

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“OPTIMIZACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES INDUSTRIALES DEL EFLUENTE LA U.E.A. ORCOPAMPA,  
2016 – AREQUIPA”

PRESENTADO POR LA BACHILLER  
BEATRIZ ROSARIO AROTAYPE PATIÑO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**AREQUIPA – PERÚ**  
**2017**

A mis padres, quienes depositaron sus esperanzas en mí impulsándome a seguir adelante, y por el apoyo incondicional para realizarme profesionalmente.

A mi hijo adorado, quien es la fuerza de mi impulso.

A mis docentes, de quienes asimilé no solo sus conocimientos sino también sus experiencias como profesionales.

A la Universidad Alas Peruanas - Filial Arequipa.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	xi

### CAPÍTULO I

#### DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Descripción de la realidad problemática.....	1
	1.1.2. Formulación del problema .....	4
	1.1.3. Justificación e importancia de la investigación .....	4
	1.1.4. Objetivos de la investigación .....	5
	1.1.4.1. Objetivo general.....	5
	1.1.4.2. Objetivos específicos.....	5
	1.1.5. Hipótesis de la investigación .....	6
	1.1.6. Variables e Indicadores .....	6
	1.1.6.1. Operacionalización de las variables .....	7
	1.1.7. Tipo y nivel de investigación.....	8

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes teóricos de la investigación .....	9
2.2.	Marco legal.....	14
2.3.	Base teórica .....	17
	2.3.1. Definición de agua residual.....	17

2.3.2. Características fisicoquímicas del agua .....	18
2.3.3. Agua tratada .....	18
2.3.4. Determinación del hidróxido de calcio .....	21
2.3.5. Determinación del sulfato de aluminio .....	30
2.3.6. Test de jarras .....	32
2.3.7. Condiciones de test de jarras.....	50
2.4. Tratamiento de efluentes.....	53
2.4.1. Potencial de hidrógeno .....	53
2.4.2. Sólidos totales en suspensión.....	60
2.5. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa.....	63
2.5.1. Ubicación .....	63
2.5.2. Accesibilidad .....	63
2.5.3. Evaluación del efluente .....	65
2.6. Marco Conceptual .....	66

### **CAPÍTULO III**

#### **PLANTEAMIENTO OPERACIONAL**

3.1. Definiciones operacionales .....	70
3.2. Universo y muestra .....	71
3.3. Métodos y diseño .....	72
3.3.1. Métodos de investigación.....	72
3.3.2. Nivel de la investigación.....	75
3.3.3 Técnicas e instrumentos .....	80
3.3.4. Tratamiento de los datos.....	80

### **CAPÍTULO IV**

#### **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS**

4.1. Resultados de la fase pre-experimental .....	81
4.2. Resultados del pos prueba experimenta .....	87
4.2.1. Test de jarras.....	87
4.2.2. Discusión de los resultados .....	94
4.3. Cálculo de los insumos químicos .....	94

4.4. Análisis de los costos operativos beneficio .....	96
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES .....	102
BIBLIOGRAFÍA .....	103
1. ANEXOS .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de las variables .....	7
Tabla 2. Propiedades del hidróxido de calcio .....	21
Tabla 3. Ubicación de la empresa .....	63
Tabla 4. Accesos de vía .....	64
Tabla 5. Puntos de control del efluente de la UEA Orcopampa .....	71
Tabla 6. Ubicación de la muestra ECH-2 .....	72
Tabla 7. Parámetros evaluados de la muestra ECH-2 ( pre- experimental).....	83
Tabla 8. Descripción del efluente ECH-2 veta Nazareno .....	86
Tabla 9. Uso de insumos para la concentración .....	87
Tabla 10. Resultado de evaluación de los parámetros .....	88
Tabla 11. Búsqueda de la dosis optima en el potencial de hidrógeno..	89
Tabla 12. Búsqueda de la dosis óptima en sólidos totales en suspensión .....	90
Tabla 13. Concentración de los insumos .....	92
Tabla 14. Resultado final de los parámetros .....	93
Tabla 15. Costos del floculante y cal viva en el año 2015 .....	97
Tabla 16. Costos de la propuesta.....	98
Tabla 17. Comparación mensual de costos compañía / costos propuesta .....	99
Tabla 18. Costos de tratamiento anual compañía / costos propuesta..	100

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

	Pág.
Gráfico 1. Estudio comparativo del diagnóstico de las aguas residuales del efluente.....	84
Gráfico 2. Parámetros evaluados .....	88
Gráfico 3. Búsqueda de la dosis óptima en el potencial de hidrógeno	89
Gráfico 4. Búsqueda de la dosis óptima en sólidos totales en suspensión .....	91
Gráfico 5. Resultado final de los parámetros.....	93
Gráfico 6. Comparación mensual de costos compañía / costos propuesta .....	99

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Pág.
Figura 1. Ubicación planta de tratamiento de aguas residuales.....	64
Figura 2. Sistema de tratamiento Nazareno.....	66

## RESUMEN

La especial atención es Optimizar técnica y económicamente el tratamiento de las aguas residuales industriales generadas de la Unidad Económica Administrativa Orcopampa, provincia de Castilla. Para mejorar la calidad de las aguas vertidas al río Orcopampa.

La tesis se centra en un caso de estudio particular de la Unidad Económica Administrativa Orcopampa, que se encuentra realizando trabajos de explotación.

El presente proyecto se justifica porque permitiría la aplicación de un nuevo proceso para el tratamiento de nuestros efluentes, siempre en cuando la evaluación técnica-económica lo permita.

Finalmente, se presentan los esquemas de la optimización técnica y económica que son efectivos y viables para el caso estudiado, así como los cálculos necesarios para determinar los parámetros establecidos según la legislación peruana.

Palabras clave: Optimizar, tratamiento de aguas residuales, técnica, aguas vertidas, unidad económica administrativa, efluentes, parámetros, cálculos, legislación peruana.

## **ABSTRACT**

Special attention is Technically and economically optimize the treatment of industrial wastewater generated from the Administrative Economics Unit Orcopampa province of Castilla. To improve the quality of water discharged into the river Orcopampa.

The thesis focuses on a particular case study of the Administrative Economics Unit Orcopampa, which he is doing work of exploitation.

This project is justified because it would allow the implementation of a new process to treat our effluents, always when the technical - economic evaluation permits.

Finally, schemes of technical and economic optimization that are effective and viable for the case study and the calculations necessary to determine the parameters established under Peruvian law are presented.

Keywords: Optimization, wastewater treatment, technique, wastewater, administrative economic unit, effluents, parameters, calculations, Peruvian legislation.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación responde a una problemática ambiental, presente en la minera Buenaventura S.A. La empresa de Minas Buenaventura desarrolla una serie de operaciones mineras utilizando las aguas residuales industriales con insumos, que no se ajustan al D.S. N°010-2010 –MINAM.

La investigación giró en torno a la interrogante, ¿de qué manera se lograría optimizar técnica y económicamente el tratamiento de las aguas residuales industriales ácidas y sólidos totales en suspensión del efluente generadas en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, con el D.S. N°010-2010 –MINAM?

El objetivo general fue determinar la optimización técnica y económica del tratamiento de las aguas residuales industriales ácidas y sólidos totales en suspensión del efluente generada en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa. Este permitirá alcanzar los parámetros establecidos por el D.S. N°010-2010 –MINAM –MINAM a través de la prueba de aplicación del hidróxido de calcio y sulfato de aluminio.

De otro lado, la investigación se estructuró en cuatro capítulos. El primer capítulo desarrolla el diseño de la investigación donde se describe y formula el problema; así como la delimitación, justificación, importancia, objetivos, hipótesis, tipo y nivel de la investigación.

El segundo capítulo anuncia el marco teórico en base a los antecedentes, las bases teóricas y el marco conceptual.

El tercer capítulo focaliza el desarrollo del planteamiento operacional.

Define conceptualmente las variables; la unidad de estudio en la población y la muestra; la metodología, los métodos el diseño y el campo de verificación.

El cuarto capítulo analiza y evalúa los resultados obtenidos en las fases de la planificación y ejecución en el laboratorio.

Finalmente, se arribó a las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

En la actualidad, existe una preocupación común entre el sector privado como en el público para el tratamiento de las aguas residuales, cuya existencia se hace insostenible no solo para la tranquilidad de la población; sino que incide directamente en la salud humana, por el entorno indeseable que se genera y también porque las actividades productivas de alimentos sobre todo procedentes de las aguas continentales y del mar se ven afectadas.

Asimismo, el Perú es considerado uno de los países mineros en América Latina, donde las compañías mineras nacionales y extranjeras vienen desarrollando una serie de operaciones de exploración y

explotación de una variedad de metales; pero a su vez debe llevar a cabo una política de conservación del medio ambiente, especialmente el tratamiento de las aguas residuales que son empleadas por estas compañías, que tienen la responsabilidad de ser tratadas por diversas vías: química, física y biológica.

Por otro lado, el recurso hídrico es un insumo principal para el desarrollo sostenible de las diversas actividades extractivas mineras que muchas veces también ha suscitado una serie de conflictos entre las compañías mineras y la población que se abastecen de ese recurso hídrico.

Cada una de las empresas no solo mineras; sino también instituciones públicas, como el caso de los saneamientos de agua potable, vienen efectuando una serie estudios de prefactibilidad en la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales juntamente con laboratorios químicos que son solventados con capitales privados o públicos; la finalidad es reciclar el agua tratada para un mejor uso y no desperdiciarla o caso contrario no contaminarla, como el caso de las compañías mineras que trabajan también con relaves mineros y deben usar necesariamente el recurso hídrico.

De acuerdo al diagnóstico situacional, las aguas superficiales del río Chilcaymarca son tomadas de la bocatoma y el canal de conducción de la Compañía de Minas Buenaventura, posteriormente llevadas para la extracción de Oro; es llevada hasta la planta de tratamiento de aguas

residuales industriales del efluente de la veta Nazareno ECH-2 donde se realiza el proceso de tratamiento de aguas residuales para ser vertidas al río Chilcaymarca nuevamente.

El agua vertida por la planta de tratamiento al río Chilcaymarca para su uso debe ser tratada para garantizar su calidad y cumplir la normatividad vigente: Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM que establece los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM con respecto a los ECAS.

En la planta de tratamiento de aguas residuales Industriales del efluente de la veta Nazareno ECH-2, las aguas son de carácter químicamente ácido con valores promedio de pH =5,7 y no cumple con el potencial de hidrogeno (pH) que establece la normatividad vigente: Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM, donde el límite que le asigna es de pH= 6-9.

Asimismo, no cumple con el parámetro de sólidos totales en suspensión (SST) cuyo valor promedio es de 60 mg/L ni según el Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM que indica que el límite es de 50 mg/L.

La Planta de tratamiento de aguas residuales industriales del efluente de la veta Nazareno ECH-2 actualmente emplea reactivos químicos como el cloruro férrico y el sulfato de aluminio para el proceso de coagulación. Según los resultados no manejan una dosis óptima del coagulante ya que no cumplen con lo exigido en la normatividad y en

ocasiones utilizan más coagulante del necesario, provocando tanto una sobredosificación en el agua como también una pérdida económica .

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera se lograría optimizar técnica y económicamente el tratamiento de las aguas residuales industriales ácidas y sólidos totales en suspensión del efluente generado en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa con el D.S. N°010-2010 – MINAM?

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

El agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible); además, la mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud, por lo tanto, debe garantizarse que el agua sea lo más libre de contaminantes posible.

Las aguas residuales deben ser sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los límites máximos permisibles según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente; así también cumplir con la responsabilidad social-ambiental donde no cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua, según las normatividad de los ECAS para la conservación del ambiente acuático.

## **Importancia**

El presente estudio de investigación se basa en la optimización del uso de insumos químicos del efluente de la veta Nazareno ECH-2 y reducir los costos de tratamiento en el área de recursos hídricos.

### **1.1.4. Objetivos de la investigación**

#### **1.1.4.1. Objetivo general**

Determinar la optimización técnica y económica del tratamiento de las aguas residuales industriales ácidas y sólidos totales en suspensión del efluente generada en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, provincia de Castilla a través de la aplicación de los insumos químicos hidróxido de calcio y sulfato de aluminio.

#### **1.1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la dosis óptima del hidróxido de calcio para nivelar el pH en el tratamiento de aguas residuales industriales del efluente de la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa.
- Precisar la dosis óptima de sulfato de aluminio para la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) a través de los resultados obtenidos del Test de jarras.
- Lograr con la aplicación de las dosis óptimas tanto hidróxido de calcio como sulfato de aluminio alcanzar los parámetros estipulados en el Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM

- Establecer a través de la comparación entre los métodos de la aplicación de la dosis óptima de hidróxido de calcio como sulfato de aluminio si alcanzan los parámetros estipulados en el Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM
- Reducir los costos operativos actuales que tiene el área de recursos hídricos en la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa en un 30 % con la aplicación del hidróxido de calcio como sulfato de aluminio.

#### **1.1.5. Hipótesis de la investigación**

Dado que si la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, llevada a cabo en la provincia de Castilla, desarrolla un tratamiento de aguas residuales que no alcanza los límites máximos permisibles que rige el Decreto Supremo N°010-2010–MINAM; es probable que con la aplicación de las dosis de hidróxido de calcio de 20 ppm nivele el potencial de hidrógeno (pH) para la optimización y dosificación del sulfato de aluminio 375 ppm y permita un buen tratamiento en el efluente de la veta Nazareno ECH-2 y al mismo tiempo una buena optimización económica en cuanto a los costos.

#### **1.1.6. Variables e indicadores**

##### **Variable Independiente**

Agua residual industrial minera

## Indicadores

- Dosificación del hidróxido de calcio
- Dosificación del sulfato de aluminio
- Tiempo

## Variable Dependiente

Tratamiento del efluente

## Indicadores

- pH
- SST
- Costos económicos de los insumos químicos

### 1.1.6.1. Operacionalización de las variables

Las variables a evaluar presentan indicadores medibles para el análisis e interpretación.

**Tabla 1**  
Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR
INDEPENDIENTE Agua residual industrial minera	- Determinación de la dosificación del hidróxido de calcio - Determinación de la dosificación del sulfato de aluminio - Tiempo de tratamiento
DEPENDIENTE Tratamiento del efluente	- Potencial de hidrógeno - Sólidos totales en suspensión Costos económicos de los elementos químicos

Fuente: Elaboración propia.

### **1.1.7. Tipo y nivel de investigación**

- a) **Tipo de investigación:** La investigación será del tipo descriptiva, explorativa y correlacional porque se escogerá dentro de las técnicas existentes para el tratamiento de efluentes mineros y se ajustarán los parámetros para encontrar las cantidades mínimas; pero efectivas de los productos químicos a emplear.
- b) **Nivel de la investigación:** El nivel será descriptivo, porque se va detallar el uso de insumos químicos que permita el tratamiento de los efluentes para adecuarlos a los límites máximos permisibles según el Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM (Anexo 11).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes teóricos de la investigación**

De acuerdo a la consulta de los antecedentes de la investigación, se ha dividido en tres tipos:

##### **Antecedentes internacionales**

Malacatus ( 2015), en su trabajo titulado: *“Evaluación de la eficiencia en base a la carga contaminante del sistema de tratamiento de aguas residuales de la extractora de aceite de palma Oleocastillo S.A”*, llevó a cabo su investigación en la zona ubicada en el recinto Las Golondrinas, sector Fruta de Pan, parroquia Malimpia, Cantón Quinindé de la Provincia de Esmeraldas. El objetivo fue evaluar la eficiencia en base a la carga contaminante del sistema de tratamiento de aguas

residuales, debido a que no se conoce su efectividad en la remoción de contaminantes. Para llevar a cabo la evaluación, se establecieron cinco puntos de muestreo dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales y se efectuaron tres mediciones en distintas fechas, efectuando un análisis de los parámetros: Demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos totales (ST) y nitrógeno total Kjeldahl (NTK), determinados a partir del análisis historial desde el año 2009-2014, de los resultados de laboratorio de las descargas del sistema de tratamiento de Oleo castillo S.A. La eficiencia de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales de Oleo castillo S.A., de los siguientes parámetros es: DQO 99,42%, DBO 99,45%, SST 96,22%, ST 93,10% y NTK 75,55%. De los resultados obtenidos, se concluye que el sistema de tratamiento de aguas residuales presenta una alta eficiencia de remoción de contaminantes.

### **Antecedentes nacionales<sup>1</sup>**

Mantilla, s/f. En su Tesis *“Participación en los estudios de línea base y controles ambientales en el proyecto minero minas conga”* presentado a la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental; llevaron a cabo su investigación en la mina de Conga donde establecieron sus objetivos:

---

<sup>1</sup> Malacatus, P, 2015 *Evaluación de la eficiencia en base a la carga contaminante del sistema de tratamiento de aguas residuales de la extractora de aceite de palma Oleocastillo S.A.* Recuperado el 11 de Febrero de 2017

Adquirir conocimiento teórico -científicos sobre los procedimientos y controles ambientales que se ejecutan en la etapa exploratoria de un proyecto minero sobre los requerimientos para establecer la Línea Base Ambiental.

Participar en el monitoreo de la calidad de agua y procesamiento de la data acorde con la Legislación Ambiental vigente.

Participar en el monitoreo de la calidad de aire, procesamiento de la data adquirida para el establecimiento de la Línea Base y poder compararlos con el Estándar de Calidad Ambiental.

Participar en el control de los procedimientos de apertura de accesos y plataformas para perforaciones geológicas de tal modo que estas se realicen teniendo en cuenta las medidas preventivas medioambientales.

Participar en el monitoreo continuo de aguas residuales y verificar el buen funcionamiento del proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Asimismo, desarrollaron una metodología de trabajo.

La toma de muestras fue llevada en forma diaria de cinco puntos dentro del campamento del proyecto estos fueron: captación de agua para consumo, antes del tratamiento de aguas residuales, después del tratamiento de las aguas residuales, antes del ingreso al ultra violeta y después del ultra violeta.

Las muestras se analizaron con ciertos parámetros: potencial de hidrógeno, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, demanda

bioquímica de oxígeno, sólidos totales en suspensión, metales totales, metales disueltos y análisis bacteriológico.

Estos estudios fueron realizados dos veces al año, en épocas de estiaje y lluvias en quebradas y lagunas que son influenciadas directa e indirectamente por el proyecto y lo realizaron consultoras extranjeras.

Midieron parámetros como potencial de hidrógeno, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, metales totales, metales disueltos; sacaron muestras de sedimentos, bentos; midió el flujo; utilizaron equipos para pescar y saber si existen poblaciones de peces: además se hizo un reconocimiento de la zona de muestreo (descripción del paisaje).

Evaluación de monitoreo de canales de riego: *“El muestreo se realizó en 18 canales de riego de las comunidades influenciadas por el proyecto, con la presencia de representantes del Ministerio de Agricultura y de las comunidades; esto se hizo mensualmente, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: pH, conductividad, temperatura, cianuro WAD, metales totales, sólidos disueltos y bacteriológicos”*.<sup>2</sup>

Méndez (2010), en su tesis: “Propuesta de un modelo socio-económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes” presentado en la

---

<sup>2</sup> Mantilla, S. &. (s/f). *PARTICIPACION EN LOS ESTUDIOS DE LINEA BASE Y CONTROLES AMBIENTALES EN EL PROYECTO MINEROMINAS CONGA*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de <https://es.slideshare.net/calanyagami/tesis-aguas-residuales>  
Mayo, E, octubre de 2010 *“Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30564/1/FernandezMayo.pdf>

Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Económica y Ciencias Sociales. En el desarrollo de su investigación, resolvió la problemática de la deficiencia del creciente en las fuentes de abastecimiento de agua inexistencia de plantas de tratamiento de aguas residuales; planteándose como objetivo general: Proponer un modelo socio- económico de decisión sobre el uso de las aguas residuales domésticas tratadas con fines productivos y de servicio.

Comprobó la hipótesis: La construcción y equipamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales son necesarios para mejorar la salud humana así como su entorno.

Llegando a una de las conclusiones que la salud humana se ve seriamente amenazada por la contaminación atmosférica; contaminación del agua por la presencia de sustancias químicas y tóxicas, así como por el deterioro de los recursos naturales y medio ambiente, cobrando vital importancia la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales. A ello debe añadirse, la utilización poco racional del recurso hídrico; pues los diversos sectores económicos no son eficientes en su uso.

### **Antecedentes locales**

Se ha buscado en las principales bibliotecas del área de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Agustín; así en la Universidad Católica de Santa María y Universidad Alas Peruanas -

Filial Arequipa , y no se encontró ningún tipo de investigación que guarde estrecha relación.

## **2.2. Marco legal**

- La Constitución Política del Perú de 1993
- Ley General del Ambiente (Ley N°28611). Recogen e incorporan la tutela del derecho fundamental de toda persona a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo pleno de sus capacidades vitales, así como el deber del Estado y de todos sus ciudadanos de promover una gestión ambiental efectiva que comprenda la salud de las personas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, entre otros aspectos.
- Ley General del Ambiente (Ley N°28611) y sus respectivas modificatorias (D.L. N°1055)
- Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338)
- *Reglamento de Recursos Hídricos (D.S. N°001-2010-AG).*<sup>3</sup>

### **Marco legal sectorial**

- Aprobar el protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial, que forma parte integrante de la presente resolución (R.J. N° 182-2011-ANA).

---

<sup>3</sup> La Normatividad se ha extraído del documento del Ministerio de Energía y Minas, Lima, 2007

- Aprobación del nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúsos de aguas residuales tratadas (R.J. N° 224-2013-ANA).
- La Autoridad nacional del agua autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marítima sobre la base del cumplimiento de los ECA-agua y los LMP. Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización (Art.79 de la Ley 29338).
- Simplificación del texto único de procedimientos administrativos de la autoridad nacional del agua - ANA (R.M.N°0186-2015-MINAGRI).
- Clasificación de los cuerpos de agua superficiales y marinos costeros (R.J. N° 0202-2010-ANA)
- Aprobar el "protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales", que forma parte integrante de la presente resolución (R.J. N° 010-2016-ANA)
- Aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento residuales domésticas o municipales (Decreto supremo N°003-2010-MINAM).
- Disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para el agua (D.S. N°023-2009-MINAM).<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Documento Normativo de la reglamentación del control de Aguas, Ministerio de Energía y Ministerio de Agricultura, Lima, 2015

## **Marco legal aplicado al sector minero**

- Ley general de minería (D.L. N°109)
- Reglamento de protección ambiental de las actividades minero metalúrgicas (D.S. N°016-93-EM) y sus modificaciones (D.S. N°058-99-EM y D.S. N°055'99'EM).
- Términos de referencia conforme a los cuales se elaborara el plan de implementación para el cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, así como el procedimiento de evaluación de dicho plan ( R.M. N°030-2011-MEM/DM).
- Estándares nacionales de calidad ambiental para agua (D.S. N° 002-2008-MINAM)
- Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (D.S. N°010-2010-MINAM)
- Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicas al ECA para el agua y LMP para las descargas de efluentes líquido de actividades minero metalúrgicas.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> D.S. N° 010-2011-MINAM

## 2.3. Base teórica

### 2.3.1. Definición de agua residual

Mara y Mendosa nos dice: *“Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias...”* Mara (1976).<sup>6</sup>

Según su origen, las aguas residuales *“(...) resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual”* Mandona, 1987, citado por Blasquez (2010).<sup>7</sup> En otras palabras, consideramos que las aguas residuales son los desprendimientos de aquellas aguas que han sido tratadas en las diferentes actividades, de las cuales se encuentran contaminadas, ya que anteriormente se les arrojaba, pero debido a que la tecnología del tratamiento de las aguas, ha revolucionado, donde ingresa a una etapa de reciclaje y vuelve a su estado normal, para el consumo. Naturalmente, hay la existencia de una serie de procedimientos fisicoquímicos, sometidos a los análisis respectivos

---

<sup>6</sup> Mara, J, 1976 Estudio de las Aguas Residuales. Editorial Sopena. S.A. Barcelona. Pág. 33

<sup>7</sup> Blázquez, P. 12 de octubre de 2010. *Reutilización de agua de la Bahía*. Obtenido de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua\\_reutilizacion.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua_reutilizacion.pdf) pág. 45

### **2.3.2. Características fisicoquímicas del agua**

El agua como elemento vital para el sostenimiento del desarrollo de la vida humana y de los demás seres, como también en el desarrollo sostenible del proceso productivo, en que las empresas hacen uso de un tipo de agua, esta a su vez presenta, una composición fisicoquímica que se diferencia, por el uso. Adelantándose que los tipos de agua están destinadas a la actividad industrial, agrícola y humana

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico, define su composición física y química. Aunque solamente alrededor del 2% del agua de consumo público se destina a uso de boca, el consumidor es cada vez más exigente en relación al olor y sabor del agua que recibe. Estas dos características, junto con el color y la turbidez (parámetros organolépticos), son los únicos que el consumidor puede apreciar por sí mismo y cualquier cambio que percibe tiende a asociarlo a algún riesgo sanitario. *“Es por ello que el tema de los gustos y olores en las aguas, sean crudas o tratadas, es un tema de interés creciente para las compañías suministradoras de agua potable y para todas aquellas organizaciones involucradas en el ciclo del agua”* Arboleda (2000).<sup>8</sup>

### **2.3.3. Agua tratada**

Producto líquido que se obtiene al someter el agua de cualquier sistema de abastecimiento a los tratamientos físicos y químicos

---

<sup>8</sup> Arboleda, J, 2000 *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Cali: Tercera edición.

necesarios para su purificación. Es decir Las aguas residuales están constituidas fundamentalmente por las aguas de abastecimiento después de haber pasado por las diversas actividades o usos por parte de la población y son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales.

Esto puede ser tratado dentro del sitio en el cual es generado o recogido y llevado mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento local. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales de las descargas están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones, controles, normatividades).

Cuando hablamos de recursos industriales de aguas residuales o de procesos que exigen una mayor limpieza del efluente al momento de descargarlo, decimos que requieren tratamientos minuciosos con una tecnología alta (lo cual significan mayores costos de inversión y mantenimiento), es por esto que se hace alusión a la normatividad, todo esto acorde al lugar donde se hará la descarga del líquido. *“Si estas aguas no se manejan adecuadamente, generan impactos ambientales adversos y diversos en el medio y por esto es que es muy importante cumplir con las exigencias de la normatividad. Es por ello que son necesarias las plantas de tratamiento para mejorar la calidad de vida de*

*la población además de poder darle una reutilización al agua para actividades básicas del ser humano” Mayo,E. (2010).<sup>9</sup>*

Pero esto sumamos, que el agua tratada debe ser sometida por una serie de mecanismos de control de calidad, de tratar de encontrar los puntos de equilibrio de un valor de la acidez, como también si los componentes hasta qué grado son permisibles para un determinado uso, no dejando de lado, el costo económico.

A manera de síntesis, estas aguas residuales están sometidas a un determinado tratamiento donde las aguas residuales deben neutralizarse para ajustar su valor de pH. Solo mediante este proceso podrán cumplir los requisitos de las distintas unidades de proceso que conforman los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La neutralización puede utilizarse para el tratamiento de las aguas residuales ácidas que contienen metales. *“La incorporación de un reactivo alcalino aumenta el pH de los residuos ácidos. Esto forma un precipitado que recoge los metales no deseados. El resultado es una solución inicial cuyo pH se ha ajustado dentro de un rango óptimo para precipitar los metales como hidróxidos” Neutralac (s/f).<sup>10</sup>*

---

<sup>9</sup> Mayo, E, Octubre 2010 *“Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30564/1/FernandezMayo.pdf> pág. 456

<sup>10</sup> Neutralac (s/f). *Aguas residuales y lodos*. Recuperado el 2 de Marzo de 2017, de <http://www.lhoist.com/es/market-segment/aguas-residuales-y-lodos> pág. 232

### 2.3.4. Determinación del hidróxido de calcio

La cal “es hidróxido de calcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , cuya masa molar es de 74.093 g/mol. Tradicionalmente, se denomina cal muerta o hidratada, y se obtiene cuando el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ , cal viva) se mezcla o apaga con agua. Es una fuente económica y ampliamente disponible de calcio y alcalinidad; y es el material principal en los fluidos con base de cal...” Weatherford (2012 ).<sup>11</sup>

#### a. Propiedades del hidróxido de calcio

Este compuesto químico posee las propiedades físicas y químicas que a manera de ilustración daremos a conocer a través de la siguiente tabla:

**Tabla 2**  
**Propiedades del hidróxido de calcio**

Estado Físico	: Sólido
Color:	: Blanco en forma de polvo o cristalino
Olor	: Inodoro
Punto de fusión	: - 273,15 °C
Punto de ebullición	: - 273,15 °C
Densidad	: 2,211 g/cm <sup>3</sup>
Densidad relativa al agua	: 0,185g/100cm <sup>3</sup>
Peso Molecular	: 74,093g/mol

Fuente: Ficha de datos de seguridad del hidróxido de calcio recuperado [http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds.-labqca-dianahermith/Ca\(OH\)2.pdf](http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds.-labqca-dianahermith/Ca(OH)2.pdf)

<sup>11</sup> Weatherford, 2012 *Hidróxido de calcio*. Recuperado el 2 de Marzo de 2017, de <http://www.weatherford.com/doc/wft126353>

A través de esta tabla podemos apreciar la importancia de las propiedades del hidróxido de calcio en el cual al aplicarse a una determinada situación dará un efecto positivo o negativo, en el cual se pretende en este caso, el potencial de hidrógeno de la acidez del agua; si está en condiciones de ser adaptable al consumo humano, caso contrario, rechazarlo.

De otro lado, es conveniente tener conocimiento de la aplicación del hidróxido de calcio en el cual cumple con la purificación de las aguas residuales. Según los estudios químicos, nos dan una visión del efecto.

### **Ablandamiento químico**

Consiste en la adición de sustancias al agua que reaccionan con los iones calcio y magnesio, transformándolos en compuestos insolubles, que son separados del agua por procedimientos físicos convencionales (decantación y filtración)

Existen varios procedimientos para realizar el ablandamiento del agua:

- Cal
- Carbonato sódico y cal.
- Soda cáustica (hidróxido de sodio).

La cal a utilizarse normalmente es en su forma hidratada o lechada; tener alta pureza, muy bajo sílice, de preferencia micronizada y altamente reactiva en términos de un coeficiente conocido en química como actividad.

La cal hidratada también *“se emplea para remover otras impurezas, especialmente manganeso, fluoruros, hierro y taninos*

*orgánicos los cuales causan olores indeseables. Generalmente, la suavización con cal eliminará 80-90% del color y el resto desaparecerá con la utilización de carbón activado...” Calidra (2002).*<sup>12</sup>

Tipos de floculantes más utilizados:

- Cloruro férrico.
  - Sulfato de aluminio.
  - Cal hidratada de alto calcio en lechada.
  - Cal hidratada o viva, micronizadas, alimentadas por inyección.
- Polímeros anicónicos y catiónicos.

Nos interesa en este producto que la cal, cuyas características a resaltar son las siguientes:

- Muy pequeño tamaño de partícula.
- Muy baja dispersión dentro del rango del tamaño de partícula.
- No importa que se trate de cales fuera de la especificación de “grado alimenticio”.
- De la más alta pureza, es muy deseable.
- Muy bajo contenido de sílice.

Por otro lado, debemos resaltar que este insumo (cal hidratada) es un coagulante muy económico y da muy buenos resultados; trabajándolo a pH alcalinos entre 9 – 11.

Algunas de las ventajas que se tienen con respecto a otros coagulantes de este tipo, es su capacidad de precipitar metales pesados

---

<sup>12</sup> Calidra, G, 2000 *Manual de usos ecológicos de la cal*; Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://www.foccal.org/portal/sites/default/files/archivos/articulos/Tratamiento%20AGUAS-CAL.pdf> pág. 281

(arsénico, cadmio, zinc, entre otros) que se encuentran en solución. El hidróxido de calcio es muy utilizado como coagulante ya que es eficaz con otros floculantes que trabajan a pH alcalinos.

Otro beneficio del uso de este producto es su propiedad de eliminar olores, ya que también reacciona con materia orgánica y microorganismos. *“La cal reacciona con sales de calcio y magnesio precipitándolas para evitar incrustaciones en tuberías o equipos de transferencia de calor. La cal dolomítica (Ca OH+ Mg OH) puede ser usada para precipitar silicatos en el agua evitando incrustaciones...”*Calidra (2002)<sup>13</sup>

### **Tratamiento primario**

En algunas plantas de tratamiento, el agua de drenaje cruda se trata inmediatamente con cal hidratada (hidróxido de calcio) a un pH >12 para facilitar la sedimentación primaria de materia orgánica y sólidos disueltos (esto es similar al tratamiento de suavización en el agua potable y es también efectivo en la remoción de fosfatos).

Este proceso produce un alto volumen de lodo primario. El agua residual clarificada se aérea para ajustar el pH a 7-8 y a continuación se lleva a efecto el tratamiento biológico antes mencionado. Precisamente en un estudio efectuado por la EPA en la Cd. de San Antonio, Texas se introdujo óxido de calcio como tratamiento primario encontrándose que

---

<sup>13</sup> Calidra, G, 2002 *Op cit* ; Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://www.foccal.org/portal/sites/default/files/archivos/articulos/Tratamiento%20AGUAS-CAL.pdf> pág. 281

es excelente para eliminar virus y disminuir la carga orgánica para el tratamiento secundario.

### **Tratamiento secundario**

Involucra diferentes formas de remoción de materia orgánica y nitrogenada, después el efluente es desinfectado y descargado. Las dos corrientes de lodo primario y secundario (3-4% sólidos) se mezclan y acondicionan con polímeros o sales férricas y cal hidratada para remover el agua por filtración.

El acondicionamiento involucra el tratamiento biológico, químico y/o físico a un flujo de lodos para mejorar la remoción del agua. Es un proceso de dos fases, las cuales consisten en su desestabilización y floculación. La secuencia óptima para añadir el acondicionador se determina por prueba y error cuando se emplean dos o más de ellos.

Por ejemplo, cuando se emplean cloruro férrico y cal hidratada; el Fe Cl es el que se añade primero y al hidrolizarse en el agua, forma iones de hierro soluble y complejos que neutralizan los sólidos negativamente cargados del lodo que forman agregados. *“La cal hidratada se emplea conjuntamente; proporciona control de pH, reducción de olores y desinfección. El carbonato de calcio que se forma de la reacción del hidróxido de calcio y bicarbonato, proporciona una estructura granular que incrementa la porosidad del lodo lo que permite tener un mejor desaguado en el proceso de filtrado. La dosificación varía grandemente según el proceso utilizado en el tratamiento y así en el caso de la cal hidratada o hidróxido de calcio puede ir desde 70 hasta 250*

*kilogramos por tonelada de sólidos contenidos en los lodos. La torta del filtro resultante (25-30% sólidos) se aplica en terrenos agrícolas o en rellenos sanitarios...” Calidra, G. (2002)<sup>14</sup>*

### **Tratamiento terciario**

Está relacionado con la medida de la legislación ambiental que se vuelve más rígida en cuanto a la descarga de aguas tratadas. El objetivo disminuir el nitrógeno y fósforo así como algunos virus. Se han desarrollado otros procesos terciarios en los cuales tiene aplicación la cal hidratada. Tenemos entre otros, la remoción de fósforo y fosfatos en donde se emplea cal, sulfato de aluminio o sales de hierro, obteniéndose una eliminación de fósforo del 95 al 98% con la ventaja de remover también sólidos suspendidos, materia orgánica, reducir el contenido de organismos coliformes y de virus así como de metales pesados. Otro proceso empleado es la desorción de amoníaco que consiste en elevar el pH del agua a un nivel tal que todo el nitrógeno amoniacal presente en el agua se convierta en amoníaco, el cual se disipa a la atmósfera.

Este proceso resulta muy efectivo en climas cálidos y cuando se utiliza después de un proceso de coagulación con cal hidratada su costo es muy bajo.

---

<sup>14</sup> Calidra, G, 2002 *Op cit* ; Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://www.foccal.org/portal/sites/default/files/archivos/articulos/Tratamiento%20AGUAS-CAL.pdf> pág. 283

## Control de olores

Las plantas de tratamiento están plagadas de olores ofensivos, mayormente sulfuro de hidrógeno; el cual también puede causar corrosión en las tuberías. Se pueden controlar estos olores manteniendo el pH de tal forma que los sulfuros permanezcan en solución y no escapen como gas. Esto también previene la corrosión. Aquí se puede emplear cal hidratada en suspensión, así lo determina este autor Calidra( 2002).<sup>15</sup>

Pero, en el caso de tratarse de las aguas residuales de orden industrial en este caso específico de tratamiento de aguas residuales de una determinada industria conlleva un estudio a fondo del proceso o procesos productivos involucrados, así como de las corrientes de efluentes generados, ya que se puede optar por hacer tratamientos determinados para cada corriente o sólo uno de la descarga general, de modo de satisfacer los requerimientos establecidos.

Al diseñar un sistema de tratamiento de agua se debe de tomar en *“cuenta el que las plantas que utilizan cal hidratada para suavizar o purificar junto con otros coagulantes tienen generalmente suficiente hidróxido de calcio en sus sistemas para automáticamente precipitar radioactividad y metales de una fuente contaminada; cumpliendo así con los requisitos normativos sin más complicaciones. De esta manera es*

---

<sup>15</sup> Ibídem

*preciso darle a la versatilidad del hidróxido de calcio la importancia que tiene en el contexto general de sistema...” Calidra (2002).<sup>16</sup>*

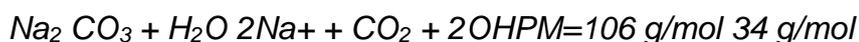
Asimismo, la cal hidratada es muy conocida en el uso de la suavización de agua y en el tratamiento de lodos. Además de estas dos aplicaciones, la cal hidratada también puede ser utilizada en el tratamiento de aguas industriales y soluciones contaminadas inorgánicas peligrosas. En el tratamiento de lodos, normalmente se separa una parte líquida libre de sólidos que según estudios realizados en algunos casos puede presentar ciertos metales pesados, sobretodo en un medio ácido y en concentraciones máximas

El tratamiento de contaminantes orgánicos y radionúclidos llevan un proceso de tratamiento como sigue: Neutralización, precipitación. La cal hidratada o hidróxido de calcio en este tipo de procesos es recomendable, ya que el catión Ca es ambientalmente seguro y las sales que forman al reaccionar en este tipo de aguas son insolubles causando precipitación de las mismas.

Otra de las ventajas del uso de cal hidratada es su bajo costo con respecto a la mayoría de los álcalis que hay en el mercado.

### **Neutralización**

Rodríguez del Valle, R (2012), nos dice *“El poder neutralizante es otro factor a favor de la cal hidratada ya que varía por la presencia de iones OH- de la siguiente manera:*



---

<sup>16</sup> Loc cit

$Na OH + H_2O Na+ +OHPM=40 \text{ g/mol } 17 \text{ g/mol}$

$CaO + H_2O Ca^{++} +2OHPM=56 \text{ g/mol } 34 \text{ g/mol}$

$Ca (OH)_2 + H_2O Ca^{++} +2OHPM=74 \text{ g/mol}^{17}$

## **Precipitación**

En la precipitación, se realizan dos procesos que son la coagulación y la floculación que se definen:

### **Coagulación**

Es el proceso mediante el cual las partículas suspendidas o en solución son desestabilizadas, favoreciendo el acercamiento entre las mismas.

### **Floculación**

Es el mecanismo por el cual las partículas desestabilizadas se van uniendo hasta formar partículas o aglomerados lo suficientemente grandes para precipitarse.

En estos procesos, los factores que pueden afectarse son:

### **Temperatura**

A medida que la temperatura sea menor, el proceso se hace más lento.

### **Agitación**

Una agitación excesiva puede romper los flóculos evitando la separación de los contaminantes del agua.

---

<sup>17</sup> Rodríguez del Valle, R, 2012 Química Analítica. Sopena Salvat. Barcelona. Pág. 34

## Potencial de hidrógeno

Cada coagulante logra realizar su función de manera adecuada a diferente valor de pH. Si se trabaja a un valor erróneo, los resultados no serán tan eficientes y el consumo del mismo puede incrementarse.

## Concentración del coagulante

Una vez que se conoce el valor de pH adecuado, se debe buscar la concentración a la que el coagulante logra la mayor cantidad de lodos.

Esto debido a que si se adiciona una cantidad menor o mayor del mismo, los resultados no van a ser los mejores.

### 2.3.5. Determinación del sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es una sal inorgánica, manufacturada a partir de una fuente de aluminio (hidróxido de aluminio, bauxita, etc.) y ácido sulfúrico, debidamente clasificado por proceso granulométrico.

*“Corresponde a un hidrato con 14 moles de agua y su fórmula general  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ . Cuando está en solución se disocia en cationes y aniones, donde el catión  $Al^{+3}$  finalmente se hidroliza formando una estructura tetraédrica con las moléculas del agua, el cual facilita el proceso físico-químico de la coagulación y posterior floculación de las partículas coloidales...”* Aquaquimi (2004).<sup>18</sup>

El sulfato de aluminio es más utilizado para el tratamiento del agua.

---

<sup>18</sup> Aquaquimi, 2004 *HOJA TECNICA*. Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.aquaquimi.com/PDF/hoja%20tecnica/hoja%20tecnica%20sulfato%20aluminio.pdf> pág. 29

Fórmula química:  $Al_2 (SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

Se puede presentar de tres formas:

Blanco: llamado también libre de fierro. Es el más costoso debido a que posee una característica que no es indispensable (libre de fierro).

Amarillo: es el más común y económico. Se produce mediante la reacción del ácido sulfúrico comercial con la bauxita pulverizada.

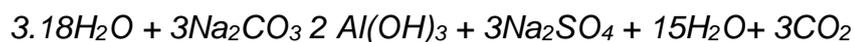
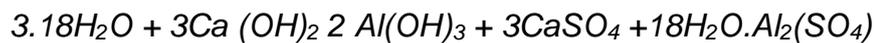
Negro: mezcla homogénea de sulfato de aluminio (blanco o amarillo) con 2 a 5% de carbón activo. Se utiliza para el control del sabor y olor. La coagulación con hidróxido de aluminio  $Al (OH)_3$  se realiza en la zona de pH entre 5,0 y 8,0 por la reacción del sulfato con la alcalinidad natural o cuando se añade al agua.

Teóricamente, las reacciones son las siguientes:

*Con la alcalinidad natural:  $Al_2 (SO_4)_3$*



*Con la alcalinidad agregada:  $Al_2 (SO_4)_3$*



*. Sulfato doble de aluminio y amonio*

*$Al_2 (SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$ , llamado también alumbre de amonio.*

*• Alumbre de sodio:  $Na_2O \cdot Al_2O_3$ , llamado también alumbre de soda.<sup>19</sup>*

En cuanto a su aplicación por la alta carga del catión  $Al^{+3}$  que tiene el sulfato de aluminio, se emplea como coagulante y floculante en la

---

<sup>19</sup> Aquaquimi, 2004 *Op. cit* Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.aquaquimi.com/PDF/hoja%20tecnica/hoja%20tecnica%20sulfato%20aluminio.pdf> pág. 32

mayoría de los procesos hidrodinámicos de separación de sólidos, en especial de las partículas coloidales.

En el tratamiento de agua para consumo humano “es el *principal coagulante/floculante, aprobado por normas internacionales ANSI/ AWWA B 403-93 y Norma Técnica Peruana NTP 311.095- 1999. Otros campos de aplicación de este producto es en la industria de bebidas y gaseosas, tratamiento de agua residual, agente encolante para papeles y cartones, fabricación del carmín, astringente en desodorantes, agente de encurtido en la industria peletera, acelerante de fraguado en la industria de la construcción...*” Aquaquimi (2004).<sup>20</sup>

#### **2.3.6. Test de jarras**

El Test de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. El Test de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

Los procedimientos del Test de jarras incluyen los siguientes pasos:

---

1. *“Llenar los recipientes de prueba de los frascos del aparato con la muestra de agua. Un contenedor se utilizará como control mientras que los otros cinco contenedores se puede ajustar dependiendo de qué condiciones se encuentran en evaluación. Por ejemplo, el pH de los frascos se puede ajustar o variar las dosis de coagulante que se pueden agregar o determinar las condiciones óptimas de funcionamiento.*
2. *Añadir el coagulante a cada contenedor y agitar aproximadamente 100 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante en cada contenedor.*
3. *Es importante reducir la velocidad de agitación de 25 a 35 rpm y continúe batiendo por 15 a 20 minutos. Esta velocidad más lenta de mezcla ayuda a promover la formación de flóculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a grandes flóculos. Estas velocidades son lo suficientemente lentos como para evitar Sheering del flóculo debido a la turbulencia causada por la agitación de ayunar<sup>21</sup>.*
4. *Apagar los mezcladores y permitir que los frascos llenados con la muestra de prueba y las dosis del coagulante reposen por 30 a 45 minutos. A continuación, medir la turbidez final en cada contenedor. La turbidez final se puede evaluar más o menos a simple vista o con más precisión usando un nefelómetro.*

---

<sup>21</sup> Rodríguez del Valle, R, 2012 Op cit . Sopena Salvat. Barcelona. Pág. 36

Por otro lado, debemos tener presente sobre las teorías del tratamiento de aguas. Una parte importante del tratamiento del agua está relacionada con la eliminación de diferentes sustancias solidas que se pueden encontrar en ella en suspensión; evitando así inconvenientes como obstrucción de tuberías, abrasión de equipos de tratamiento, desgaste de materiales, así como pérdida de calidad del agua. El tratamiento del agua puede subdividirse en cuatro etapas: clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y acondicionamiento organoléptico. A continuación se pretende explicar la etapa de clarificación, que consiste en la eliminación de partículas finas a través de la coagulación y floculación.

## **CLARIFICACIÓN**

Variables que influyen:

- Turbidez: Cantidad y densidad del lodo.
- Color: Cantidad de coagulante y floculante.
- Alcalinidad y pH: coagulación y floculación
- Temperatura

## **TURBIDEZ**

Se entiende por turbiedad a la propiedad óptica de una muestra de diseminar y absorber la luz en lugar de transmitirla en línea recta. La turbidez puede ser causada por la variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño desde distenciones coloidales hasta partículas gruesas.

## **COLOR**

El color del agua se debe principalmente a materia orgánica o minerales en suspensión o en estado coloidal. Las causas más comunes del color en el agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en suspensión.

## **COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN**

Las prácticas de coagulación y floculación son tratamientos previos esenciales para muchos sistemas de purificación de agua.

En el proceso convencional de coagulación-floculación-sedimentación, se añade un coagulante al agua fuente para crear una atracción entre las partículas en suspensión. La mezcla se agita lentamente para inducir la agrupación de partículas entre sí para formar "flóculos". El agua se traslada entonces a un depósito tranquilo de sedimentación para sedimentar los sólidos.

Los sistemas de flotación de aire disuelto agregan también un coagulante para flocular las partículas en suspensión; pero en vez de usar la sedimentación, burbujas de aire presurizado las empujan hacia la superficie del agua desde donde se pueden extraer.

Se ha desarrollado un sistema de floculación-cloración como tecnología de punto de uso, especialmente para países en vías de desarrollo. Éste usa paquetes pequeños de productos químicos y

equipos sencillos como cubetas y un filtro de paño para purificar el agua.

Finalmente, el ablandamiento de cal es una tecnología utilizada por lo general para “ablandar” el agua es decir, eliminar las sales minerales de calcio y magnesio. En este caso, el material que se decanta no es el sedimento en suspensión sino las sales disueltas.

## **MECANISMO DE LA COAGULACIÓN**

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

## **COLOIDES**

*“Son sólidos finamente divididos que no se sedimentan por simple acción de gravedad con un tamaño de 1/100 nm. Mineral: Arcillas, siliconas, hidróxidos y sales metálicas.*

*•Orgánicos: Ácidos húmicos, color, surfactantes” .<sup>22</sup>*

### **Propiedades de los coloides**

1. Movimiento browniano

---

<sup>22</sup> Rodríguez del Valle, R, 2012 Ob cit . Sopena Salvat. Barcelona. Págs. 35,37,38

El movimiento browniano es el movimiento aleatorio que se observa en las partículas que se hallan en un medio fluido (líquido o gas), como resultado de choques contra las moléculas de dicho fluido.

## 2. Tipos de coloides

### Coloides/hidrofílicos

Reaccionan espontáneamente en el agua y forman suspensiones y estos reaccionan con los coagulantes y la estabilidad la mantiene por hidratación, pues las moléculas de agua son atraídas a la superficie de las partículas y actúan como barrera para el contacto entre ellas.

### Coloides hidrofóbicos

No reaccionan con el agua y su coagulación se logra predominantemente por reacciones físicas. Su estabilidad es por medio de un fenómeno eléctrico, explicando la teoría de doble capa, esto es la existencia de una carga opuesta envolvente de dicha superficie. Son transportadas por la carga eléctrica en su superficie y esta carga es negativa. El grado de estabilidad es determinado por el potencial zeta.

### **Características**

Se caracterizan por tener dos capas eléctricas alrededor de ellas. En su capa interna contiene los cationes y aniones en carga negativa. En

esto depende la atracción y repulsión que actúan sobre ellos para su estabilidad

### **Teoría de coagulación**

Consiste en alterar las superficies de las partículas de tal modo que les permita adherirse a cada una de las demás. Pueden crecer y alcanzar un tamaño que permitirá su desecho mediante filtración o sedimentación.

### **Objetivo de la coagulación**

El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos

### **Modelos de coagulación**

#### **Ortocinético**

El cual es promovido por agitación externa principalmente. Influyen partículas de tamaño superior al micrón y tiene relación con los gradientes de velocidad del líquido

#### **Pericinético**

Se diferencia del primero en que su fuente de agitación es interna. Importarán el movimiento browniano y la sedimentación su efecto es principalmente sobre las partículas de tamaño inferior a 1 micrón.

## **Modelo químico de coagulación**

La carga de las partículas coloidales se produce por la ionización de los grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie de los coloides. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes lo que genera la posterior precipitación. Así la desestabilización de los sistemas coloidales se ve mejor bajo el punto de vista químico.

## **Reacción**

En la coagulación, los colides hidrofílicos reaccionan químicamente con el agua y con los coagulantes. Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua y con su coagulación se logra predominantemente por reacciones físicas y no químicas.

## **Coagulantes**

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.

- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

### **Sulfato de aluminio**

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian y pueden combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal reduciendo su potencial zeta

### **Sulfato ferroso**

*“El sulfato ferroso se usa para purificación de agua por floculación y para eliminar fosfatos en las plantas de depuración municipal e industrial para prevenir la eutrofización de masas de agua superficiales su presentación es en forma líquida y en polvo”.<sup>23</sup>*

### **Ayudas de coagulación**

Las ayudas para la coagulación son generalmente sustancias químicas agregadas para optimizar y formar floc más fuerte y sedimentable, superar caídas de temperatura que retardan la coagulación.

---

<sup>23</sup> Rodríguez del Valle, R, 2012 .Ob cit . Sopena Salvat . Barcelona. Pág. 42

### **Sílice activada**

Aumenta la tasa de coagulación, reduce el alumbre y amplía el intervalo de pH efectivo, hace el floc más denso, mejorando la remoción de color, se agrega antes que el coagulante.

### **Polielectrolitos**

Son compuestos orgánicos sintéticos se clasifican en: Cationicos que al disolverse producen iones de carga positiva puede tomarse como coagulante primario o puede acompañarse con alumbre. Anionicos: son polímeros que al disolverse producen carga negativa y por tanto se usan para remover sólidos con carga positiva acompañados con un coagulantes de hierro. No iónicos: al disolverse producen iones como negativos y positivos se utilizan en dosis grandes. Agentes lastradores: forman partículas adicionales que promueven la formación de floc, son usados para tratar aguas de color alto, baja turbidez y bajo contenido mineral. Dosis de ayudantes coagulantes PH para la coagulación.

El pH afecta la el proceso de coagulación al alterar la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y aluminio. Las pruebas de Jarras son simulaciones en el laboratorio, de las operaciones de coagulación-floculación-decantación que se realiza en las plantas de tratamiento y purificación de aguas.

## **Test de jarras**

Prueba de laboratorio con diferentes dosis químicas, mezcla a velocidad, tiempo de asentamiento, para estimar el mínimo o la dosis ideal de coagulante requería para alcanzar los objetivos de calidad en un agua.

## **Equipo adicional**

Cronómetro para controlar el tiempo de duración de las diferentes etapas. Turbidímetro, un colorímetro, un pH-metro, un termómetro, bureta, reactivos y soluciones para medir la alcalinidad.

## **Aplicación del Test de jarras**

Este procedimiento busca en señalar la determinación de los agentes floculantes para lograr la sedimentación y el tipo de coagulación más efectivo para el diseño de mezclas para el tratamiento de agua potable. *“Para optimizar la adición de coagulantes y poli electrolitos para el tratamiento de aguas residuales y potables. Determinación del pH óptimo de coagulación. Evaluación de la dosis óptima de coagulante Determinación del orden más efectivo de adición de productos químicos. Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa”.*<sup>24</sup>

La Aplicación en una planta de tratamiento manual de funcionamiento.

---

<sup>24</sup> Kritmar, C. (s/f). *Test de jarras*. México: Siglo XX. Pág. 32

Se ve afectado por: Tiempo y velocidad de agitación durante la coagulación y floculación, y tiempo de sedimentación. La cantidad de agente coagulante o floculante agregados. A la cantidad de agua que contenga sólidos suspendidos. La dosificación de químicos se realice de manera rápida, y en lo posible, simultánea a cada jarra. Errores de por parte de quien realiza la práctica. Describir el proceso de utilización apropiada del equipo Test de Jarras Marca PHIPPS-BIRD modelo 7790-400 para la medición de la floculación, coagulación en muestras de aguas contaminadas.

### **Instrucciones de uso**

Revise cuidadosamente las condiciones en las que recibe el equipo. *“Conecte a la red de corriente eléctrica, a 110 voltios AC los cables de la luz y del motor. Encienda la luz del equipo con el interruptor y motor girando el botón hacia la derecha. Suba los agitadores mecánicos y asegúrelos con el tornillo respectivo. Encienda el instrumento con 15 minutos de anticipación. Mida como mínimo 6000 ml de agua en cada una de las 6 jarras. Baje con cuidado los agitadores mecánicos cuidando que las paletas estén a 6.4 cm del fondo del vaso. Registrar la temperatura, el pH, el color, olor, alcalinidad, dureza, turbidez y la concentración de oxígeno disuelto en la muestra antes de comenzar la determinación. Prepare el agente floculante. Accione el interruptor del modo LOW al modo HI. Agitar la muestra durante un minuto a una velocidad de 120 RPM. Ajuste la velocidad de agitación girando hacia la*

*derecha el botón. Visualice este valor en la pantalla. Agregar al mismo tiempo a cada jarra la solución del coagulante y agite por un minuto a 120 RPM. Reduzca la velocidad de agitación a 40RPM y mezclar lentamente por un espacio de 15 a 20 minutos hasta la formación de flóculos. Pasados los 20 minutos, apague la agitación y el motor. Suba rápidamente las paletas, se observa la sedimentación. Deje sedimentar por 20 minutos y registrar el tiempo de mezcla”.*<sup>25</sup>

Con una pipeta sacar de la jarra un volumen adecuado de mezcla de caldo en la mitad de la profundidad de la mezcla para efectuar nuevamente los análisis de color, pH, turbidez, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto. Apague la luz del equipo con el botón. Desocupe las jarras y lávelas con jabón y abundante agua. Lave los agitadores mecánicos usando un frasco lavador. Diligenciar el formato de Control de uso del equipo.

### Teoría de floculación

Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas (coagulante), se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua. Neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. Facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso se suele hablar de los procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan la retirada de

---

<sup>25</sup> Kritmar, C. (s/f). *Test de jarras*. México: Siglo XX. Pág. 34,37

las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales. Consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flocos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar con facilidad. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flocos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerzas óptimas.

Los floculantes, llamados también coadyuvantes de floculación, son productos destinados a favorecer el proceso de floculación es decir, la formación de un floculo voluminoso, pesado; la acción puede ejercerse al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del floculo.

En muchos casos, los floculantes vienen a resolver problemas importantes, tales como flocos pequeños, de sedimentación lenta, formados durante la coagulación a baja temperatura o flocos frágiles que se fragmentan al someterse a las fuerzas hidráulicas en los estanques. Floculantes Minerales: Sílice activada que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de ser utilizado y los “agentes adsorbentes - ponderantes” (arcillas, carbonato cálcico, carbón activo, tierra de diatomeas) Sílice activa Se obtiene a partir del silicato sódico ( $\text{Na}_2 \text{SiO}_3$ ) disolución, a la cual se le neutraliza con ácido.

Hasta el descubrimiento de los polielectrolitos, la sílice activada era un floculante muy utilizado, pero hoy se utiliza con poca frecuencia.

Floculantes Orgánicos Naturales: Polímeros naturales obtenidos por sustancias animales y vegetales (polielectrolitos) Los polielectrolitos son naturales orgánicos tales como el almidón, compuestos de celulosa, materiales proteínicos, gomas de polisacáridos y los alginatos, son eficaces coadyuvantes de floculación; sus características principales son la de ser bicoides, cargados eléctricamente y tener una larga cadena molecular de átomos de carbono y gran masa molar.

Orgánicos de Síntesis: Macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por monómeros sintéticos.

Tipos de floculación La floculación puede presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y percinética, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas.

### **Floculacion percinética**

Movimiento natural de las moléculas de agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

### **Floculacion ortocinética**

Se basa en las colisiones de partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos para que esto suceda primero se da

la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética. La diferencia básica entre coagulante y floculante reside en que el coagulante anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, iniciando la formación de microfloculos.

En cambio el floculante engloba estos microfloculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimenten más fácil y rápidamente. Aluminio de sodio: formula  $\text{Na AlO}_2$  presentación en forma líquida y en polvo El sulfato férrico: se presenta en forma cristalina. Es altamente usado en tratamiento de aguas con altos contenidos de manganeso. Puede ocurrir que el floculo forado por la aglomeración de varios coloides no sea lo suficientemente grande como para asentarse con la rapidez deseada. Por ello es conveniente utilizar productos coadyuvantes de la floculación o simplemente denominados floculantes. *“El polielectrolito se añade al comenzar la etapa de floculación dosis de (1 a 6ppm). Para eliminar estas dificultades y lograr flóculos grandes y bien formados de fácil sedimentación se han utilizado sustancias y procedimientos muy variados los más usados son: - Formación de flóculos pequeños de lenta sedimentación.*

*- Formación lenta de flóculos.*

*- Flóculos frágiles que fragmentan en los procesos de acondicionamiento del lodo.*

*- Formación de microfloculos que pasan por los filtros”.* <sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> Sánchez, D, 2013 Test de jarras floculación y coagulación. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <https://prezi.com/a0jfrvtqohl9/test-de-jarras-floculacion-y-coagulacion/> pág. 45

La sedimentación es una operación unitaria consistente en la separación por la acción de la gravedad de las fases sólida y líquida de una suspensión diluida para obtener una suspensión concentrada y un líquido claro.

Sedimentación libre: se produce en suspensiones de baja concentración de sólidos. La interacción entre partículas puede considerarse despreciable, por lo que sedimentan a su velocidad de caída libre en el fluido.

Sedimentación por zonas: se observa en la sedimentación de suspensiones concentradas. Las interacciones entre las partículas son importantes, alcanzándose velocidades de sedimentación menores que en la sedimentación libre.

Sedimentación intermitente: el flujo volumétrico total de materia fuera del sistema es nulo, transcurre en régimen no estacionario. Este tipo de sedimentación es la que tiene lugar en una probeta de laboratorio, donde la suspensión se deja reposar.

En la potabilización del agua, el proceso de sedimentación está gobernado por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan más fácilmente cuando mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuando menor es la viscosidad del mismo. Por ello, cuando se quiere favorecer la sedimentación se trata de aumentar el diámetro de las partículas.

La alcalinidad es uno de los parámetros más importantes en el tratamiento del agua, pues influye directamente en la coagulación o el ablandamiento.

Otras clases de compuestos:

(Boratos, silicatos, fosfatos, etc.) “Que contribuyen a su alcalinidad. Determinación de la alcalinidad: La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0,02N y se expresa como mg/L de carbonato de calcio, equivalente a la alcalinidad determinada. Método Clásico para el cálculo de la alcalinidad total: La concentración de iones  $[OH]^-$  libres se neutraliza con el cambio de pH > de 8,3.

El naranja de metilo: color amarillo en presencia de las formas de alcalinidad, pH > 4,5 y vira a color naranja en condiciones ácidas.

El metacresol púrpura cambia de color a pH 8,3.

El bromocresol verde cambia de color a pH 4,5. Se puede regular la alcalinidad del agua o modificar su pH, para ello se emplea:

Óxido de calcio o cal viva:  $CaO$

Hidróxido de calcio:  $Ca(OH)_2$

Carbonato de sodio:  $Na_2CO_3$

Hidróxido de sodio:  $NaOH$

Gas carbónico:  $CO_2$

Ácido sulfúrico:  $H_2SO_4$

Ácido clorhídrico:  $HCl$  Para que ocurra una coagulación completa y efectiva es necesario un exceso de alcalinidad. Fenolftaleína Metil naranja

*Bicarbonato sódico, NaHCO<sub>3</sub>:*

*También es un regulador de la alcalinidad. Carbonato de sodio, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:*

*Regulador de alcalinidad. Hidróxido de calcio, Ca (OH)<sub>2</sub>:*

*Se usa para elevar la alcalinidad del agua. Sustracción las sustancias coloidales del agua cuya estabilidad hace que no puedan ser eliminados por decantación...” Sanchez (2013).<sup>27</sup>*

### **2.3.7. Condiciones del Test de jarras**

Debido a que el Test de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos.

#### **Mezcla rápida**

*“El objetivo de la mezcla rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario en el líquido contenido en la jarra para poner en contacto los reactivos químicos con las partículas coloidales del agua, modo de neutralizar sus cargas, desestabilizarlas y hacer que se aglomeren en un corto período de tiempo. El tiempo de aplicación de la mezcla rápida depende de la clase del coagulante.*

---

<sup>27</sup> Sánchez, D, 2013 *Test de jarras floculación y coagulación*. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <https://prezi.com/a0jfrvtqohl9/test-de-jarras-floculacion-y-coagulacion/> pág. 22,23

*Por ejemplo, los polímeros se distribuyen más lentamente que los iones metálicos debido a su mayor molécula, por lo tanto requerirán mayor tiempo o mayor gradiente de velocidad que los coagulantes metálicos hidrolizantes.*

### **Mezcla lenta**

*Generalmente, el tiempo de mezcla no excede de 15 min. Un tiempo excesivo puede crear calentamiento de la muestra originando una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación, ya que ocurre la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los flóculos y los hacen flotar*

### **Reposo (sedimentación)**

*Durante este tiempo los coloides sedimentan por gravedad y se obtiene el agua clarificada.*

### **Procedimientos para llevar un Test de jarras**

- Las soluciones químicas deben ser recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se benefician con el tiempo, la mayoría se deteriora. Los resultados obtenidos con muestras añejas no son representativos.*
- Las muestras para las pruebas deben ser lo más representativa del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas, debido a la inestabilidad de la suspensión coloidal; por lo que no se recomienda correr pruebas de jarras con más de dos horas de captadas.*

- *La adición de químicos debe realizarse en el mismo orden en que son añadidos en planta. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH. Algunas plantas usan el cloro para la desinfección, oxidando la materia orgánica y eliminando parte del color.*
- *Se debe tener cuidado de no demorar la adición de los químicos si se necesita una adición simultánea de los mismos, ya que se estarían alternando las condiciones de la prueba...” Kritmar, s/f.<sup>28</sup>*

### **Criterios para la evaluación**

Para evaluar los resultados de un Test de jarras no se siguen criterios convencionales o patrones universales y casi se trata de un criterio particular del analista, fabricante del equipo, operario de la planta de acuerdo a su larga experiencia, pero bajo la convicción que le da la certeza de trabajar en las mismas condiciones experimentales y bajo los mismos criterios analíticos

No obstante, en la práctica se observan ciertos lineamientos a seguir para evaluar una prueba de jarra, como son:

- *“Características de los flóculos: Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o microflóculos*
- *Calidad del sobrenadante: La claridad o transparencia, es el criterio más importante en la evaluación de un Test de jarras, ya que es lo que se*

---

<sup>28</sup> Kritmar S/f Prueba de jarras. Siglo XXI. México pág. 22

*persigue en la clarificación del agua. Para ello se mide la turbiedad final del agua”.<sup>29</sup>*

Se debe observar si el sobrenadante es totalmente transparente, semiturbio, turbio, con apreciable cantidad de material suspendido (TSS), decantado, semidecantado, entre otros

## **2.4. Tratamiento de efluente**

### **2.4.1. Potencial de hidrógeno**

*El pH es “una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en determinadas sustancias. La sigla significa ‘potencial hidrógeno’, ‘potencial de hidrógeno’ o ‘potencial de hidrogeniones’ (pondus Hydrogenii o potentia Hydrogenii; del latín pondus, n. = peso; potentia, f. = potencia; hydrogenium, n. = hidrógeno). Este término fue acuñado por el químico danés S. P. L. Sorensen (1868-1939), quien lo definió como el opuesto del logaritmo en base 10 (o el logaritmo del inverso) de la actividad de los iones hidrógeno”.<sup>30</sup>*

La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones en la

---

<sup>29</sup> Pérez, J, 2006 *Curso de tecnología de tratamiento de aguas en países de desarrollo*. México: Grijalbo. Pág. 34

<sup>30</sup> Pérez, J, 2006 *Curso de tecnología de tratamiento de aguas en países de desarrollo*. México: Grijalbo. Pág. 45

disolución) y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua).

En productos de aseo y limpieza se suele hacer uso del término "pH neutro". En este caso la neutralidad hace referencia a un nivel de pH 5,5. Debido a las características de la piel humana, cuyo pH es 5,5, se indica neutralidad de pH en este tipo de productos que están destinados a entrar en contacto con nuestra piel para destacar su no agresividad. Si se aplicaran productos de pH 7 a nuestra piel se produciría una variación del pH cutáneo con posibles consecuencias negativas.

### **Medida de potencial de hidrógeno**

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH-metro (/pe achímetro/ o /pe ache metro/), un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. También se puede medir de forma aproximada el pH de una disolución empleando indicadores, ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH. Generalmente se emplea papel indicador, que se trata de papel impregnado de una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH. El papel de litmus o papel tornasol es el indicador mejor conocido. Otros indicadores usuales son la fenolftaleína y el naranja de metilo.

A pesar de que muchos *“potenciómetros tienen escalas con valores que van desde 1 hasta 14, los valores de pH también pueden ser*

*aún menores que 1 o aún mayores que 14. Por ejemplo el ácido de batería de automóviles tiene valores cercanos de pH menores que uno, mientras que el hidróxido de sodio 1 M varía de 13,5 a 14.*

*Un pH igual a 7 es neutro, menor que 7 es ácido y mayor que 7 es básico a 25 °C. A distintas temperaturas, el valor de pH neutro puede variar debido a la constante de equilibrio del agua ( $K_w$ )”.*<sup>31</sup>

La determinación del pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes y más usados en ciencias tales como química, bioquímica y la química de suelos. El pH determina muchas características notables de la estructura y actividad de las biomacromoléculas y, por tanto, del comportamiento de células y organismos.

De otro lado, pH óptimo de coagulación: El valor del pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación, el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre pH 5,0 a 6,5.

*“Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas en el agua. Cuanto menos sea la dosis de coagulante, tanto*

---

<sup>31</sup> Ibídem

*mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios de pH...*” Romero (2002).<sup>32</sup>

Floculación: La formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica.

La floculación puede ser ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) y es cuando los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o pericinéctica que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano.

*“El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las*

---

<sup>32</sup> Romero, J, 2002 *Calidad de agua*. Lima: Minerva. pág. 23

*posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo...*” Lorenzo (2006).<sup>33</sup>

#### Factores que influyen en la Floculación

La concentración y naturaleza de las partículas.

La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.

#### Tiempo de detención

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades.

#### **Gradiente de velocidad**

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. *“Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de*

---

<sup>33</sup> Lorenzo, Y, 2006 *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación y floculación*. Cuba: Instituto Cubano Investigaciones de los derivados de Caña de Azúcar .pág. 56

*las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados” Rodríguez.C (1996).<sup>34</sup>*

## **Sedimentación**

Se entiende por sedimentación a la remoción, por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido y que tengan peso específico mayor que el fluido. En un determinado intervalo de tiempo no todas las partículas en suspensión sedimentan. Justamente las que sedimentan en un intervalo de tiempo elegido son llamadas “sólidos sedimentables”.

La sedimentación como tal, es en esencia un fenómeno netamente físico. *“Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada...”* Pérez (2006).

Las partículas en suspensión sedimentan en diferentes formas, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de las partículas discretas, sedimentación de partículas floculantes y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Partículas discretas: son aquellas partículas que no cambian de características, forma, tamaño y densidad durante la caída.

---

<sup>34</sup> Rodríguez, 1996 *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Cali: Caldas. pág. 45,46

Partículas floculantes: son aquellas producidas por la aglomeración de las partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas; forma, tamaño y densidad si cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación- floculación y la filtración rápida.

Partículas por caída libre e interferida: cuando la concentración de partículas es pequeña, cada partícula sedimenta discretamente, como si estuviera sola, no siendo estorbadas por otras partículas. Partiendo del reposo, la velocidad de una partícula bajo la gravedad en un líquido aumentara al ser la densidad de la partícula mayor que la densidad del líquido. *“En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en un lugar individual...”* Arboleda(2000).

### **Desinfección**

Los procesos de sedimentación, coagulación remueven con mayor o menor eficiencia, la mayoría de las bacterias y virus presentes en el agua.

Desde este punto de vista pueden ser considerados como procesos preparatorios para la desinfección pues cumplen dos objetivos:

- Disminuyen la carga bacteriana del agua.
- Hacen más eficientes los métodos de desinfección.

Mediante la desinfección se logra la destrucción de los organismos causantes de enfermedades o patógenos presentes en ella dentro de estos microorganismos se pueden mencionar: Bacterias, Protozoarios, Virus, Trematodos.

#### **2.4.2. Sólidos totales en suspensión**

Los sólidos en suspensión, es la medida de los sólidos sedimentables y de los no sedimentables, que pueden ser retenidos en un filtro. Pueden causar depósitos en conducciones, calderas, equipos y las bacterias tienen un soporte donde puedan quedar adheridas y hacer su función en las aguas residuales. Cuando son de consistencia floculante y poco densa y su vertido tiene lugar en zonas donde las aguas residuales del alcantarillado receptor fluyen a buena velocidad, se les puede admitir sin peligro de causar depósitos.

Este parámetro incluye materia orgánica e inorgánica, siendo los componentes inorgánicos, limos, arena y arcillas y los componentes orgánicos grasos, pelos, serrín, fibras, etc., aunque pueden ser muy diversos según de donde provengan.

La presencia de sólidos en suspensión incrementa la turbidez del agua y la de los sólidos disueltos. Estos sólidos en suspensión producen el color aparente en las aguas y disminuyen el paso de radiación solar, lo que lleva consigo una disminución de la fotosíntesis y muerte de las plantas a las que no les llega esta radiación. Estos depósitos de sólidos pueden también pueden acarrear problemas por crear condiciones anaerobias y pueden sedimentar en las aguas

receptoras formando depósitos que destruyen la fauna del fondo (alimento de los peces) y los lugares de desove. También pueden producir problemas en los peces debido a que se pueden depositar en las branquias.

*“La concentración máxima de sólidos en suspensión en un agua residual no debe superar los 500 mg/l.*

*En las industrias los sólidos en suspensión proceden fundamentalmente de las operaciones de almacenamiento y proceso y acabado de productos”.* <sup>35</sup>

## **1. Almacenaje de la muestra**

Para este parámetro se debe almacenar en una botella de plástico de polipropileno o de vidrio y aunque no hay un método de preservación, es preferible que se haga a unos 4 °C y sin que le dé la luz, para detener los procesos de actividad microbiana y que no haya crecimiento de algas mientras la muestra esté almacenada, que podrían dar cálculos erróneos en la medida. Eliminar de la muestra partículas flotantes grandes o aglomerados dispersos de material no homogéneo.

## **2. Métodos de análisis**

La determinación más general para los sólidos en suspensión es la filtración mediante filtros de 45 µm y posterior secado en estufa a 103-105 °C hasta pesada constante.

---

<sup>35</sup> Rodríguez, 1996 *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Cali: Caldas.

### **3. Reactivo**

- a) Agua destilada.

### **4. Interferencias**

Debido a que un residuo excesivo en el filtro puede formar una costra que impide el paso del agua, limitar el tamaño de muestra de tal manera que se obtengan como máximo 200 mg de residuo.

El taponamiento del filtro prolonga la filtración y puede producir resultados altos debido a la excesiva retención de sólidos coloidales.

Para muestras con elevado contenido de sólidos disueltos, enjuagar muy bien el filtro para asegurar la remoción del material disuelto.

### **5. Aparatos**

- a) Una estufa
- b) Una balanza de al menos 3 cifras decimales, aunque debido al error del método, con una de dos decimales podría ser bastante precisa.
- c) Un desecador, con desecante adecuado,  $P_2O_5$ , cloruro cálcico, etc.

### **6. Procedimiento**

El agua residual se analiza a temperatura ambiente, por lo que hay que dejarla un tiempo una vez sacada del refrigerador y agitarla para que sea una suspensión homogénea y no haya errores en la medida. "El filtro de 45  $\mu\text{m}$  que se va a utilizar, se seca a 103-105 °C, hasta pesada constante y se deja enfriar a temperatura ambiente en un desecador para preservarlo de la humedad. El filtro ya seco se coloca encima de un vidrio

poroso y se le añade un volumen conocido de la muestra de agua residual, ayudándose del vacío”.<sup>36</sup>

## **2.5. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UEA de Orcopampa**

### **2.5.1. Ubicación**

La ubicación del proyecto se muestra en el siguiente cuadro revisar en anexos plano de ubicación y plano de ubicación de las estaciones de monitoreo:

**Tabla 3**  
**Ubicación de la compañía**

Nombre de la Compañía	: Cía. de Minas Buenaventura S.A.A
Localidad	: A 5 Km. Del centro poblado Orcopampa
Cuenca	:Rio Orcopampa
Distrito	: Orcopampa
Provincia	: Castilla
Departamento	: Arequipa
Coordenadas Central	:Norte : 8310130    Este: 785150
( UTM DATUM PSDA56 Zona 18s)	Cota : 3780 msnm

Fuente: Cía. de Minas Buenaventura.

La importancia de conocer las características de la compañía minera nos da una visión acerca de la ubicación en el cual se encuentra especialmente nos interesa la cuenca que está estrechamente vinculada con Orcopampa

### **2.5.2. Accesibilidad**

El acceso a la unidad Minera es la siguiente:

---

<sup>36</sup> Ibídem

**Tabla 4**  
**Acceso de vía**

DE	A	DISTANCIA (km)	TIPO DE VIA
Lima	Arequipa	308	Asfaltada
Arequipa	Caylloma-Orcopampa	412	Afirmada

Fuente: Elaboración propia.

En la presente tabla podemos apreciar la distancia que guarda entre las ciudades de Lima y Arequipa, en que ambas se encuentran *asfaltada*, lo que da lugar a que los medios de transporte puedan tener una gran facilidad de llegar a su destino.

**Figura 1**  
**Ubicación planta de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: Google Earth.

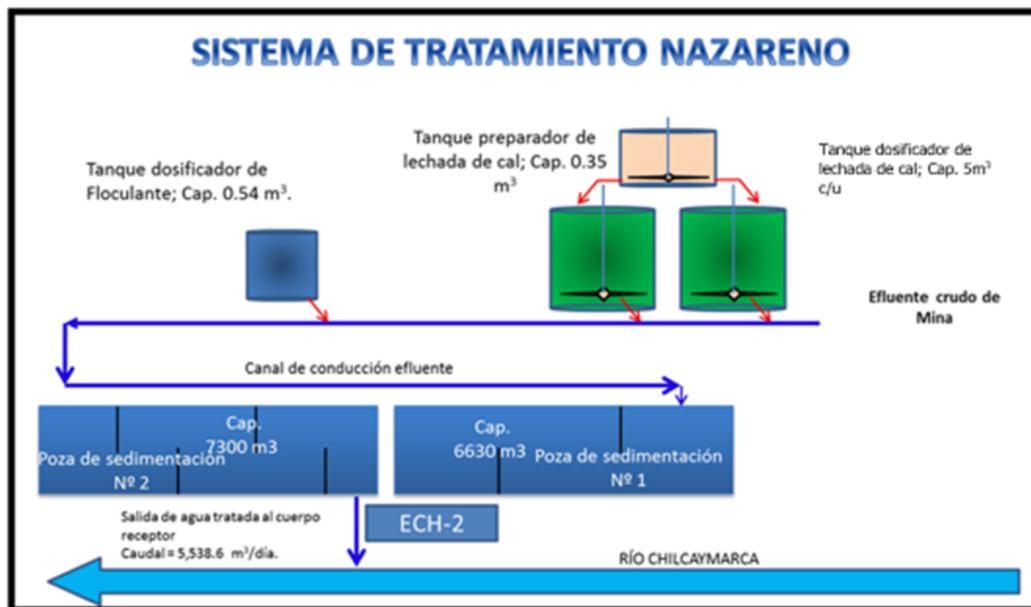
### 2.5.3. Evaluación del efluente

- El sistema de tratamiento de efluentes Nazareno se encuentra en el Nivel. 3800 m.s.n.m., el efluente de interior de mina es evacuado a través de 3 tubos, dos tubos de 4 pulg con un caudal de 16.0 Lt/seg y 11 Lt/seg el otro tubo es de 10 pulg que conduce un caudal de 37.1 Lt/seg.
- En sistema de tratamiento de efluentes Nazareno tiene un tanque reaccionador de 0.35 m<sup>3</sup> y dos tanques de dosificación de lechada de cal (mecánicos eléctricos) y sus capacidades son de 5 m<sup>3</sup> c/u en donde se prepara la lechada de cal a una concentración de 30.0 gr/Lt., el caudal de dosificación de la lechada de cal es de 100 a 700 ml/seg aproximadamente, esto varía de acuerdo al caudal de bombeo y pH que presenta. La dosificación se controla mediante una válvula de 1pulg, para posteriormente llega a la poza de sedimentación.
- Adicionalmente se cuenta con 1 cilindro de dosificación de floculante de 0.54 m<sup>3</sup> a una concentración de 1gr/Lt. Y el caudal de dosificación es de 20 a 60 ml/seg. Dependiendo de la presencia de los sólidos.
- Una vez dosificados, estas aguas son conducidas por un canal donde ingresan a dos pozas de sedimentación, que funcionan una a la vez, la capacidad de la poza de sedimentación N<sup>o</sup> 1 es de 6600 m<sup>3</sup> y de la poza de sedimentación N<sup>o</sup> 2 de 7300 m<sup>3</sup>.

Finalmente el efluente es vertido al cuerpo receptor (Río Chilcaymarca), donde se tiene un punto de control denominado ECH-2. El sistema de Tratamiento de la Planta Nazareno del área de recursos hídricos se muestra a continuación:

**Figura 2**

**Sistema de tratamiento Nazareno**



Fuente: Cía. de Minas Buenaventura.

## 2.6. Marco conceptual

### Aguas residuales

*“Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas,*

*pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original*

”<sup>37</sup>

### **Tratamiento físico y químico intensivo**

Estas etapas comprenden lo que es la Clarificación, cuyas operaciones son: Sedimentación, Coagulación/ Floculación y Desinfección.

### **Test de jarras**

El Test de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar la dosis óptima de coagulante para el agua potable o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en las dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento “Un *Test de jarras simula los procesos de coagulación- floculación –sedimentación; que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor*”.<sup>38</sup>

### **Carga máxima permisible**

Es el límite de carga que puede ser aceptado en la descarga a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.

---

<sup>37</sup> Neutralac. (s/f). *Aguas residuales y lodos*. Recuperado el 2 de Marzo de 2017, de <http://www.lhoist.com/es/market-segment/aguas-residuales-y-lodos>

<sup>38</sup> Rodrigo, Manuel, 2000 Glosario Química del tratamiento de aguas Editorial Paidós. España , pág. 4

### **Cuerpo receptor o cuerpo de agua**

*“Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales”.*<sup>39</sup>

### **Efluente**

*“Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad”.*<sup>40</sup>

### **Afluente**

*“El concepto de afluente es habitual en la hidrología en referencia al cuerpo de agua cuya desembocadura no se produce en el mar, sino que lo hace en un río superior o de mayor importancia”.*<sup>41</sup>

### **ECA (Estándar de calidad ambiental)**

*“Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”.*<sup>42</sup>

---

<sup>39</sup> Rodrigo, Manuel, 2000 Glosario Química del tratamiento de aguas Editorial Paidós. España , pág. 6

<sup>40</sup> Rodrigo, Manuel, 2000 Glosario Química del tratamiento de aguas Editorial Paidós. España , pág. 9

<sup>41</sup> Rodrigo, Manuel, 2000 Glosario Química del tratamiento de aguas Editorial Paidós. España , pág. 10

<sup>42</sup> *Ibíd*em

### **LMP (Límite máximo permisible)**

*“Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al afluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.*

*Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y os organismos que conforman el sistema de gestión ambiental”.<sup>43</sup>*

---

<sup>43</sup> Loc cit

## **CAPÍTULO III**

### **PLANTEAMIENTO OPERACIONAL**

#### **3.1. Definiciones operacionales**

El hidróxido del calcio en la determinación del pH, el proceso de la dosis adecuada que permite optimizar las condiciones adecuadas de reciclar el agua residual.

El sulfato de aluminio en los sólidos totales de suspensión es el proceso que se aplica para determinar el total de los metales en suspensión.

### 3.2. Universo y muestra

#### Universo

La presente investigación comprende el análisis y estudio del tratamiento del agua residual generada en los procesos metalúrgicos que corresponden a U.E.A de Orcopampa.

**Tabla 5**

Puntos de control del efluente de la UEA Orcopampa

Punto de Control	Efluente	Volumen anual (m3)
ECH-1	Efluente tratado proveniente de a bocamina Veta Prometida	1 490 076
ECH-2	Efluente tratado proveniente de la bocamina Veta Nazareno	2207520
ECH-10	Efluente tratado proveniente de la bocamina Rampa Mario	215950064
EM-2	Efluente tratado proveniente de la bocamina La Calera	30179952

Fuente: R.D. N° 019-2015-ANA-DGCRH-Anexo 10.

#### Muestra

Está constituida por el volumen de agua residual del efluente generado en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, provincia de Castilla

Tabla 6  
Ubicación de la muestra ECH-2

EFLUENTE	VOLUMEN	UBICACIÓN COORDENADAS UTM
ECH-2 Efluente tratado proveniente de la bocamina Veta Nazareno	2207520	Norte : 8310 300
		Sur: 782 897

Fuente: R.D. N° 019-2015-ANA-DGCRH-Anexo 10.

### 3.2. Método y diseño

#### 3.2.1. Método de investigación

Para la presente investigación se aplicó el método científico, complementado con la metodología hipotética – experimental a la Ingeniería Ambiental, para lo cual se combinaron los resultados obtenidos por el método experimental relacionándolo con la aplicación de las dosis óptimas de hidróxido de calcio y sulfato de aluminio para predecir que alcanzaron los parámetros estipulados por el Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM.

#### - Investigación de campo

En esta investigación, se identificó la dosis requerida de los reactivos químicos para mejorar el tratamiento de las aguas residuales industriales en el Test de jarras. Se determinó la cantidad de hidróxido de calcio y sulfato de aluminio; para corregir el potencial del hidrógeno y los sólidos totales en suspensión.

## - **Investigación experimental de laboratorio**

La investigación implicó, planificación y ejecución. En la primera fase, se recogieron las muestras de agua residuales del efluente generado en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, en frascos herméticamente cerrados con la finalidad de no tener alguna influencia del contacto exterior. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de la facultad de Química, con los resultados obtenidos se procedió a efectuar el Test de jarras en calidad de prueba para predecir que alcanzaron los parámetros estipulados por el Decreto Supremo N°010-2010 –MINAM.

De otro lado, conocido los resultados del diagnóstico químico del agua residual de la del efluente generado en la veta Nazareno ECH-2 a través de la prueba del ensayo de parte del laboratorio en las acciones de la aplicación de la dosis para determinar el pH y los sólidos totales en suspensión, en su etapa de pre experimental, luego se procedió a efectuar la aplicación de dosis para determinar el pH con el reactivo del hidróxido de calcio en cuatro observaciones consecutivas, de la misma manera el uso del sulfato de aluminio con la finalidad de determinar los sólidos totales de suspensión.

Así mismo, se tomó en cuenta los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. Es decir:

- pH
- Temperatura
- Concentración de coagulante
- Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
- Grado de agitación
- Tiempo de sedimentación

El pH desempeñara un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación- floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones  $\text{OH}^-$  , queda destruida por un aumento de la concentración de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  - que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal. Preferiblemente el pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante usado.

Asimismo, para llevar a cabo el tratamiento de estas aguas residuales se utilizaron los reactivos químicos con dosis variados según su seguimiento hasta alcanzar las cantidades permisibles en el D.S. N°010 – 2010-MINAM. Los reactivos fueron:

- Hidróxido de calcio 10 ppm
- Hidróxido de calcio 15 ppm
- Hidróxido de calcio 20 ppm
- Sulfato férrico 15 ppm

### **Materiales**

- 4 Vasos baker de 500ml

- 4 Varillas de vidrio
- 4 Lunas de reloj
- 1 Espátula
- 1 Balanza
- 1 pH-metro marca Hach Modelo Sension 1 Serie 05120c190867

### **Equipos**

- 1 Balanza
- 1 pH-metro marca Hach Modelo Sension 1 Serie 05120c190867

De igual manera se sondeó los costos de los insumos de los reactivos químicos que la compañía Orcopampa emplea y las que se propuso, para determinar las diferencias respecto a la rentabilidad

### **3.3.2. Nivel de la investigación**

El nivel de investigación respondió ser descriptiva correlacional, debido a que es descriptiva, porque se dará a conocer el estado del diagnóstico situacional de las condiciones de las propiedades fisicoquímicas del agua de la efluente generado en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, de la manera cómo opera la compañía y como los reactivos químicos propuestos del Hidróxido de Calcio y Sulfato de Aluminio en esta investigación llegaron a ser más óptimas y a un costo más reducido

## Diseño de la Investigación

Para el desarrollo del trabajo se empleó un diseño experimental puro, respondiendo el siguiente diseño en forma general

RG2 – O 1 (grupo de control con observación)

R G1 X 01, O2, 03,04 (grupo con tratamiento experimental)

### Donde

R = Random

G = Grupo del agua

O = observación

De otro lado, se aplicó el diseño experimental

### Diseño experimental

#### Repeticiones

$$gL = RT - 1$$

$$10 = 3R - 1$$

Se utilizaron 4 repeticiones porque estas garantizan que los grados de libertad sean mayores a 10.

$$gL = RT - 1$$

$$10 = 3R - 1$$

## Determinación del hidróxido de calcio

Para saber la masa que se debía adicionar para obtener las dosis antes mencionadas se usó la siguiente fórmula.

$$ppm = \frac{mg \text{ soluto}}{V \text{ solución}(l)}$$

## Croquis del experimento

- Se pesó el hidróxido de calcio en 10 ppm, 15ppm ,20ppm.
- Se pesó el cloruro férrico en 15 ppm.
- Se agregó el hidróxido de calcio a los 3 vasos beaker de 500 ml.  
Para el tratamiento 1,2,3,
- Se agregó el cloruro férrico en 15 ppm al vaso beaker de 500ml para el tratamiento 4.
- Aleatorización



- Cantidad de hidróxido de calcio total: 135 g
- Cantidad de cloruro férrico: 60 g

## Determinación del sulfato de aluminio

Para saber cuántos ml de la solución patrón se deben adicionar, se usó la siguiente fórmula.

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

En Donde:

V1 = Volumen 1

V2 = Volumen 2 correspondiente al volumen que se desea obtener.

C1= Concentración 1 de la solución de la cual se parte

C2= Concentración 2 a la que se desea llegar

## Tratamiento

- Sulfato de Aluminio 310 ppm
- Sulfato de Aluminio 340 ppm
- Sulfato de Aluminio 375 ppm
- Sulfato de Aluminio 400 ppm( el que emplea la compañía)
- Sulfato de Aluminio 300 ppm

## Unidades experimentales

- 5 Vasos Baker de 500ml
- 5 Varillas de vidrio
- 5 Lunas de reloj
- 1 Espátula
- 1 Balanza

## Repeticiones

$$gL = RT - 1$$

$$10 = 3R - 1$$

## Repeticiones

Se utilizaran 5 repeticiones porque estas garantizan que los grados de libertad sean mayores a 10.

### Croquis del experimento

- a) Se pesó el sulfato de aluminio en 300 ppm, 310 ppm, 340 ppm, 375 ppm.
- b) Se agregó el sulfato de aluminio a los 5 vasos beaker de 500 ml. Para el tratamiento 1, 2, 3,4.
- d) Se agregó el sulfato de aluminio en 400 ppm que emplea la compañía al vaso beaker de 500ml para el tratamiento

### Aleatorización



Cantidad de sulfato de aluminio: 8625 mlg

### Test de jarras

Finalmente todo el procesamiento se utilizó la técnica del Test de jarras, de la siguiente manera se colocó los vasos de precipitados en el equipo para el Test de jarras y se estableció a la velocidad de mezclado a 30 rpm (el agitador gira de manera lenta para evitar que se rompan los flóculos). Se añade el

volumen de hidróxido de calcio calculado de cada uno de los vasos de precipitados y se dejaron en el Test de jarras por 20 minutos.

Una vez transcurridos los 20 minutos se detuvo la agitación y se agregó el sulfato de aluminio se dejara por 20 minutos y se dejara reposar las muestras durante 15 minutos para que se sedimentaran. Una vez concluida la sedimentación, se llevó a laboratorio de la Universidad Nacional San Agustín las muestras para que se hiciera el análisis de los parámetros siendo el resultado el siguiente véase el Anexo 8.

### **3.3.3. Técnicas e instrumentos**

#### ***Técnicas***

- Observación Directa: Participante, Estructurada
- Cuaderno de Campo
- Test de jarras
- 

#### **Instrumentos**

- Fotografías
- Material del laboratorio

### **3.3.4. Tratamiento de los datos**

La obtención de los resultados mediante la información antes y después del proceso de la experimentación se tomó en cuenta el ANOVA; es un factor que compara las medias de la variable dependiente entre los

grupos o categorías de la variable independiente, al mismo tiempo toma en cuenta las varianzas (es decir, las desviaciones típicas al cuadrado).

Es decir, con el método de ANOVA se calculará un estadístico o Test denominado F y su significación, deberá obtener la variación de las medias entre los grupos de la variable independiente del agua residual y dividirla por la estimación de la variación de las medias dentro de los grupos de pH y sólidos totales en suspensión.

El cálculo del estadístico F procederá a dividir la variación entre los grupos por la variación dentro de los grupos. Si las medias entre los grupos varían mucho y la media dentro de un grupo varía poco entonces los grupos son heterogéneos entre ellos y similares internamente, el valor de F será más alto, por tanto, las variables estarán relacionadas.

En conclusión, cuanto más difieren las medias de la variable dependiente entre los grupos de la variable independiente, más alto será el valor de F. Si hacemos varios análisis de ANOVA de un factor, aquel con F más alto indicará que hay más diferencias y por tanto una relación más fuerte entre las variables.

La significación de F se interpretará como la probabilidad de que este valor de F se deba al azar. Siguiendo un nivel de confianza del 95%, cuando la significación de F sea menor de 0,05 es que las dos variables están relacionadas. Finalmente se introdujo los datos en el programa SPSS. Versión 22 véase el Anexo 9 que nos permitió elaborar los cuadros y gráficos respectivos.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Para la presente investigación se establecieron dos momentos fundamentales:

#### **4.1. Resultados de la fase pre- experimental**

La etapa del pre experimental consiste en tomar una muestra de agua del efluente de la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa Orcopampa (Anexo 6).

Posteriormente llevarla a Laboratorio para comprobar si cumple con los parámetros establecidos en el D.S. N°010-2010 – MINAM; y verificar la calidad del efluente según el tratamiento que le da la compañía de minas Buenaventura nos muestra los siguientes resultados.

**Tabla 7**

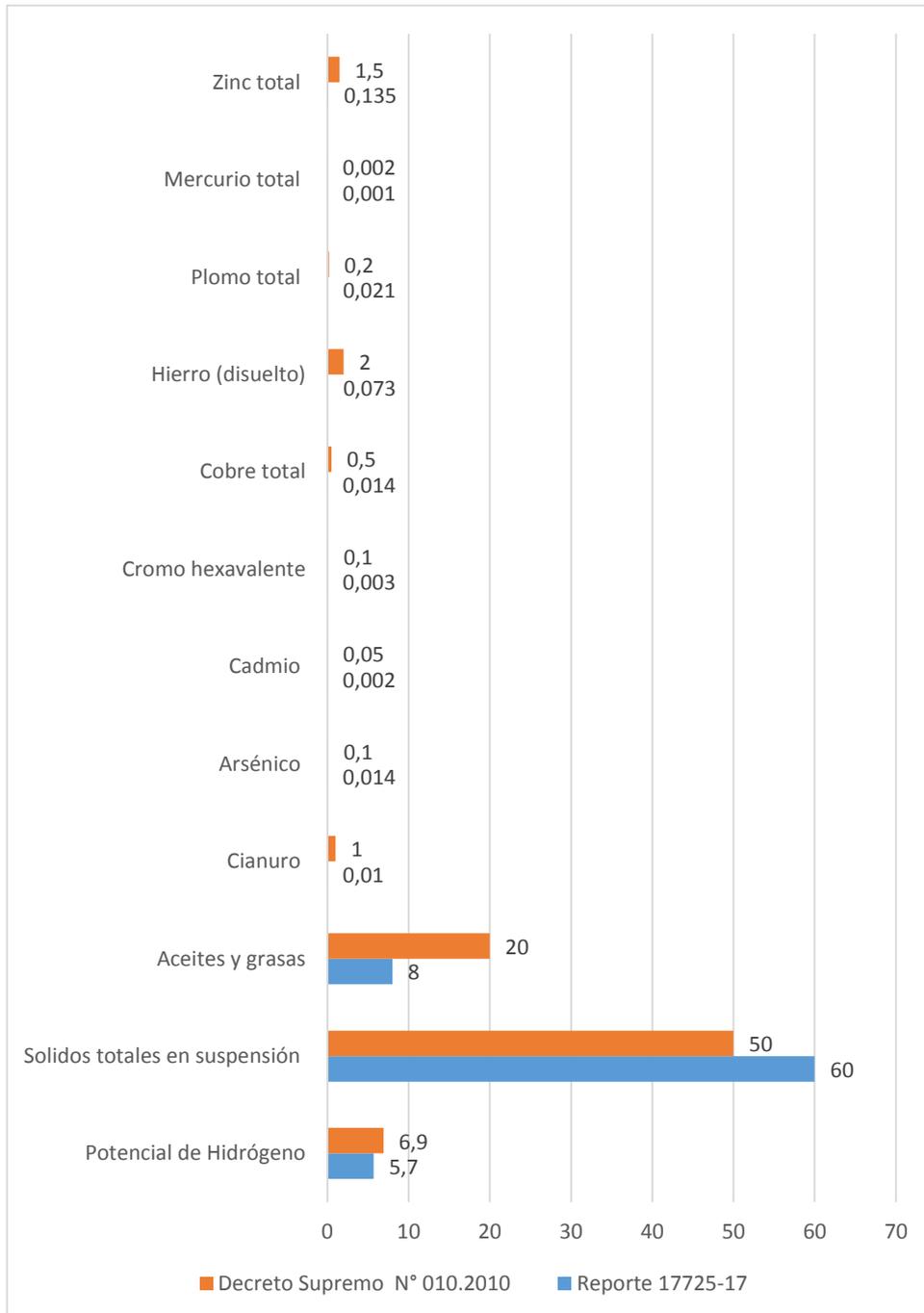
Parámetros evaluados de la muestra ECH-2 (pre-experimental)

Parámetro	Unidad	Informe de Ensayo Físico Químico N <sup>a</sup> Reporte 17725-17	Anexo N10 del D.S. N <sup>a</sup> 010-2010	Observación
pH		5,7	6-9	No Cumple
sólidos totales en Suspensión	mg/L	60	50	No Cumple
aceites y grasas	mg/L	8	20	Si Cumple
cianuro total	mg/L	0,01	1	Si Cumple
arsénico total	mg/L	0,014	0,1	Si Cumple
cadmio total	mg/L	0,002	0,05	Si Cumple
cromo hexavalente	mg/L	0,003	0,1	Si Cumple
cobre total	mg/L	0,014	0,5	Si Cumple
hierro (Disuelto)	mg/L	0,073	2	Si Cumple
plomo Total	mg/L	0,021	0,2	Si Cumple
mercurio Total	mg/L	0,001	0,002	Si Cumple
zinc Total	mg/L	0,135	1,5	Si Cumple

**Fuente:** Laboratorio de la facultad de Química, de la Universidad Nacional de San Agustín.

**Gráfico 1**

**Estudio comparativo del diagnóstico de las aguas residuales del efluente**



**Fuente:** Elaboración propia.

## **INTERPRETACIÓN**

En la tabla 7 y gráfico 1 podemos observar los resultados comparativos acerca del comportamiento de las aguas de los efluentes de la veta Nazareno ECH-2 a la cual pertenece a la mina de Orcopampa, siendo el 80% de los resultados coincidentes al cual se ajusta la compañía minera en el tratamiento del agua con las exigencias del D.S. N°010- 2010 - MINAM; sin embargo, en cuanto a los parámetros del pH que se refiere a la acidez del agua, no se ajusta, como también de los sólidos totales en suspensión, debido a que sus valores difieren a las exigencias del D.S. N°010- 2010 – MINAM.

Mientras que el pH tiene un valor en el reporte de 5,7 y en el D.S. N°010- 2010 – MINAM, está considerado de 6 a 9; también en el resultado de sólidos totales de suspensión en el reporte fue de 60 en comparación con el D.S. N°010- 2010 – MINAM que tiene 50 mg/l, lo que se concluye esta agua de efluente no es apta para el consumo humano por lo cual debe tener un tratamiento.

**Tabla 8**

**Descripción del efluente ECH-2 veta Nazareno**

<b>Autoridad Competente</b>	<b>Elemento</b>	<b>Estación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Coordenadas Zona 18</b>		<b>Altitud m.s.n.m</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de Análisis</b>	<b>Documento referencial</b>
ANA	Efluente	ECH-2	Efluente tratado de la bocamina Veta Nazareno	Este	Norte	3796	Está ubicado a 4 metros de salida de la poza de sedimentación de efluentes provenientes de la Mina Chipmo –Veta Prometida	Caudal m3/día, Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH, STS, A&G, Cianuro Total, Cr VI, Fe Disuelto, Metales Totales (As, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn)	D.S. N° 010-2010-MINAM
				8E05	8310300				

Fuente: Extraído del Plano de Ubicación de Estaciones de Monitoreo.

**INTERPRETACIÓN**

En la presente tabla, se resaltan los aspectos de la ficha técnica del punto de control de monitoreo que está a cargo de la autoridad ANA. Se indica la ubicación geográfica de la bocamina Veta Nazareno, en el cual es importante tener preciso su situación, debido a que muchas veces en su recorrido, las aguas residuales toman comportamientos fisicoquímicos muy variados, en unos casos es cristalina y otros, turbia.

## 4.2. Resultados del posprueba experimental

**Tabla 9**

### Uso de insumos para la concentración

<b>INSUMO</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
Hidróxido de calcio	20 ppm
Sulfato de aluminio	375 ppm

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.2.1. Test de jarras

Se procedió a colocar los vasos de precipitados en el equipo para Test de jarras y se estableció la velocidad de mezclado a 30 rpm (el agitador gira de manera lenta para evitar que se rompan los flóculos). Se añadió el volumen de hidróxido de calcio calculado de cada uno de los vasos de precipitados y se dejaron en el Test de jarras por 20 minutos.

Una vez transcurridos los 20 minutos, se detuvo la agitación y se agregó el sulfato de aluminio se dejó por 20 minutos y se reposaron las muestras durante 15 minutos para que sedimentaran. Una vez concluida la sedimentación, se llevó al laboratorio de la Universidad Nacional San Agustín para el análisis de los parámetros (Anexo 8).

**Tabla 10**

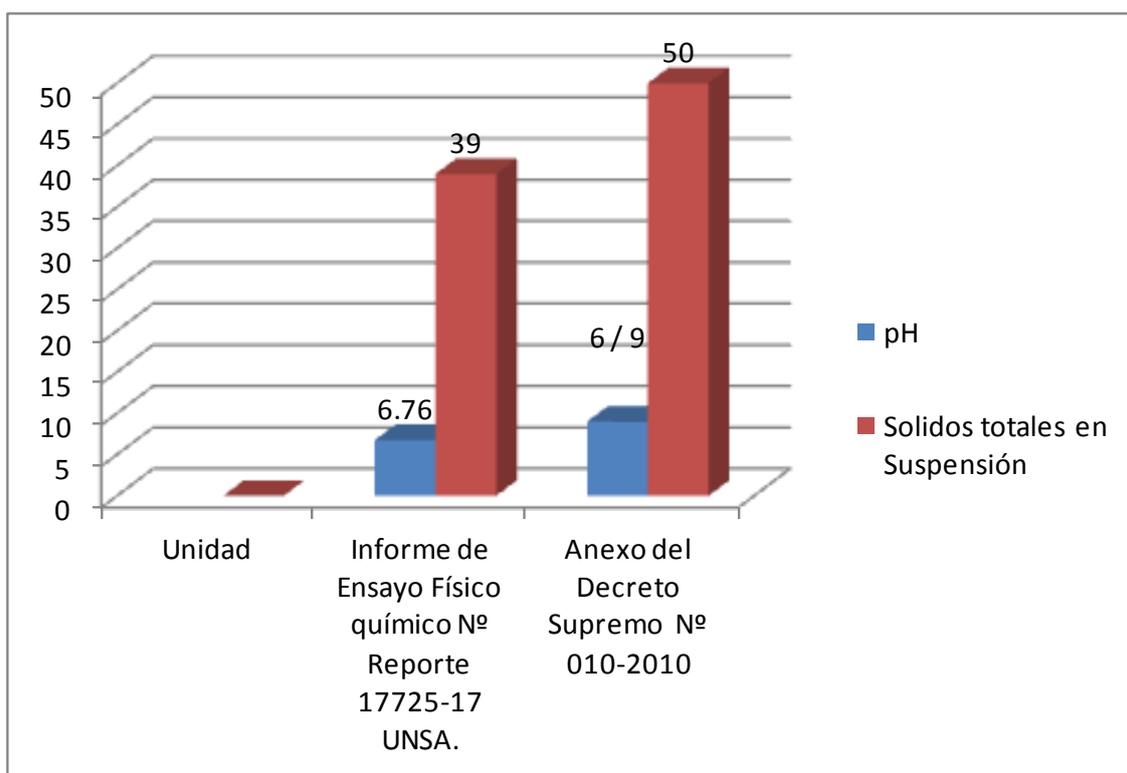
Resultado de evaluación de los parámetros

Parámetro	Unidad	Informe de Ensayo Físico Químico N° 17758-17-UNSA	Anexo del D.S. N° 010-2010 – MINAM	Observación
pH		6.76	6-9	Si cumple
Sólidos totales en suspensión	mg/L	39	50	Si cumple

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 2**

**Parámetros evaluados**



Fuente: Elaboración propia.

### INTERPRETACIÓN

En la tabla y gráfico, se aprecian los valores que se lograron después de haber efectuado las dosis correcta de hidróxido de calcio y sulfato de aluminio a

través de la técnica de Test de jarras, el cual se efectuó un seguimiento continuo en cuatro tratamientos del pH y sólidos totales de suspensión, con la finalidad de llegar a los parámetros, que exige el D.S. N° 010-2010 –MINAM.

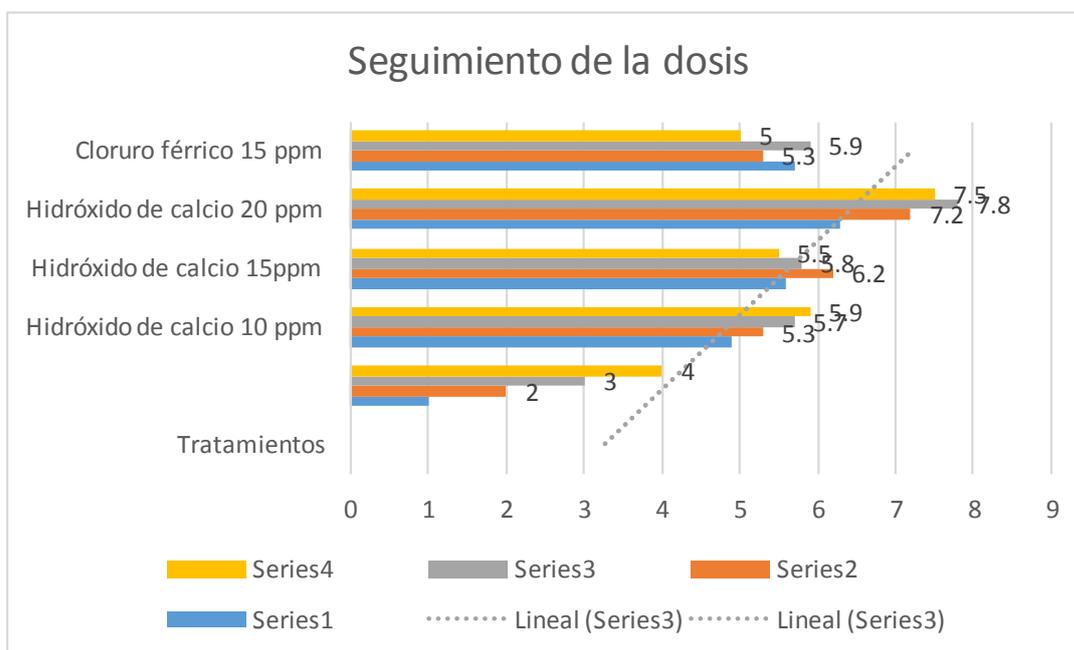
**Tabla 11**  
**Búsqueda de la dosis óptima en el potencial de hidrógeno**

Tratamientos	Repeticiones			
	1	2	3	4
Hidróxido de calcio 10 ppm	4,9	5,3	5,7	5,9
Hidróxido de calcio 15ppm	5,6	6,2	5,8	5,5
Hidróxido de calcio 20 ppm	6,3	7,2	7,8	7,5
Cloruro férrico 15 ppm	5,7	5,3	5,9	5

Fuente: Elaboración propia .

**Gráfico 3**

**Búsqueda de la dosis óptima en el potencial de hidrógeno**



Fuente: Elaboración propia.

### INTERPRETACIÓN

En la tabla y gráfico, se puede observar el seguimiento de las pruebas efectuadas en el laboratorio de la mina de Orcopampa que para determinar la

optimización de la dosis del pH se usó el reactivo del hidróxido de calcio en 10,15 y 20 ppm respectivamente; solo el cloruro férrico fue de 15 ppm, siendo la más efectiva la de 20 ppm.

En el análisis estadístico se encuentra una variabilidad significativa a un nivel de 0,01% entre los tratamientos empleados por la mina para bajar la acidez de efluente veta Nazareno ECH-2 y los tratamientos de experimentación para reducir el potencial de hidrogeno en los niveles de 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm.

Llegando a la conclusión con la realización de la prueba de confiabilidad encontrándose de acuerdo a Tukey indica la prueba en el Anexo 9 que el mejor tratamiento es de 20 ppm para reducir el Potencial de Hidrogeno del efluente veta Nazareno ECH-2.

De acuerdo a Dunnet se demostró que el tratamiento de 20 ppm obtiene mejores resultados que el que emplea actualmente la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa cloruro férrico que es el que emplea para la reducción del potencial de hidrógeno, véase el Anexo 9.

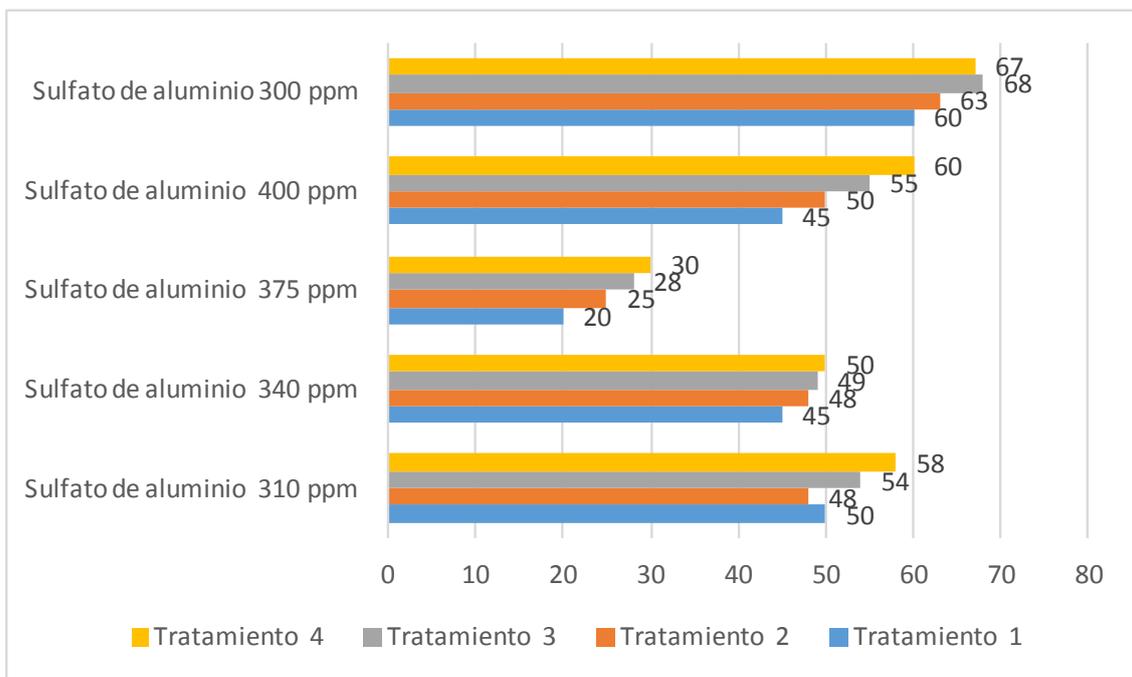
**Tabla 12**  
**Búsqueda de la dosis óptima en sólidos totales en suspensión**

Tratamientos	Repeticiones				
	1	2	3	4	5
Sulfato de aluminio 310 ppm	50	48	54	58	59
Sulfato de aluminio 340 ppm	45	48	49	50	53
Sulfato de aluminio 375 ppm	20	25	28	30	20
Sulfato de aluminio 400 ppm	45	50	55	60	63
Sulfato de aluminio 300 ppm	60	63	68	67	62

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 4**

**Búsqueda de la dosis óptima en solidos totales en suspensión**



**Fuente:** Elaboración propia.

**INTERPRETACIÓN**

De acuerdo a la tabla 12 y gráfico 4, el análisis estadístico con un nivel altamente significativo de 0,01% se encontró diferencia entre el tratamiento empleado por la mina de 400 ppm y el tratamiento de 375 ppm propuesto en la investigación.

De acuerdo al Test de Dunnet, la prueba del mejor tratamiento a emplear es el de 375 ppm mostrando niveles de significancia mayores a 0,001 % por lo que se recomienda su utilización.

## **CORRIDA FINAL**

Con los datos obtenidos, se realizó una prueba total para llevar al laboratorio a analizar los parámetros evaluados en el D.S. N° 010-2010 – MINAM.

A continuación, se muestra el cuadro con las concentraciones de insumos que se adicionó.

**Tabla 13**  
**Concentración de los insumos**

INSUMO	CONCENTRACIÓN
Hidróxido de calcio	20 ppm
Sulfato de aluminio	375 ppm

**FUENTE:** Elaboración propia.

## **TEST DE JARRAS**

Posteriormente, se colocaron los vasos de precipitados en el equipo para el Test de jarras y se estableció la velocidad de mezclado a 30 rpm (el agitador gira de manera lenta para evitar que se rompan los flóculos). Se añadió el volumen de hidróxido de calcio calculado de cada uno de los vasos de precipitados y se dejaron en el Test de jarras por 20 minutos.

Una vez transcurridos los 20 minutos, se detuvo la agitación y se agregó el sulfato de aluminio luego de 20 minutos se dejaron reposar las muestras durante 15 minutos para que se sedimentaran. Una vez concluida la sedimentación, se llevó al laboratorio de la Universidad Nacional San Agustín el análisis de los parámetros cuyos resultados lo ubicamos en el Anexo 8.

**Tabla 14**

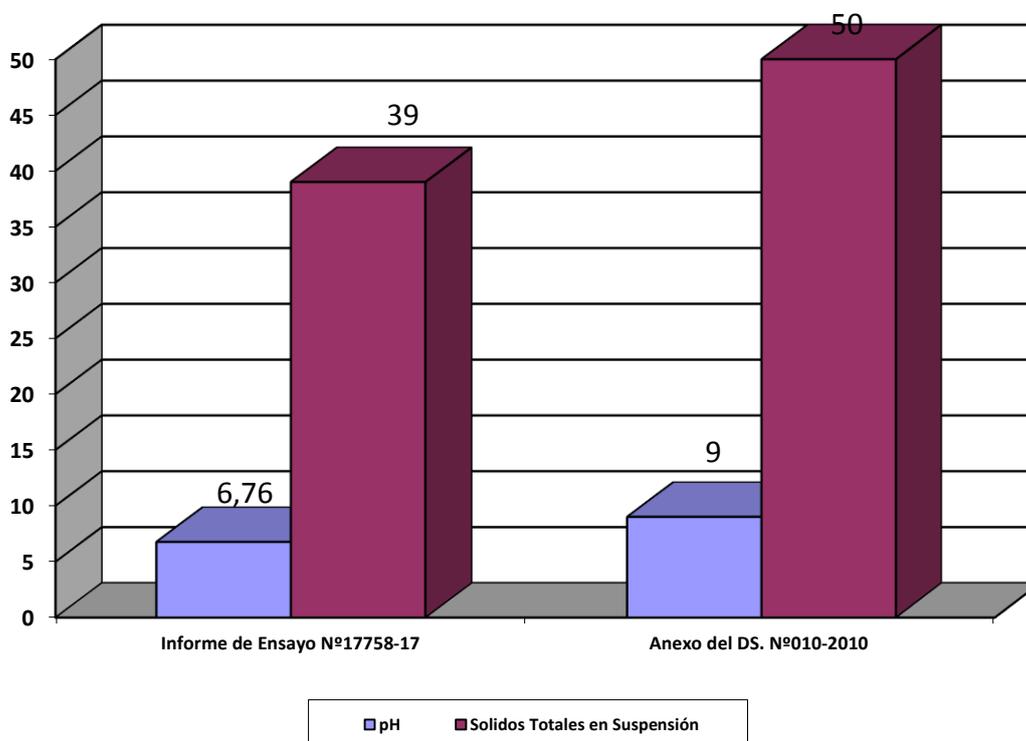
**Resultado final de los parámetros**

Parámetro	Unidad	Informe de Ensayo Físico Químico N° 17758-17-UNSA	Anexo del D.S. N° 010-2010 – MINAM	Observación
pH		6.76	6-9	Si cumple
Sólidos totales en suspensión	mg/L	39	50	Si cumple

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 5**

**Resultado Final de los Parámetros**



Fuente: Elaboración propia.

## INTERPRETACIÓN

De acuerdo al informe de Ensayo N° 177758-17 se observa que el nivel de pH es de 6.76 y los sólidos totales en suspensión es de 39. Se comprueba que está dentro de los parámetros del D.S. N° 010-2010.

### 4.2.2. Discusión de los resultados

De acuerdo a los contrastes de los resultados del uso de los insumos de la Compañía Buenaventura, hidróxido férrico y sulfato de aluminio, se percibió diferencias en cuanto a la cantidad de los insumos para conseguir el pH y la totalidad de los sólidos de suspensión de acuerdo al D.S. N°010-2010-MINAM.

Se comprobó mediante el análisis del laboratorio de Química de la Universidad Nacional de San Agustín que no cumplían tales requisitos; pero después del experimento con el hidróxido de calcio y el sulfato de aluminio, tratamiento de cuatro ocasiones consecutivas, se alcanzaron los parámetros de acuerdo a la ley.

### 4.3. Cálculos de los insumos químicos

Seguidamente, los cálculos para determinar la optimización del pH con el hidróxido de calcio.

La compañía de minas Buenaventura emplea la siguiente dosis:

5m<sup>3</sup> Agua → 75 kg hidróxido de calcio.

5000 L → 75 kg.

0.5L → x

$$\frac{0.5 \times 75}{500} = 0.0075 \text{ kg} \left[ \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} \right] = 7.5 \text{ gr}$$

Convirtiendo a ppm:

$$\frac{75 \text{ kg}}{5000} \times \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ g}} = 15000 \text{ ppm}$$

$$\rightarrow \frac{20000}{1 \times 10^6} = \frac{k.Sust}{0.5 \text{ H}_2\text{O}} \times 10^6$$

$$\frac{10000}{1 \times 10^6} = 0.01 \times 1000 = 10 \text{ gs.}$$

$$\rightarrow \frac{30000}{1 \times 10^6} = \frac{k.Sust}{0.5 \text{ H}_2\text{O}} \times 10^6$$

$$\rightarrow \frac{15000}{1 \times 10^6} = 0.015 \times 1000 = 15 \text{ gr//}$$

$$\frac{20000}{1 \times 10^6} = 0.02 \times 1000 = 20 \text{ gr//}$$

Cálculos para determinar la optimización de sólidos suspendidos totales con el sulfato de aluminio.

La compañía de minas Buenaventura emplea la siguiente dosis de sulfato de aluminio:

$$540 \text{ lt} \quad \rightarrow \quad 400 \text{ gr} \quad 540 \text{ L} \quad \rightarrow \quad 400 \text{ gr}$$

$$0.5 \text{ L} \quad \rightarrow \quad x$$

$$\frac{0.5 \text{ L} \times 400 \text{ gr}}{540 \text{ L}} = 0.237 \text{ gr}$$

Convirtiendo a ppm.

$$\frac{400\text{ gr}}{540\text{ L}} \times \frac{1000\text{ gr}}{1\text{ kg}} = 740\text{ ppm}$$

#### 4.4. Análisis de los costos operativos beneficio

La inversión en insumos químicos siempre es un factor importante. Dentro de los insumos químicos se encuentra el hidróxido de calcio, sulfato de aluminio y el hipoclorito de sodio; costos que se determinaron a partir de las dosis obtenidas de las pruebas experimentales.

1. **Hidróxido de calcio:** Para los cálculos del costo de la cal se tomó como referencia la dosis de cal usada en el agua más turbia que fue de 20 ppm por presentar menor pH.

Para 35 000 L se necesita 20 mg / litro

$$3500\text{ l} \times \frac{20\text{ mg}}{\text{ l}} = 700000\text{ mg}$$

$$700000\text{ mg} \times \frac{1\text{ g}}{1000\text{ mg}} = 700\text{ g}$$

$$700\text{ g} \times \frac{1\text{ kg}}{1000\text{ g}} = 0.7\text{ kg}$$

Si trata 35 000 L al día, se necesita de 0.7 kg. a día

$$0.7 \times 31\text{ días} = 21.7\text{ Kg} / \text{ mes}$$

$$21.7\text{ kg} / \text{ mes} \times 0.15 = 3.26$$

Cada metro cúbico de agua, tendrá una inversión de S/. 3.26.

2. **Sulfato de aluminio:** De acuerdo a las pruebas experimentales, la dosis que produjo los mejores resultados fue de 375 ppm. Para una producción de 35<sup>m3</sup> al día de agua, se tiene:

$$35000l \cdot x 375 \frac{mg}{l} = 13125000 mg$$

$$13125000 mg \cdot x \frac{1g}{1000mg} = 13125 g$$

$$13125 g \cdot x \frac{1kg}{1000g} = 13.16 Kg$$

Si trata 35 000 L/día, necesita 13.16 Kg al mes.

Una vez obtenidos todos los valores relacionados a los costos de funcionamiento, se procedió a realizar la sumatoria para saber cuál es el costo por metro cúbico de agua tratada.

**Tabla 15**  
**Costos del floculante y cal viva en el año 2015**

2015	Nro. Dias	Sulfato de Aluminio			Cloruro Ferrico			COSTO TOTAL
		Precio Unitario \$.	Consumo Total Kg	Costo Total \$.	Precio Unitario \$.	Consumo Total Kg	Costo Total \$.	
Enero	31	5.80	37.2	215.76	0.25	4 110	1 027.50	1 243.26
Febrero	28	5.80	33.6	194.88	0.25	2 525	631.25	826.13
Marzo	31	5.80	49.6	287.68	0.25	8 265	2 066.25	2 353.93
Abril	30	5.80	46.5	269.70	0.25	4 85	1 212.50	1 482.20
Mayo	31	5.80	40.6	235.48	0.25	5 370	1 342.50	1 577.98
Junio	30	5.80	39.0	226.20	0.25	8 825	2 206.25	2 432.45
Julio	31	5.80	40.8	236.64	0.25	7 371	1 842.75	2 079.39
Agosto	31	5.80	46.4	269.12	0.25	7 125	1 781.25	2 050.37
Setiembre	30	5.80	48.5	281.30	0.25	8 175	2 043.75	2 325.05
Octubre	31	5.80	36.7	212.86	0.25	5 375	1 343.75	1 556.61
Noviembre	30	5.80	39.8	230.84	0.25	6 300	1 575.00	1 805.84
Diciembre	31	5.80	38.2	221.56	0.25	8 825	2 206.25	2 427.81
TOTAL		5.80	496.9	2 882.02	0.25	77 116	19 279.00	22 161.02

Fuente: Cía. Minas Buenaventura.

**Tabla 16**  
**Costos de la propuesta**

2015	Nro. Días	Sulfato de Aluminio			Hidroxido de Calcio			COSTO TOTAL
		Precio Unitario \$.	Consumo Total Kg	Costo Total \$.	Precio Unitario \$.	Consumo Total Kg	Costo Total \$.	
Enero	31	5,80	13,16	76,33	0,15	4 110	616.50	692.83
Febrero	28	5,80	11,89	68,94	0,15	2 525	378.75	447.69
Marzo	31	5,80	13,16	76,33	0,15	8 265	1 239.75	1 316.08
Abril	30	5,80	12,74	73,87	0,15	4 850	727.50	801.37
Mayo	31	5,80	13,16	76,33	0,15	5 370	805.50	881.83
Junio	30	5,80	12,74	73,87	0,15	8 825	1 323.75	1 397.62
Julio	31	5,80	13,16	76,33	0,15	7 371	1 105.65	1 181.98
Agosto	31	5,80	13,16	76,33	0,15	7 125	1,068.75	1 145.08
Setiembre	30	5,80	12,74	73,87	0,15	8 175	1 226.25	1 300.12
Octubre	31	5,80	13,16	76,33	0,15	5 375	806.25	882.58
Noviembre	30	5,80	12,74	73,87	0,15	6 300	945.00	1 018.87
Diciembre	31	5,80	13,16	76,33	0,15	8 825	1 323.75	1 400.08
TOTAL		5,80	154,95	898,70	0,15	77 1160	11 567.40	12 466.10

**Fuente:** Elaboración propia.

### **INTERPRETACIÓN**

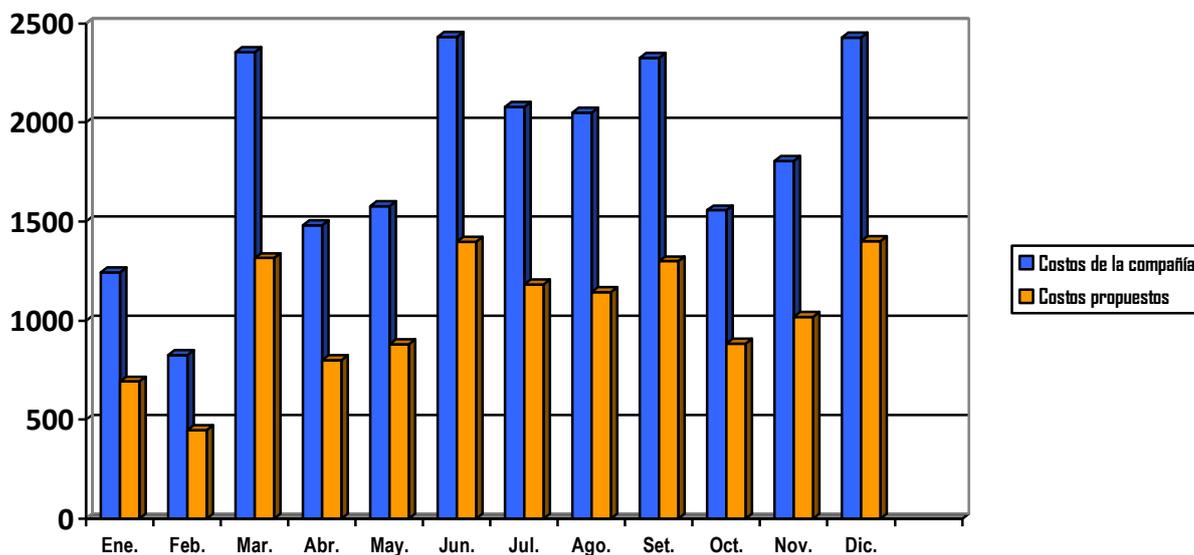
Analizando las tablas 15 y 16 se observa una disminución del costo del cloruro férrico de S/.19 279.00 a S/.11 567.40 de hidróxido de calcio para el año 2015; igualmente, el sulfato de aluminio disminuyó de S/.2 882.02 a S/. 898.70 en costos ya que se encontró la dosis óptima por lo que se sugiere tener en cuenta el tratamiento propuesto.

**Tabla 17**  
**Comparación mensual de costos compañía / costos propuesta**

<b>Mes</b>	<b>Costos de la compañía</b>	<b>Costos propuestos</b>
Ene.	1 243.26	692.83
Feb.	826.13	447.69
Mar.	2 353.93	1 316.08
Abr.	1 482.20	801.37
May.	1 577.98	881.83
Jun.	2 432.45	1 397.62
Jul.	2 079.39	1 181.98
Ago.	2 050.37	1 145.08
Sep.	2 325.05	1 300.12
Oct.	1 556.61	882.58
Nov.	1 805.84	1 018.87
Dic.	2 427.81	1 400.08
Total	22 161.02	12 466.10

**Fuente:** Elaboración propia.

**Gráfico 6**  
**Comparación mensual de costos compañía / costos propuesta**



**Fuente:** Elaboración propia.

## INTERPRETACIÓN

Analizando la tabla 17, se observa que los costos de la compañía desde el mes de enero a diciembre van subiendo; sin embargo, los costos de la propuesta se mantienen durante todo el año.

**Tabla 18**

### **Costos de tratamiento anual compañía / costos propuesta**

<b>Insumos químicos</b>	<b>Nazareno</b>	<b>Propuesta</b>
Cloruro férrico	19 279.00	0
Sulfato de aluminio	2 882.02	898.70
Hidróxido de calcio	0	12 466.10
	22 161.02	13 364.80

**Fuente:** Elaboración propia.

## INTERPRETACIÓN

De un total de S/. 25 000 del presupuesto para el área de Recursos Hídricos para el Efluente ECH-2, la compañía utiliza el 88.64% (S/. 22 161.02).

Con la propuesta se reduce a 53.50% (S/. 13 364.80) por lo que se sugiere tener en cuenta el tratamiento propuesto.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La optimización técnica y económicamente del tratamiento de las aguas residuales industriales ácidas y sólidos totales en suspensión del efluente generadas en la veta Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa, provincia de Castilla a través de la prueba de aplicación del hidróxido de calcio alcanzó el 20 ppm y 375 de sulfato de aluminio con el Test de jarras.

**SEGUNDA:** La dosis óptima del hidróxido de calcio para nivelar el pH en el tratamiento de aguas residuales industriales del efluente Nazareno ECH-2 de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa dio como resultado  $\text{pH} = 6.76$  y tiene relación con el D.S. N° 010-2010 –MINAM.

**TERCERA:** La dosis óptima de sulfato de aluminio para nivelar los resultados obtenidos en el Test de jarras fue de 39 mg/L, el cual se ajusta al D.S. N°010-2010 –MINAM.

**CUARTA:** Se logró con la aplicación de las dosis óptimas de hidróxido de calcio como sulfato de aluminio alcanzar los parámetros estipulados en el D.S. N°010-2010 –MINAM. A través del proceso del método experimental, se consiguió la optimización del tratamiento.

**QUINTA:** Se redujo los costos operativos actuales del área de recursos hídricos de la Unidad Económica Administrativa de Orcopampa en un 35.14%.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Realizar mantenimiento y calibración de los equipos utilizados en el proceso de tratamiento de agua de forma periódica por personal especializado; así lograr mediciones de mayor confiabilidad.

**SEGUNDA:** Es necesario realizar una inversión en equipos y material de laboratorio dado que es necesario tener un buen control en el sector del agua que garantice la calidad del agua y no tengan efectos adversos sobre la salud.

**TERCERA:** Es necesario que en posteriores análisis no se evalúe solo los parámetros de turbidez y pH en cuanto a la dosificación de coagulante; sino también parámetros como la dureza que también afecta la cantidad de coagulante en el momento del tratamiento de aguas.

**CUARTA:** Se sugiere que en la Planta de tratamiento de agua de la UEA de Orcopampa se realicen ensayos periódicos con el Test de jarras con el fin de mejorar la dosificación del coagulante utilizado en el tratamiento del agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anfalcal. (2012). *Aplicacion del Hidroxido de calcio*. Recuperado el 12 de Febrero de 2017, de [http://anfcal.org/media/Eventos/PRESENTACIONES\\_DEL\\_EVENTO\\_CONACAL\\_2012/Utilizacion\\_de\\_la\\_cal\\_en\\_tratamiento\\_de\\_aguas.pdf](http://anfcal.org/media/Eventos/PRESENTACIONES_DEL_EVENTO_CONACAL_2012/Utilizacion_de_la_cal_en_tratamiento_de_aguas.pdf)
- Aquaquimi. (2004). *HOJA TECNICA*. Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.aquaquimi.com/PDF/hoja%20tecnica/hoja%20tecnica%20sulfato%20aluminio.pdf>
- Arboleda, J. (2000). *Teoria y practica de la purificacion del agua* . Cali: Tercera edicion.
- Blasquez, P. (12 de Octubre de 2010). *Reutilizacion de agua de la Bahia* . Obtenido de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua\\_reutilizacion.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua_reutilizacion.pdf)
- Calidra, G. (2002). *Manual de usos ecológicos de la cal;*. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://www.foccal.org/portal/sites/default/files/archivos/articulos/Tratamiento%20AGUAS-CAL.pdf>
- Javeriana, U. (s/f). *Ficha de Seguridad del Hidroxido de calcio* . Recuperado el Marzo de 2017, de [http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/Ca\(OH\)2.pdf](http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/Ca(OH)2.pdf)
- Kritmar, C. (s/f). *Test de jarras*. Mexico: Siglo XX.
- Lorenzo, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulacion y floculacion*. Cuba: Instituto Cubano Investigaciones de los derivados de Caña de Azucar .
- Malacatus, P. (2015). *Evaluación de la eficiencia en base a la carga contaminante del sistema de tratamiento de aguas residuales de la*

- extractora de aceite de palma Oleocastillo S.A.* Recuperado el 11 de Febrero de 2017
- Mantilla, S. &. (s/f). *PARTICIPACION EN LOS ESTUDIOS DE LINEA BASE Y CONTROLES AMBIENTALES EN EL PROYECTO MINEROMINAS CONGA.* Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de <https://es.slideshare.net/calanyagami/tesis-aguas-residuales>
- Mayo, E. (Octubre de 2010). *“Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de.* Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30564/1/FernandezMayo.pdf>
- Mendez, F. &. (Enero de 2010). *“PROPUESTA DE UN MODELO SOCIO ECONÓMICO DE DECISIÓN DE.* Obtenido de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/217/1/mendez\\_mf.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/217/1/mendez_mf.pdf)
- Neutralac. (s/f). *Aguas residuales y lodos .* Recuperado el 2 de Marzo de 2017, de <http://www.lhoist.com/es/market-segment/aguas-residuales-y-lodos>
- Perez, J. (2006). *Curso detecnologia de tratamiento de aguas en paises de desarrollo.* Mexico : Grijalbo.
- Rodriguez.C. (1996). *Opracion y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua .* Cali: Caldas.
- Romero, J. (2002). *Calidad de agua.* Lima: Minerva.
- Sanchez, D. (2013). *Test de jarras floculacion y coagulacion.* Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <https://prezi.com/a0jfrvtqohl9/test-de-jarras-floculacion-y-coagulacion/>
- Weatherford. (2012 ). *Hidroxido de calcio .* Recuperado el 2 de Marzo de 2017, de <http://www.weatherford.com/doc/wft126353>

**A N E X O S**

# Anexo 1

## FICHA TÉCNICA PUNTO DE CONTROL DE MONITOREO

Titular Minero :   
 Unidad Minera :   
 Resolución que aprobó punto de control (De ser nuevo punto omitir dato) :

### IDENTIFICACION DEL PUNTO

Código de Punto de Control <sup>(1)</sup> :   
 Tipo de Muestra :  L = Líquido G = Gaseoso S = Sólido B = Biológico R = Ruido o Vibración  
 Clase :  E = Efuyente / Emisión R = Receptor  
 Zona de muestreo <sup>(2)</sup> :   
 Tipo Procedencia / Ubicación <sup>(3)</sup> :   
 Categoría :  Colocar Clase anterior, solo para los Titulares que están actualizando Fichas SIA   
(Categorizado de Acuerdo al R. J. N° 202-2010-ANA)

Descripción <sup>(4)</sup> :

### UBICACIÓN

Distrito :  Provincia :  Departamento :

Cuenca :

Coordenadas U.T.M. (En Datum Horizontal UTM WGS84) (De Acuerdo al R. J. N° 096-2011-IGM/OAJ/DGC)

Norte :  Este :  Zona :  ( 17, 18 o 19 )  
 Altitud :  ( metros sobre el nivel del mar )

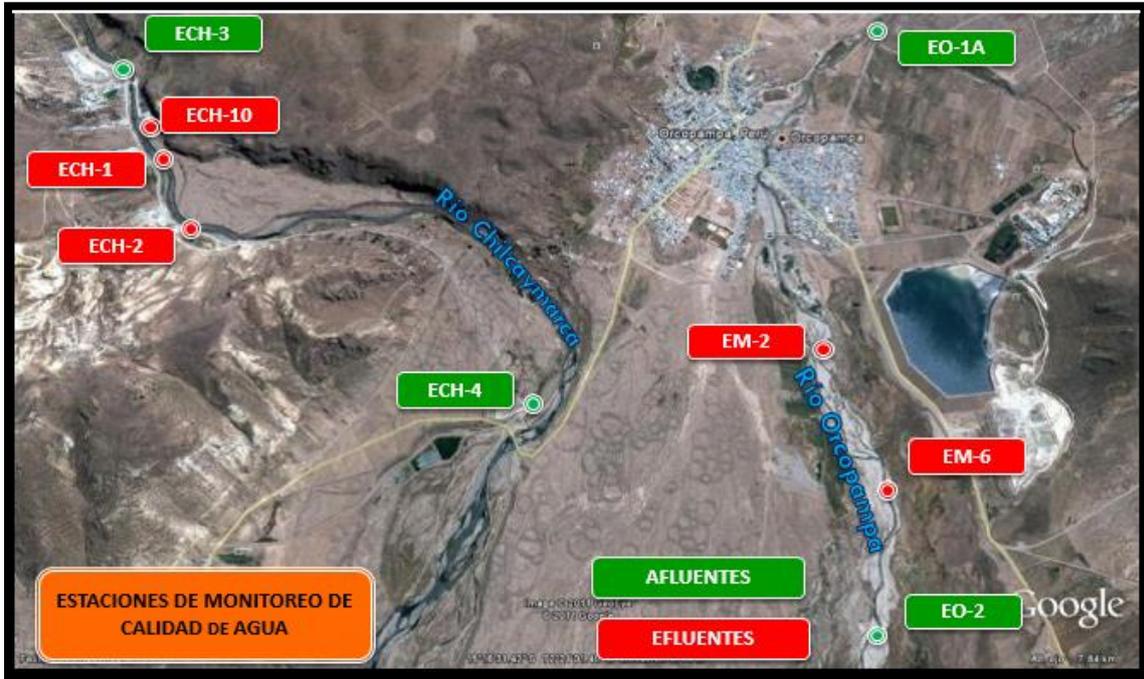
### PLAN DE MONITOREO <sup>(5)</sup>

Parametro	Frecuencia de Muestreo (SEMANA, MENSUAL, TRIMESTRAL O SEMESTRAL)	Frecuencia de Reporte (TRIMESTRAL, SEMESTRAL O ANUAL)
PH	MENSUAL	TRIMESTRAL
CIANURO TOTAL	MENSUAL	TRIMESTRAL
SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS	MENSUAL	TRIMESTRAL
PLOMO DISUELTO	MENSUAL	TRIMESTRAL
COBRE DISUELTO	MENSUAL	TRIMESTRAL
ZINC DISUELTO	MENSUAL	TRIMESTRAL
HIERRO DISUELTO	MENSUAL	TRIMESTRAL
ARSENICO DISUELTO	MENSUAL	TRIMESTRAL



## Anexo 2

### ESTACIONES DE MONITOREO U.E.A. ORCOPAMPA



### Anexo 3

### FOTOGRAFÍAS DE LABORATORIO

### Preparación del Hidróxido de Calcio



### Hidróxido de Calcio en Jarras



## Sedimentación



## Preparando la Solución de Sulfato de Aluminio

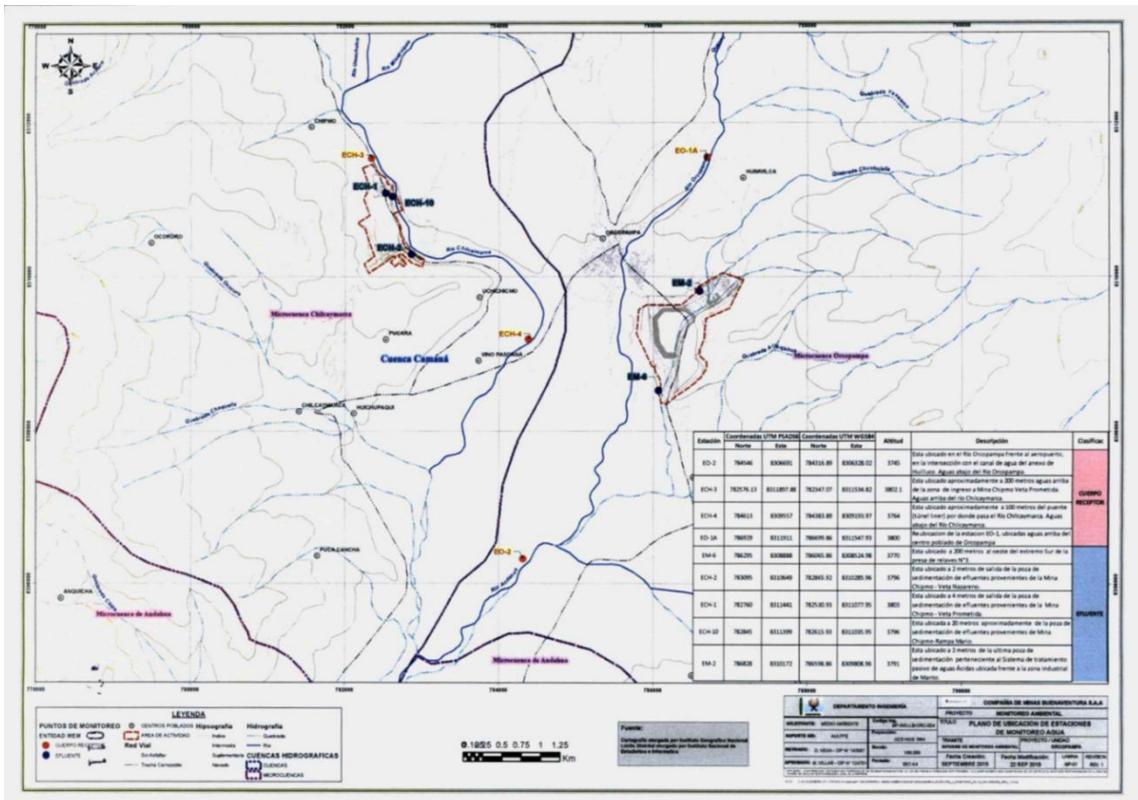


## Adición de la solución patrón a cada vaso beaker



# Anexo 4

## Plano de Ubicación de Estaciones de Monitoreo



## Anexo 5

### Instalaciones de la planta de la UEA Orcopampa



## Anexo 6

### Cuadro de Cadena de Custodia de Entrada

CADENA DE CUSTODIA PARA MUESTRA DE AGUA																		
NOMBRE O RAZON SOCIAL : CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.																		
EMPRESA / UNIDAD: U.E.A ORCOPAMPA																		
AREA SOLICITANTE: MEDIO AMBIENTE																		
MUESTREADO POR: BEATRIZ AROTAYPE PATINO																		
N°	ESTACION DE MUESTREO	Medio de Conducción / Referencia	FECHA	Vol de muestra Lt.	DETERMINACION DE :											DESCRIPCION / OBSERVACIONES		
					Potencial de Hidrogeno	Solidos Totales en Suspension mg/l (uS/cm)	Aceites y Grasa	Cianuro Total	Arsenico total	Cadmio Total	Cromo Hexavalente	Cobre Total	Hierro(disuelto)	Mercurio Total	Plomo Total		Zinc Total	N° De Frascos
1	ECH-2	Está ubicado a 4 metros de salida de la poza de sedimentación de efluentes provenientes de la Mina Chipmo -Veta Nazareno	07/02/2017	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	Las muestras aun no se encuentran preservadas

### Cuadro de Cadena de Custodia de Salida

CADENA DE CUSTODIA PARA MUESTRA DE AGUA													
NOMBRE O RAZON SOCIAL : CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.													
EMPRESA / UNIDAD: U.E.A ORCOPAMPA													
AREA SOLICITANTE: MEDIO AMBIENTE													
MUESTREADO POR: BEATRIZ AROTAYPE PATINO													
N°	ESTACION DE MUESTREO	Medio de Conducción / Referencia	FECHA	Vol de muestra Lt.	DETERMINACION DE :		N° De Frascos	DESCRIPCION / OBSERVACIONES					
					Potencial de Hidrogeno	Solidos Totales en Suspension mg/l							
1	ECH-2	Está ubicado a 4 metros de salida de la poza de sedimentación de efluentes provenientes de la Mina Chipmo -Veta Nazareno	21/02/2017	2	X	X	1	Las muestras aun no se encuentran preservadas					

## Anexo 7



UNIDAD DE PRODUCCION DE BIENES Y  
PRESTACION DE SERVICIOS  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS  
LABINVSERV

### INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Nº DE REPORTE : 17725-17

---

NOMBRE DEL CLIENTE	: BEATRIZ ROSRIO AROTAYPE PATIÑO
DIRECCIÓN	: AREQUIPA
ASUNTO	: ANÁLISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO	: AGUA
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN	: AREQUIPA, 2017-02-08
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES	: BOTELLA DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS	: AREQUIPA, 2017-02-15
REFERENCIA	: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: EFLUENTE NAZARENO ECH-2 CORDENADAS UTM NORTE: 8310300 SUR: 782897
PROYECTO	
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRA	: 23257

---

- LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
- ESTE FORMATO NO SERA PRODUCIDO SIN AUTORIZACION DEL LABORATORIO SERVLAB

PAGINA 1 DE 2

---

Av: Independencia s/n Ciudad Universitaria Laboratorio 108-Primer Piso  
Teléfono: 220360 E-mail: upbs.servilab@hotmail.com

## INFORME DE ENSAYO

N° DE REPORTE: 17725-17

DETERMINACIÓN DE:					
pH			5.76	-----	-----
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L		60.0		
Grasas y Aceites	mg/L		8.00		
Cianuro Total	mg/L		0.00		
Arsénico Total	mg/L		0.014		
Cadmio Total	mg/L		0.002		
Cromo Hexavalente	mg/L		0.003		
Cobre Total	mg/L		0.014		
Hierro (disuelto)	mg/L		0.073		
Mercurio Total	mg/L		0.001		
Plomo Total	mg/L		0.021		
Zinc Total	mg/L		0.135		
OBSERVACIONES:					

### MÉTODO DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO
	NORMA / REFERENCIA / NOMBRE
pH	Método de la AOAC
sólidos Totales en Suspensión	Método Gravimétrico
Grasas y Aceites	Método de la AWWA
Cianuro Total	Método de Destilación y Complexometría
Arsénico Total	Método de Dietilcarbamato de plata
Cadmio Total	Método de Absorción Atómica
Cromo Hexavalente	Método de Absorción Atómica
Cobre Total	Método de Absorción Atómica
Hierro (disuelto)	Método de Absorción Atómica
Mercurio Total	Método de Absorción Atómica
Plomo Total	Método de Absorción Atómica
Zinc Total	Método de Absorción Atómica

PAGINA 2 DE 2

Emitido en Arequipa (Perú), el 15 de Febrero del 2017.



**Dr. Juan Reyes Larico**  
**Jefe de Laboratorio**  
RCQP - 348




**Lic. Fredy Valdivia Peña**  
**Químico Responsable**  
RCQP - 842

## Anexo 8

### Informe de Salida



UNIDAD DE PRODUCCION DE BIENES Y  
PRESTACION DE SERVICIOS  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS  
LABINVSERV

## INFORME DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Nº DE REPORTE : 17758-17

---

NOMBRE DEL CLIENTE	: BEATRIZ ROSRIO AROTAYPE PATIÑO
DIRECCIÓN	: AREQUIPA
ASUNTO	: ANÁLISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO	: AGUA
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN	: AREQUIPA, 2017-02-22
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES	: BOTELLA DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS	: AREQUIPA, 2017-02-24
REFERENCIA	: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: EFLUENTE NAZARENO ECH-2 CORDENADAS UTM NORTE: 8310300 SUR: 782897
PROYECTO	
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRA	: 23310

---

- LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
- ESTE FORMATO NO SERA PRODUCIDO SIN AUTORIZACION DEL LABORATORIO SERVLAB

PAGINA 1 DE 2

---

Av. Independencia s/n Ciudad Universitaria Laboratorio 108-Primer Piso  
Teléfono: 220360 E-mail: upbs.servilab@hotmail.com

## INFORME DE ENSAYO

Nº DE REPORTE: 17758-17

DETERMINACIÓN DE :					
pH		6.76			
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	39.0			
OBSERVACIONES:					

METODO DE ENSAYO	
DETERMINACIÓN	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA /REFERENCIA / NOMBRE
pH	Método de la AOAC
Sólidos Suspendidos Totales	Método Gravimétrico

Emitido en Arequipa (Perú), el 24 de Febrero del 2017

PAGINA 2 DE 2



**Dr. Juan Reyes Larico**  
**Jefe de Laboratorio**  
RCQP - 348



**Lic. Fredy Valdivia Peña**  
**Químico Responsable**  
RCQP - 842

## Anexo 9

### Resultados del Programa SPSS Versión 22

ONEWAY RESULTADOS BY TRATAMIENTOS

/MISSING ANALYSIS

/POSTHOC=TUKEY DUNNETTL ALPHA (0.01).

### Unidireccional

#### Notas

Salida creada		21-FEB-2017 22:36:48
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	Conjunto_de_datos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	25
Manejo de valor perdido	Definición de ausencia	Los valores perdidos definidos por el usuario se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos para cada análisis se basan en casos sin datos perdidos para cualquier variable del análisis.

Sintaxis		ONEWAY RESULTADOS BY TRATAMIENTOS
		/MISSING ANALYSIS
		/POSTHOC=TUKEY
		DUNNETTL ALPHA(0.01).
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00,11
	Tiempo transcurrido	00:00:00,11

### ANOVA

#### RESULTADOS

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	13,276	3	4,425	19,867	,000
Dentro de grupos	3,564	16	,223		
Total	16,840	19			

#### Pruebas post hoc

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESULTADOS

	(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar
HSD Tukey	HDC10	HDC15	-,24000	,29850
		HDC20	-1,94000*	,29850
		CLF	,02000	,29850
	HDC15	HDC10	,24000	,29850
		HDC20	-1,70000*	,29850
		CLF	,26000	,29850

	HDC20	HDC10	1,94000*	,29850
		HDC15	1,70000*	,29850
		CLF	1,96000*	,29850
	CLF	HDC10	-,02000	,29850
		HDC15	-,26000	,29850
		HDC20	-1,96000*	,29850
T de Dunnett (<control) <sup>b</sup>	HDC10	CLF	,02000	,29850
	HDC15	CLF	,26000	,29850
	HDC20	CLF	1,96000	,29850

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESULTADOS

	(I) TRATAMIENTO S	(J) TRATAMIENTOS	Sig.	99% de intervalo de confianza
				Límite inferior
HSD Tukey	HDC10	HDC15	,852	-1,3358
		HDC20	,000	-3,0358
		CLF	1,000	-1,0758
	HDC15	HDC10	,852	-,8558
		HDC20	,000	-2,7958
		CLF	,820	-,8358
	HDC20	HDC10	,000	,8442
		HDC15	,000	,6042
		CLF	,000	,8642
CLF	HDC10	1,000	-1,1158	
	HDC15	,820	-1,3558	

		HDC20	,000	-3,0558
T de Dunnett (<control) <sup>b</sup>	HDC10	CLF	,773	
	HDC15	CLF	,949	
	HDC20	CLF	1,000	

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESULTADOS

	(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	99% de intervalo de confianza
			Límite superior
HSD Tukey	HDC10	HDC15	,8558
		HDC20	-,8442
		CLF	1,1158
	HDC15	HDC10	1,3358
		HDC20	-,6042
		CLF	1,3558
	HDC20	HDC10	3,0358
		HDC15	2,7958
		CLF	3,0558
	CLF	HDC10	1,0758
		HDC15	,8358
		HDC20	-,8642
T de Dunnett (<control) <sup>b</sup>	HDC10	CLF	,9311
	HDC15	CLF	1,1711
	HDC20	CLF	2,8711

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.01.

b. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

### Subconjuntos homogéneos

#### RESULTADOS

TRATAMIENTOS		N	Subconjunto para alfa = 0.01	
			1	2
HSD Tukey <sup>a</sup>	CLF	5	5,4400	
	HDC10	5	5,4600	
	HDC15	5	5,7000	
	HDC20	5		7,4000
Sig.			,820	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

ONEWAY RESULTADOS BY TRATAMIENTO

/MISSING ANALYSIS

/POSTHOC=BTUKEY DUNNETTL ALPHA (0.01).

**Unidireccional**

**Notas**

Salida creada		21-FEB-2017 23:05:20
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	Conjunto_de_datos0
	Filtro	<ninguno>
	Ponderación	<ninguno>
	Segmentar archivo	<ninguno>
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	26
Manejo de valor perdido	Definición de ausencia	Los valores perdidos definidos por el usuario se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos para cada análisis se basan en casos sin datos perdidos para cualquier variable del análisis.
Sintaxis		ONEWAY RESULTADOS BY TRATAMIENTO  /MISSING ANALYSIS  /POSTHOC=BTUKEY DUNNETTL ALPHA(0.01).
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00,16
	Tiempo transcurrido	00:00:00,16

## ANOVA

### RESULTADOS

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4372,800	4	1093,200	46,598	,000
Dentro de grupos	469,200	20	23,460		
Total	4842,000	24			

### Pruebas post hoc

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESULTADOS

	(I) TRATAMIENTO O	(J) TRATAMIENTO O	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar
T de Dunnett (<control) <sup>a</sup>	SDA310	SDA300	-10,20000*	3,06333
	SDA340	SDA300	-15,00000*	3,06333
	SDA375	SDA300	-39,40000*	3,06333
	SDA400	SDA300	-9,40000	3,06333

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESULTADOS

	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Sig.	99% de intervalo de confianza
				Límite superior
T de Dunnett (<control) <sup>a</sup>	SDA310	SDA300	,006	-,7583
	SDA340	SDA300	,000	-5,5583
	SDA375	SDA300	,000	-29,9583
	SDA400	SDA300	,010	,0417

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.01.

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

### Subconjuntos homogéneos

#### RESULTADOS

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.01			
		1	2	3	
Tukey B <sup>a</sup>	SDA375	5	24,6000		
	SDA340	5		49,0000	
	SDA310	5		53,8000	53,8000
	SDA400	5		54,6000	54,6000
	SDA300	5			64,0000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

**Anexo 10**

**Autorización del ANA por tres años (Archivo PDF)**

**Anexo 11**

**Decreto Supremo 0-10 (Archivo PDF)**

**Anexo 12**

**Decreto Supremo 0-15 (Archivo PDF)**