

REMOCIÓN DE METALES PESADOS POR MÉTODOS FÍSICOQUÍMICOS PRESENTES EN AGUA PROVENIENTE DE UNA INDUSTRIA MINERA

Carrera Alvarado Nicté Xchebelyax, Domínguez Sánchez Lucía

Laboratorio de Ingeniería de Procesos ambientales, Departamento de Ingeniería en Sistemas Ambientales. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Av. Wilfrido Massieu S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos. CP 07738 México, D.F. Tel. 57296000 ext 52328.*

RESUMEN

Como resultado de la caracterización de la muestra de agua residual sin tratamiento se concluye que la mayor parte de su naturaleza (85%) es inorgánica y que los metales pesados presentes son básicamente manganeso y hierro. Al comparar el comportamiento de los polielectrólitos y coagulante usados, se determina que las sustancias PF-850 y PF-140 no son adecuadas para el tratamiento específico de agua residual contaminada con metales pesados, porque existe una disminución en el pH, lo que provoca una acidificación del medio dificultando la oxidación del manganeso, mientras que NaOH y el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ si muestran formación de precipitados metálicos, ya que en medios alcalinos se forma el $\text{Mn}(\text{OH})_2$.

La alternativa viable para la remoción de manganeso del agua residual de la Compañía minera Autlán Unidad Molango es el tratamiento fisicoquímico empleando como coagulante $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con una dosis de 110mg/L, además éste mostró una eficiencia mayor (91.36%) aún pH de 8.3 en la remoción de manganeso y una eliminación total de la concentración del hierro de la muestra de agua residual obtenida de la Compañía minera Autlán Unidad Molango.

PALABRAS CLAVE

Minería, metales pesados, manganeso, coagulación – floculación, pruebas de tratabilidad.

INTRODUCCIÓN

La minería se clasifica como una actividad económica primaria, la cual se relaciona con la extracción de elementos, de los cuales se pueden obtener diferentes beneficios. En general las etapas que comprenden el proceso minero son: Prospección, exploración, explotación, beneficio, fundición y refinación.

En la siguiente tabla se describen las diferentes etapas de un proceso minero así como la afectación posible que tiene con el medio ambiente.

TABLA NO. 1 INTERRELACIONES DE LA ACTIVIDAD MINERA CON EL AMBIENTE.

Etapas	Descripción	Impacto al ambiente
Prospección	Estudios de gravimetría, geología superficial, densidad, etc.	Procedimientos que no generan impactos ambientales significativos.
Exploración	Barrenación, obras y perforaciones, construcción de caminos, instalación de campamentos.	Destrucción de la vegetación.
Explotación y beneficio	Descapote: eliminación de suelo y vegetación. Construcción de obras diversas (tiros, socavones, patios de depósito). Alto consumo de agua. Acumulación de material sin valor en terrenos. Transporte de material con valor. Extracción y concentración de minerales. Reducción del tamaño del mineral por trituración y molienda.	Afectación a cuerpos de agua. Destrucción de la capa del suelo y vegetación. Generación de jales o colas. Escurrimientos y arrastres de residuos. Oxidación de minerales insolubles y formación de sustancias solubles con alto contenido de metales (drenaje ácido). Descarga de lixiviados que contienen iones metálicos y reactivos tóxicos. La trituración y molienda provocan ruido, vibración y emisión de polvos.
Fundición y Refinación	Obtención de metales y sus aleaciones con el uso de hornos industriales. Eliminación de impurezas en los metales para alcanzar una alta ley de contenido.	Generación de aguas residuales, residuos peligrosos, emisiones a la atmósfera.

EFFECTOS DEL MANGANESO EN LA SALUD

Estrictamente, y desde el punto de vista químico, los metales pesados están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el arsénico y selenio. Estos elementos tienen una gravedad específica significativamente superior a la del sodio, calcio, y otros metales ligeros [2].

Algunos de los efectos que producen los metales pesados en la salud humana son anomalías

cromosómicas, daños en los riñones y cerebro; alteraciones dérmicas (melanosis), neurológicas (convulsiones, coma), intestinales (diarrea, vómito), hepáticas (cirrosis), sanguíneas (anemia) [3].

El manganeso es uno de los metales de transición de la tabla periódica; se encuentra entre el cromo y el hierro. En sus muchos compuestos, presenta estados de oxidación de 1+ hasta de 7+. Los estados de oxidación más comunes son 2+, 4+ y 7+. Es uno de los tres elementos trazas tóxicos

esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, sino que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones. Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con manganeso son alucinaciones y daños en los nervios, además puede causar Parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis.

JUSTIFICACION

En México la principal fuente de extracción de manganeso se encuentra en el estado de Hidalgo en el municipio de Molango de Escamilla en la unidad minera localizada en entre el área de Tetzintla y Acuatitla. Todo el proceso operativo es llevado a cabo por la compañía minera Autlán, S.A. de C.V. La composición mineralógica del yacimiento y la técnica de minado empleada, influyen en la cantidad de residuos generados y el grado de contaminación producida [1].

De acuerdo a las características geológicas del sitio, la técnica de minado es superficial durante la etapa de extracción. Debido a que el manganeso no se encuentra puro en la naturaleza, es necesario triturarlo y utilizar técnicas físicas para separar el metal de interés de las rocas, aquí es donde se generan residuos de granulometría fina (jales).

La facilidad con la que los jales se dispersan hacia su entorno depende de la topografía es decir de la longitud e inclinación de las pendientes de las laderas, así como de la frecuencia e intensidad de las lluvias y viento.

Uno de los impactos ambientales resultado de esta actividad industrial, es la contaminación del agua, ya que se producen aguas residuales derivadas de la etapa de extracción. Esto provoca el incremento de la concentración de manganeso en el medio circundante, el cual puede ser ingresado por los organismos a través de las diferentes vías de absorción como son la inhalatoria, dérmica, oral, hemodiálisis, transferencia placentaria y leche materna. Como consecuencia directa de esto, la

población aledaña a la industria minera reporta muertes de ganado vacuno.

El manganeso considerado dentro de la clasificación de metal pesado, tiene efectos adversos en la salud humana y la salud animal, ya que interfiere en el crecimiento normal, la formación de huesos y en la reproducción. Tomando en cuenta las consecuencias asociadas con el aumento de concentración de manganeso más allá de los niveles normales de manganeso 4–15 µg/L en la sangre, 1–8 µg/L en la orina y 0.4–0.85 µg/L en el suero (la parte líquida de la sangre) [4], presente en un organismo vivo, se hace indispensable el tratamiento de las aguas residuales provenientes de su extracción.

PRODUCCIÓN DE MANGANESO EN MÉXICO

La mayor parte de la producción de manganeso en México proviene de los depósitos de Molango, estado de Hidalgo que fueron descubiertos en 1960 y puestos en producción en 1968 por la Compañía Minera Autlán. Antes del descubrimiento de los depósitos de Molango, los depósitos de Autlán en Jalisco, agotados en 1960, fueron los líderes productores. La producción en pequeñas minas continúa, pero es menor en comparación con los depósitos de Molango.

Existen otras minas de producción de manganeso en México, pero todas son pequeñas.

UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

La planta de extracción y procesamiento de manganeso (UNIDAD MOLANGO DE LA COMPAÑÍA AUTLAN S.A DE C.V), se encuentra ubicada en el Municipio de Molango de Escamilla, está situado al norte del estado de Hidalgo, a una altitud de 1620 metros sobre el nivel del mar. Su localización geográfica es por el Norte, Latitud de 20° 47' 04''; por el Oeste, Longitud de 98° 43' 03''.

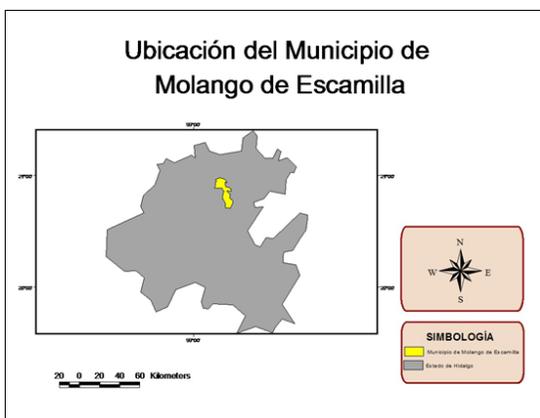


Figura No. 1 Ubicación del municipio de Molango de Escamilla

OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio comparativo de diferentes coagulantes, para el tratamiento de los efluentes provenientes de la extracción de manganeso de una mina en el estado de Hidalgo.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Caracterizar y evaluar las descargas de efluentes líquidos provenientes de la extracción de manganeso en la unidad minera Autlán de Molango.
- Realizar pruebas de tratabilidad con diferentes agentes coagulantes para la remoción de los metales pesados.
- Seleccionar la alternativa técnicamente viable.

METODOLOGIA

Para llevar a cabo los objetivos propuestos, el desarrollo del trabajo se realizó en tres diferentes etapas, las cuales se cumplieron de acuerdo a lo siguiente.

Etapas

- Búsqueda de información.
- Muestreo, medición de gasto y evaluación de parámetros de campo.

Etapas

- Caracterización de la muestra de agua en laboratorio.
- Pruebas de tratabilidad, sedimentación, floculación-coagulación.

Etapas

- Caracterización de la muestra tratada en laboratorio.
- Análisis de resultados y elaboración del informe.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

1. MUESTREO, MEDICIÓN DE GASTO Y EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CAMPO.

Esta etapa incluyó la toma de una muestra compuesta, medición del flujo y la evaluación de parámetros de campo los cuales se llevaron a cabo durante la época de sequía y en la única descarga de aguas residuales de la minas Tetzintla y Acuatitla, las cuales se unen en la salida de éstas en una laguna de 0.9m de ancho por 6m de largo.



Figura No. 2 Descarga localizada a la salida de las minas Tetzintla y Acuatitla

2. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA EN LABORATORIO

Esta parte de la metodología se basó en caracterizar la muestra compuesta de agua en el laboratorio de Ingeniería de Procesos Ambientales y en el laboratorio de aguas de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, de acuerdo a la normatividad siguiente:

- NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

- NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Y se evaluaron los siguientes parámetros.

TABLA NO. 2 . PARÁMETROS A EVALUAR EN MUESTRA DE AGUA SIN TRATAMIENTO

Parámetro	Método
Grasas y aceites (mg/l)	NMX-AA-005-SCFI-2000
Sólidos sedimentables (ml/l)	NMX-AA-004-SCFI-2000
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	NMX-AA-034-SCFI-2001
Hierro	NMX-AA-051-SCFI-2001
Manganeso	NMX-AA-051-SCFI-2001

3. PRUEBAS DE TRATABILIDAD, SEDIMENTACIÓN, FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización, no se considera la posibilidad de

utilizar un sistema de tratamiento biológico, por lo que se propone la siguiente secuencia de tratamiento.

3.1 sedimentación discreta

Debido a la naturaleza de los sólidos de la muestra de agua residual, se evaluó la sedimentación discreta la cual se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Se tomó 1 L de agua residual.
2. Se mezcló rápidamente durante 2 minutos a 200rpm; después se mezcló lentamente durante 15 minutos a 10-20 rpm.
3. Se transfirió la muestra a una probeta de 1000 ml.
4. Finalmente se midió la altura de la interfase a diferentes tiempos hasta la estabilización y se elaboró a un gráfico de variación de la altura en función del tiempo para observar su comportamiento.
5. Esta prueba se aplicó a la muestra sin tratamiento y a la muestra tratada.

3.2 precipitación química (coagulación-floculación)

Para esta prueba se seleccionaron las siguientes sustancias de acuerdo a estudios anteriores registrados.

- a) Polielectrolito PF-850
- b) Polielectrolitos PF-140
- d) Coagulantes NaOH
- e) Coagulante Ca(OH)₂

Las sustancias se utilizaron a una concentración de 10 000ppm.

3.3. DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO

1. Se colocaron 200ml de muestra en un vaso de precipitados con agitación
2. Se adicionó a la muestra el polielectrolito o coagulante de 1 en 1ml hasta que se observó una buena formación de flóculos.
3. Se registró esa concentración de la sustancia utilizada y se midió el pH.
4. En cada uno de los vasos de precipitados del equipo de prueba de jarras, se colocó 1 L de muestra. Se adicionó ácido sulfúrico 1M o hidróxido de sodio 1M para ajustar el pH de cada muestra a un pH distinto (3.5, 5, 8.3, 9, 11).
5. Se adicionó a cada muestra la concentración usada en el punto 3 de este procedimiento.
6. Se mezcló rápidamente durante dos minutos a 200 rpm, después, durante 15 minutos, se mezcló lentamente a 10-50 rpm. Se registró

el tiempo en el que se formaron los flóculos.

7. Se dejó sedimentar por 20 minutos y se registro el pH al cual había una mejor formación de flóculos.

Se realizaron los mismos pasos para cada una de las sustancias químicas.

4. DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

1. Se prepararon seis muestras de 1 L de agua residual y todas se ajustaron al pH óptimo que se obtuvo en la prueba anterior.
 2. Para esta prueba se empleo del 25% a 200% de la dosis de coagulante utilizada para la determinación de pH óptimo.
 3. Se mezcló rápidamente durante dos minutos a rpm máxima, después se mezcló lentamente durante 15 minutos a 10-20 rpm. Se registró el tiempo en el que se formaron los flóculos.
 4. Se dejó sedimentar por 20 minutos y luego se tomó una muestra del sobrenadante de cada vaso de precipitados, para analizar la concentración de manganeso remanente.
- Se realizó el mismo procedimiento para los coagulantes NaOH y Ca(OH)₂.

5 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE MANGANESO

Se efectuó tanto en la muestra cruda y en la muestra tratada por el método de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica GBC 932.

6. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA TRATADA EN LABORATORIO

Después del tratamiento fisicoquímico aplicado a las muestras se evaluaron nuevamente los parámetros indicados en el punto 2.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran concentrados en las siguientes tablas

Evaluación de los parámetros de campo.

TABLA NO. 3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CAMPO

Parámetro	Muestra	L.M.P	Norma aplicable	Método
Temperatura (°C)	28	40	NOM-001-SEMARNAT-1996	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH	8.9	5 -10	NOM-001-SEMARNAT-1996	NMX-AA-007-SCFI-2000

TABLA NO. 4 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE FLUJO

Hora de medición	Tiempo (s)	Distancia (m)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Velocidad (m/s)	Gasto (l/s)
12:00	29.2	6	0.200	0.9	0.180	0.2055	37.0
16:00	28.7	6	0.215	0.9	0.193	0.2090	40.3
20:00	31.5	6	0.190	0.9	0.171	0.1905	32.6
24:00	32.5	6	0.175	0.9	0.157	0.1846	28.9
4:00	33.0	6	0.170	0.9	0.153	0.1818	27.8
8:00	32.4	6	0.185	0.9	0.166	0.2190	36.4

Gasto promedio Q= 33.8 l/s

Caracterización en el laboratorio.

TABLA NO. 5. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA COMPUESTA DE AGUA EN LABORATORIO SIN TRATAR.

PARÁMETRO	MUESTRA	L.M.P	NORMA APLICABLE	MÉTODO
Grasas y aceites (mg/l)	63	25	NOM-001-SEMARNAT-1996	NMX-AA-005-SCFI-2000
Sólidos sedimentables (ml/l)	15	2	NOM-001-SEMARNAT-1996	NMX-AA-004-SCFI-2000
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	5481	125	NOM-001-SEMARNAT-1996	NMX-AA-034-SCFI-2001
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	1130	NA	NA	NMX-AA-030-SCFI-200
Sólidos totales (mg/l)	5570			NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos totales volátiles (mg/l)	835			NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos totales fijos (mg/l)	4735			
Hierro (mg/l)	145.6	0.3	NOM-127-SSA1-1994	NMX-AA-051-SCFI-2001
Manganeso (mg/l)	308.7	0.15	NOM-127-SSA1-1994	NMX-AA-051-SCFI-2001

Notas

N.A. = No aplica L.M.P = límite máximo permisible

Resultados de la prueba de sedimentación de la muestra compuesta sin tratamiento

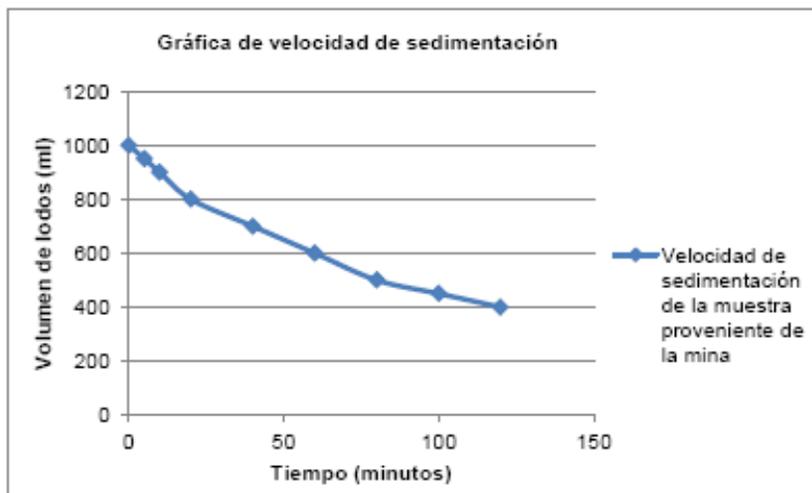


Figura No. 3. Al término de la prueba de sedimentación, aún permaneció una cantidad considerable de sólidos suspendidos. 400 ml en un período de 2 horas.

Resultados de pH y dosis óptimas de coagulante

TABLA NO. 6 DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO UTILIZANDO CUATRO SUSTANCIAS QUÍMICAS

Coagulante	pH de la muestra compuesta	pH de la muestra con sustancia química adicionada	Cantidad agregada de sustancia química (ml)	Concentración de la sustancia ppm
PF-850	8.9	4.98	3	10 000
PF-140	8.9	4.32	5	10 000
NaOH	8.9	10.3	2	10 000
Ca(OH) ₂	8.9	11.94	2	10 000



Figura No. 4. Prueba con PF-850, PF-140, NaOH y Ca (OH)₂

TABLA NO. 7 DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO UTILIZANDO COMO COAGULANTE NAOH A UNA CONCENTRACIÓN DE 100PPM

No. muestra	pH	Tiempo de floculación (segundos)	Mejor formación de flóculo
1	3.5	12.7	4 ^o
2	5	11	3 ^o
3	8.3	9	2 ^o
4	9	8.5	1^o
5	11	-----	5 ^o

TABLA NO. 8 DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO UTILIZANDO COMO COAGULANTE CA (OH)2 A UNA CONCENTRACIÓN DE 100PPM

No. muestra	pH	Tiempo de floculación (segundos)	Mejor formación de flóculo
1.	3.5	11.6	5 ^o
2.	5.0	10	4 ^o
3.	8.3	7	1^o
4.	9	7.87	2 ^o
5.	11	8.52	3

TABLA NO. 9. PH ÓPTIMO DE CADA UNO DE LOS COAGULANTES EMPLEADOS

Coagulante	pH óptimo
NaOH	9
Ca(OH) ₂	8.3

TABLA NO. 10. . DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE LA MUESTRA AJUSTADA A UN PH DE 9 UTILIZANDO COMO COAGULANTE NAOH

No. de muestra	Dosis (mg/l)	Tiempo de formación de flóculos (segundos)	Mejor formación de flóculo
1	80	8	4 ^o
2	90	7.59	1^o
3	100	6.26	2 ^o
4	110	5	3 ^o
5	120	-----	5 ^o

TABLA NO. 11. DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE LA MUESTRA AJUSTADA A UN PH DE 8.3 UTILIZANDO COMO COAGULANTE CA (OH)2

No. de muestra	Dosis (mg/l)	Tiempo de formación de flóculos (segundos)	Mejor formación de flóculo
1	80	12	4 ^o
2	90	9	3 ^o
3	100	6	2 ^o
4	110	5.3	1^o
5	120	-----	5 ^o

TABLA NO. 12. DOSIS ÓPTIMA DE CADA UNO DE LOS COAGULANTES EMPLEADOS

Coagulante	Dosis óptima (mg de coagulante/l)
NaOH	90
Ca(OH) ₂	110

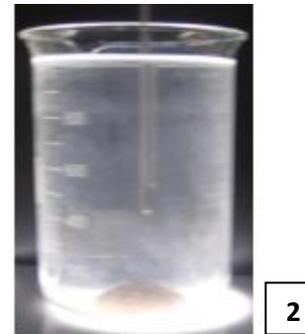
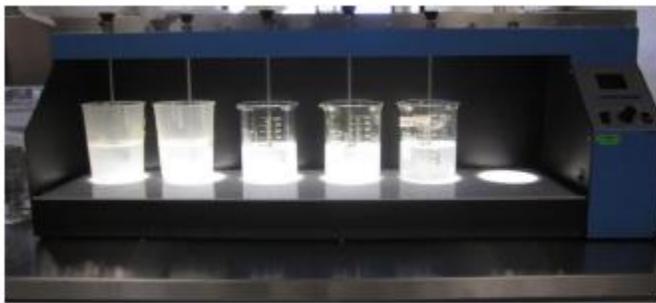
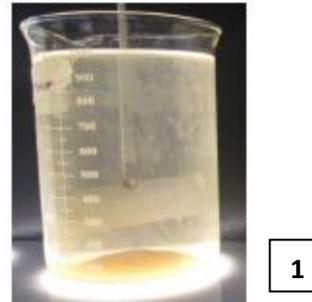
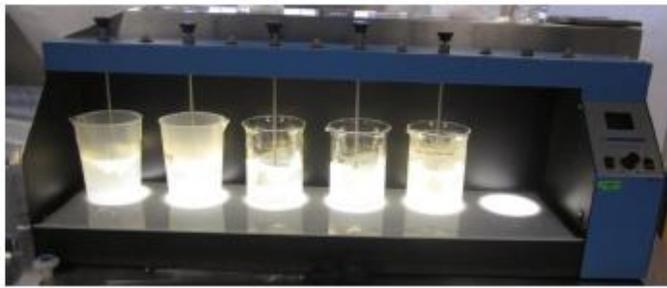


Fig. No. 5 Prueba de jarras con NaOH (1) y con Ca(OH)₂ (2)

RESULTADOS DE MANGANESO REMANENTE EN LAS MUESTRAS RESULTANTES DE LAS PRUEBAS DE JARRAS

TABLA NO. 13. CONCENTRACIÓN DE MANGANESO REMANENTE DE LA MUESTRA TRATADA CON NAOH

No. de muestra	Dosis (mg/l)	Concentración de Manganeso (mg/l)	% remoción de manganeso
1	80	38.167	87.63
2	90	36.596	88.14
3	100	37.643	87.80
4	110	37.643	87.805
5	120	37.905	87.72

TABLA NO. 14 CONCENTRACIÓN DE MANGANESO REMANENTE DE LA MUESTRA TRATADA CON CA (OH)₂

No. de muestra	Dosis (mg/l)	Concentración de Manganeso (mg/l)	% remoción de manganeso
1	80	29.267	90.51
2	90	28.743	90.68
3	100	27.696	91.00
4	110	26.649	91.36
5	120	27.696	91.02

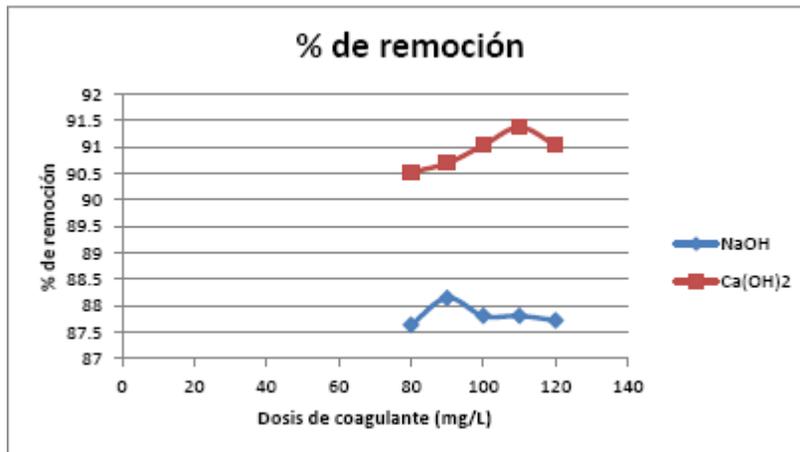


Figura No. 6. Eficiencia de remoción de manganeso

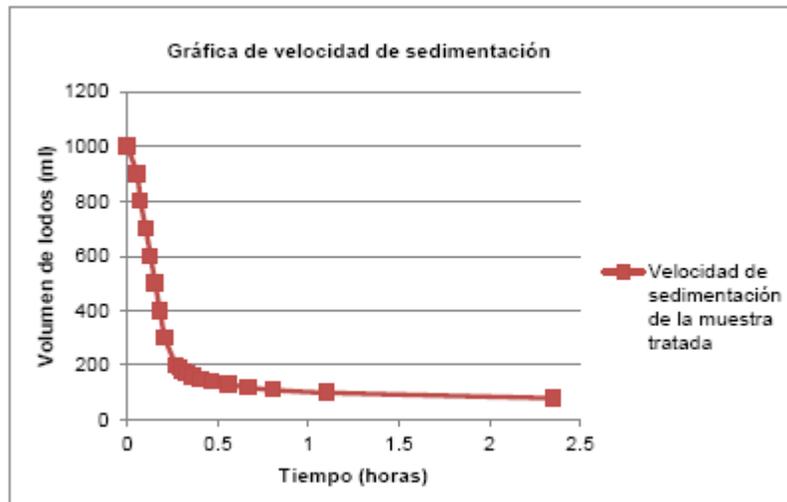


Figura No.7. Velocidad de sedimentación de la muestra de agua tratada

TABLA NO.15. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA COMPUESTA DE AGUA EN LABORATORIO

PARÁMETRO	MUESTRA SIN TRATAMIENTO	MUESTRA TRATADA CON $Ca(OH)_2$	L.M.P	NORMA APLICABLE
Grasas y aceites (mg/l)	63	5.4	25	NOM-001-SEMARNAT-1996
Sólidos sedimentables (ml/l)	15	0	2	NOM-001-SEMARNAT-1996
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	5481	40	125	NOM-001-SEMARNAT-1996
Demanda Química de	1130	195	N.A.	NA.
Sólidos totales (mg/l)	5570	2582		NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos totales volátiles (mg/l)	835	35		NMX-AA-034-SCFI-2001
Hierro (mg/l)	145.6	NA	0.3	NOM-127-SSA1 - 1994
Manganeso (mg/l)	308.7	26.25	0.15	NOM-127-SSA1 - 1994

DISCUSIÓN

Como resultado de la caracterización de la muestra compuesta se puede observar que la muestra presenta valores altos para cada parámetro evaluado (Tabla No. 5). Los metales pesados que se identificaron fueron manganeso y hierro los cuales presentan valores de 308.7 ppm para manganeso y 145.6 ppm para Hierro respectivamente, sin embargo el valor de la concentración del manganeso es casi lo doble que la concentración del hierro, por lo tanto se trabajó con dicho metal (Manganeso, además de que es el principal componente, de acuerdo al origen de la muestra.) En cuanto a los sólidos totales tienen un valor de 5570 ppm de los cuales 4735ppm son fijos y 835ppm son volátiles, es decir que el 85% tiene composición inorgánica. Por esta razón no se considera un tratamiento biológico y se elige aplicar un tratamiento fisicoquímico. En la figura No. 3 se observa que el agua presenta sedimentación lenta ya que en un tiempo de 120 minutos aún quedan 400ml de lodos, este comportamiento se debe a que la cantidad de sólidos sedimentables es muy pequeña 15ppm.

Como parte de la metodología propuesta se llevó a cabo la prueba de precipitación química utilizando cuatro sustancias químicas dos polielectrolitos PF-850 y PF-140 y dos coagulantes NaOH y $Ca(OH)_2$, se eligió trabajar con los dos coagulantes ya que son los que usualmente se emplean en el tratamiento de agua residual. En la tabla No. 6 se muestran los valores de pH obtenidos al adicionar cada una de las sustancias. Los polielectrolitos PF-850 y PF-140 presentan un pH de 4.98 y 4.32 respectivamente, por lo que al adicionarlos a la muestra de agua éstos solo la enturbiaban y no se veía claramente alguna formación de flóculos. Estos polielectrolitos fueron obtenidos a través de un proveedor, el cual no proporcionó ninguna información sobre su estructura química, sin embargo tomando en cuenta la disminución del pH de la muestra original, probablemente su naturaleza sea catiónica por lo que aportan cargas positivas al momento de disociarse, tomando en cuenta que $pH = -\log[H^+]$ y $pH = \log [1/[H^+]]$, por lo tanto a mayor cantidad de iones hidrógeno el valor de pH será menor.

Por lo anterior sólo se utilizaron los coagulantes NaOH y $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para el tratamiento fisicoquímico, ya que éstos al ser adicionados mostraron formación de flóculos. La tabla No. 7 señala que la mejor formación de los flóculos al utilizar NaOH es a un pH de 9, mientras que la tabla No. 8 indica que es a un pH de 8.3 empleando $\text{Ca}(\text{OH})_2$, siendo este último el mejor. Para la determinación de la dosis óptima se tomó en cuenta los valores de pH óptimo de ambos coagulantes obtenidos y estos se mantuvieron constantes en cada vaso de precipitados.

En la tabla No. 10 se observa que para el NaOH se obtuvo una dosis óptima de 90ppm con un tiempo de formación de flóculos de 7.59 s, mientras que la tabla No. 11 señala que la mejor dosis es de 110ppm para el caso del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con un tiempo de formación de flóculos de 5.3s. La tabla No 13 muestra que el mayor porcentaje de remoción de manganeso utilizando como coagulante NaOH fue de 88.14%, mientras que la tabla No.14 el porcentaje de mayor remoción de manganeso utilizando $\text{Ca}(\text{OH})_2$ fue de 91.36%. En la Figura No. 6 se comparan las eficiencias de remoción de manganeso para los dos coagulantes, ésta gráfica muestra que el mejor coagulante es el $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Esto se debe a que los hidróxidos del manganeso son captadores de moléculas de agua, demasiado voluminosos debido a la formación de puentes de hidrógeno. La formación de puentes de hidrógeno depende de la electronegatividad del elemento en cuestión, es decir que entre más electronegativo sea tendrá mayor capacidad de construir estas fuerzas moleculares, en el caso del sodio este posee una electronegatividad de 0.93 Pauling, mientras que el calcio posee una electronegatividad de 1.00 Pauling, es por esta razón que el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene una mayor eficiencia de remoción de manganeso, ya que es un elemento más electronegativo. Por lo anterior se eligió únicamente caracterizar la muestra tratada con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, la tabla No. 15 muestra una disminución considerable en la concentración de manganeso de 308.7ppm a 26.25ppm, y una eliminación de la concentración del hierro, por lo tanto el tratamiento ha disminuido considerablemente la presencia de dichos metales en el agua residual tratada, en cuanto a los sólidos sedimentables estos se eliminaron por el uso de los coagulantes. Finalmente la figura No. 7 muestra la sedimentación de la muestra tratada con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en esta se puede observar que la disminución de lodos es mucho más rápida, ya

que en un periodo de 1 hora solamente se tiene 80ml de volumen de lodos.

CONCLUSIONES

Como resultado de la caracterización de la muestra de agua residual sin tratamiento se concluye que la mayor parte de su naturaleza (85%) es inorgánica y que los metales pesados presentes son básicamente manganeso y hierro.

Al comparar el comportamiento de los polielectrolitos y coagulante usados, se determina que las sustancias PF-850 y PF-140 no son adecuadas para el tratamiento específico de agua residual contaminada con metales pesados, porque existe una disminución en el pH, lo que provoca una acidificación del medio dificultando la oxidación del manganeso, mientras que NaOH y el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ si muestran formación de precipitados metálicos, ya que en medios alcalinos se forma el $\text{Mn}(\text{OH})_2$.

La alternativa viable para la remoción de manganeso del agua residual de la Compañía minera Autlán Unidad Molango es el tratamiento fisicoquímico empleando como coagulante $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con una dosis de 110mg/L, además éste mostró una eficiencia mayor (91.36%) aún pH de 8.3 en la remoción de manganeso y una eliminación total de la concentración del hierro de la muestra de agua residual obtenida de la Compañía minera Autlán Unidad Molango.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Minería, La Enciclopedia 2. La Enciclopedia (20 tomos) Colombia, Salvat Editores S.A.2004.pp.10235-10238.
- [2] Instituto Nacional de Ecología . Metales Pesados, (en línea). Lunes, 17 de Agosto de 2009 18:03. (10 de Diciembre de 2011). Disponible en la web. <http://www.ine.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>
- [3] Moran, R. 2000. 1 Moran, R. 2000. Mining environmental impacts –integrating an economic perspective. CIPMA.
- [4] Manganeso 1 . Resumen de Salud Pública (en línea). 11 de febrero del 2009 (5 enero

2011). Disponible en la web. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs151.html

[5] Environmental Quality 1 Kennish Michael J., Environmental Quality, U.S.A., 1992.

[6] Water Resources characterization of Heavy metals 1 Connell et al, Water Resources characterization of Heavy metals. Virginia, 1984.

[7] Garcés Pineda José, 2002 1 Garcés Pineda José. Remoción de Mn²⁺ en modelos de agua residual por el método de aglomeración esférica. México D.F. 2002

[8] Arboleda J, 1992 1 Arboleda, Teoría y Práctica de la purificación del agua, 1991.

[9] Núñez García Soledad, 2009 1 Núñez García Soledad. "Optimización de la dosis y efecto de polímero como ayuda de coagulación en agua potable". México, 2009.

[10] Manganese Reserves and Resources of the world and their industrial implications, 1981 1, Committee on technical aspects of Critical and Strategic Materials, Manganese Reserves and Resources of the world and their industrial implications, Washington D.C., National Academy Press, 1981, pp. 298.

[11] Handbook of mineral dressing ores and industrial minerals, 1950 1, Arthur F. Taggart, Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Minerals, John Wiley & Sons, INC, London, 1950, pp. 198.

[12] Volke, ST, et al., 2002 1, Volke, ST, et al., Tecnologías de remediación para suelos contaminados, Instituto Nacional de Ecología, México, 2002

[13] Fernández Rafael et al, 1986 1 Libros, España. pp 193. Fernández Rafael et al, Abandono de minas impacto hidrológico, España, Madrid, IDEAL, S.A. 1986, pp 259.