados, lodos anaeróbicos
Residuos agroindustriales	Residuos de frutas y vegetales, cascarrilla de arroz, salvado de trigo, vaina de soya, etc.
Residuos naturales	Residuos de plantas y vegetales, aserrín, cortezas de árboles, hierbas, melaza, etc.
Otros	Materiales con alto contenido de quitina y celulosa

**Fuente:** Park et al. (2010).

Luego de elegir un tipo particular de biomosas abundante y de bajo costo, las capacidades del biosorbente para la remoción del contaminante objetivo pueden ser derivadas a través de métodos físicos, químicos o fisicoquímicos simples. Aun cuando se pueden obtener biosorbentes estables luego del simple corte o triturado de biomosas secas, algunos tipos de biomosas pueden requerir ser inmovilizadas en un polímero sintético o acoplarse con material inorgánico de soporte como el sílice, para obtener partículas con las propiedades mecánicas requeridas.



**Figura 4.** Diagrama esquemático de los diferentes procesos para la preparación de biosorbentes usando biomazas naturales.

Fuente: Trelles (2013).

Asimismo, existen métodos de pre-tratamiento a los cuales los biosorbentes pueden ser sometidos con el objeto de mejorar su capacidad de remoción. Algunos de estos métodos involucran la modificación física, química y celular de los biosorbentes de manera que los “grupos de captura” sean activados y la capacidad de remoción mejorada.

**Tabla 4.** Métodos de modificación de biosorbentes en su estado natural para el mejoramiento de sus capacidades de biosorción.

Categoría de biomasa		Ejemplos
Modificación física		Auto clavado, vaporizado, secado térmico, liofilizado, cortado, molido, etc.
Modificación química	Pre-tratamiento (lavado)	Ácidos (HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , ácido cítrico, etc.), solventes orgánicos (metanol, etanol, acetona, tolueno, formaldehído, epíclorohidrina, ácido salicílico, NTA, EDTA, etc.), y otros químicos (NaCl, CaCl <sub>2</sub> , ZnCl <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaHCO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> CH <sub>3</sub> COO, etc.)
	Mejoramiento de los grupos de captura	Aminación, carboxilación y/o fosforilización de los grupos hidroxilos, carboxilación del grupo amino, aminación del grupo carboxilo, saponificación del grupo éster, sulfonación, halogenación, oxidación, etc.
	Eliminación de los grupos inhibidores	De-carboxilación o eliminación del grupo carboxilo, des-aminación o eliminación del grupo amino
	Polimerización e injerto	Injerto de radiación de alta energía (usando irradiación y microondas, radiación electromagnética, etc.), injerto fotoquímico (con o sin sensibilizadores) e injertos de iniciación química (usando ión permanganato, nitrato ferroso de aluminio, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , KMnO <sub>4</sub> /ácido cítrico)
Modificación celular (durante el crecimiento)	Mejoramiento del cultivo	Optimización de las condiciones del cultivo para el mejoramiento de la capacidad de biosorción de las células
	Ingeniería genética	Sobre-expresión de los péptidos ricos en cisteína y expresión de las proteínas híbridas en las superficies de las células

**Fuente:** Trelles (2013).

### 2.2.1.6. MECANISMOS IMPLICADOS EN LA BIOADSORCIÓN DE METALES PESADOS

El proceso de bioadsorción incluye tanto etapas de transporte como etapas de reacción, como se ilustra en la Figura 5, en la cual se muestran las partículas de bioadsorbente en el interior de una columna y la localización de las diferentes etapas del proceso. (Izquierdo, 2010)

Las etapas pueden clasificarse atendiendo al lugar en el que se desarrollen, según se produzcan en el seno de la disolución o en el interior de la partícula de adsorbente, y son las siguientes:

#### **Etapas en el seno de la disolución:**

*Transferencia de materia externa desde el seno de la disolución hasta la superficie de las partículas de adsorbente.* En esta etapa la fuerza impulsora es la diferencia de concentración en la interfaz sólido líquido que rodea cada partícula y que depende de las condiciones hidrodinámicas externas.

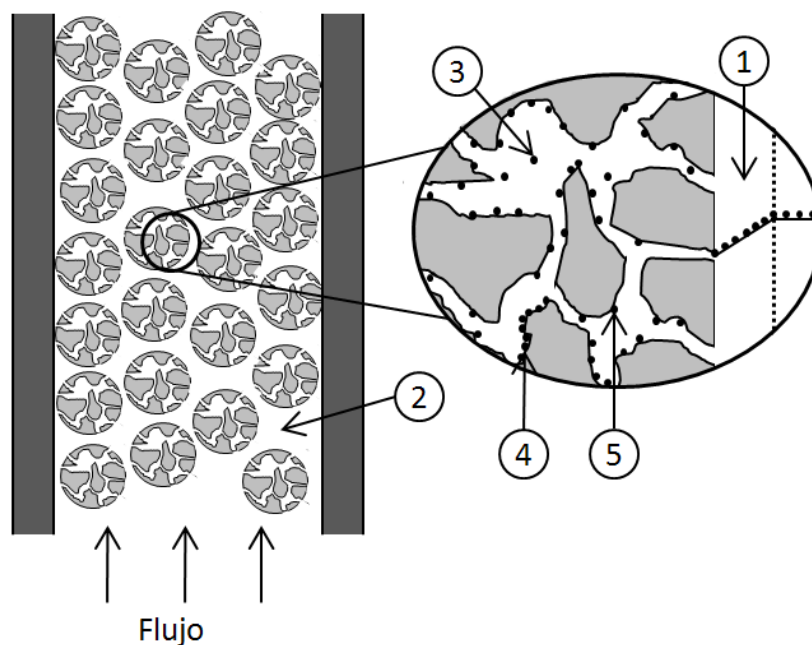
*Mezcla o ausencia de ésta.* Puede dar lugar a un flujo global no uniforme, provocado por la existencia de una distribución de velocidades y la aparición de zonas muertas en el interior del lecho.

#### **Etapas en el interior de la partícula:**

*Difusión a través de los poros.* Se refiere al transporte del adsorbato por el interior de poros de gran tamaño o macroporos. La fuerza impulsora es el gradiente de concentración en el interior de los poros.

*Difusión en la fase adsorbida o difusión superficial.* Se refiere a la difusión en el interior de poros pequeños en los que las moléculas de adsorbato se encuentran siempre bajo la influencia del campo de fuerza de la superficie del adsorbente. La difusión se produce por transferencias sucesivas de las moléculas entre centros activos. La fuerza impulsora es el gradiente de concentraciones de las especies en su forma adsorbida.

*Adsorción.* La última etapa del proceso de bioadsorción global es la retención de los metales en la superficie del sólido. Puede tener lugar tanto en la superficie externa como en el interior de los poros.



**Figura 5.** Esquema general de los mecanismos del proceso de bioadsorción en columna de lecho fijo.

Fuente: Izquierdo (2010).

Donde:

1. Transferencia de materia externa
2. Mezcla
3. Difusión en los poros
4. Difusión superficial
5. Adsorción

Debido a la complejidad de los bioadsorbentes, la retención de los metales se produce por la coexistencia de procesos de intercambio iónico, adsorción y microprecipitación. (Izquierdo, 2010)

### 2.2.2. MANGANESO

El manganeso es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos y se simboliza como Mn. Es un metal blanco grisáceo, que se funde alrededor de 1250 °C. El manganeso es un metal que se encuentra en forma natural en diversos tipos de rocas, debido a su gran afinidad por el oxígeno, generalmente se presenta en forma de óxidos, en silicatos y carbonatos; como la Pirolusita ( $\text{MnO}_2$ ), la braunita ( $\text{MnS}_{12}\text{O}_3$ ), la rodonita ( $(\text{Mn}^{+2})\text{SiO}_3$ ), la rodocrosita ( $\text{MnCO}_3$ ). Es uno de los más importantes metales en la tierra debido a su alta difusión en la naturaleza. Es el quinto elemento más abundante en la superficie de la tierra y el segundo elemento de transición más abundante después del hierro existiendo en 8 estados de oxidación diferentes. (Asis, 1992)

**Tabla 5.** Propiedades Físicas – Químicas del Manganeso.

Nombre	Manganeso
Número atómico	25
Valencia	2, 3, 4, 6, 7
Estado de oxidación	2
Electronegatividad	1,5
Radio covalente (Å)	1,39
Radio iónico (Å)	0,80
Radio atómico (Å)	1,26
configuración electrónica	[Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>
potencial primero de ionización (eV)	7,46
masa atómica (g/mol-g)	54,938
Densidad (g/mL)	7,43
Punto de ebullición (°C)	2150
Punto de fusión (°C)	1245
Sistema	Tetragonal
Color	Negro
Brillo	Metálico o metaloide

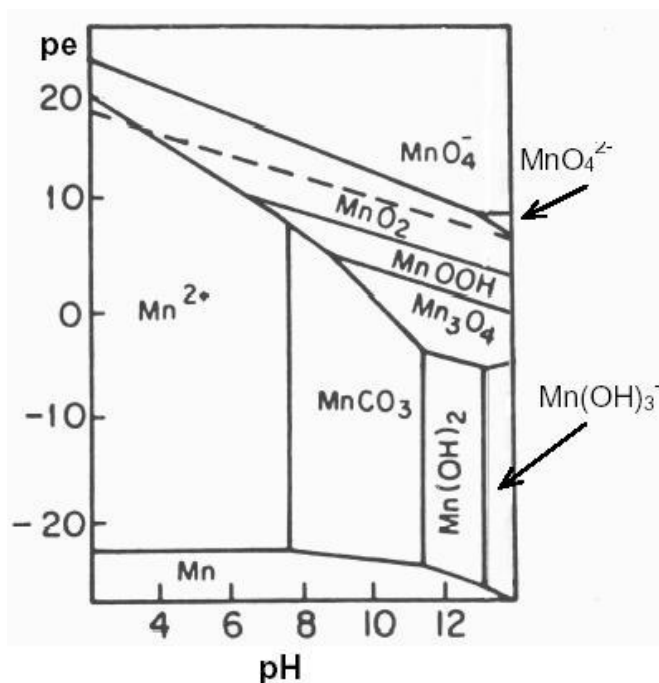
**Fuente:** Lazo (2012).

**Tabla 6.** Estados de oxidación del Manganese.

Especie	Estado de oxidación
Mn	0
Mn <sup>2+</sup>	II
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	2.65
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	III
MnO <sub>2</sub> (s)	IV
MnO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	V
MnO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	VI
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	VII

**Fuente:** Huerta (2004).

No todos los estados de oxidación del manganese son relevantes en el tratamiento del agua. En la naturaleza, sin embargo, el manganese se encuentra, sobre todo, en los estados de oxidación (II), (III), (IV). El catión Mn<sup>2+</sup> (manganeso) es la forma soluble más importante de manganese en la naturaleza, ocupando una gran porción del régimen pe-pH asociado con las aguas naturales.



**Figura 6.** Diagrama de estabilidad para varias especies de manganese en agua.

Fuente: Montoya (2009).



El ión  $Mn^{3+}$  (mangánico) es termodinámicamente inestable en solución neutral, a menos que sea fuertemente acomplejado, y es rápidamente convertido a  $Mn^{2+}$  y a  $MnO_2$ . El manganeso (III) y el manganeso (IV) se encuentran generalmente como óxidos insolubles u óxidos acuosos, el manganeso (IV) es más notable posiblemente como  $MnO_2$ . Estos óxidos son de color marrón o negro. La oxidación del manganeso (II) puede conducir a una variedad de óxidos, dependiendo de las condiciones exactas de la oxidación; algunas posibilidades son  $\beta$ -,  $\gamma$ -  $MnO_2$ ,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -  $MnOOH$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ , y el  $Mn(OH)_3$ . Cualquier oxidación no controlada rígidamente, probablemente, dará lugar a una mezcla no estequiométrica de estos óxidos. Tales óxidos mezclados se refieren a menudo como " $MnO_x$ " por conveniencia, con x entendiéndose a partir del 1.0 a 2.0 (Depalma, 1993).

La oxidación del  $Mn^{2+}$  es, sin embargo, sensitiva al pH y si es alto, la oxidación inorgánica procede más rápido. La habilidad de los óxidos de Mn para adsorber cationes es elevado, es decir que si la oxidación del  $Mn^{2+}$  ocurre, existe la posibilidad de que otros metales como el Co, Cu, etc., sean removidos por adsorción a las superficies (Asis, 1992).

El manganeso en el agua puede estar en una de las tres formas:

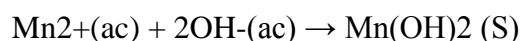
- Solución: Óxido de manganeso ( $Mn^{2+}$ ).
- Estado coloidal: como turbiedad e hidróxido. (Difícil de asentar y filtrar).
- Como partículas suspendidas relativamente gruesas: Mangánico ( $Mn^{4+}$ ) formas insolubles (Orgánicas e Inorgánicas), que se agrupan por atracción iónica o por diversos mecanismos de formación.

También están disueltos, como coloide o asociado a materias orgánicas que lo estabilizan fuertemente, dificultando su eliminación. En las aguas subterráneas se encuentran como  $Mn^{2+}$  disuelto bajo condiciones anaerobias (Avendano, 2004). En agua potable pequeñas cantidades de manganeso ( $\leq 0.2$  mg/L) propician la vida de bacterias manganésicas en la red de distribución. En aguas bien oxigenadas no presenta alta concentración pues los compuestos allí existentes ( $Mn^{4+}$ ,  $Mn^{6+}$ ) son relativamente poco solubles, las sales de  $Mn^{2+}$  si tienen mayor solubilidad comparadas con el  $Mn^{4+}$  y  $Mn^{6+}$ , pero en medios aireados se oxidan precipitando oxihidróxidos (AWWA, 2002).

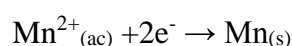
### Sistema Mn – H<sub>2</sub>O

Del estudio del diagrama Mn – H<sub>2</sub>O mostrado en la Figura 7, se puede deducir lo siguiente:

- El ion Mn<sup>+2</sup> puede pasar directamente a hidróxido de manganeso en una solución acuosa aumentando el pH por encima de 7.

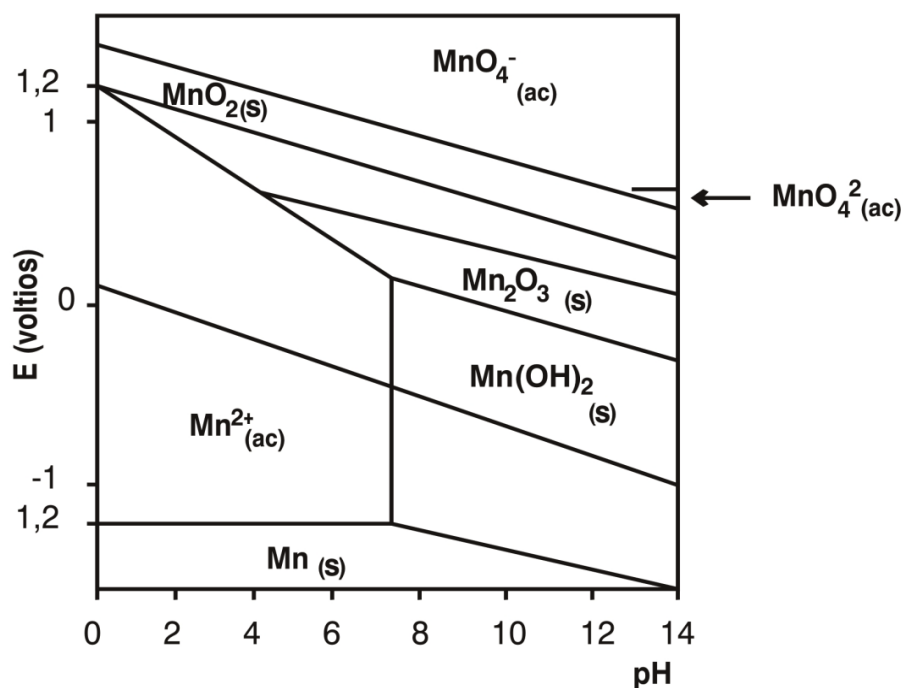


- El Mn puede precipitar sobre un cátodo como Mn metálico a diferentes valores de pH bajo condiciones fuertemente reductoras (Eh < -1,18v).



- El Mn metálico puede disolverse como Mn<sup>2+</sup> en soluciones ácidas requiriendo un potencial igual a -1,18 v.
- El Mn se oxida bajo condiciones moderadamente oxidantes (Eh>0), prevaleciendo el Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en medio básico. En condiciones fuertemente oxidantes (Eh>1v), predominará el MnO<sub>2</sub> tanto en medio ácido como medio básico.

Para reducir el contenido del ion manganeso (Mn<sup>+2</sup>) en una solución acuosa, se podrían aprovechar los considerandos arriba indicados: incrementar el pH hasta alcanzar un medio básico y adicionar un agente oxidante fuerte, de tal manera que se forme el MnO<sub>2</sub> sólido, el cual podría luego ser separado por medios físicos.



**Figura 7.** Diagrama de Pourbaix para las principales especies del Manganeso.

Fuente: Marcel Pourbaix (1998).

Se encuentra como elemento libre en la naturaleza, a menudo en combinación con el hierro y en muchos minerales.

**Tabla 7.** Distribución y abundancia del Manganeso en la naturaleza.

Distribución y abundancia del manganeso (ppm)	
Tierra	0,8 – 130
Tierra y roca	200 – 300
Agua de lagos	0.004 - 0.2
Sedimentos de lagos	103 – 105
Aguas superficiales de océano	104 – 103
Aguas de ríos	102 – 103
Aguas subterráneas	1 – 10
Plantas terrestres	20 - 500

Fuente: Huerta (2004).

Como elemento libre, el manganeso es un metal con aleación de metales industriales con importantes usos, sobre todo en los aceros inoxidables. El manganeso es un metal

que ocurre naturalmente y que se encuentra en muchos tipos de rocas. El manganeso puro es de color plateado, pero no ocurre naturalmente en esta forma. Se combina con otras sustancias tales como oxígeno, azufre o cloro. El manganeso también puede combinarse con carbono para producir compuestos orgánicos de manganeso. Algunos compuestos orgánicos de manganeso comunes incluyen pesticidas, tales como maneb o mancozeb, y metilciclopentadienil manganeso tricarbonil (MMT), un aditivo en ciertas gasolinas. El manganeso es un elemento esencial poco abundante y es necesario para mantener buena salud. Se puede encontrar manganeso en varios artículos alimenticios, incluyendo granos y cereales, y se encuentra en grandes cantidades en otros productos, como té. (Loarte y Sanabria, 2015)

### 2.2.2.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR MANGANESO

El manganeso es aportado naturalmente a las aguas a partir de las rocas y suelos, pudiendo encontrarse en aquéllas en forma disuelta o en el material particulado. Las formas del manganeso predominantes en el medio acuático a medida que aumenta el pH son  $Mn^{+2}$ ,  $MnCO_3(s)$ ,  $MnO_2(s)$  y  $MnS(s)$ , siendo poco comunes formas como carbonatos ácidos, sulfatos y cloruros. (Loarte y Sanabria, 2015)

En aguas oceánicas la proporción de manganeso presente en el material particulado es baja comparada con el nivel de manganeso disuelto. Cantidades mayores de material particulado tienen ocurrencia en aguas estuarinas y de ríos, donde es dable la re-suspensión de sedimentos de fondo. (Loarte y Sanabria, 2015)

La química del manganeso en el agua es compleja, estando la movilidad del mismo influenciada fuertemente por el pH y por el potencial rédox. El manganeso no disuelto puede encontrarse asociado a materia orgánica o a otros metales. Cuando el potencial rédox decrece lo suficiente el manganeso en estado de oxidación +3 ó +4 pasa a su estado de oxidación +2, de mayor solubilidad en agua. La cantidad de estados de oxidación que caracteriza al manganeso hace que éste sea uno de los pocos elementos predominantes en los procesos de óxido-reducción que acontecen en los sistemas acuáticos. Se han reportado para el manganeso concentraciones basales en aguas dulces superficiales inferiores a 5  $\mu g/L$ . (Loarte y Sanabria, 2015)

La actividad antrópica puede ser responsable de elevaciones importantes de las concentraciones antedichas. En tal sentido, las principales fuentes de contaminación

ambiental están constituidas por los humos, polvos y aerosoles provenientes de procesos metalúrgicos, operaciones mineras y otras actividades industriales. (Loarte y Sanabria, 2015)

A ellas se suman la combustión de carbón, la producción de cemento portland y la incineración de residuos sólidos.

#### **2.2.2.2. RIESGOS**

##### **2.2.2.2.1. Absorción, Distribución y Excreción**

En situaciones laborales, el manganeso se absorbe principalmente por inhalación. El dióxido de manganeso y otros compuestos de manganeso utilizados o producidos como subproductos volátiles del proceso de refinado del metal son prácticamente insolubles en agua. Por este motivo, sólo llegan al torrente sanguíneo las partículas suficientemente pequeñas para alcanzar el alvéolo pulmonar. Las partículas de mayor tamaño inhaladas pueden ser depuradas por las vías respiratorias y deglutidas. El manganeso también puede llegar al aparato digestivo a través de los alimentos o del agua contaminada. En la velocidad de absorción puede influir el nivel de manganeso y hierro contenido en la dieta, el tipo de compuesto de manganeso, la edad y las deficiencias de hierro. Sin embargo, el riesgo de intoxicación por esta vía no es grande. La absorción de manganeso a través de la piel puede considerarse despreciable.

Tras su inhalación o tras administración parenteral u oral, el manganeso absorbido se elimina rápidamente de la sangre y se distribuye principalmente en el hígado. Los patrones cinéticos para el aclaramiento hemático y la captación hepática del manganeso son similares, lo que indica que ambos depósitos de manganeso tienden a equilibrarse rápidamente. El exceso de metal se puede distribuir en otros tejidos, como los riñones, el intestino delgado, las glándulas endocrinas y los huesos. El manganeso se acumula en los tejidos ricos en mitocondrias y atraviesa las barreras hematoencefálica y placentaria. También se han observado concentraciones más elevadas de manganeso en las zonas más pigmentadas del organismo, como son la retina, la conjuntiva pigmentada y la piel morena. El pelo negro también acumula manganeso. Se calcula que la carga total de manganeso en el organismo oscila entre 10 y 20 mg para un varón de 70 kg. La semivida biológica del manganeso es de 36 a 41 días, pero en el caso del manganeso

depositado en el cerebro, es considerablemente mayor. En la sangre, el manganeso se encuentra unido a las proteínas.

El compuesto orgánico MMT se metaboliza rápidamente en el organismo, con una distribución aparentemente similar a la que se observa tras la exposición al manganeso inorgánico.

La bilis constituye la principal vía de excreción del manganeso, por lo que se elimina casi completamente en las heces; sólo entre un 0,1 y un 1,3 % de la ingesta diaria se elimina por vía urinaria. Parece ser que la excreción de bilis constituye el principal mecanismo regulador del control homeostático del contenido de manganeso en los tejidos, que es relativamente estable. Tras la exposición al compuesto orgánico MMT, la excreción del manganeso se produce mayoritariamente por la orina. Este hecho se ha explicado como resultado de la biotransformación del compuesto orgánico en el riñón. El manganeso, como parte de una metaloproteína de algunos complejos enzimáticos, es un elemento esencial para el hombre. (Gunnar, 2001)

#### **2.2.2.2. Exposición**

Se han producido intoxicaciones por manganeso en la minería, durante el proceso de minerales de manganeso, en la producción de aleaciones de manganeso y en la fabricación de pilas secas, electrodos para soldadura, barnices y baldosas cerámicas. Los trabajos de minería presentan el mayor riesgo profesional, seguido en importancia por la industria del ferromanganeso. Las operaciones que producen las mayores concentraciones de polvo de dióxido de manganeso son las de triturado y pega de barrenos. En consecuencia, los trabajos más peligrosos son los de barrenado a alta velocidad.

Considerando la dependencia de las zonas de deposición y del índice de solubilidad de las partículas, los efectos peligrosos de la exposición estarán estrechamente relacionados con la composición de las partículas de aerosol de manganeso. Además, se ha probado que los aerosoles formados por condensación resultan más nocivos que los formados por desintegración, lo que puede relacionarse con la diferencia de distribución de las partículas. La toxicidad de los distintos compuestos de manganeso parece depender del tipo de ion manganeso y de su estado de oxidación. Cuanto menos oxidado esté el compuesto, mayor será su toxicidad. (Gunnar, 2001)

### 2.2.2.2.3. Intoxicación Crónica por Manganeso (Manganismo)

La intoxicación crónica por manganeso puede tener manifestaciones nerviosas o pulmonares. Si afecta al sistema nervioso, se pueden distinguir tres fases. Durante el período inicial, es difícil diagnosticarla; sin embargo, el diagnóstico precoz es crítico, ya que la interrupción de la exposición parece frenar eficazmente el curso de la enfermedad. Los síntomas de esta fase son: indiferencia y apatía, somnolencia, pérdida de apetito, cefalea, vértigo y astenia. También pueden existir accesos de excitabilidad, dificultades para caminar y de coordinación, calambres y dolor de espalda. Todos estos síntomas pueden presentarse en diferentes grados y aparecer simultáneamente o aislados, y marcan el comienzo de la enfermedad.

La fase intermedia se caracteriza por la aparición de síntomas objetivos. En primer lugar, la voz se torna monótona y se convierte en un susurro, el habla es lenta e irregular, en ocasiones con tartamudeo. La expresión del rostro es impasible y sonriente o aturdida y vacía, lo que puede atribuirse a un aumento de tono de los músculos faciales. De repente, el paciente puede romper a reír o, más raramente, a llorar. Aunque sus facultades están muy disminuidas, parece que se encuentra en un estado perpetuo de euforia. Los gestos son lentos y toscos; la marcha es normal, pero puede existir un movimiento de vaivén en los brazos. El paciente es incapaz de correr y tiene grandes dificultades para caminar hacia atrás, en ocasiones con retroimpulsión. Se puede desarrollar una dificultad para realizar movimientos alternos rápidos (adiadocoquinesia), aunque el examen neurológico no revela ninguna alteración salvo, en ciertos casos, hiperreflexia patelar.

En pocos meses, el estado del paciente se deteriora notablemente y las distintas alteraciones, en especial las que afectan la marcha, se van acentuando progresivamente. El síntoma más precoz y evidente en esta fase es la rigidez muscular, que es constante aunque de grado variable, y determina una forma de caminar muy característica (lenta, espasmódica o inestable), en la que el paciente carga el peso sobre el metatarso y produce un movimiento que se ha descrito como “marcha de pollo” o “marcha de gallina”. El paciente se torna absolutamente incapaz de caminar hacia atrás y, si lo intenta, se cae; al juntar los pies, tiene una gran dificultad para guardar el equilibrio y sólo puede girar muy lentamente. Puede existir temblor, frecuentemente en las extremidades inferiores, aunque en ocasiones es generalizado.

Los reflejos tendinosos, que rara vez son normales, aparecen aumentados. A veces existen alteraciones vasomotoras con sudoración súbita, palidez o enrojecimiento; también, ocasionalmente, el paciente puede presentar cianosis en las extremidades. Las funciones sensoriales permanecen inalteradas. La mente del paciente trabaja con gran lentitud; su escritura se torna irregular, hasta el punto de que algunas palabras son ilegibles. Puede haber alteraciones de la frecuencia cardíaca. En esta fase, la enfermedad se vuelve progresiva e irreversible.

- a) **Forma pulmonar:** Los informes de “neumoconiosis por manganeso” son muy discutidos debido al alto contenido en sílice de las rocas en los lugares de exposición; también se han descrito neumonías por manganeso. Al parecer, la correlación entre la neumonía y el manganeso no está bien establecida, a menos que éste actúe como un factor de agravamiento. Por su carácter epidémico y su gravedad, la enfermedad podría ser una neumopatía viral atípica. Estas neumonías mangánicas responden bien a los antibióticos.
- b) **Patología:** Algunos autores sostienen que se producen lesiones dispersas en el *cuero estriado* y, posteriormente, en la corteza cerebral, el hipocampo y los *tubérculos cuadrigéminos* (en el polo posterior). Otros, sin embargo, opinan que las lesiones observadas en el lóbulo frontal explicarían mejor todos los síntomas que las lesiones en los ganglios basales; esto podría confirmarse por electroencefalografía. Las lesiones siempre son bilaterales y más o menos simétricas.
- c) **Curso:** La intoxicación por manganeso termina por hacerse crónica. Ahora bien, si se diagnostica en las etapas iniciales y se retira al paciente de la exposición, puede ser reversible. Una vez bien establecido el cuadro patológico, se vuelve progresivo e irreversible, aun cuando cese la exposición. Los trastornos nerviosos no tienden a remitir y pueden ir seguidos de deformaciones articulares. Aunque es posible reducir la gravedad de ciertos síntomas, la marcha queda afectada permanentemente. El estado general del paciente es bueno y puede vivir durante mucho tiempo, falleciendo a final por una enfermedad intercurrente.
- d) **Diagnóstico:** El diagnóstico de la enfermedad se basa principalmente en los antecedentes personales y laborales del paciente (el tipo de trabajo, la duración de la exposición, etc.). Sin embargo, la naturaleza subjetiva de los síntomas iniciales dificulta el diagnóstico precoz de la enfermedad. Por tanto, en esta etapa, la anamnesis deberá completarse con información recabada de los amigos, compañeros



de trabajo y familiares. Durante las fases intermedia y avanzada de la intoxicación, la historia laboral y los síntomas objetivos facilitan el diagnóstico, aportando las pruebas de laboratorio información complementaria.

Los cambios hematológicos son variables: o bien no se produce ningún cambio, o bien se observa leucopenia, linfocitosis e inversión de la fórmula leucocitaria en el 50 % de los casos o aumento en la tasa de hemoglobina (considerado como el primer signo de intoxicación) y una ligera policitemia. La eliminación urinaria disminuye en 17 cetoesteroides y puede suponerse que la función suprarrenal esté afectada. Aumenta el nivel de albúmina en el líquido cefalorraquídeo, a menudo de forma muy acusada (40 a 55 e incluso 75 mg %). Los síntomas digestivos y hepáticos no son indicativos; no existen signos de hepatomegalia ni esplenomegalia; sin embargo, la acumulación de manganeso en el hígado puede producir lesiones metabólicas que parecen relacionarse con el estado endocrino del paciente y verse influidas por la existencia de lesiones neurológicas.

e) **Diagnóstico diferencial:** Puede ser difícil distinguir entre la intoxicación por manganeso y otras enfermedades, como la sífilis nerviosa, la enfermedad de Parkinson, la esclerosis múltiple, la enfermedad de Wilson, la cirrosis hepática y la enfermedad de Westphal-Strümpell (pseudoesclerosis). (Gunnar, 2001)

### 2.2.2.3. MEDIDAS DE SALUD Y SEGURIDAD

La prevención de la intoxicación por manganeso consiste básicamente en suprimir los polvos y humos de este metal. En las minas, se debe sustituir el barrenado en seco por métodos de perforación en húmedo. Las pegas con explosivos se realizarán al final de la jornada laboral, para poder ventilar la zona antes de que comience a trabajar el nuevo turno. Además, es necesario un buen sistema de ventilación general. En determinadas situaciones laborales, deberán utilizarse equipos de protección respiratoria con suministro de aire o respiradores autónomos, a fin de evitar una exposición excesiva de corta duración.

Es esencial un alto grado de higiene personal, así como instalaciones sanitarias adecuadas; se debe proporcionar a los trabajadores ropa de trabajo y tiempo para que, obligatoriamente, se duchen y se cambien de ropa al final de la jornada laboral. También deberá estar prohibido comer y fumar en el lugar de trabajo.

Es importante realizar determinaciones periódicas de los niveles de exposición, prestando especial atención a la distribución por tamaños de las partículas de manganeso en el ambiente. Otra fuente potencial de exposición que debe considerarse es la contaminación de los alimentos y el agua potable, así como los hábitos de alimentación de los trabajadores. No se recomienda emplear a trabajadores con trastornos psicológicos o neurológicos en trabajos relacionados con la exposición al manganeso. Las carencias nutricionales pueden predisponer a la anemia y, por tanto, aumentar la susceptibilidad al manganeso. Por este motivo, los trabajadores que presenten este tipo de deficiencias deberán mantenerse bajo estricta vigilancia. Las personas que padezcan estados anémicos deberán evitar la exposición al manganeso mientras persista esa situación. Lo mismo ocurre con las personas que padecen lesiones de los órganos excretores o procesos respiratorios obstructivos crónicos. Un estudio indica que la exposición prolongada al manganeso puede contribuir al desarrollo de neumopatías crónicas de carácter obstructivo, sobre todo si la exposición se asocia con el hábito de fumar. Por otro lado, los pulmones dañados pueden ser más susceptibles a los efectos agudos potenciales de los aerosoles de manganeso.

Durante los reconocimientos médicos periódicos, se deben investigar los síntomas que pudieran estar relacionados con la fase subclínica de una intoxicación por manganeso. Asimismo, el trabajador deberá someterse a una exploración clínica, con el fin de detectar alteraciones psicomotoras y signos neurológicos precoces. Los síntomas subjetivos y los comportamientos anómalos a menudo constituyen el único indicio precoz de un cambio en la salud. El manganeso puede determinarse en sangre, orina, heces y pelo. El cálculo de la exposición al manganeso a partir de su concentración en la orina y en la sangre no es muy válido.

El nivel medio de manganeso en sangre de los trabajadores expuestos es similar al de las personas no expuestas. La contaminación durante la toma de muestras y los procedimientos analíticos puede explicar, al menos en parte, el amplio rango que se encuentra en la literatura, especialmente en sangre.

El uso de heparina como anticoagulante sigue siendo bastante común, aunque el contenido de manganeso de la heparina puede ser superior al de la sangre. Se calcula que la concentración media de manganeso en la orina de las personas no expuestas es de 1 a 8 mg/L, aunque se han descrito valores de hasta 21 mg/L. La ingesta diaria de

manganeso a partir de la dieta varía considerablemente dependiendo de la cantidad de cereales integrales, nueces, verduras de hoja y té que se consuman, por su contenido relativamente alto de manganeso, e influye en el contenido normal de manganeso de los medios biológicos. Se ha propuesto que una concentración de manganeso igual o superior 60 mg/kg de heces es un indicio de exposición profesional al manganeso. El contenido de manganeso en el cabello suele ser inferior a 4 mg/kg. Puesto que la determinación de manganeso en orina, frecuentemente utilizada en la práctica, aún no está suficientemente validada como para valorar la exposición individual, sólo puede utilizarse como indicador grupal del nivel medio de exposición. La recogida de heces y la determinación de su contenido en manganeso no es fácil de realizar. Nuestro nivel actual de conocimientos no incluye ningún otro parámetro biológico fiable que pueda utilizarse como indicador de la exposición individual al manganeso. Así, la valoración de la exposición de los trabajadores al manganeso se sigue realizando a partir de los niveles de manganeso en el ambiente. Además, existe muy poca información fidedigna sobre la correlación entre el nivel de manganeso en la sangre y la orina y el desarrollo de signos y síntomas neurológicos. (Gunnar, 2001)

### **2.2.3. ADSORCIÓN**

La adsorción es un proceso en el que átomos, iones o moléculas son retenidas en la superficie de un material. Consiste en un proceso de separación de un soluto presente en una fase líquida o gas que se concentra sobre la superficie de otra fase generalmente sólida. Se considera un fenómeno superficial. Se denomina adsorbato al soluto y adsorbente a la fase sobre la cual se acumula. (Izquierdo, 2010)

La adsorción se produce por la acción de las fuerzas activas que existen en la superficie del sólido, que provocan la aparición de una fuerza atractiva neta, normal a la superficie del mismo. En función de la naturaleza de estas fuerzas, la adsorción se puede clasificar en dos tipos generales:

Adsorción física o fisisorción: las interacciones que se establecen entre la superficie del sólido y el adsorbato son de naturaleza física, fundamentalmente fuerzas de Van der Waals. No se produce, por tanto, compartición ni transferencia de electrones, manteniéndose la individualidad del sólido y del adsorbato. Se trata de un proceso reversible, con calores de adsorción bajos (-20) - 0 KJ/mol. (Mahmoodi, 2011)

### 2.2.3.1. BIOADSORCIÓN

La bioadsorción es un proceso por el cual ciertos tipos de materiales de origen natural retienen y concentran en su superficie sustancias y compuestos de diversa naturaleza química presentes en disoluciones acuosas.

El término bioadsorción hace referencia a un tipo específico de adsorción. En el proceso participan una fase sólida, el bioadsorbente, y una fase líquida, el solvente, que contiene las especies disueltas que conviene separar de la disolución (adsorbatos). Como consecuencia de la elevada afinidad entre el bioadsorbente y el adsorbato, éste es atraído y retenido sobre el bioadsorbente por una serie de procesos complejos que incluyen la quimisorción, la complejación, la adsorción en superficie y en los poros, el intercambio iónico, la quelación y la adsorción de naturaleza física.

### 2.2.3.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ADSORCIÓN

La adsorción es altamente selectiva. La cantidad adsorbida depende en gran medida de la naturaleza y del tratamiento previo al que se halla sometido a la superficie del adsorbente, así como de la naturaleza de la sustancia adsorbida. Al aumentar la superficie de adsorbente y la concentración de adsorbato, aumenta la cantidad adsorbida.

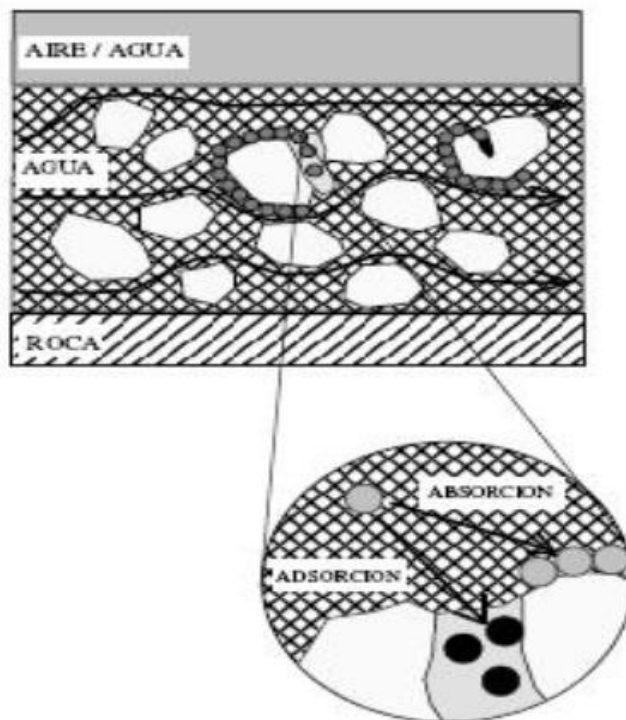
Es un proceso rápido cuya velocidad aumenta cuando aumenta la temperatura, pero disminuye cuando aumenta la cantidad adsorbida.

Es un proceso espontáneo, es decir, que  $\Delta G$  es negativo, y en general está asociada con un aumento en el orden del adsorbato, lo que significa que  $\Delta S$  es negativa, por lo cual, y de acuerdo con la ecuación:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \text{Ec. 1}$$

Es generalmente exotérmica, lo que quiere decir que  $\Delta H$  es negativo. El cambio en la entalpía cuando un mol de adsorbato es adsorbido por la cantidad apropiada del adsorbente se conoce como la entalpía de adsorción.

Dado que los procesos de adsorción son generalmente exotérmicos, al aumentar la temperatura disminuye la cantidad adsorbida. (Quispe, 2016)



**Figura 8.** Representación esquemática del proceso de adsorción.

Fuente: Quispe (2016).

### 2.2.3.3. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE ADSORCIÓN

La adsorción permite el uso de gran variedad de materiales de diferente naturaleza físico-química. Como consecuencia, los mecanismos de interacción entre los metales pesados y los adsorbentes son muy variados y, en ocasiones, complejos. Además, las capacidades de eliminación dependen de diversos factores, los cuales se escriben los más comunes según, (Muñoz, 2007) en esta sección:

- Peso del adsorbente
- pH de la solución
- Temperatura de la solución
- Concentración de metales en la solución
- Influencia iónica (aniones y cationes en la solución)
- Velocidad de agitación

Según Mestanza (2012), los factores que influyen en la adsorción de un determinado compuesto sobre un adsorbente son:

Propiedades del sólido	Naturaleza del adsorbato	Características de la fase líquida	Competencia entre adsorbatos
<p><b>Superficie específica.</b> La adsorción es un fenómeno superficial, y como tal, cuanto mayor sea la superficie del adsorbente, mayor será la adsorción.</p> <p><b>Distribución del tamaño de poro.</b> Es un factor importante ya que determinará la superficie accesible para la adsorción.</p> <p><b>Tamaño de partícula del adsorbente.</b></p>	<p><b>Solubilidad del adsorbible en el disolvente:</b> cuanto mayor es la solubilidad, menor será a adsorción.</p> <p><b>Estructura del adsorbato:</b> la presencia de grupos funcionales favorece las interacciones entre el soluto y el sólido, dando lugar a una adsorción específica.</p> <p><b>Tamaño molecular del adsorbato.</b> No sólo determina la velocidad de adsorción, sino también la capacidad de la misma ya que pueden surgir impedimentos estéricos que impidan la entrada de la molécula de adsorbible en determinados poros.</p> <p><b>Naturaleza iónica del adsorbato.</b> La carga neta del adsorbato puede favorecer o dificultar su adsorción sobre el sólido.</p>	<p><b>pH.</b> El pH no solo determinará la concentración de iones hidronio e hidroxilo en el medio, sino que también condicionará el grado de disociación del adsorbible.</p> <p><b>Temperatura.</b> De manera general, se puede afirmar que aumentos en la temperatura desfavorecen los procesos de adsorción; sin embargo, se encuentran múltiples ejemplos de lo contrario, sobre todo en fase líquida.</p> <p><b>Naturaleza del disolvente:</b></p>	<p>La presencia de múltiples adsorbibles puede influir tanto en la capacidad de adsorción como en la velocidad del proceso global.</p> <p><b>Naturaleza química del disolvente.</b> Determinará en gran parte la afinidad del sólido por el disolvente y por el adsorbible.</p> <p><b>Tensión superficial.</b> Los adsorbatos que disminuyen la tensión superficial tienden a desplazarse hacia la zona superficial, favoreciéndose de este modo la adsorción. Además determinará el grado de contacto sólido-líquido. Puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>Tensión superficial positiva:</b> predominan las fuerzas de cohesión líquido-líquido sobre las de atracción líquido-sólido.</li> <li>•<b>Tensión superficial compensada:</b> igualdad entre las fuerzas de cohesión y las de atracción.</li> <li>•<b>Tensión superficial negativa:</b> predominan las fuerzas de adhesión.</li> </ul>

Figura 9. Factores que determinan la adsorción de un sistema.

Fuente: Mestanza (2012).

### 2.2.3.4. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN

En el equilibrio de adsorción existe una proporción definida de soluto repartida entre las dos fases, líquida y sólida. (Mestanza, 2012)

La forma habitual de expresar esta distribución es la capacidad de equilibrio, definida como:

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{w} \times V \tag{Ec. 2}$$

Donde:

$q_e$ : Capacidad de equilibrio.

$C_0$ : Concentración inicial de adsorbible en fase líquida.

$C_e$ : Concentración en equilibrio de adsorbible en fase líquida.

V: Volumen de disolución.

w: Masa del adsorbente.

### 2.2.3.5. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

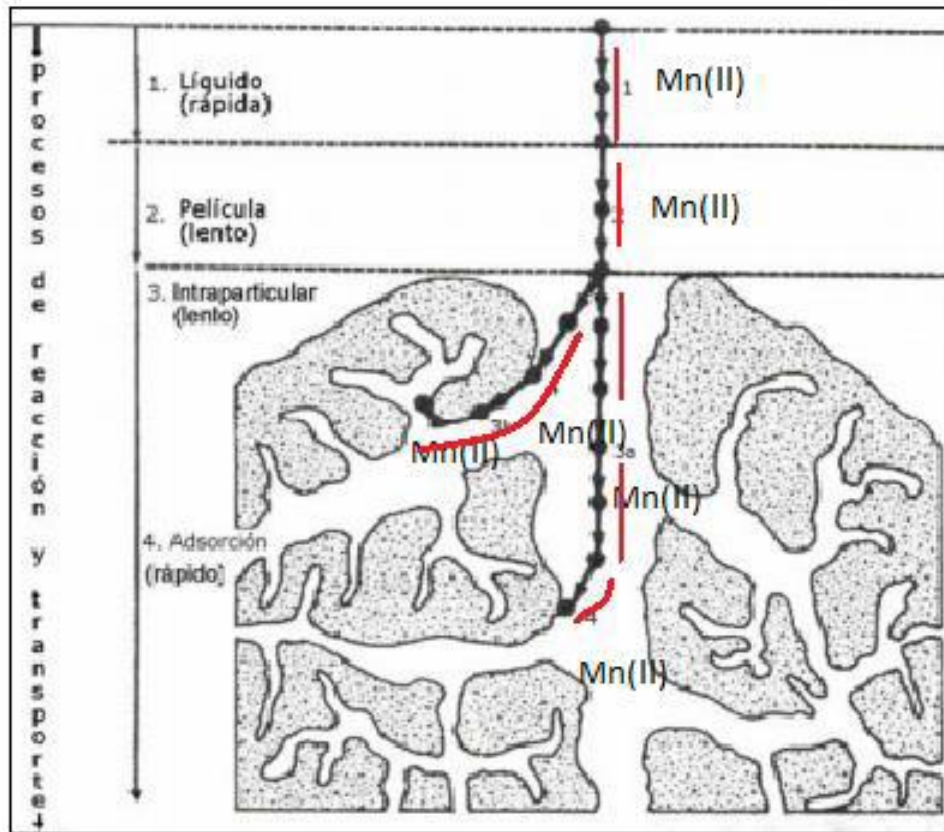
En el proceso de adsorción, las moléculas de adsorbato se difunden sobre las partículas del adsorbente, a la capacidad de adsorción en equilibrio (basado en un tiempo de contacto), es decir, a la velocidad con la cual la moléculas específica pasa de la fase líquida a la fase sólida. (López 2009)

La cinética de adsorción describe la velocidad de atrapamiento del adsorbato, lo cual controla el tiempo de residencia de este en la interface sólido - disolución y además su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado, las cuales se determinan por experimentación y no pueden ser interferidas en ningún caso. (Loarte y Sanabria, 2015)

La adsorción de un adsorbato se efectúa según una sucesión de cuatro etapas cinéticas. (Loarte y Sanabria, 2015)

1. El primero de ellos es el transporte de adsorbato o soluto, en la fase líquida. Usualmente es rápido debido a la agitación.
2. El transporte a través de la película fija o capa superficial del líquido en el exterior del adsorbente (difusión de película).
3. La difusión en el poro puede llevarse a cabo de dos maneras: difusión en el líquido dentro del poro y/o en sitios activos a lo largo de la superficie de las paredes del poro (difusión superficial).
4. Finalmente la adsorción del soluto en la superficie interna del adsorbente.





**Figura 10.** Procesos de transporte de adsorción mediante adsorbentes microporosos.

Fuente: Loarte y Sanabria (2015).

**2.2.3.5.1. Modelo cinético de primer orden (Lagergren)**

La ecuación de primer orden de Lagergren, la cual se basa principalmente en la capacidad de adsorción del sólido, donde cada ion metálico se le asigna un sitio de adsorción de material adsorbente, lo cual en términos de velocidad de reacción se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \tag{Ec. 3}$$

Integrando la Ec. 8 y aplicando como condiciones de contorno a  $t=0, q_t=0$  y a  $t=t, q_t= q_t$  se tiene:

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{(q_e - q_t)} = k_1 \int_0^t dt$$

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t \tag{Ec. 4}$$



$$v_1 = k_1 \times q_e$$

Ec. 5

Donde:

$q_t$ : Concentración del metal removido en tiempo por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

$q_e$ : Concentración del metal removido en el equilibrio por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

$k_1$ : Constante de velocidad en el equilibrio de una adsorción de Pseudo primer orden ( $\text{min}^{-1}$ ).

$t$ : Tiempo (min).

$v$ : Velocidad de adsorción de Pseudo primer orden ( $\text{mg/g} \times \text{min}$ ).

#### 2.2.3.5.2. Modelo cinético de Pseudo segundo orden

Este modelo fue desarrollado por Ho y McKay y dado a conocer en 1999. En él se supone que el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa. A partir de esta fecha, muchas más investigaciones han reportado un mejor ajuste de los datos experimentales obtenidos a este modelo, con coeficientes de correlación superiores a los de los otros modelos ensayados. En este caso, la ecuación de velocidad de la cinética de adsorción se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Ec. 6}$$

Integrando la Ec. 11 y aplicando como condiciones de contorno a  $t=0$ ,  $q_t=0$  y a  $t=t$ ,  $q_t=q_t$  se tiene:

$$\int_0^{q_t} (q_e - q_t)^{-2} dq_t = k_2 \int_0^t dt$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Ec. 7}$$

$$v_2 = k_2 \times q_e^2 \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$q_t$ : Concentración del metal removido en tiempo por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

$q_e$ : Concentración del metal removido en el equilibrio por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

$k_2$ : Constante de velocidad en el equilibrio de una adsorción de Pseudo primer orden (g/mg×min).

$t$ : Tiempo (min).

$v$ : Velocidad de adsorción de Pseudo primer orden (mg/g×min).

**Tabla 8.** Ecuaciones de primer y Pseudo-segundo orden.

Modelo cinético	Ecuación diferencial	Ecuación integral
<p><b>Expresión de primer orden de Lagergren</b></p>	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303}t$ $v_1 = k_1 \cdot q_e$
<p>donde <math>q</math> es la cantidad del contaminante adsorbida en el biosorbente en el tiempo <math>t</math>; <math>k_1</math> es la tasa constante de Lagergren de biosorción de primer orden ; <math>v_1</math> es la tasa inicial de biosorción (Lagergren, 1898)</p>		
<p><b>Ecuación de pseudo-segundo orden</b></p>	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$ $v_2 = k_2 \cdot q_e^2$
<p>donde <math>k_2</math> es la tasa constante de biosorción de pseudo-segundo orden ; <math>v_2</math> es la tasa inicial de biosorción (Ho y Mc Kay, 1999)</p>		

**Fuente:** Trelles (2013).

### 2.2.3.5.3. Modelo de Elovich

El modelo de Elovich, se utiliza para determinar la cinética de quimisorción de gases sobre sólidos, pero también se utiliza para describir la adsorción de contaminantes en soluciones acuosas, se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{dq_t}{dt} = a \times e^{-bq_t} \tag{Ec. 9}$$

Integrando la Ec. 14 y aplicando como condiciones de contorno a  $t=0$ ,  $q_t=0$  y a  $t=t$ ,  $q_t=$   
 $q_t$  se tiene:

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{e^{-bq_t}} = a \int_0^t dt$$

$$q_t = \frac{1}{b} \text{Ln}(1 + abt)$$

$$q_t = \frac{1}{b} \text{Ln}(a \times b) + \frac{1}{b} \text{Lnt} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$q_t$ : Cantidad del metal absorbido en un tiempo  $t$  (mg/g).

$a$ : Velocidad de adsorción inicial (mg/g\*min).

$b$ : Está relacionado con la superficie cubierta y la activación por quimiadsorción (mg/g).

$t$ : tiempo (min).

#### 2.2.3.5.4. Modelo de difusión intraparticular

La hipótesis sobre el mecanismo de difusión intraparticular en el interior de los poros de la partícula de adsorbente está basada en el transporte de soluto a través de la estructura interna de los poros de adsorbente y la difusión propiamente dicha en el sólido, lo que conlleva a que el adsorbente posea una estructura porosa homogénea.

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

Con base en lo anterior, la ecuación que define la difusión intraparticular viene dada por:

$$q_t = k \times \sqrt{t} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

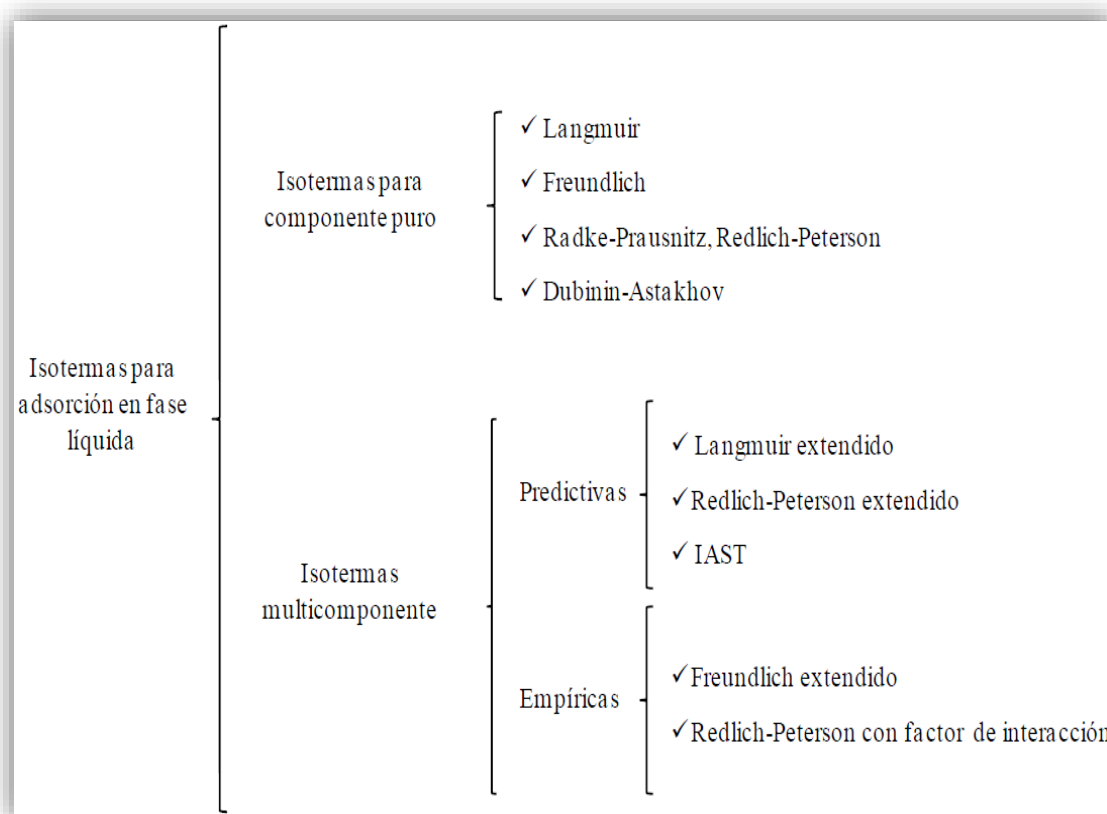
$q_t$ : Cantidad del metal absorbido en un tiempo  $t$  (mg/g).

$k$ : Constante de velocidad de difusión intraparticular ( $\text{mg} \times \text{g}^{-1} \times \text{min}^{-1/2}$ ).

$t$ : Tiempo (min).

### 2.2.3.6. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Las isotermas de adsorción son curvas construidas a partir de pares ( $C_e$ ,  $q_e$ ) a una temperatura constante. Pueden ocurrir varios tipos de relaciones isotérmicas de adsorción.



**Figura 11.** Clasificación de los modelos de isotermas aplicables a sistemas en fase líquida.

Fuente: Mestanza (2012).

Sin embargo, los dos modelos de isotermas de adsorción más extensamente utilizados para la recuperación de un único componente, son los correspondientes a las ecuaciones

de Langmuir y Freundlich. Ambos modelos describen una amplia gama de equilibrios de adsorción y permitan una interpretación física y sencilla de cómo se producen las interrelaciones entre una sustancia adsorbida (adsorbato) y una fase que adsorbe (adsorbente).

#### 2.2.3.6.1. Modelo de Langmuir

El modelo Langmuir, describe cuantitativamente el depósito de una gran capa de moléculas sobre una superficie adsorbente como una función de la concentración del material adsorbido en el líquido con el que está en contacto. La adsorción se produce solamente en determinados lugares y no tienen una interacción entre las moléculas retenidas. (Loarte y Sanabria, 2015)

La fórmula que describe este modelo es:

$$q_e = \frac{x}{m} = \frac{Q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad \text{Ec. 12}$$

La forma lineal de la ecuación de Langmuir puede ser escrita como:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b Q_0} + \frac{C_e}{Q_0} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$q_e = x/m$ : Concentración del soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente (mg/g).

$Q_0$ : Concentración del soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente requerido para la capacidad de mono capa en la superficie (mg/g).

$C_e$ : Concentración del soluto en equilibrio (mg/L).

$b$ : Constante de Langmuir, la cual se refiere a la energía de adsorción (L/mg).

#### 2.2.3.6.2. Modelo de Freundlich

Es el modelo más ampliamente utilizado como modelo de isoterma no lineal. Relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del

soluto en el líquido con el que está en contacto. Es un modelo riguroso para los casos de sorción en superficies heterogéneas.

La ecuación de Freundlich se rige por la fórmula general:

$$\frac{C_e}{q_e} = K_F C_F^{1/n} \quad \text{Ec. 14}$$

La forma lineal de la ecuación de Freundlich puede ser escrita como:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

$q_e$ : Concentración del soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente (mg/g).

$K_f$ : Constante de Freundlich (mg/g)(L/mg)<sup>1/n</sup>.

$C_e$ : Concentración del soluto en equilibrio (mg/L).

$K_f$  y  $n$ : Coeficientes obtenidos empíricamente y son constantes características del adsorbente y adsorbato.

### 2.2.3.6.3. Modelo de Langmuir – Freundlich

La isoterma de Langmuir - Freundlich es utilizada principalmente para describir superficies heterogéneas. A bajas concentraciones de sorbato se reduce a la isoterma de Freundlich, mientras que a altas concentraciones de sorbato predice una capacidad de biosorción en monocapa característica de la isoterma de Langmuir. (Loarte y Sanabria, 2015)

La ecuación de Langmuir-Freundlich puede ser expresado mediante la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{K_{LF} C_e^{1/n}}{1 + K_{LF} C_e^{1/n}} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

$q_e$ : Cantidad del metal retenido en el bioadsorbente (mg/g).

$C_e$ : Concentración del soluto en equilibrio (mg/L).

$K_{LF}$  y  $\alpha_{LF}$ : Constantes empíricas.

Existen otros modelos de isothermas empíricas que pueden resultar útiles en determinados sistemas: Unilan, Keller, Dubinin-Radushkevich, Temkin, Jovanovic.

## 2.3. HIPÓTESIS

### Hipótesis general

Mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas para adsorber  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro, se determinó la cinética de adsorción.

### Hipótesis específicos

- Mediante las técnicas de caracterización fisicoquímica se determinó la composición química de los Huesos de la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) para ser utilizado como bioadsorbente.
- Evaluando los parámetros cinéticos se determinó el mejor modelo matemático que ajuste a la cinética de adsorción del  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro.
- Los parámetros de operación permitieron determinar el porcentaje de remoción de  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en el departamento de Puno – Perú, las pruebas experimentales se desarrollaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, bajo las condiciones ambientales de una temperatura de 15 °C, presión atmosférica de 486 mmHg, altitud de 3828 m.s.n.m., latitud de 15° 49' 22,682" S, longitud de 70° 01' 6,635" O.



**Figura 12.** Localización del ámbito de estudio.

Fuente: Coordenadas-gps (2017).

## 3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

### 3.2.1. MATERIA PRIMA

- Esqueleto o huesos de Trucha (*Oncorhynchus mykiss*)

### 3.2.2. INSUMOS Y REACTIVOS

- Muestra de agua contaminada
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio (NaOH) de 1N
- Ácido clorhídrico (HCl) de 1N
- Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 3 %

### 3.2.3. MATERIALES DE LABORATORIO

- Matraz Erlenmeyer
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Buretas
- Pipetas



- Pissetas
- Barra de agitación
- Fiolas
- Tubos de ensayo
- Tubos de centrifuga
- Embudo
- Gradilla
- Mortero
- Papel toalla

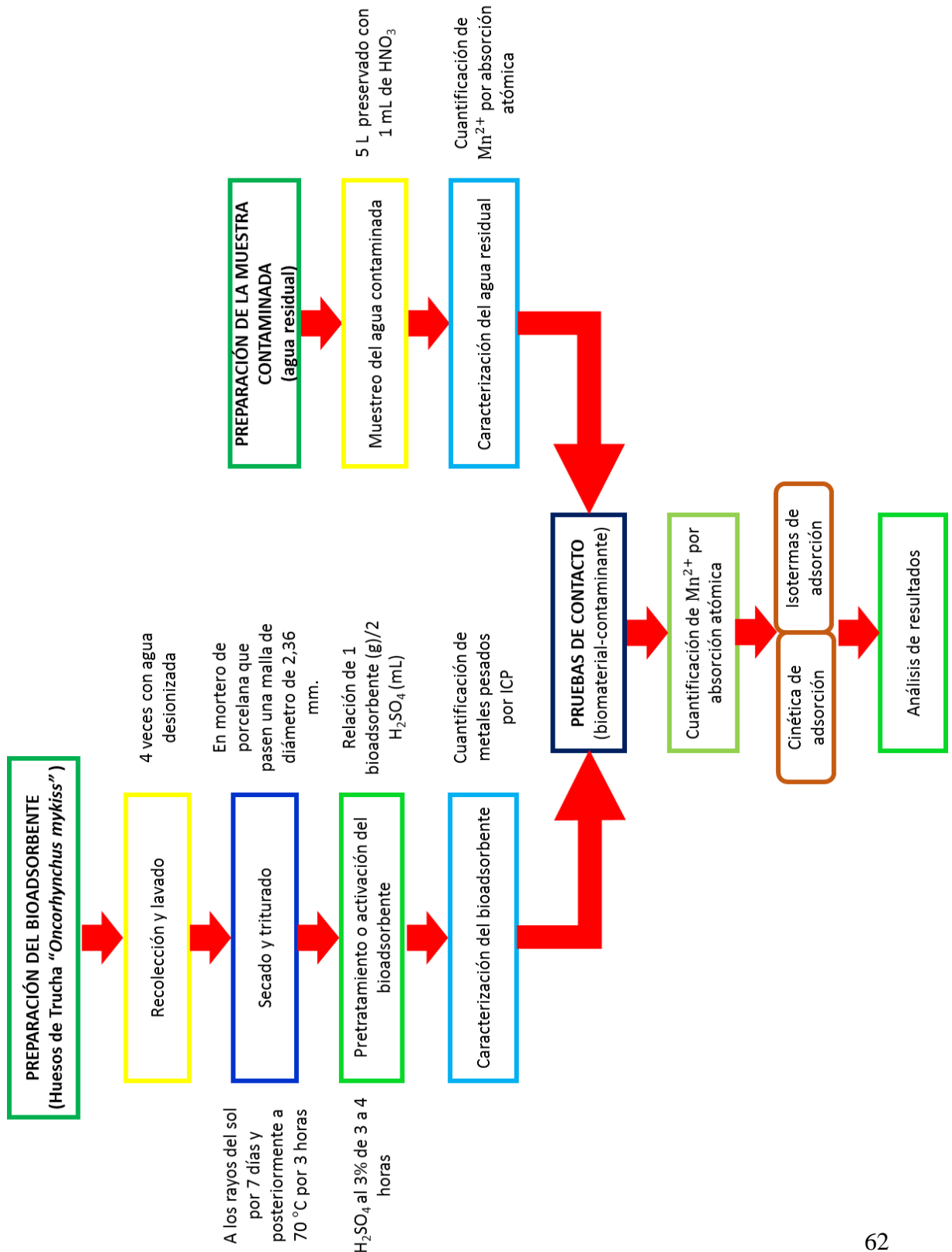
#### **3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS**

- ICP
- Equipo de absorción atómica
- Agitador magnético
- Baño maría
- Balanza analítica
- Termómetro
- Potenciómetro
- Estufa
- Cronómetro

### 3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.3.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

##### 3.3.1.1. Diagrama de flujo del proceso de desarrollo experimental



### 3.3.1.2. Preparación del bioadsorbente

#### a) Recolección del bioadsorbente

Los residuos generados de las actividades acuícolas (huesos o esqueletos de Trucha), constituyen el biomaterial que se emplearon en este trabajo de investigación, este se recolectó de restaurantes del mercado Bellavista de Puno, donde se expende comidas a base de la Trucha, los cuales se desechan en gran cantidad diariamente, esta materia prima se lavó 4 veces con agua para eliminar los residuos orgánicos que presenta.



**Figura 13.** Huesos de trucha lavado.

#### b) Secado

En este procedimiento los huesos de trucha (*Oncorhynchus mykiss*), se llevó a secado durante 7 días en presencia de los rayos del sol, posteriormente se deshidrató a 70 °C durante tres horas en una mufla.



**Figura 14.** Huesos de trucha secado.

### c) Triturado

Se trituró en un mortero, hasta obtener partículas que pasen por una malla de diámetro 2,36 mm.

### d) Pre tratamiento del bioadsorbente

El bioadsorbente se trató con ácido sulfúrico al 3% de 3 a 4 horas, con una relación de 1 a 2 (bioadsorbente/ácido), con la finalidad de preparar el biomaterial para el proceso de bioadsorción.

El biomaterial se lavó con agua destilada desionizada, varias veces para eliminar los residuos de ácido. Luego se seca en la estufa a la temperatura de 70°C, durante 18 horas, posteriormente se guardó en un frasco de vidrio.



**Figura 15.** Activación y secado del bioadsorbente (Huesos de Trucha).

### e) Caracterización del bioadsorbente

Se tomaron pequeñas muestras del bioadsorbente, para realizar el análisis químico inorgánico del bioadsorbente.

#### 3.3.1.3. Preparación de la muestra contaminada

##### a) Muestreo del agua contaminada

Se muestreó un volumen de 5 L de agua residual de la laguna de Lunar de Oro, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno. Luego la muestra se preserva con 1 mL ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado.



**Figura 16.** Ubicación y muestra de agua residual de Lunar de Oro.

### b) Caracterización del agua residual

Las caracterizaciones físicas y químicas de la muestra se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Para analizar  $Mn^{2+}$  en la muestra contaminada se realizó por Absorción atómica en el Laboratorio de RHLAB S.A.C. Juliaca-Perú.

#### 3.3.1.4. Proceso de adsorción

##### a) Efecto del potencial de Hidrógeno (pH) y la dosificación

Este proceso se realizó a un volumen de 50 mL de agua residual filtrado, con agitación de 200 RPM y tiempo de 23 minutos. Tal como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Constantes del proceso de adsorción del  $Mn^{2+}$ .

Constante	Valores	Fuente
Temperatura	Ambiental	Propia
Tiempo de agitación	23 Minutos	Delgado (2013)
Velocidad de agitación	200 RPM	Loarte y Zanabria (2015)
Volumen	50 mL	Loarte y Zanabria (2015)

**Tabla 10.** Evaluación del proceso de adsorción.

	VARIABLES		RESULTADOS
	pH	Dosificación (g)	mg/L de Mn <sup>2+</sup>
<b>NIVELES</b>	3,8	0,5	A1
		1,0	A2
		1,6	A3
	5,55	0,5	B1
		1,0	B2
		1,6	B3
	7,3	0,5	C1
		1,0	C2
		1,6	C3

Se evaluaron la variación del pH como se presenta a continuación:

- Para un pH de 3,8 se trabajó con diferentes pesos de 0,5 g, 1,0 g, 1,6 g de bioadsorbente (huesos de trucha). Para corregir el pH, se utilizó NaOH a una concentración 1 N y HNO<sub>3</sub> a una concentración de 1 N.
- Para un pH de 5,5 se trabajó con diferentes pesos de 0,5 g, 1,0 g, 1,6 g de bioadsorbente (huesos de trucha). Para corregir el pH, se utilizó NaOH a una concentración 1 N y HNO<sub>3</sub> a una concentración de 1 N.
- Para un pH de 7,3 se trabajó con diferentes pesos de 0,5 g, 1,0 g, 1,6 g de bioadsorbente (huesos de trucha). Para corregir el pH, se utilizó NaOH a una concentración 1 N y HNO<sub>3</sub> a una concentración de 1 N.

#### b) Efecto del tiempo de residencia

Los tiempos a evaluar fueron: 7, 10, 16, 23, 30, 40, 80, 120 minutos, tal como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Evaluación del tiempo de contacto del adsorbente con la muestra contaminada.

	Variable	Resultados
	t (min)	mg/L de Mn <sup>2+</sup>
<b>Niveles</b>	0	Mi
	7	BT1
	10	BT2
	16	BT3
	23	BT4
	30	BT5
	40	BT6
	80	B7
	120	B8



**Figura 17.** Adsorción de Mn del agua residual con huesos de Trucha.

### 3.3.2. DETERMINACIÓN DE LA ADSORCIÓN DEL Mn<sup>2+</sup>

Para determinar la cantidad de adsorción del Manganese, se analizó las pruebas experimentales por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), en el laboratorio de RHLAB S. A. C. Luego con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de adsorción con la Ec. 3.

$$\text{Porcentaje de Manganese: (\%)} = \left( \frac{C_i - C_e}{C_i} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$



Donde:

$C_i$  y  $C_e$ : es la concentración inicial y en equilibrio del metal en la solución respectivamente (mg/L).



**Figura 18.** Muestras de agua tratada y equipo de absorción atómica.

### 3.3.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Después de llevar a cabo el proceso de adsorción, se evaluó la cinética de adsorción que se utilizó para establecer una relación entre los residuos acuícolas como el hueso de la Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y la solución que contiene el ( $Mn^{2+}$ ), mediante el ajuste en los modelos cinéticos; este proceso dependerá de la afinidad y características del sorbente y el sorbato.

Para determinar el mejor modelo matemático que ajuste a la cinética de adsorción del  $Mn^{2+}$ , se utilizó los modelos de primer orden con la ecuación de Lagergren y pseudo-segundo orden.

### 3.3.4. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

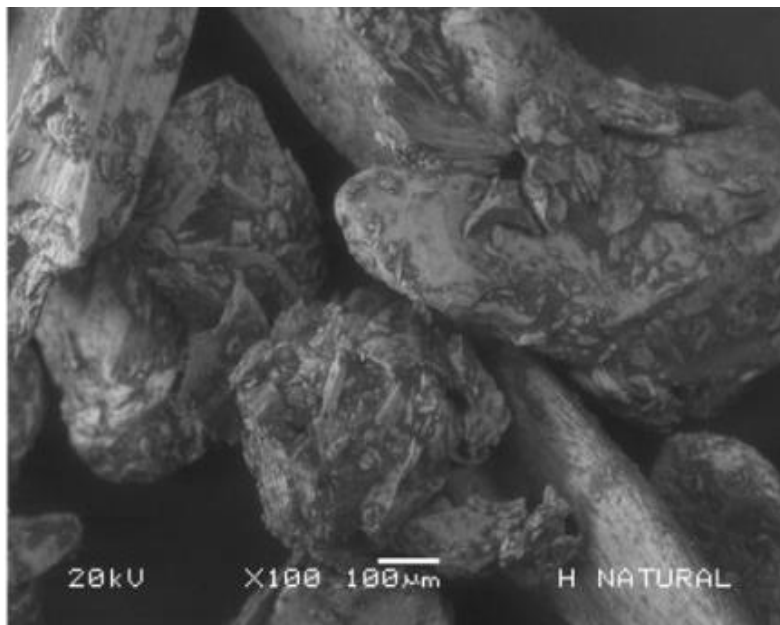
Se evaluaron las isotermas de Langmuir y Freundlich, para encontrar el mejor modelo matemático de las isotermas que adecuen de la mejor manera a este proceso.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HUESO DE TRUCHA

Color crema, el mismo presenta una forma amorfa y porosa.



### 4.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL HUESO DE TRUCHA

#### 4.2.1. Caracterización del Hueso de Trucha por Espectroscopia de Plasma

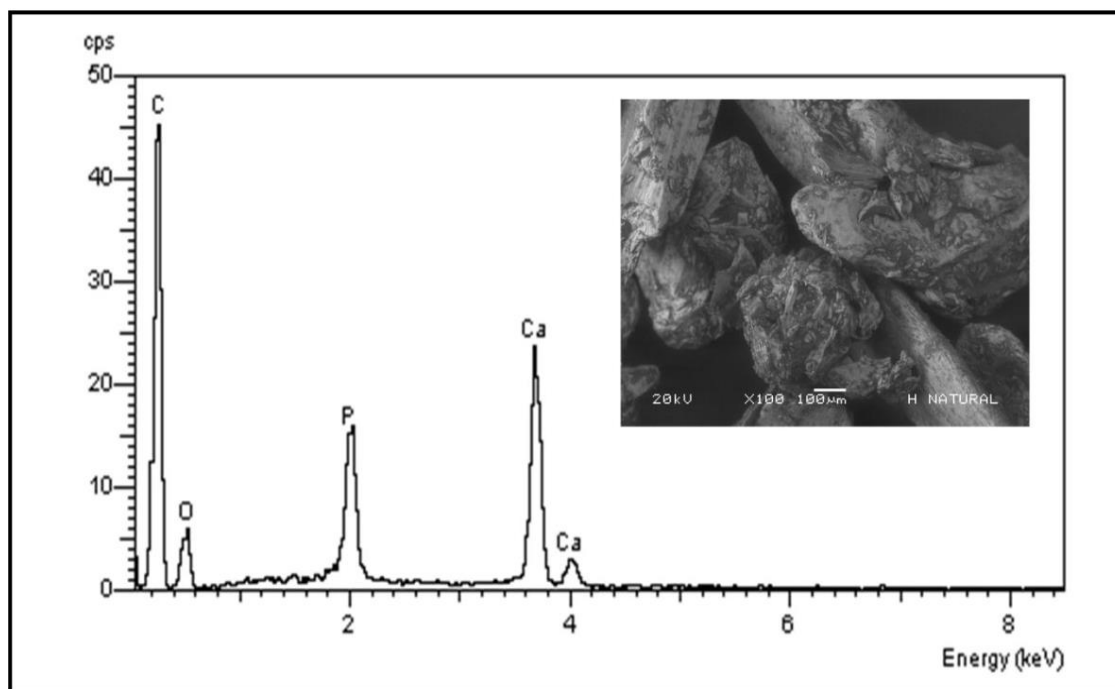
La caracterización Química del bioadsorbente (Hueso de Trucha), se realizó mediante la técnica de Espectroscopia de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), que junto a un Espectrofotómetro de Emisión Óptica (OES) constituye el equipo de ICP-OES, en Laboratorios Analíticos del Sur (Arequipa – Perú). Este método de análisis químico utiliza la intensidad de la luz emitida desde una llama, plasma, arco o chispa en una longitud de onda particular para determinar la cantidad de muchos elementos simultáneamente en una muestra. Siguiendo esta técnica se identificó los metales presentes en los huesos de la Trucha del Lago Titicaca, tal como se aprecia en la Tabla 12 y ANEXO 1 Fig. D.4.

**Tabla 12.** Composición Química inorgánica del Hueso de Trucha.

<b>Composición Química inorgánica del Hueso de Trucha por ICP OES</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Resultados (mg/L)</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Resultados (mg/L)</b>
Plata (Ag)	0,341	Manganeso (Mn)	18,59
Aluminio (Al)	7,7	Molibdeno (Mo)	0,0388
Arsénico (As)	<0,024	Sodio (Na)	3200
Boro (B)	4,66	Niquel (Ni)	0,043
Bario (Ba)	4,574	Fósforo (P)	>10000
Berilio (Be)	<0,0016	Plomo (Pb)	<0,052
Calcio (Ca)	>10000	Antimonio (Sb)	<0,0098
Cadmio (Cd)	0,0032	Selenio (Se)	<0,04
Cobalto (Co)	0,00477	Óxido de Silicio (IV) (SiO <sub>2</sub> )	>10000
Cromo (Cr)	0,2382	Estaño (Sn)	<0,017
Cobre (Cu)	<0,040	Estroncio (Sr)	90
Hierro (Fe)	11	Titanio (Ti)	0,514
Mercurio (Hg)	<0,0082	Talio (Tl)	0,314
Potasio (K)	700	Vanadio (V)	0,1927
Litio (Li)	2,395	Cinc (Zn)	111
Magnesio (Mg)	1900	-	-

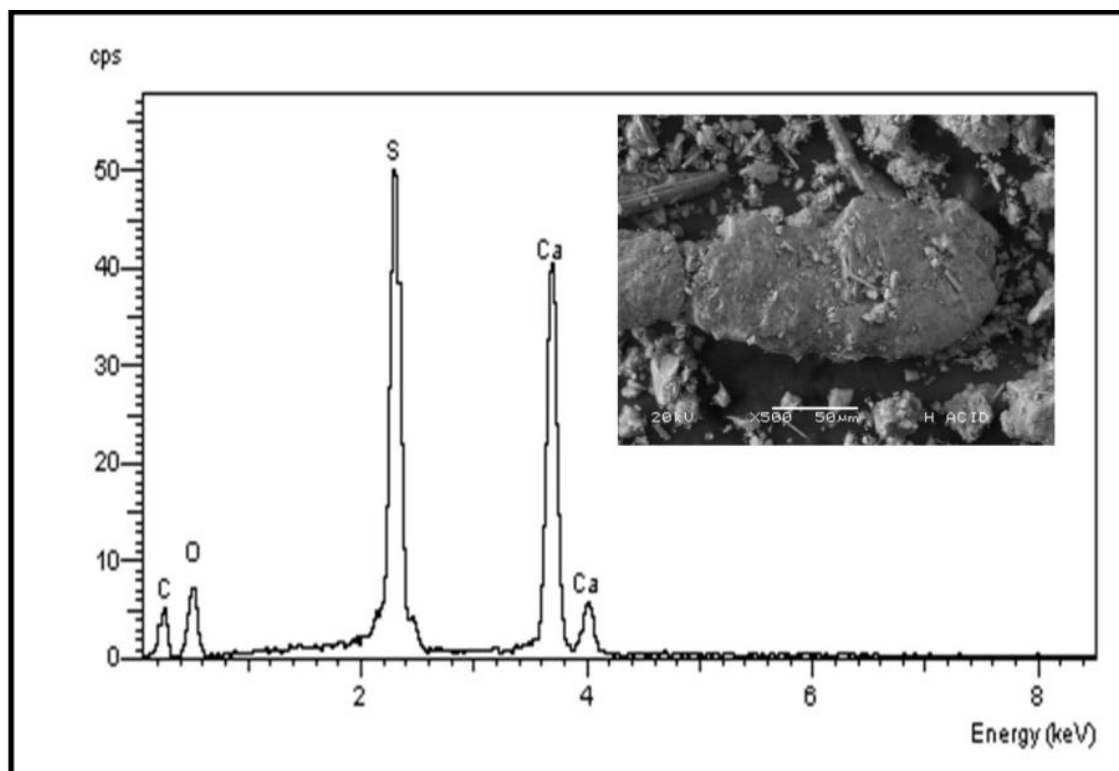
La caracterización química inorgánica del Hueso de Trucha, era necesario antes de llevar a cabo el proceso de adsorción para evitar resultados negativos a causa de la saturación de metales en los sitios activos del Hueso de Trucha.

#### 4.2.2. Caracterización del hueso por Microscopio Electrónico de Barrido



**Figura 19.** Caracterización de los huesos de pescado natural por MEB – EDS.

En la Figura 19 se observa la composición elemental de los huesos de pescado natural, que está compuesto por una fase orgánica y una fase inorgánica, así como Ca, P, O, C y otros elementos en mínimas cantidades; siendo el Carbono y Oxígeno los elementos mayoritarios, representando un 56,92 % y 21,54 % respectivamente del total del peso. Se encuentra constituida por Hidroxiapatita Cálctica  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (Rojas, Mayorga et al., 2013, Mobasherpour et al., 2012, Kizilkaya et al., 2010). Por lo que el MEB – EDS nos ayuda a corroborar lo que la literatura menciona.



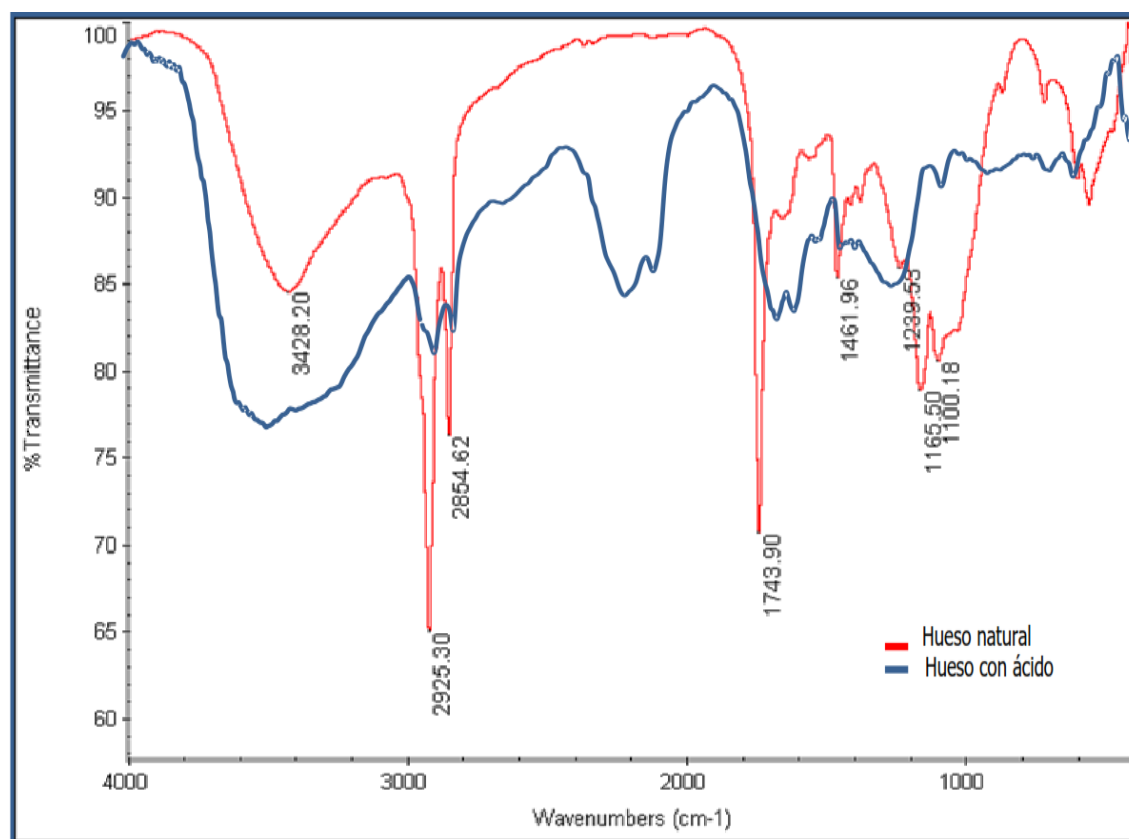
**Figura 20.** Caracterización de los huesos de pescado tratados con Ácido Sulfúrico por MEB – EDS.

En la Figura 20, se observa la presencia del Azufre (S), esto se debe a que los huesos fueron tratados con ácido Sulfúrico, por lo que se pueden percibir cambios físicos y químicos en los huesos que fueron necesarios para una mejor adsorción del  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro.

#### 4.2.3. Caracterización del hueso por Espectrofotometría de infrarrojo

En la Figura 21 se puede apreciar los resultados del análisis del hueso de pescado natural y con tratamiento ácido mediante espectrofotometría de infrarrojo en un gráfico de % de Transmitancia versus la frecuencia de vibración en  $cm^{-1}$ , en donde se observa que en los huesos de forma natural destacan las vibraciones de los picos en  $3428,20\ cm^{-1}$  características del grupo  $-OH$ , entre  $3100\ cm^{-1}$  y  $2800\ cm^{-1}$  con un máximo de  $2925,30\ cm^{-1}$  y  $2854,62\ cm^{-1}$  se atribuye a grupos alifáticos  $-CH_2$ . Se registra una banda con su máximo en  $1100,18\ cm^{-1}$  que representa las vibraciones de  $-PO_4^{3-}$ , mientras que para la banda de  $1743,90\ cm^{-1}$  son grupos carbonilo ( $C=O$ ). Los picos a  $1461,96\ cm^{-1}$  representan vibraciones provenientes de los grupos  $N=O$  y el pico de  $1027,56\ cm^{-1}$  pueden ser vibraciones de los grupos  $C-O-C$  o  $C-C$ . En los huesos tratados con ácido sulfúrico se aprecian los picos entre  $3200\ cm^{-1} - 3600\ cm^{-1}$  son movimientos de

stretching que se atribuyen a las vibraciones del grupo funcional  $\text{-OH}$  del agua los cuales se disminuyen con respecto a los huesos de forma natural, así mismo se vieron afectados los picos a las longitudes de onda entre  $2925\text{ cm}^{-1}$  y  $2850\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a los grupos alifáticos  $\text{-CH}$ , mientras que aproximadamente a los  $2200\text{ cm}^{-1}$  se presenta un pico correspondiente a los grupos  $\text{C}\equiv\text{C}$ , los grupos funcionales  $\text{C=O}$  se identificaron mediante los picos sobrepuestos entre  $1600 - 1650\text{ cm}^{-1}$ . En comparación con los huesos que no recibieron tratamiento ácido, el IR de los huesos tratados registra una banda con su máximo en aproximadamente  $1300 - 1355\text{ cm}^{-1}$  que representa las vibraciones  $\text{SO}_2\text{OH-}$  así como los grupos  $\text{S-O-}$  (compuesto de azufre) a una longitud de onda de  $678 - 775\text{ cm}^{-1}$  (Martínez, 2014). La presencia en la estructura química de un adsorbente de grupos funcionales que contengan grupos amino y grupos que involucren enlaces dobles determinan la selectividad de una adsorción.

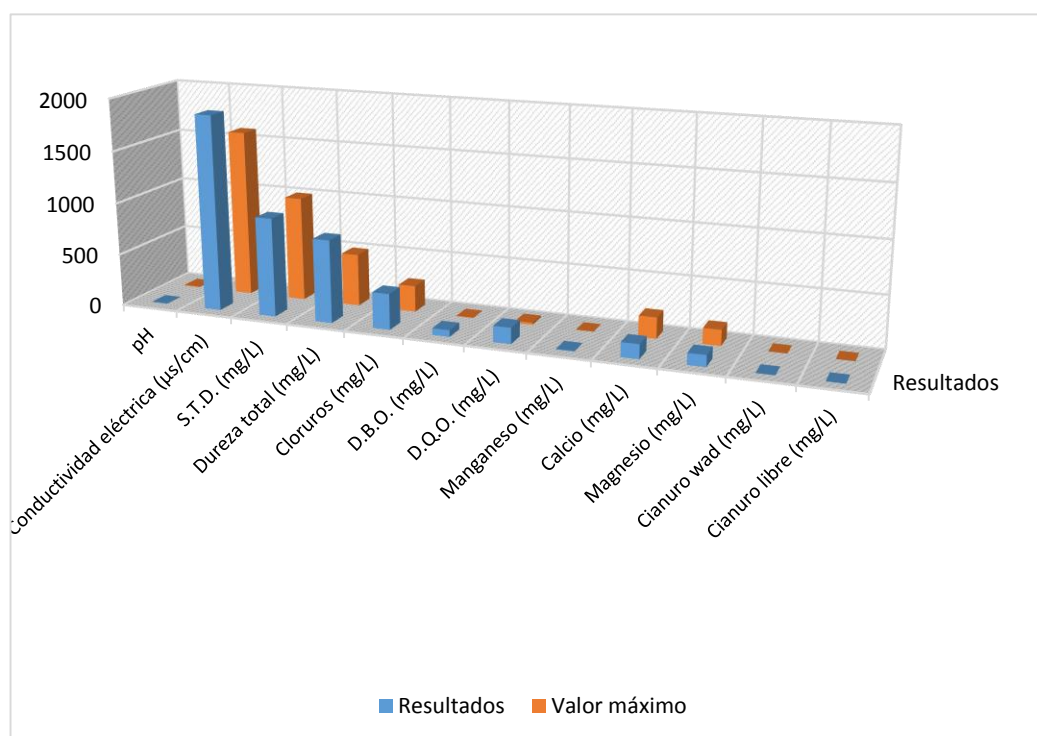


**Figura 21.** Caracterización de los huesos de pescado por espectrofotometría de infrarojo.

### 4.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL (ADSORBATO)

**Tabla 13.** Características físico químicas del agua residual.

Características Físico químicas del agua residual				
Parámetros	Unidades	Resultado	Valor máximo	Unidades
pH	-	1,9	6,5 – 8,5	-
Conductividad eléctrica	µs/cm	1873	1600	µs/cm
S.T.D.	mg/L	943	1000	mg/L
Dureza total	mg/L	791,2	500	mg/L
Cloruros	mg/L	342	250	mg/L
D.B.O.	mg/L	63,49	5	mg/L
D.Q.O.	mg/L	153	20	mg/L
Calcio	mg/L	137,3	200	mg/L
Magnesio	mg/L	108,852	150	mg/L
Manganeso	mg/L	5,8	0,4	mg/L
Cianuro wad	mg/L	0,040	0,08	mg/L
Cianuro libre	mg/L	0,150	0,2	mg/L



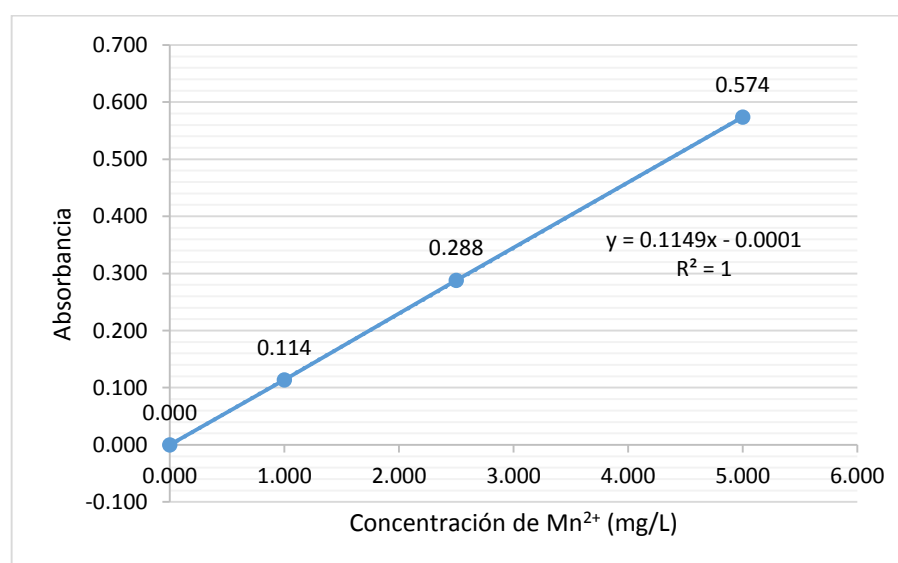
**Figura 22.** Gráfico de comparación de resultados de los análisis con los límites máximos permisibles del ECA para el agua, Categoría 1, subcategoría A - A1 establecidos por el decreto supremo N° 004-2017-MINAM.

Al observar la Tabla 13, se puede ver que los resultados de los parámetros analizados en el agua, están fuera del rango de los límites máximos permisibles del ECA, establecidos por el decreto supremo N° 004-2017-MINAM - PERÚ, por ende se demuestra que es una agua muy contaminada, en especial por metales pesados que presenta. Para el consumo de esta agua, se necesita un tratamiento avanzado. Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como percloración, micro filtración, ultra filtración, nano filtración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

#### 4.4. PROCESO DE ADSORCIÓN

**Tabla 14.** Curva de calibración para el análisis de  $Mn^{2+}$  por espectroscopia de absorción atómica.

Curva de calibración	
Solución estándar de $Mn^{2+}$ (mg/L)	Absorbancia
Blanco	0,000
1,000	0,114
2,500	0,288
5,000	0,574



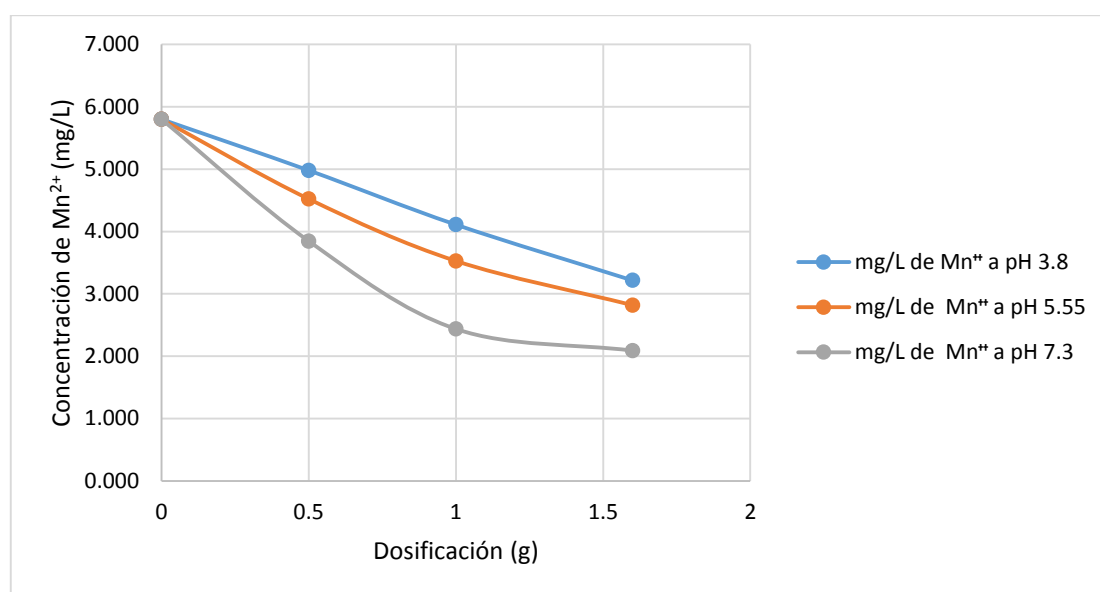
**Figura 23.** Gráfico de la curva de calibración.

La curva de calibración se realizó con el objetivo de analizar  $Mn^{2+}$ . La Figura 23 muestra el comportamiento de la absorbancia respecto a la concentración del  $Mn^{2+}$  (mg/L); se puede ver que cuando la baja la absorbancia, la concentración del Manganeso aumenta, esto se debe a la caída de la pendiente.

**Tabla 15.** Comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.

Masa (g)	Concentración del $Mn^{2+}$ (mg/L) a pH 3,8	Concentración del $Mn^{2+}$ (mg/L) a pH 5,55	Concentración del $Mn^{2+}$ (mg/L) a pH 7,3
0	5,800	5,800	5,800
0,5	4,980	4,521	3,846
1	4,109	3,527	2,436
1,6	3,215	2,818	2,089

De los resultados que se muestran en la Tabla 15, donde se muestran la masa del bioadsorbente y las concentraciones de  $Mn^{2+}$  a diferentes pH; notándose que la concentración del manganeso baja a medida que la masa del bioadsorbente aumenta la cual es claramente ilustrado en la Figura 24, esto se produce debido a que hay mayor cantidad de sitios activos del bioadsorbente.

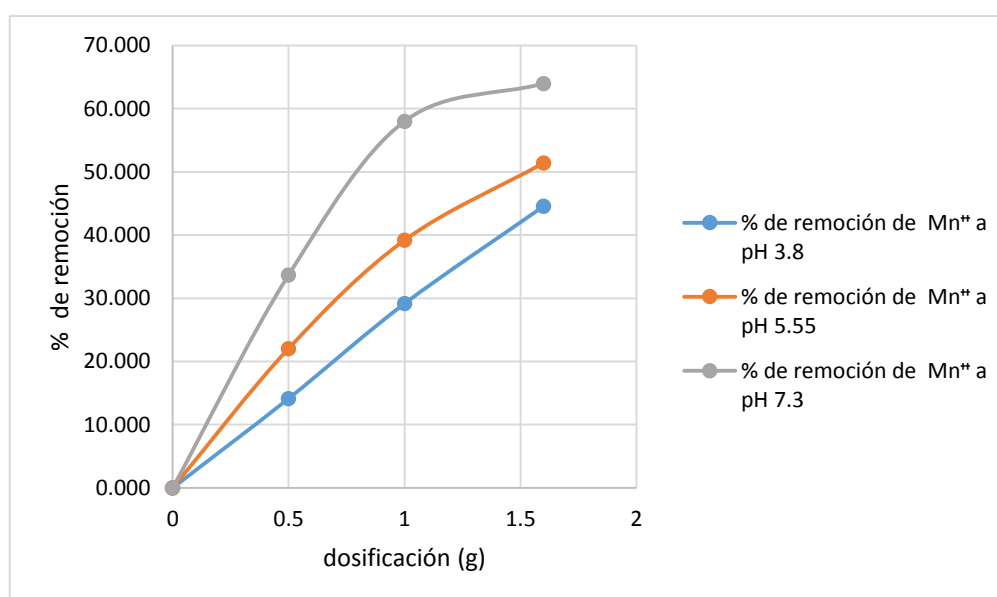


**Figura 24.** Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.



**Tabla 16.** Comportamiento de la capacidad de adsorción (%) en función a la masa del bioadsorbente y pH.

Masa del bioadsorbente (g)	% de adsorción de $Mn^{2+}$ a pH 3.8	% de adsorción de $Mn^{2+}$ a pH 5.55	% de adsorción de $Mn^{2+}$ a pH 7.3
0	0,000	0,000	0,000
0.5	14,138	22,052	33,690
1	29,155	39,190	58,000
1.6	44,569	51,414	63,983



**Figura 25.** Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.

Se determinó los porcentajes de adsorción del Manganese utilizando diferentes masas de bioadsorbente a diferentes pH. En la En la Tabla 16 se aprecia que el porcentaje máximo de remoción fue de 63,983%, para un peso de 1,6 g a un pH de 7,3 y un tiempo de 23 minutos, conforme aumentó la masa del bioadsorbente fue disminuyendo la concentración de  $Mn^{2+}$  generando porcentajes de 44,569; 51,414 y 63,983 % para pH de 3,8; 5,55 y 7,3 respectivamente, tal como se muestra en la Figura 25. Se puede interpretar que la disminución en cuanto a los porcentajes de remoción se debe a que los sitios activos del biomaterial son ocupados rápidamente por el analito.

Con la investigación de (Delgado, 2013) que realizó ensayos con pesos de 0, 2, 5, 8 gramos de adsorbente para un volumen de 500 mL de efluente minero de concentración 2,616 mg/L de  $Mn^{2+}$ , a pH de 7,5 con nivel de agitación de 10 por un tiempo de contacto de 20 min; reduciendo la concentración a 0,204 mg/L de  $Mn^{2+}$  y obteniendo un porcentaje de remoción máximo de 92,20 % con 8 g de adsorbente. Se puede validar los resultados de este trabajo.

#### 4.5. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

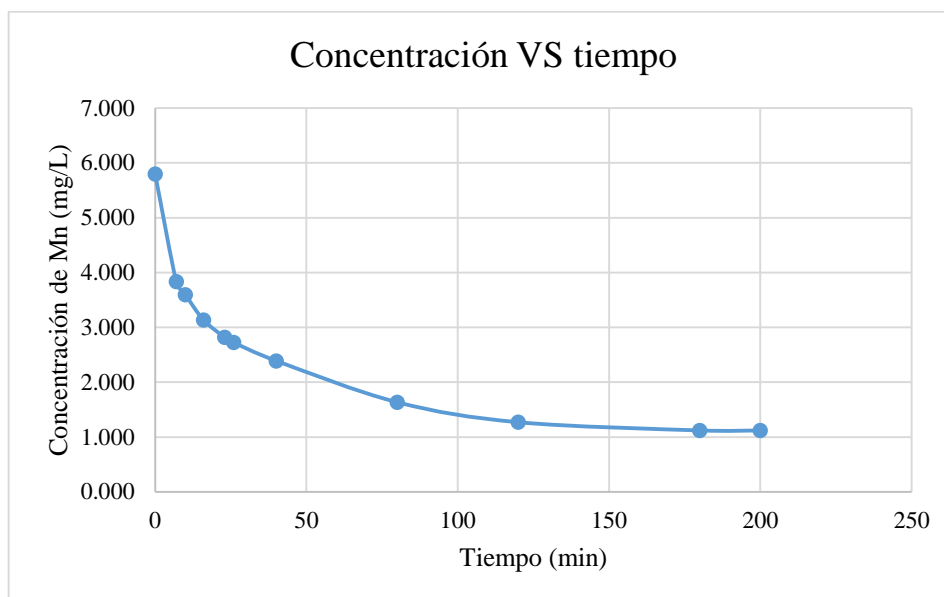
Los tiempos que se evaluaron fueron de 7, 10, 16, 23, 30, 40, 80, 120, 160 y 200 minutos para un volumen de 50 mL de muestra contaminada de concentración inicial de 5,800 mg/L de  $Mn^{2+}$ , a un pH de 5,55. Se usó dosis de 1,6 g de bioadsorbente obteniendo como resultados que se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Comportamiento de la concentración y el porcentaje de adsorción respecto al tiempo.

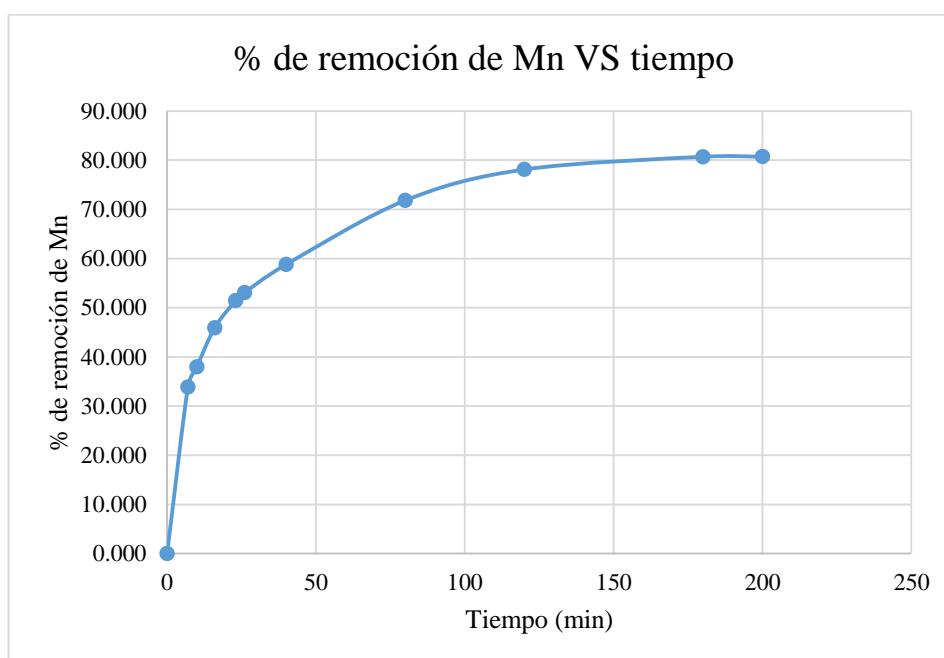
	Variable	Resultados	
	t (min)	Concentración del $Mn^{2+}$ (mg/L)	% remoción de $Mn^{2+}$
Niveles	0	5,800	0,000
	7	3,836	33,862
	10	3,596	38,000
	16	3,136	45,931
	23	2,818	51,414
	40	2,390	58,793
	80	1,635	71,810
	120	1,270	78,103
	160	1,120	80,690
	200	1,119	80,707

En la Figura 26 se observa que la adsorción en los 23 primeros minutos es moderadamente, alcanzando una concentración de 2,818 mg/L de  $Mn^{2+}$  esto es equivalente al 51,414 % y la mayor adsorción se alcanza en 200 minutos con una concentración de 1,119 mg/L de  $Mn^{2+}$  que equivale al 80,707 %; notándose en la Figura

26 el alcance del equilibrio, a partir de los 160 minutos esto se debe a la saturación de los sitios activos del adsorbente.



**Figura 26.** Gráfico del comportamiento de la concentración respecto al tiempo.



**Figura 27.** Gráfico del comportamiento del % de adsorción del  $Mn^{2+}$  respecto al tiempo.

Estos resultados se pueden validar con la investigación de (Delgado, 2013) que obtuvo porcentajes de remoción de 59,56 %, 72,78 %, 77,22 % y 79,05 % de  $Mn^{2+}$

considerando los siguientes tiempos 5, 10, 15 y 20 minutos de contacto respectivamente; con 5 g de adsorbente en un volumen de 500 mL, a un pH de 7,5 de concentración inicial de la muestra contaminada igual a 2,616 mg/L de  $Mn^{2+}$ .

**Cálculo del equilibrio de adsorción a partir de la Ecuación 2.**

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{w} \times V$$

**Datos:**

$$C_0 \text{ de } Mn^{2+} = 5,8 \text{ mg/L}$$

$$C_e \text{ o } C_f \text{ de } Mn^{2+} = 1,119 \text{ mg/L}$$

$$V = 50 \text{ mL} = 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Masa del adsorbente (w)} = 1,6 \text{ g}$$

$$q_e = \frac{5,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 1,119 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1,6 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$q_e = 0,1463 \frac{\text{mg de } Mn^{2+}}{\text{g de bioadsorbente}}$$

#### 4.5.1. Modelo cinético de primer orden de Lagengren

Ecuación diferencial:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

Integrando y aplicando condiciones de contorno de  $t=0$ ,  $q_t=0$  y a  $t=t$ ,  $q_t=q_t$  se tiene:

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{(q_e - q_t)} = k_1 \int_0^t dt$$

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t$$

$$v_1 = k_1 \times q_e$$

Donde:

$q_t$ : Concentración del metal removido en tiempo por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

$q_e$ : Concentración del metal removido en el equilibrio por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

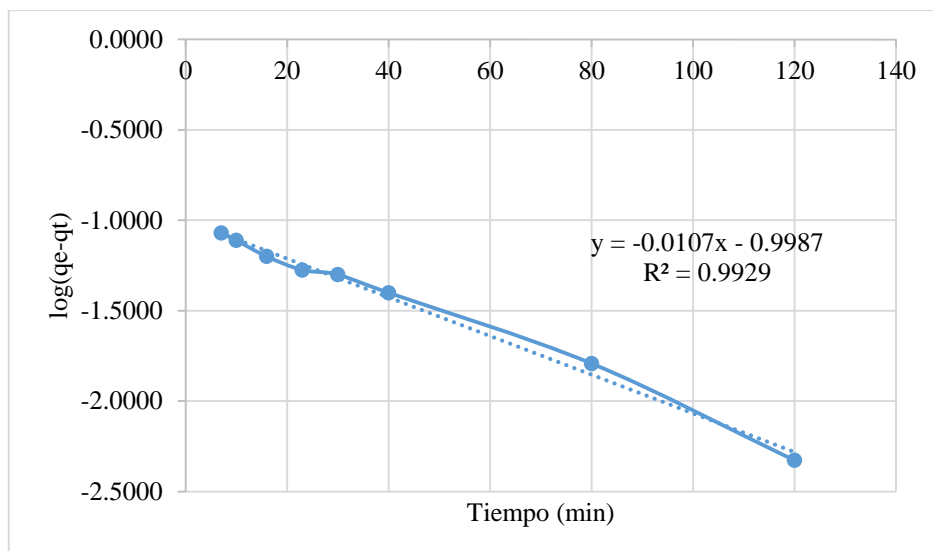
$k_1$ : Constante de velocidad en el equilibrio de una adsorción de Pseudo primer orden ( $\text{min}^{-1}$ ).

$t$ : Tiempo (min).

$v$ : Velocidad de adsorción de Pseudo primer orden ( $\text{mg/g} \times \text{min}$ ).

**Tabla 18.** Resultados del modelo cinético de primer orden de Lagengren.

qt (mg/g)	Y = a + bX					
	X	Y	a	b	k <sub>1</sub>	v <sub>1</sub>
	t (min)	log(q <sub>e</sub> - q <sub>t</sub> )	log(q <sub>e</sub> )	-k <sub>1</sub> /2,303		
0,0614	7	-1,0710	-1,2120	0,0201	-0,0464	-0,0028
0,0689	10	-1,1111	-1,1619	0,0051	-0,0117	-0,0008
0,0833	16	-1,2003	-1,0796	-0,0075	0,0174	0,0014
0,0932	23	-1,2748	-1,0306	-0,0106	0,0244	0,0023
0,0962	30	-1,2998	-1,0170	-0,0094	0,0217	0,0021
0,1066	40	-1,4008	-0,9724	-0,0107	0,0247	0,0026
0,1302	80	-1,7920	-0,8855	-0,0113	0,0261	0,0034
0,1416	120	-2,3279	-0,8489	-0,0123	0,0284	0,0040
0,1463	160	-	-0,8348	-	-	-
0,1463	200	-	-0,8348	-	-	-



**Figura 28.** Gráfico del modelo cinético de primer orden de Lagergren (Linealizada).

En la Figura 28 y en la Tabla 18 se muestran la cinética de primer orden de Lagergren linealizada y los parámetros cinéticos respectivamente. Los valores de  $k_1$  y  $v_1$  obtenidos fueron de  $0,02464 \text{ min}^{-1}$  y  $0,0036 \text{ mg/g} \cdot \text{min}$  respectivamente. Se observa que al aumentar el tiempo de contacto, se alcanza la concentración en equilibrio (tiempo de saturación del adsorbente), también se puede observar que cuando se incrementa el valor de la constante  $k_1$ , por otra parte se puede ver que al aplicar este modelo la ecuación de la recta presentada en la figura tiene una tendencia a ser ideal ya que su coeficiente de correlación  $R^2 = 0,9929$  se acerca a 1. Estos resultados se pueden validar con la investigación de (Martinez, 2014) donde indica que trabajó con concentraciones de 5, 20 y 40 mg/L de Cd, tiempo de contacto de 30 min, pH de 2 – 4, peso del adsorbente de 100 mg, obteniendo de resultado un factor de correlación de  $r^2$  de 0,8792, 0,8793 y 0,7733 para cada uno de las concentraciones que trabajó.

#### 4.5.2. Modelo cinético de pseudo segundo orden

Ecuación diferencial:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

Integrando y aplicando condiciones de contorno de  $t=0, q_t=0$  y a  $t=t, q_t= q_t$  se tiene:

$$\int_0^{q_t} (q_e - q_t)^{-2} dq_t = k_2 \int_0^t dt$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

$$v_2 = k_2 \times q_e^2$$

Donde:

$q_t$ : Concentración del metal removido en tiempo por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

$q_e$ : Concentración del metal removido en el equilibrio por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

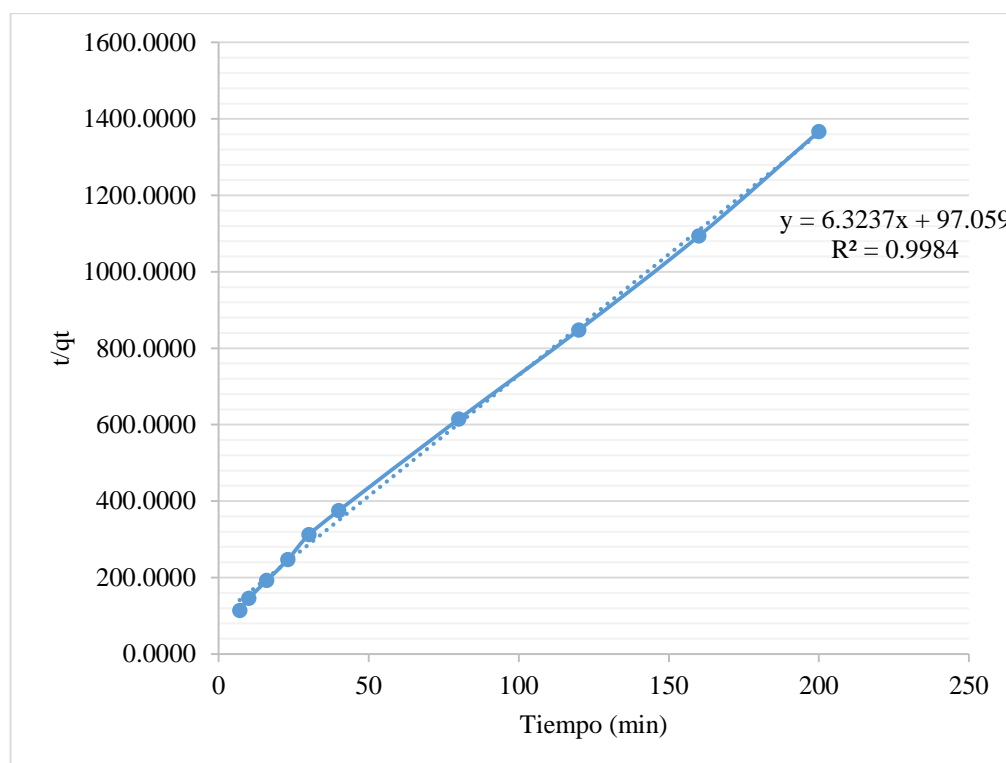
$k_2$ : Constante de velocidad en el equilibrio de una adsorción de Pseudo primer orden (g/mg×min).

$t$ : Tiempo (min).

$v$ : Velocidad de adsorción de Pseudo primer orden (mg/g×min).

**Tabla 19.** Resultados del modelo cinético de Pseudo segundo orden.

$q_t$ (mg/g)	$Y = a + bX$					
	X	Y	a	b	$k_2$	$v_2$
	t	t/ $q_t$	1/ $k_2 \cdot q_e^2$	1/ $q_e$		
0,0614	7	114,0530	66,2061	6,8353	0,7533	0,0151
0,0689	10	145,1906	76,8379	6,8353	0,6491	0,0130
0,0833	16	192,1922	82,8279	6,8353	0,6021	0,0121
0,0932	23	246,8142	89,6030	6,8353	0,5566	0,0112
0,0962	30	311,9922	106,9341	6,8353	0,4664	0,0094
0,1066	40	375,3666	101,9558	6,8353	0,4892	0,0098
0,1302	80	614,6459	67,8243	6,8353	0,7353	0,0147
0,1416	120	847,6821	27,4497	6,8353	1,8169	0,0364
0,1463	160	1093,6432	0,0000	6,8353	-	-
0,1463	200	1367,0540	0,0000	6,8353	-	-



**Figura 29.** Gráfico del modelo cinético de Pseudo segundo orden.

En la Tabla 19 se muestran los resultados calculados de la ecuación cinética de Pseudo segundo orden, así como sus parámetros de constante de velocidad y la velocidad de adsorción para cada tiempo. Los máximos valores de  $k_2$  y  $v_2$  son de 1,8169 g/mg\*min y 0,03664 mg/g\*min. En la Figura 29 se observa los datos ajustados al modelo cinético de Pseudo segundo orden, con  $r^2 = 0,9984$ .



**Tabla 20.** Parámetros cinéticos del modelo de primer orden de Lagergren y Pseudo segundo orden.

$q_t$ (mg/g)	t (min)	Parámetros cinéticos			
		Primer orden de Lagergren		Pseudo segundo orden	
		$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	$v_1$ (mg/g*min)	$k_2$ (g/mg*min)	$v_2$ (mg/g*min)
0.0614	7	-0,0464	-0,0028	0,7533	0,0151
0.0689	10	-0,0117	-0,0008	0,6491	0,0130
0.0833	16	0,0174	0,0014	0,6021	0,0121
0.0932	23	0,0244	0,0023	0,5566	0,0112
0.0962	30	0,0217	0,0021	0,4664	0,0094
0.1066	40	0,0247	0,0026	0,4892	0,0098
0.1302	80	0,0261	0,0034	0,7353	0,0147
0,1416	120	0,0284	0,0040	1,8169	0,0364
Coeficiente de correlación ( $r^2$ )		0,9929		0,9984	

En la Tabla N° 20 se puede observar la comparación de los parámetros cinéticos, producto de los ajustes en los modelos matemáticos de la cinética de adsorción. Notándose que se ajusta de mejor manera al modelo cinético de Pseudo segundo orden con un factor de correlación  $R^2$  de 0,9984. Comparando con la investigación de (Martinez, 2014) donde indica que trabajó con concentraciones de 5, 20 y 40 mg/L de Cd, tiempo de contacto de 30 min, pH de 2 – 4, peso del adsorbente de 100 mg, ajustando de la mejor manera al modelo cinético de Pseudo segundo orden con un factor de correlación de  $R^2$  de 0,9982, 0,9992 y 0,9984 para cada uno de las concentraciones que trabajó. Por lo que se demuestra un mejor ajuste de los datos experimentales obtenidos a este modelo.

#### 4.6. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

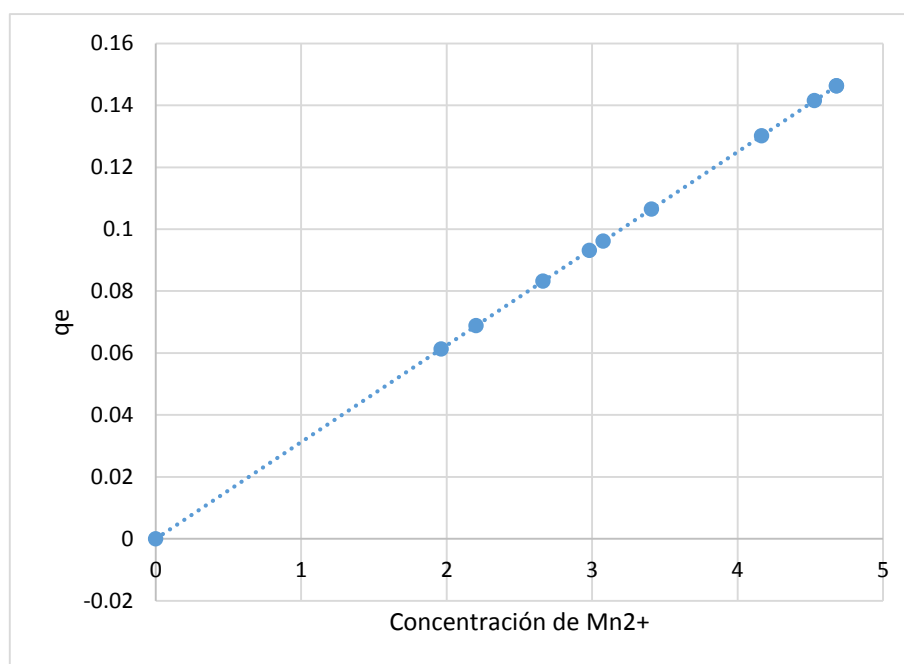
Los mecanismos de adsorción son de vital importancia en el diseño de sistemas de adsorción, debido a que indican qué cantidad hay de iones metálicos y cómo estos se encuentran particionados entre el adsorbente y la fase líquida. Cuando el ion metálico se pone en contacto con el adsorbente, la concentración del metal en la superficie se comienza a incrementar hasta que se alcanza un equilibrio dinámico, es en este punto

que la distribución del ion metálico entre las fases sólida y líquida se encuentra claramente definida.

**Tabla 21.** Datos de la isoterma del hueso de Trucha.

Concentración del $Mn^{2+}$ en agua (mg/L)	Concentración del $Mn^{2+}$ adsorbido ( $C_e$ )	$q_e$ (x/m)	$C_e/(x/m)$
5,800	0,0000	0,0000	-
3,836	1,9640	0,0614	62.5010
3,596	2,2040	0,0689	52.2105
3,136	2,6640	0,0833	37.6697
2,818	2,9820	0,0932	30.2401
2,723	3,0770	0,0962	28.3185
2,390	3,4100	0,1066	22.4282
1,635	4,1650	0,1302	12.5618
1,270	4,5300	0,1416	8,9689
1,120	4,6800	0,1463	7,6555
1,119	4,6810	0,1463	7,6487

Con los puntos de la Tabla 21 se construyó la isoterma del hueso de Trucha.

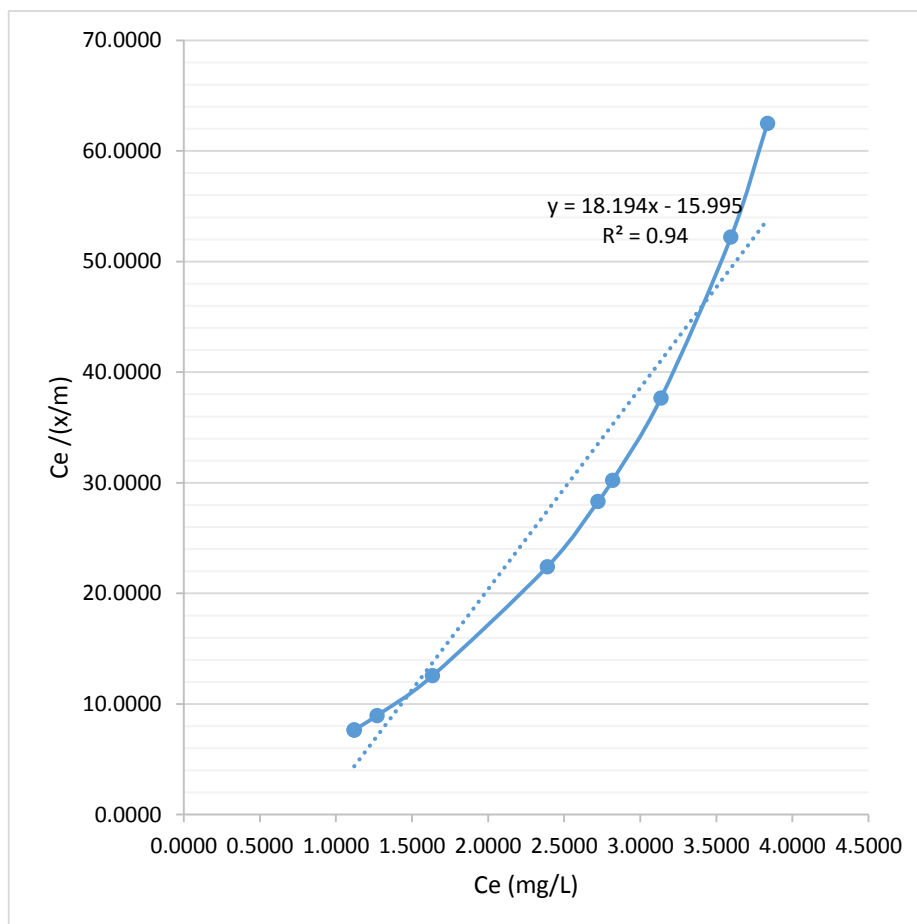


**Figura 30.** Gráfico de la isoterma del hueso de Trucha.

#### 4.6.1. Modelo Langmuir

Empleando la ecuación 13, se hizo el ajuste a la isoterma de Langmuir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ_0} + \frac{C_e}{Q_0}$$



**Figura 31.** Gráfico de la isoterma de Langmuir de los residuos acuícolas.

En la Figura 31 se aprecia el gráfico correspondiente al modelo matemático de los datos experimentales reales ajustado a la isoterma de Langmuir, donde indica que la superficie del adsorbente es casi uniforme, es decir todos los sitios de adsorción son equivalentes y las moléculas adsorbidas no interaccionan. La máxima adsorción solo se forma en monocapa, lo cual implica que las moléculas del adsorbato no se depositen sobre otras, ya adsorbidas; solo lo hacen en la superficie libre del adsorbente, obteniendo un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,9400. Con base al resultado se calculó la constante de Langmuir  $b$  que es de -1,4314 y la concentración del soluto absorbido

por unidad en peso de adsorbente requerido para la capacidad de mono capa en la superficie  $Q_e$  es de 0,0549. Siendo su modelo matemático así:

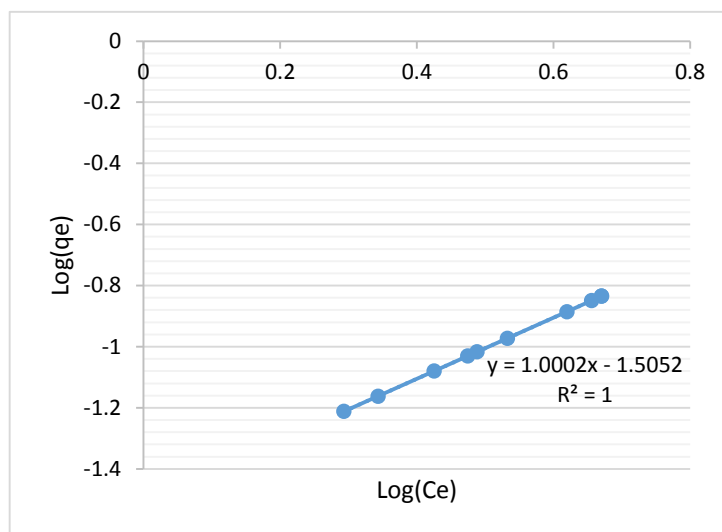
$$q_e = \frac{(0,0549)(1,4314)C_e}{1,4314C_e - 1}$$

Comparando con la investigación de (Martinez, 2014) que obtuvo como resultados un factor de correlación  $R^2$  de 0,9632; parámetros de  $Q_e$  igual a 1,614 y b igual a 4.053 para la isoterma de Langmuir.

#### 4.6.2. Modelo de Freundlich

Empleando la ecuación 15, se hizo el ajuste a la isoterma de Freundlich.

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



**Figura 32.** Gráfico de la isoterma de Freundlich de los residuos acuícolas.

En la Figura 32 se aprecia el ajuste correspondiente al modelo de la isoterma de Freundlich de los datos experimentales, donde se obtuvo un coeficiente de correlación  $R^2$  de 1, coeficiente de Freunlich  $K_f$  de 0,0312 y n igual a 0,9998. Siendo su modelo matemático así:

$$q_e = 0,0312C_e^{0,9998}$$

Comparando con la investigación de (Martinez, 2014) que obtuvo como resultados un factor de correlación  $R^2$  de 0,9963, parámetros de  $K_f$  igual a 0,33 y  $n$  igual a 1,505 para la isoterma de Freundlich.

**Tabla 22.** Parámetros de Langmuir y Freundlich.

Adsorbente	ISOTERMAS DE ADSORCIÓN					
	Langmuir			Freundlich		
	$Q_e$	$b$	$R^2$	$K_f$	$n$	$R^2$
Hueso de Trucha	0,0549	-1,4314	0,9400	0,0312	0,9998	1

En la Tabla 22 se aprecia la comparación de las isotermas de Langmuir y Freundlich que fue evaluado debido a que describen superficies del adsorbente; notándose que se ajusta de mejor manera a la isoterma de Freundlich, ya que relaciona la concentración del soluto en la superficie del adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto.

## V. CONCLUSIONES

- Se determinó la cinética de adsorción del  $Mn^{2+}$  de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas, siendo el mejor modelo cinético el Pseudo segundo orden con un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,9984 teniendo una tendencia a ser ideal, ya que se acerca a 1.
- Se realizó la caracterización física y química de los residuos acuícolas de aspecto color crema, el mismo presenta una forma amorfa y porosa, se determinó la cantidad de metales así como 18,59 mg/L de  $Mn^{2+}$  y otros como se muestra en la Tabla N° 12 por Espectroscopia de Plasma ICP-OES, también se caracterizó por microscopio electrónico de barrido, en la que se determinó Ca, P, O, C, y otros elementos en mínimas cantidades siendo el Carbono y Oxígeno los elementos mayoritarios, representando un 56,92 y 21,54 % respectivamente del total de peso. En la caracterización por Espectroscopia de infrarrojo se pudo observar vibraciones pertenecientes a grupos funcionales de mucha importancia que tienen afinidad con  $Mn^{2+}$ .
- El mejor modelo cinético óptimo fue el de Pseudo segundo orden con  $R^2$  de 0,9984 y se determinó sus parámetros cinéticos como la constante de adsorción  $k_2$  igual a  $1,8169 \text{ min}^{-1}$  y una velocidad de adsorción igual a  $0,0364 \text{ mg/g} \cdot \text{min}$ .
- El mayor porcentaje adsorción de  $Mn^{2+}$  fue de 80,707 % a un tiempo de contacto de 200 minutos, con peso del bioadsorbente de 1,6 g con un pH de 5,55 y una agitación constante de 200 RPM.

## VI. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos experimentalmente, y con el objetivo de mejorar y complementar la adsorción de Mn de las aguas residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas se realizan las siguientes recomendaciones en trabajos futuros.

- Realizar pruebas de adsorción con una solución estándar de Mn para comprobar con este trabajo.
- Evaluar la adsorción en otros metales pesados.
- Evaluar a fondo las isothermas de adsorción para el hueso de Trucha.
- Buscar nuevos adsorbente que sean más eficaces con pocas cantidades, y hacer investigación sobre adsorción de metales pesados.

## VII. REFERENCIAS

- APAZA, C. E. R. (2009). *Cinética de adsorción de iones metálicos pesados sobre carbón de hueso de Alpaca* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno. Facultad de Ingeniería Química, Puno-Perú.
- APPELO, C. A. J. y POSTMA, D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Bakema, Rotterdam.
- ASÍS, H., SMITH, P. (1992). *The influence of pH and Coarse Media on Manganese precipitation from water*. Wat. Res. 1992. 26, p.p. 853-855.
- AWWA (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua*. McGraw-Hill. 5ta edición.
- BULGARIU, D. y BULGARIU, L. (2012). *Equilibrium and kinetics studies of heavy metal ions biosorption on Green algae waste biomass*. Bioresource Technology, 103, 489-493.
- CECHINEL, M. A. P., ULSON DE SOUZA, S. M. A. G. y ULSON DE SOUZA, A. A. (2014). *Study of lead (II) adsorption onto activated carbón originating from cow bone*. Journal of Cleaner Production, 65, 342-349.
- COYLA, M. N. M. (2012). *Efecto del pH y la concentración de cloro para la eliminación de  $Fe^{2+}$  y  $Mn^{2+}$  en agua de pozo de alta Gracia (Antauta-Melgar)* (Tesis de Pregado). Universidad Nacional del Altiplano Puno. Facultad de Ingeniería Química, Puno-Perú.
- CUCHIMAQUE, L. C., VARGAS, F. L. Y. y RÍOS, R. C. A. (2013). *Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita*. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología, Bucaramanga-Colombia.
- DELGADO, H. S. (2013). *Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual*. Universidad Nacional de Ingeniería (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima-Perú.



- DEPALMA, S. R. (1993). *Manganese Oxidation By Pseudomonas Putida* (Tesis). Harvard University. Cambridge, Massachusetts-Estados Unidos de América.
- GUNNAR, N. (2001). *Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo (Metales: propiedades químicas y toxicidad)*. Madrid-España.
- HO, Y. S. y McKAY, G. (1999). *Pseudo-second order model for sorption processes*. Process Biochemistry, 34 (5), 451-465.
- HUERTA, D. M. A. (2004). *Goequímica de sedimentos*. Capítulo 4: Oxihidróxidos de hierro y manganeso. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. División de Geoquímica Ambiental, California-Estados Unidos de América.
- IZQUIERDO, S. M. (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción, Evaluación de materiales y modelación de proceso* (Tesis doctoral). Universidad de Valencia. Departamento de Ingeniería Química. Valencia-España.
- JAIRO R. (2013) *Tratamiento de aguas residuales*. 4ta. Edición. Editorial escuela colombiana de ingeniería.
- KIZILKAYA, B., TEKINAY, A. A. y DILGIN, Y. (2010). *Adsorption and removal of Cu (II) ions from aqueous solution using pretreated fish bones*. Desalination, 264, 37-47.
- LAZO, C. L. R. (2012). *Remoción del Manganeso para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano en la laguna Azulcocha* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Lima-Perú.
- LIM, H. K., TENG, T. T., IBREHIM, M. H., AHMAD, A. y CHEE, H. T. (2012). *Adsorption and Removal of Zinc (II) from Aqueous Solution Using Powdered Fish Bones*. APCBEE Procedia, 1, 96-102.
- LOARTE, V. A. D. y SANABRIA, C. V. R. (2015). *Efecto del pH y tipo de adsorbente en la remoción de Manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves*

- mineros* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería Química, Huancayo-Perú.
- LÓPEZ, V., MORENO, C., RIVERA, J. y RADOVIC, L. R. (2002). *Ionic strength effects in aqueous phase adsorption of metal ions on activated carbons*. Carbon, 41, 2020 - 2022.
- MARTÍNEZ, V. N. A. (2014). *Captación del Cd (II) en solución acuosa mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química, México.
- MAHMOODI, N. M. (2011). *Adsorption of textile dyes on Pine Cone from colored wastewater Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies*. Desalination 268(1-3), 117-125.
- MESTANZA, M. M. (2012). *Estudio de materiales adsorbentes para tratamiento de aguas contaminadas con colorantes* (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas, Madrid-España.
- MOBASHERPOUR, I., SALAHI, E. y PAZOUKI, M. (2012). *Comparative of the removal of  $Pb^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  by nano crystallite hydroxyapatite from aqueous solutions. Adsorption isotherm study*. Arabian Journal of Chemistry, 5, 439-446.
- PAN, X., WANG, J. y ZHANG, D. (2009). *Sorption of cobalt to bon echar: Kinetics, competitive sorption and mechanism*. Desalination, 249, 609-614.
- PARK, D., YUN, Y. S. y PARK, J. M. (2010). *The past, present and future trends of Biosorption*. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 15: 86-102.
- QUISPE, H. J. M. (2010). *Determinación de la energía de activación para la adsorción de iones ( $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  y  $Pb^{2+}$ ) con raíz de Queñua (*polylepis spp*) en aguas del río Ramis* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno. Facultad de Ingeniería Química, Puno-Perú.
- QUISPE, S. H. M. (2016). *Recuperación de Zinc de las aguas residuales de la ciudad de Juliaca por adsorción con salmuera de NaCl y Aserrín de Pino (Pinos*

*Sylvestris*) (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno.  
Facultad de Ingeniería Química, Puno-Perú.

ROJAS, M. C. K., BONILLA, P. A., AGUAYO, V. I. A., HERNÁNDEZ, M. V.,  
MORENO, V. M. R., TOVAR, G. R. y MONTES, M. M. A. (2013).  
*Optimization of pyrolysis conditions and adsorption properties of bon echar for  
fluoride removal from wáter*. Journal of Analytical and Applied. Pyrolysis, 104,  
10-18.

TRELLES, B. J. A. (2013). *Biosorción del Arsénico en medio acuoso empleando  
biomasas vegetales inertes* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de  
Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima-Perú.

WEI, S., LI, D., HUANG, Z., HUANG, Y. y WANG, F. (2013). *High-capacity  
adsorption of Cr (VI) from aqueous solution using a hierarchical porous carbón  
obtained from pig bone*. Bioresource Technology, 134, 407-411.

ZAYED, E. M., SOKKER, H. H., ALBISHRI, H. M. y FARAG, A. M. (2013).  
*Potential use of novel modified fish bone for anchoring hazardous metal ions  
from their solutions*. Ecological Engineering, 61, Part A, 390-393.

Coordenadas GPS (2017). *Coordenadas*. Recuperado de <http://www.coordenadas-gps.com/mapa/pais/PE>.

**ANEXOS****ANEXO I**

**Fig. A.1.** Tesista controlando el proceso de adsorción, en el Laboratorio de Control de Calidad UNA PUNO.



Fuente: elaboración propia.

**Fig. B.2.** Equipo de absorción atómica N° 100.



Fuente: elaboración propia.

**Fig. C.3.** Equipo de absorción atómica N° 200.



Fuente: elaboración propia.

**Fig. D.4.** Resultados del análisis previo de metales pesados en Huesos de la Trucha del Lago Titicaca por ICP OES.



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-17-02617

Pág: 1/3

#### Hoja de datos

Señores: EDITH TELLO PALMA  
 Dirección: AV: EL SOL E-9 UNR, EL SOLAR CHALLAPAMPA / CERRO COLORADO / AREQUIPA  
 Atención: EDITH TELLO PALMA  
 Producto(s) Declarado(s): -  
 Nro de muestras: 1  
 Muestreo a cargo de(l): EDITH TELLO PALMA  
 Registro de muestreo: 005-17  
 Fecha de recepción: 27/05/2017  
 Fecha de ensayo: 27/05/2017  
 Fecha de emisión: 01/06/2017  
 Condiciones de recepción de la muestra:  
 Observaciones : ----

#### Método de ensayo aplicado

Método de ensayo para la determinación de metales pesados en alimentos (As, Ba, Be, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, \*5012 Pb, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, K, Se, Sr, Ti, Zn) por ICP OES

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
AL17000034	HUESO DE LA TRUCHA	LAGO TITI CACA / PUNO / PUNO	24/05/17	12:00 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Juárez Neira  
Gerente General  
RUC 2017019474

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-17- 02617

01/06/2017

Hoja de resultados

Pág.: 2/3

.MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012	5012
		Ag MT	Al MT	As MT	B MT	Ba MT	Be MT	Cs MT	Cd MT	Co MT	Cr MT	Cu MT	Fe MT	Hg MT	K MT	Li MT
AL17000034	HUESO DE LA TRUCHA	0,341	7,7	≪0,024	4,66	4,574	≪0,0016	>10000	0,0032	0,00477	0,2382	≪0,040	11	≪0,0082	700	2,395

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Srto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico CIP 19474

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "≪Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.







**Fig. E.5.** Resultados del análisis previo de metales pesados presentes en el agua residual de Lunar de Oro por ICP AES.



## Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

### INFORME DE ENSAYO LAS-17-01100

Pág: 1/4

#### Hoja de datos

Señoras:  
Dirección:  
Atención:  
Proyecto:  
Nro de muestras: 3  
Muestreo realizado por: Cliente:  
Registro de muestreo: 079-17  
Procedimiento Aplicado: Muestreado por cliente  
Fecha de recepción: 25/02/2017  
Fecha de ensayo: 25/02/2017  
Fecha de emisión: 07/03/2017  
Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservados  
Observaciones: Datos proporcionados por el cliente

#### Método de ensayo aplicado

\*752 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-AES  
\*3001 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-AES

Cod Int. #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
AG 17000235	MUESTRA 1 LUNAR DE ORO	Agua Residual - Agua Residual Industrial	LUNAR DE ORO / ANANEA / SAN ANTONIO DE PUTINA / PUNO	No proporcionado por el cliente.	17/02/17	01:00 p.m.
AG 17000236	MUESTRA 2 "RITICUCHO"	Agua Residual - Agua Residual Industrial	RITICUCHO / ANANEA / SAN ANTONIO DE PUTINA / PUNO	No proporcionado por el cliente.	17/02/17	10:00 a.m.
AG 17000237	MUESTRA 3 "RINCÓNADA"	Agua Residual - Agua Residual Industrial	RINCÓNADA / ANANEA / SAN ANTONIO DE PUTINA / PUNO	No proporcionado por el cliente.	17/02/17	11:00 a.m.

*[Firma manuscrita]*  
 Ing. JUAN CARLOS SOTO  
 Gerente de Operaciones  
 M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

\*"Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-17- 01100

Hoja de resultados

07/03/2017

Pág.: 2/4

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	*782	*782	*782	*782	*782	*782	*782	*782	*782	*782
		Ag MT mg/L	Al MT mg/L	B MT mg/L	Ba MT mg/L	Be MT mg/L	Ca MT mg/L	Cd MT mg/L	Co MT mg/L	Cr MT mg/L	Cu MT mg/L
AG 17000235	MUESTRA 1 LUNAR DE ORO	<<0.0024	22.0	<<0.0053	0.08393	0.012579	127	0.01749	0.345513	0.01112	<<0.002
AG 17000236	MUESTRA 2 "RITICUCHO"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AG 17000237	MUESTRA 3 "RINCONADA"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

*[Handwritten Signature]*  
Omar A. Juárez López  
Gerente de Operaciones  
U. No. Ingeniero Civil No. CIP 114428

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-17- 01100

Hoja de resultados

07/03/2017

Pág: 3/4

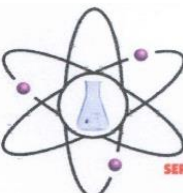
MT=metales totales

Codigo interna #	Nombre de Muestra	1782	13001	1782	1782	1782	1782	1782	1782	1782	1782
		Fe MT mg/L	Hg MT mg/L	K MT mg/L	Li MT mg/L	Mg MT mg/L	Mn MT mg/L	Mo MT mg/L	Na MT mg/L	Ni MT mg/L	P MT mg/L
AG 17000235	MUESTRA 1 LUNAR DE ORO	41,1	<0,00041	26,0	0,15021	33,90	4,3696	<0,00038	73,4	0,87482	0,6559
AG 17000236	MUESTRA 2 "RITICUCHO"	-----	<0,00041	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AG 17000237	MUESTRA 3 "RINCONADA"	-----	<0,00041	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Laboratorio Analíticos del Sur S.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 H. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

**Fig. F.6.** Resultados de los análisis de  $Mn^{2+}$  por Espectroscopia de absorción atómica.



**RHLAB S.A.C.**  
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

**RH-M10-081**

### INFORME DE ENSAYO

---

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: <b>Bach. Fredy David Barrantes Enriquez</b>
ASUNTO	: <b>Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro</b>
CANTIDAD DE MUESTRAS	: <b>1</b>
SOLICITUD DE ENSAYO	: <b>Analisis químico elemento Manganese (Mn)</b>
<b>CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: <b>Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno</b>
MOTIVO	: <b>Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuicolas"</b>
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: <b>01/09/2017</b>
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lit
1	RH-M0-077	Lunar de Oro	5.800

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

  
 Fidel Hubynapata Luque  
 D.P. 167755  
 GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-082

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: <b>Bach. Fredy David Barrantes Enriquez</b>
ASUNTO	: <b>Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro</b>
CANTIDAD DE MUESTRAS	: <b>1</b>
SOLICITUD DE ENSAYO	: <b>Análisis químico elemento Manganese (Mn)</b>
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: <b>Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno</b>
MOTIVO	: <b>Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas"</b>
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: <b>05/10/2017</b>
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lt
1	RH-M10-030	Solución Tratada A2	4.109

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

*[Handwritten signature]*  
 Dra. Fides Huaynapata Luque  
 CIP 127755

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322





RH-M10-083

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: <b>Bach. Fredy David Barrantes Enriquez</b>
ASUNTO	: <b>Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro</b>
CANTIDAD DE MUESTRAS	: <b>1</b>
SOLICITUD DE ENSAYO	: <b>Análisis químico elemento Manganese (Mn)</b>
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: <b>Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno</b>
MOTIVO	: <b>Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas"</b>
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: <b>05/10/2017</b>
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lit
1	RH-M10-031	Solución Tratada A3	3.215

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Ing. Fidel Huaynapata Luque  
CIR 167755  
CENTRO DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-084

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 1
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis químico elemento Manganese (Mn)
<b>CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas"
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 05/10/2017
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lt
1	RH-M10-032	Solución Tratada B2	3.527

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

- \* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Ing. Fidel Huaynapata Luque  
CIR 167755  
GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-085

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 1
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis químico elemento Manganese (Mn)
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 05/10/2017
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lit
1	RH-M10-033	Solución Tratada B3	2.818

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

*(Handwritten signature)*  
 Ing. Fidel Huaymapata Luque  
 CIP: 167755  
 GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322





RH-M10-086

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 1
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis químico elemento Manganese (Mn)
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas
FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO	: 05/10/2017
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lit
1	RH-M10-034	Solución Tratada C2	2.436

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**MÉTODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-087

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 1
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis químico elemento Manganese (Mn)
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas"
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 05/10/2017
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/l
1	RH-M10-035	Solución Tratada C3	2.089

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**MÉTODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-088

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 1
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis químico elemento Manganese (Mn)
<b>CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 05/10/2017
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lt
1	RH-M10-036	Solución Tratada BT1	3.836

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**MÉTODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica



Ing. Fidel Huaynapata Luque  
CIP: 167755  
GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-089

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 1
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis químico elemento Manganese (Mn)
<b>CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 05/10/2017
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/l
1	RH-M10-037	Solución Tratada BT2	3.596

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

*(Handwritten signature)*  
 Ing. Fidel Huaymapata Luque  
 CIP: 167755  
 GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-090

**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE : **Bach. Fredy David Barrantes Enriquez**  
 ASUNTO : **Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro**  
 CANTIDAD DE MUESTRAS : **1**  
 SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis químico elemento Manganese (Mn)**  
 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA  
 PROCEDENCIA : **Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno**  
 MOTIVO : **Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas**  
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **05/10/2017**

**DETALLE DEL INFORME**

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lt
1	RH-M10-038	Solución Tratada BT3	3.136

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Ing. Fidel Huaynapata Luq  
 CIP. 167755  
 GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322





RH-M10-091

**INFORME DE ENSAYO**

DATOS DEL CLIENTE	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS SOLICITUD DE ENSAYO	: 1 Análisis químico elemento Manganese (Mn)
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 05/10/2017

**DETALLE DEL INFORME**

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lit
1	RH-M10-039	Solución Tratada BT4	2.818

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-092

**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE : **Bach. Fredy David Barrantes Enriquez**  
 ASUNTO : **Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro**  
  
 CANTIDAD DE MUESTRAS : **1**  
 SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis químico elemento Manganese (Mn)**  
  
 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA  
 PROCEDENCIA : **Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno**  
 MOTIVO : **Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas**  
  
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **05/10/2017**

**DETALLE DEL INFORME**

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lt
1	RH-M10-040	Solución Tratada BT5	2.723

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Ing. Fidel Huaynapata Luque  
 CIP. 167755  
 GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-093

**INFORME DE ENSAYO**

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: Bach. Fredy David Barrantes Enriquez
ASUNTO	: Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 1
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis químico elemento Manganese (Mn)
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA	: Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno
MOTIVO	: Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 05/10/2017
<b>DETALLE DEL INFORME</b>	

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lit
1	RH-M10-041	Solución Tratada BT6	2.390

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

*[Handwritten Signature]*  
 Ing. Fidel Huaymapata Luque  
 CIP 167755  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322





RH-M10-095

**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE : **Bach. Fredy David Barrantes Enriquez**  
 ASUNTO : **Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro**  
 CANTIDAD DE MUESTRAS : **1**  
 SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis químico elemento Manganese (Mn)**  
 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA  
 PROCEDENCIA : **Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno**  
 MOTIVO : **Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas**  
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **25/10/2017**

**DETALLE DEL INFORME**

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/l
1	RH-M10-109	Solución Tratada B7	1.635

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Ing. Fidel Huamapata Luque  
 CIP 167755  
 GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322



RH-M10-096

**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE : **Bach. Fredy David Barrantes Enriquez**  
 ASUNTO : **Análisis Químico de Agua Residual de Lunar de Oro**  
 CANTIDAD DE MUESTRAS : **1**  
 SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis químico elemento Manganese (Mn)**  
 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA  
 PROCEDENCIA : **Lunar de Oro - San Antonio de Putina - Puno**  
 MOTIVO : **Ejecución del Proyecto de Tesis denominado: "Cinetica de adsorción del Mn de las aguas Residuales de la mina Lunar de Oro mediante el uso de residuos orgánicos generados de las actividades acuícolas**  
 FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **25/10/2017**

**DETALLE DEL INFORME**

**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Código de Cliente	Mn
			mg/lit
1	RH-M10-110	Solución Tratada B8	1.270

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.


**MÉTODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación Manganese en Solución - Método Absorción Atómica

Ing. Fidel Huaymapata Luque  
 CIP 167755  
 GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
 Cel: 978645480 - 951303322

**Fig. G.7.** Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua.

10	NORMAS LEGALES	Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano
<p><b>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias</b></p>		
<p><b>DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM</b></p>		
<p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p>		
<p>CONSIDERANDO:</p>		
<p>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;</p>		
<p>Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, 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 la Ley;</p>		
<p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, 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; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p>		
<p>Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;</p>		
<p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, 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;</p>		
<p>Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p>		
<p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;</p>		
<p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;</p>		
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;</p>		
<p>Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;</p>		
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del 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, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,</p>		
<p>publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;</p>		
<p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p>		
<p>DECRETA:</p>		
<p><b>Artículo 1.- Objeto de la norma</b></p>		
<p>La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.</p>		
<p><b>Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</b></p>		
<p>Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.</p>		
<p><b>Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</b></p>		
<p>Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:</p>		
<p><b>3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional</b></p>		
<p><b>a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</b></p>		
<p>Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:</p>		
<p><b>- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b></p>		
<p>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.</p>		
<p><b>- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b></p>		
<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>		
<p><b>- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</b></p>		
<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.</p>		
<p><b>b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación</b></p>		
<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:</p>		



**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

**- B2. Contacto secundario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales****a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

**b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

**c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

**d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

**3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales****a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

**- Agua para riego no restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

**- Agua para riego restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

**b) Subcategoría D2: Bebida de animales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

**3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

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

**a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

**b) Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

**- Ríos de la costa y sierra**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

**- Ríos de la selva**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

**c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos****- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

**- Marinos**

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precisese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

**Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua**

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

**Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio**

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

#### **Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

#### **Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla**

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

#### **Artículo 8.- Sistematización de la información**

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

#### **Artículo 9.- Refrendo**

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

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

##### **Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

##### **Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua**

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

##### **Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas**

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS**

##### **Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente**

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

##### **Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas**

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

##### **Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados**

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del



recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN  
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES  
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN  
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA  
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

**ANEXO**

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

**Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

Parámetros	Unidad de medida	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
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Biológica 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> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- 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
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	**	**

**14** **NORMAS LEGALES** Miércoles 7 de junio de 2017 / **El Peruano**

Parámetros	Unidad de medida	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
Niquel	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>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>6</sub> - C <sub>10</sub> )	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	( e )	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>I. 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	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
<b>II. CIANOTOXINAS</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
<b>III. BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	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) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO<sub>2</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO<sub>2</sub>).

(e) 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 (Bromoforno, Cloroforno, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{CA\text{cloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{CA\text{bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{E_{CA\text{bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

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

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

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

**Nota 1:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FISICOS- QUIMICOS</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> -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	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	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
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	**
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 Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

**Nota 2:**

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.



**16** **NORMAS LEGALES** Miércoles 7 de junio de 2017 / **El Peruano**

**Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<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)	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> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	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 Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>Bifenilos Policlorados</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLEPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

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

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

(d) **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.

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

**Nota 3:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>)

Temperatura (°C)	pH								
	6	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	0,250	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	0,084	0,043	0,021	

**Nota:**

(\*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH<sub>3</sub>).

**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	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	(µS/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	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
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
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

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

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

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

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

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

**18** **NORMAS LEGALES** Miércoles 7 de junio de 2017 / **El Peruano**

**Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	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	(µS/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> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
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	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	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>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	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	0,000038	0,000038	0,000038	0,0000036	0,0000036



Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
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	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	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.
- (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 5:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de  $\text{NH}_3$ ) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ ).

**Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ )**

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
<b>Salinidad 10 g/kg</b>								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 20 g/kg</b>								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 30 g/kg</b>								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

**Notas:**

- (\*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.
- (\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

**NOTA GENERAL:**

- 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 valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2