

Optimización del sistema de tratamiento y gestión sanitaria de aguas residuales industriales para vertimiento clase III, provenientes de la bocamina del nivel 250 (EF 03) al río San José - Perú

RECIBIDO: 17/05/2018 ACEPTADO: 31/10/2018

ADÁN E. PUENTE RODRÍGUEZ¹
JULIA M. CALDERÓN CELIS²

RESUMEN

El objetivo principal consistió en gestionar la implementación de estándares, procedimientos y requerimientos legales que permita optimizar el sistema de tratamiento de los efluentes industriales de la Mina Huarón - Perú. Adicionalmente asegurar la calidad de los vertimientos comprendidos dentro de la clase III. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, se alcanzó un pH final de 8.02 con una dosificación de 100 gr/m³ (Cal) y una reducción del contenido metálico de zinc por debajo de 2.5 ppm.

Palabras-claves: Tratamiento; vertimiento; aguas residuales industriales; disposición sanitaria.

INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT AND SANITARY MANAGEMENT SYSTEM OPTIMIZATION FOR CLASS III WATER DISCHARGE FROM PITHEAD LEVEL 250 (EF 03) TO THE SAN JOSÉ RIVER, PERU

ABSTRACT

The main objective was to manage the implementation of standards, procedures and legal requirements in order to optimize the industrial wastewater treatment system of the Huarón Mine in Peru. Furthermore, to ensure the quality of class III water discharges. The results obtained were satisfactory; a final pH of 8.02 with a dosage of 100 gr/m³ (Cal) and a reduction of zinc metal content below 2.5 ppm were achieved.

Keywords: Treatment; dumping; industrial wastewater; sanitary disposal.

1. INTRODUCCIÓN

En la capital minera del Distrito de Huayllay, Departamento de Pasco - Perú, opera la Empresa Minera Pan American Silver, localizada en la sierra central al NE de la ciudad de Lima, a una altitud media de 4600 a 4800 m.s.n.m. Ubicamos ahí el Túnel Paul Novejans de la Mina Huarón - Perú que cumple la función de evacuar las aguas de mina y de superficie en su punto de salida ubicado en el Nivel (Nv) 250 - San José (Mollehuara, 2006).

Panamerican Silver adquiere la concesión de la Mina Huarón, asume los pasivos ambientales ubicadas aguas abajo de la zona industrial como relaveras antiguas, las riveras del río San José y las lagunas de Huayllay afectadas por relaves de las operaciones anteriores, contaminaban las aguas y tuvieron que ser remediadas. (Aguilar, 2009).

Para continuar las operaciones de explotación minera, se planeó evitar los impactos que producían las aguas industriales, superficiales y de mina. Huayllay tiene comunidades dedicadas al pastoreo de camélidos, vacunos y ovejas, por ello el interés del tratamiento de sus aguas. El otro aspecto significativo es evitar la contaminación de la napa freática. La sumatoria de estos aspectos ambientales significativos dio lugar a un proyecto que permite captar todas las aguas superficiales y ser drenados al túnel Paul Novejans del Nivel (Nv) 250 para que mezclados con las aguas provenientes de las operaciones mina, sean evacuados hasta la planta de tratamiento de San José (Mollehuara, 2006).

Se revisó documentación de estudios iniciales y se eligió las evaluaciones realizadas los días 11 al 13 de abril del 2006, referidas al tratamiento de las aguas del Nivel (Nv) 250 San José Mina Huarón. El objetivo fue confirmar las pruebas preliminares del Departamento de Medio Ambiente y reducir el contenido metálico especialmente el Zn, a niveles debajo de los valores máximo-permisibles, incrementando el pH de las aguas del Nivel (Nv) 250 mediante la adición de Cal (Aduvire, 2006).

- 1 Ingeniero de Minas, Egresado Maestría en gestión integrada en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente Universidad Nacional Mayor de San Marcos, consultor independiente.
E-mail: adan.puente@gmail.com
- 2 Doctora, Docente - Investigadora de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Auditor en Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. RD. N° 54-2015-MTPE/1/20.3.
E-mail: jcalderond2@unmsm.edu.pe

Dentro del Túnel Nivel (Nv) 250, se intercepto en la progresiva 3280 las aguas que bajan del Nivel (Nv) 400 Trapiche (Relavera superficie) que no ha generado reacción química alguna que permita suponer la presencia de H₂S.

Los cambios en el contenido de Zn, monitoreado en la descarga del over de la poza de sedimentación, se llevaron a cabo los días en que se realizaron pruebas in situ por el Dpto. de Medio Ambiente con la adición de Cal, lo cual es razonable puesto que alcanzaron el rango de precipitación del Zn(OH)₂.

Las principales variables evaluadas en las pruebas preliminares y aplicadas en el proceso fueron: caracterización hidrológica de las aguas de mina, dosificación de Cal, pH, contenido de Zn y tiempo de residencia para una adecuada sedimentación (Aduvire, 2006).

A través de los años, cada elemento ha sufrido cambios como parte de procesos específicos de mejora continua. Para sustentar la optimización de cada actividad, describiremos los procesos que nos permitan alcanzar Estándares Nacionales de calidad Ambiental para agua clase III.

La investigación describe el estudio de monitoreo y análisis para definir las características operativas de un proceso de mejoramiento del efluente líquido de actividades minero – metalúrgicas en la Ciudad de Tijuana BC, México (Verdugo y Rodríguez, 2003).

Elaboran un plan de monitoreo durante seis meses, se toman muestras del ingreso y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales. Como resultado se obtuvo un diagnóstico de los parámetros operacionales, los mismos que permitieron determinar las variaciones entre muestra simple y compuesta, concentraciones de parámetros físico químicos, orgánicos e inorgánicos como (DBO, DQO, N-T), también iones metálicos (Zn, Ni, Cr, Pb, Cd), turbidez, grasas y aceites.

Se menciona este antecedente porque también trata de evaluación y optimización, para reforzar el soporte técnico de nuestra tesis. La información disponible nos permite observar que la optimización de la clarificación se realizó mediante prueba de jarras a muestras compuestas del influente y la eficiencia de este proceso depende de la remoción de compuestos orgánicos volátiles (COV's), del proceso de decantación eficiente de aceites, de la evaluación de la turbidez residual, así como de la concentración y tipo de coagulante-floculante.

Los resultados conseguidos de muestras compuestas indican estar dentro de las exigencias del marco

legal regulado por la NOM-001 y NOM-002 - SEMARNAT-1996, logrando un efluente de calidad (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2015).

Dicho estudio, presenta avances en el Tratamiento de Aguas Ácidas de Minas (Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia). Toda operación minera realizada en yacimientos metálicos o no metálicos, producen los drenajes ácidos de minas (DAM), que afectan los recursos hídricos (Cadorin y Carissimi, 2007). El estudio resume el Monitoreo y Tratamiento de los Parámetros de la calidad del efluente para su control o eliminación, en escala de laboratorio y piloto. Posterior a ello, los sólidos, generados como precipitados coloidales, son removidos con el método de flotación por aire disuelto (FAD). El principal objetivo de este estudio fue la eliminación de los iones sulfato (>1000 ppm), identificado como un proceso complicado y de alto costo. Para eliminar los iones de Fe y Mn se tuvo que elevar el pH a 12, condición en la que los LMP de Perú no lo permite. Con el suministro de Cal de mejor calidad y floculantes, los iones de Fe y Mn en el primer caso coprecipitan como hidróxidos y los iones sulfato en el segundo caso precipitan como etringita.

Se concluye que las alternativas presentadas en este estudio permitirán mitigar el DAM y la reutilización de las aguas (Verdugo y Rodríguez, 2003).

En Madrid España, se presenta un artículo de “Manejo de Aguas Ácidas, Prevención y Reducción de la Contaminación”. El autor de este artículo recomienda un manejo técnico de los parámetros fisicoquímicos de las aguas contaminadas, en su generación. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, constituyen un aporte concreto al desarrollo sostenible de las poblaciones en general. La elaboración e implementación de métodos de tratamientos de aguas residuales, permitiría una mejora en los recursos híbridos para el riego, que favorecería al sector agropecuario, pecuario, ganadero. El sector salud se vería favorecida porque la población consumiría productos agrícolas regados con recursos hídricos limpios. El sector Turismo y el Medio Ambiente también se beneficiarían, principalmente la flora y fauna porque permitiría mejores condiciones de vida.

El enfoque conceptual de gabinete, facilita la aplicación de métodos preventivos para ser ejecutados en el origen de la generación de las aguas ácidas de acuerdo a su caracterización. El manejo sistematizado esta direccionado por un Plan de Manejo Ambiental de acuerdo a las características del yacimiento minero (Baquero, 2008) (Valdez y Vázquez, 2016).

El informe del Manejo, Uso y Vertimiento del Agua Subterránea en Minera Yanacocha. La Empresa Minera tiene yacimientos auríferos explotados superficialmente, pero a medida que las operaciones profundizan bajo el nivel freático, surgen problemas para el control de las aguas, que deben ser extraídas para garantizar un estudio seguro (Benavides, 2002). El estudio describe la extracción del agua, el tratamiento que recibe durante el proceso y las descargas al medio ambiente cumpliendo los estándares del marco legal ambiental.

En Lima presenta la tesis, Sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales en UEA Animon de la empresa administradora Chungar SAC (EACH). Las operaciones mineras se ejecutan en un yacimiento mineral del tipo de vetas ubicadas debajo y en dirección transversal de lagunas como Naticocha. Considerando la cercanía de estos cuerpos de agua es sumamente importante contar con vertimientos industriales de óptima calidad que permitan preservar estos recursos hídricos, cumpliendo así con la Ley General de Aguas D.L. 17752. Para trabajar dentro del marco legal, se elaboró un proyecto para el manejo técnico del Efluente Líquido de Actividades minero-metalúrgicas (Ordoñez, 1984), (MEM, 1991). Las actividades de mejoramiento global de las aguas residuales industriales, de lagunas, permitirá controlar y disminuir la presencia de Pb, Zn y otros metales pesados en estos efluentes, hasta alcanzar Nivel (Nv) es contemplado en el marco de la Ley General de Aguas D.L. 17752, Clase VI. De acuerdo al proyecto para el manejo de los efluentes Líquido de Actividades minero – metalúrgicas, es preciso instalar un equipo sedimentador de Cono Profundo (DCT). El componente seleccionado está provisto de un sedimentador de 17mt de diámetro y 21mt de alto incluido una planta de dosificación de floculante, accionado por una bomba de recirculación y descarga (Requena, 2008).

Se describe en la tesis el impacto causado por el Efluente Líquido de las Actividades Mineras bajo el título “Los drenajes de la mina Pampamali S.A.” cuyo vertimiento podría contaminar el riachuelo Cochatay en el distrito de Seclla Huancavelica, los autores investigan y analizan los drenajes de mina, previniendo incidencias por posible contaminación de aguas en el riachuelo Ccochatay. El método utilizado es cuantitativo y descriptivo. Para mejorar dicha tesis, se requiere mayor cuidado en la caracterización de las aguas, siendo un factor preponderante la caudal materia del estudio, así mismo deben informar si existe algún sistema de tratamiento de las aguas residuales y si se cuenta con personal calificado para el monitoreo.

El análisis fisicoquímico realizado en un laboratorio autorizado en Lima, con seis muestras extraídas de puntos de monitoreo de campo efectuadas a la Mina Pampamali S.A., detalla las siguientes características: el pH obtenido es correcto en las seis muestras y cumple con la LMP; la Redox, la conductividad eléctrica, el TDS y el TSS; cumplen con los valores de calidad exigidos en la Ley Gral. de Aguas, clase III (De la Cruz, 2014), (Argota, 2012).

El Objetivo general: fue evaluar, rediseñar e implementar los procesos eficaces de un sistema de manejo del efluente líquido de las actividades minero – metalúrgicas para lograr un vertimiento clase III al río San José, proveniente de la bocamina Nivel (Nv) 250 Túnel Paul Novejans - Mina Huarón. La Justificación es necesaria, la evaluación del sistema de tratamiento existente en el Túnel Paul Novejans Nivel (Nv) 250 de la Mina Huarón, con el propósito de identificar las oportunidades de mejora en la operación, así como evaluar los cambios observados en la generación de sólidos y el consumo de Cal en los últimos años y meses. Al realizar esta investigación se brindará una alternativa de solución en la optimización del proceso de manejo del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas hasta alcanzar el vertimiento clase III al río San José. Las limitaciones del estudio fueron, el tiempo que implica la toma de muestras.

2. METODOLOGÍA

Los sistemas de gestión y la aplicación de tecnologías apropiadas para el manejo del efluente líquido de las actividades minero-metalúrgicas se basan en procesos destinados al control o eliminación de los elementos contaminantes, en función a la caracterización de los elementos en las aguas residuales. Los componentes contaminantes pueden asumir estados como: sólidos suspendidos, coloides o como sólidos disueltos. Considerando la existencia de variadas tecnologías y ninguna exclusiva, permite elegir una gama de combinaciones para obtener un proceso más eficiente para su tratamiento; por ejemplo, para eliminar los sólidos disueltos y los coloides, se les trata como sólidos suspendidos para precipitarlos y siguiendo el proceso se aplicaría tecnologías para la eliminación de sólidos suspendidos.

En consecuencia, para adoptar un determinado proceso que permita el manejo eficaz del efluente líquido de las actividades minero-metalúrgicas, considerar lo siguiente:

- Análisis, caracterización de las aguas residuales
- Proceso que permita la concentración de los elementos contaminantes.
- Considerar el marco legal para la calidad del efluente a verterse.
- Los recursos técnicos y financieros.

Todo plan estratégico indica una secuencia de procesos en la cual se debe efectuar diversos tratamientos llamados: evaluación previa y desde evaluación primaria hasta cuaternaria.

Considerando la serie de tratamientos previo y primario, cada uno acondiciona el efluente para los tratamientos posteriores, destacando por su importancia el manejo del caudal y el pH. Siguiendo la secuencia de tratamientos secundarios, estos incluyen procesos biológicos y químicos. En la serie de procesos biológicos, consideran el tratamiento de barros activados, tratamiento de percolación como

los filtros biológicos, anaeróbicas lagunas aireadas, sistema de lecho fluidizado, entre otros. Por las características que presenta el efluente líquido de las actividades minero-metalúrgicas en estudio, la aplicación de tecnologías usadas para su tratamiento, se ejecutara bajo estrictos estándares de calidad que cumplan todos los afluentes vertidos al ambiente, como ordena el marco legal y constituye nuestro principal objetivo.

3. RESULTADOS

En referencia a la gestión eficaz del sistema de manejo de los efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgicas para lograr un vertimiento clase III al río San José, Mina Huarón, el objetivo del estudio es, verificar los parámetros y valores previos al del tratamiento y conocer los límites máximos permisibles de las operaciones para cumplir los estándares (Tabla 1 y escala valorativa de aproximación Tabla 2)

Tabla 1. *Apresiasi del cumplimiento de estándares: tratamiento previo*

Nº	Parámetro	Estándar	Valoración		
			1	2	3
01	Olor	No perceptible		X	
02	Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes		X	
03	Color no natural	Ausente	X		
04	Turbiedad	Max 50 UNT	X		
05	pH	Entre 6.5 y 8.5		X	
06	OD	Min 5 mg/L	X		
07	DB05	Max 10 mg/L	X		
08	Aceites y grasas	Virtualmente ausentes		X	
09	Detergentes	Max 1 mg/L en LAS	X		
10	Sustancias fenilicas	Max 0.2 mg/L en C6H5OH	X		
11	Amoniaco libre	Max 0.002 mg/L	-	-	-
12	Nitratos	Max 10 mg/L en N	-	-	-
13	Fosforo total	Max 0.05 mg/L en P	-	-	-
14	Coliformes fecales	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en n de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica misma estar por debajo de 1000 CF/100 mL			
15	Cianuro	Max 0.005 mg/L	X		
16	Arsénico	Max 0.005 mg/L	X		
17	Cadmio	Mas 0.001 mg/L	-	-	-
18	Cobre	Max 0.2 mg/L	X		
19	Cromo total	Max 0.05 mg/L	-	-	-
20	Mercurio	Max 0.0002 mg/L	X		
21	Níquel	Max 0.02 mg/L	-	-	-
22	Plomo	Max 0.03 mg/L	X		
23	Zinc	Max 0.03 mg/L	X		
		X	12	4	0
		%	52.2	17.4	00

Fuente: Tabla de valoración de resultados de pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles, mayo 2013 (disponible en www.dinama.gub.uy).

Para cumplir con el marco legal, los parámetros utilizados que caracterizan el efluente líquido como el biológico, químico y físico, no debe ser excedido de acuerdo al artículo 5 para la clase III.

Tabla 2. Escala valorativa de aproximación

Puntaje	Rango (Estándar)
3	Cumple total
2	Cumple medianamente
1	No cumple

La Tabla 1 presenta los niveles de cumplimiento de estándares de la muestra de estudio previo, el 52.2 % no cumple, el 17.4 % cumple medianamente y el 30.4% no fue analizada, como lo muestra en la Figura 1 respectivamente.

En cuanto a la gestión eficaz del sistema de manejo de los efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgicas para lograr un vertimiento clase III

al río San José, Mina Huarón. El objetivo del estudio es verificar los parámetros y valores previo al tratamiento primario y límites máximos permisibles de la operación para cumplir estándares (Tabla 3 y escala valorativa de aproximación Tabla 4).

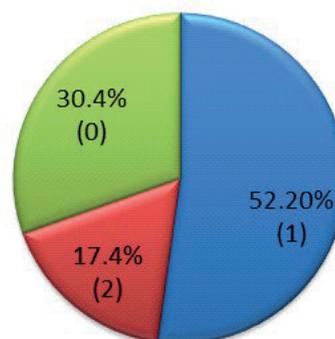


Figura 1. Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento previo o inicial

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 3. Apreciación del cumplimiento de los estándares: tratamiento primario

Nº	Parámetro	Estándar	Valoración		
			1	2	3
01	Olor	No perceptible		X	
02	Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes		X	
03	Color no natural	Ausente		X	
04	Turbiedad	Max 50 UNT		X	
05	pH	Entre 6.5 y 8.5			X
06	OD	Min 5 mg/L			X
07	DB05	Max 10 mg/L			X
08	Aceites y grasas	Virtualmente ausentes		X	
09	Detergentes	Max 1 mg/L en LAS	-	-	-
10	Sustancias fenilicas	Max 0.2 mg/L en C6H5OH		X	
11	Amoniac libre	Max 0.002 mg/L	-	-	-
12	Nitratos	Max 10 mg/L en N	-	-	-
13	Fosforo total	Max 0.05 mg/L en P	-	-	-
14	Coliformes fecales	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en n de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica misma estar por debajo de 1000 CF/100 mL			
15	Cianuro	Max 0.005 mg/L		X	
16	Arsénico	Max 0.005 mg/L		X	
17	Cadmio	Mas 0.001 mg/L	X		
18	Cobre	Max 0.2 mg/L		X	
19	Cromo total	Max 0.05 mg/L		X	
20	Mercurio	Max 0.0002 mg/L		X	
21	Níquel	Max 0.02 mg/L		X	
22	Plomo	Max 0.03 mg/L		X	
23	Zinc	Max 0.03 mg/L		X	
		X	1	14	3
		%	4.4	60.8	13.04

Fuente: Tabla de valoración de resultados de pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles, mayo 2013 (disponible en www.dinama.gub.uy)

Para cumplir con el marco legal, los parámetros que caracterizan el efluente líquido como el químico, biológico y físico, no debe exceder de acuerdo al artículo 5 para la clase III.

Tabla 4. Escala valorativa de aproximación

Puntaje	Rango (Estándar)
3	Cumple total
2	Cumple medianamente
1	No cumple

La Tabla 3 presenta los niveles de cumplimiento de estándares de la muestra de estudio en el tratamiento primario. El 60.8 % cumple medianamente, el 13.09 % cumple totalmente y el 4.4% no cumple. El 21.8 % no fue analizada, como lo muestra la Figura 2 respectivamente.

Con referencia a la gestión eficaz del sistema de manejo de los efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgicas para lograr un vertimiento cla-

se III al río San José, Mina Huarón. El objetivo es verificar los parámetros y los valores previo al tratamiento secundario y límites máximos permisibles de la operación para cumplir estándares (Tabla 5 y escala valorativa de aproximación Tabla 6).

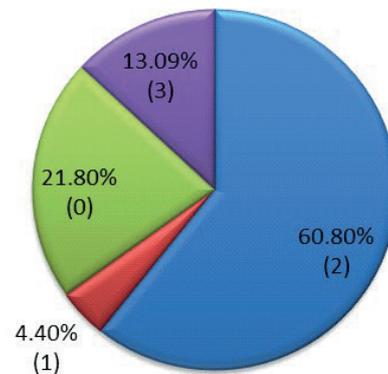


Figura 2. Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento primario

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 5. Apreciación del cumplimiento de los estándares: tratamiento secundario

N°	Parámetro	Estándar	Valoración		
			1	2	3
01	Olor	No perceptible			X
02	Materiales flotantes y espumas no naturales	Ausentes			X
03	Color no natural	Ausente			X
04	Turbiedad	Max 50 UNT			X
05	pH	Entre 6.5 y 8.5			X
06	OD	Min 5 mg/L			X
07	DB05	Max 10 mg/L			X
08	Aceites y grasas	Virtualmente ausentes			X
09	Detergentes	Max 1 mg/L en LAS			X
10	Sustancias fenilicas	Max 0.2 mg/L en C6H5OH			X
11	Amoniaco libre	Max 0.002 mg/L	-	-	-
12	Nitratos	Max 10 mg/L en N	-	-	-
13	Fosforo total	Max 0.05 mg/L en P	-	-	-
14	Coliformes fecales	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en n de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica misma estar por debajo de 1000 CF/100 mL			
15	Cianuro	Max 0.005 mg/L			X
16	Arsénico	Max 0.005 mg/L			X
17	Cadmio	Mas 0.001 mg/L			X
18	Cobre	Max 0.2 mg/L			X
19	Cromo total	Max 0.05 mg/L			X
20	Mercurio	Max 0.0002 mg/L			X
21	Níquel	Max 0.02 mg/L			X
22	Plomo	Max 0.03 mg/L			X
23	Zinc	Max 0.03 mg/L			X
		X			18
		%	0	0	78.3

Fuente: Tabla de valoración de resultados de pruebas de Cinética de Neutralización Límites Máximos Permisibles mayo 2013 disponible en www.dinama.gub.uy).

Para cumplir con el marco legal, los parámetros que caracterizan el efluente líquido como el químico, biológico y físico, no debe exceder de acuerdo al artículo 5 para la clase III.

Tabla 6. Escala valorativa de aproximación

Puntaje	Rango (Estándar)
3	Cumple total
2	Cumple medianamente
1	No cumple

En la Tabla N°5 presenta los niveles de cumplimiento de estándares de la muestra de estudio en el tratamiento secundario, el 78.30 % cumple totalmente con los estándares y el 21.70 % no presentaron características, como lo muestra en la Figura N°3. Estas características de la muestra nos permiten disponer sanitariamente el agua hacia la regularización para el consumo humano.

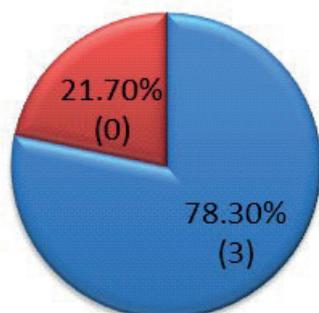


Figura 3. Nivel de cumplimiento de los estándares: Tratamiento secundario

Fuente: Elaboración propia del autor.

Resultados de la evaluación del Sistema de Tratamiento del agua de mina Nivel (Nv) 250 Túnel Paul Novejans – Mina Huarón - Perú:

Se realizaron pruebas de campo con el total del caudal de agua del Nivel (Nv) 250,

Variando la dosificación dentro del rango encontrado en las pruebas preliminares, obteniendo resultados satisfactorios al alcanzar un pH final de 8.02, con una dosificación de 100 gr/m³ y una reducción del contenido metálico de Zn por debajo de 2.5 ppm. Esto representa finalmente un consumo de 160 TMS de Cal diaria, que equivale a un costo de US\$ 8035 mensuales por el uso de este reactivo (Costo Cal: US\$ 50/TM CaO: 50%, Ref. Dpto. Medio Ambiente).

Resultados de la variable: Disposición sanitaria de aguas residuales para el vertimiento clase III. Teniendo como referencia los resultados de los cuadros anteriores, respecto al nivel de disposición sanitaria de aguas residuales, el estudio continúa con el tratamiento evaluativo integral, cuya finalidad es prevenir alteraciones que puedan afectar el cumplimiento del marco legal.

Los resultados del ensayo mensual deben ser estrictamente controlados por la titular, a fin de garantizar la calidad clase III. La misma que dará opción a riego de vegetales y bebida de animales.

4. DISCUSIÓN:

Las referencias bibliográficas citadas en nuestro artículo, permite contrastar los procesos y resultados (valores) exigidos por la normativa nacional. Además, los estándares operacionales asumidos, permiten garantizar el vertimiento de agua con la calidad requerida A III.

La tesis "Sistema de tratamiento integral de aguas Residuales Industriales en UEA Animon, Chungar"; describe el proceso de tratamiento global de las aguas alcalinas de la Planta de Beneficio (relaves) y el aporte turbio proveniente de la mina, en un Sedimentador de Cono Profundo, que permitió obtener un efluente de mejor calidad como indica el marco legal, todo ello antes de verter al cuerpo receptor. Como resultado del tratamiento, se logró la disminución de metales pesados como Zn y Pb (Requena, 2008).

Los resultados obtenidos en el estudio, permitirá comparar el contexto de la problemática del mejoramiento de las aguas contaminantes provenientes de la bocamina del Nivel (Nv) 250 al río San José. Se evidenció que, con la optimización sistematizada de manejo de aguas residuales industriales, en un proceso continuo y articulaciones de etapas de tratamiento, se logra el vertimiento clase III al medio ambiente en condiciones de calidad requeridos.

En la ciudad de Tijuana BC, México, el análisis, evaluación, control y optimización de los parámetros de operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales industrial, elabora un plan de monitoreo por un periodo de seis meses, en este tiempo se tomaron muestras del ingreso y salida de aguas residuales. El estudio les proporciono un diagnóstico de parámetros operacionales, que permitieron determinar las variaciones entre muestras simples y compuestas, resumido en concentraciones de parámetros físico, químico, orgánico e inor-

gánico. Con el deseo de obtener el grado de clarificación, se realizaron pruebas de jarra a diversas muestras compuestas del influente. La eficiencia a alcanzar en este proceso, depende de la capacidad de remoción de los compuestos orgánicos volátiles (COV's), para una decantación eficiente de aceites, así como de la concentración y tipo apropiado de coagulante-floculante. Los investigadores optimizaron el proceso mediante la evaluación de turbidez residual.

Los resultados obtenidos en muestras compuestas, revelan estar dentro de los LMP regulados en: NOM-001 Y NOM-002 - SEMARNAT 1996, en la cual se obtuvo mejor Calidad de efluente (Verdugo y Rodríguez, 2003), (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2008).

En nuestra investigación se confirma que los objetivos de control del proceso están realizados adecuadamente, el pH de estudio de 8.2 - 8.6 es el adecuado, para precipitar todos los metales auditables dentro de los límites máximos permisibles.

5. CONCLUSIONES

1. La problemática del mejoramiento de las aguas contaminantes que provienen de la bocamina del Nivel (Nv) 250 al río San José se evidenció que con la optimización del proceso sistematizado de manejo y disposición sanitaria de las aguas residuales industriales en un proceso continuo y con articulación de las etapas de tratamiento se logra el vertimiento clase III al medio ambiente en condiciones de calidad requeridos.
2. Con la dosificación y la adición de la lechada de Cal en la salida del túnel se controló el ajuste del pH de manera sostenible en el rango 8.2. El control continuo de pH y las ratios de contenido metálico mejoró la caracterización del agua de mina permitiendo el vertimiento clase III.
3. Contando con una tercera poza de sedimentación con capacidad de 600 l/s se incrementó el tiempo de reposo de los sólidos en suspensión logrando un mayor porcentaje de sedimentación y disposición sanitaria garantizando de esta manera el vertimiento de agua clase III al cuerpo receptor.
4. Se observa una reducción en el consumo de Cal atribuido a una mejor eficiencia de uso de Cal disponible, la preparación diluida so-

lubiliza la mayor fracción de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que finalmente reacciona con el agua de mina con mejor eficiencia.

5. Se confirmó que los objetivos de control del proceso están bien, el pH de estudio de 8.2-8.6 es el adecuado, para precipitar todos los metales auditables.

6. RECOMENDACIONES:

1. Establecer una gestión profesional para la administración del proceso sistematizado de manejo del efluente líquido de las actividades minero-metalúrgicas de la Mina Huarón - Perú y garantizar por medio de un control permanente, la optimización del sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales que permitan la disposición sanitaria de agua clase III.
2. La minería es una actividad muy dinámica, el suministro de los recursos justo a tiempo, permitirá contar con los requerimientos que estandaricen la optimización a Nivel (Nv) es de excelencia, promoviendo las oportunidades de mejora continua del Sistema de Tratamiento de Aguas de Mina, que permitan el vertimiento de calidad exigido.
3. Contemplar dentro de las políticas ambientales, el cumplimiento de los procesos y estándares de calidad requeridos por la entidad reguladora.
4. Uno de los objetivos a mediano plazo será reducir la ratio de carga en el rebose, a fin de reducir el arrastre de sólidos aumentando la sección efectiva de rebose.
5. Considerando lo analizado en la hipótesis, la carga hidráulica superficial es alta, por lo que se recomienda evaluar la estrategia de estudio con dos pozas en paralelo con la futura poza a construir.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aduvire, O. (2006). *Generación y tratamiento para drenajes ácidos de mina*. Instituto Geológico y Minero de España.
- [2] Aguilar, J. (2009). *Pruebas de Bombeo-Pozas de sedimentación San José Huarón*. Departamento de Proyectos Pan American Silver Huarón.

- [3] Argota, G. y Argota, H. (2012). Un enfoque ambientalista: evaluación ambiental del río San Juan de Santiago de Cuba por exposición bio acumulativa a metales pesados. *Medisan* 16 (8): 1208-1215 Recuperado de <http://epg.unap.edu.pe>.
- [4] Baquero, J. (2008). *Prevención y reducción de la contaminación, previo tratamiento de aguas ácidas*. España.
- [5] Benavides, J. (2002). *Tratamiento, uso y descarga del agua subterránea en Minera Yanacocha Perú*.
- [6] Cadornin, L. (2007). *Avances en el tratamiento de aguas de Minas*. Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia) ISSN 0122-170
- [7] De La Cruz O. A. (2014). *Estudios preventivos de Los drenajes de la mina Pampamali S.A., en la contaminación riachuelo Ccochatay en el Distrito de Seclla - Huancavelica*. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/598?show=full>.
- [8] Ministerio de Energía y Minas (1991) *Protocolo de Monitoreo de la Calidad del agua*, Lima.
- [9] Mollehuara, R. (2006). *Evaluación Tratamiento de Aguas Nivel (Nv) 250 Mina Huarón*. Departamento de Proyectos Pan American Silver Huarón.
- [10] Ordoñez, A (1984). *Canchas de relaves de concentradoras mineras: análisis de estabilidad de presas*, informe final Lima.
- [11] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015), *Fiscalización ambiental para el cambio Lima*
- [12] Requena, M. (2008) *Sistema de tratamiento integrante de aguas industriales en una UEA Animon de empresa administradora Chungar SAC*, Lima. Recuperado de http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_fc9598c99faaf062f3d16a49c8116f14
- [13] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2008). *Primeros controles hídricos: diagnóstico situacional de los sistemas de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*, Perú.
- [14] Valdez, E y (2016). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*, México.
- [15] Verdugo, C y. (2003). *Análisis y optimización de los parámetros de operación de un sistema de tratamiento de agua residual industrial en la Ciudad de Tijuana Baja California*. México. Recuperado de www.uaemex.mx.