

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
ESCUELA DE POSGRADO**

**Programa de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable**



**UNS**  
ESCUELA DE  
**POSGRADO**

---

---

**Impacto Ambiental y Económico de la Neutralización de  
Aguas Ácidas para su Reutilización como Agua Industrial  
en el Proceso de Galvanizado de la Empresa Siderperú**

---

---

**Tesis para optar el grado de  
Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable**

**Autor:**

**Mg. Alegre Jara, Marlon Javier**

**Asesor:**

**Dr. Tresierra Aguilar, Álvaro Edmundo**  
**DNI N° 17806296**  
**Código ORCID: 0000-0001-8611-7426**

**Linea de Investigación**  
**Gestión del agua en actividades productivas**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2023**

## CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

Yo, Dr. ÁLVARO EDMUNDO TRESIERRA AGUILAR, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis Doctoral titulada “Impacto Ambiental y Económico de la Neutralización de Aguas Ácidas para su Reutilización como Agua Industrial en el Proceso de Galvanizado en una Empresa Siderúrgica” elaborada por el Mg. **MARLON JAVIER ALEGRE JARA** para obtener el Grado Académico de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 16 de mayo del 2023



**Dr. ÁLVARO EDMUNDO TRESIERRA AGUILAR**

DNI N° 17806296

Código ORCID: 0000-0001-8611-7426

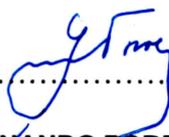
**ASESOR**

## CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

“Impacto Ambiental y Económico de la Neutralización de Aguas Ácidas para su Reutilización como Agua Industrial en el Proceso de Galvanizado en una Empresa Siderúrgica”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. LUIS FERNANDO TORRES CABRERA

DNI N° 26690133

Código ORCID: 0000-0003-4662-5412

PRESIDENTE



Dr. DANIEL ANGEL SANCHEZ VACA

DNI N° 18146173

Código ORCID: 0000-0003-4326-1852

SECRETARIO



Dr. ÁLVARO EDMUNDO TRESIERRA AGUILAR

DNI N° 17806296

Código ORCID: 0000-0001-8611-7426

VOCAL



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los diecinueve días del mes de mayo del año 2023, siendo las 11:30 horas, en el aula multimedia N° 01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador conformado por los docentes: Dr. Luis Fernando Torres Cabrera (Presidente), Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Secretario) y Dr. Álvaro Edmundo Tresierra Aguilar (Vocal), designados mediante Resolución Directoral N° 073-2023-EPGUNS de fecha 09 marzo 2023, con la finalidad de evaluar la tesis titulada: **IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS PARA SU REUTILIZACIÓN COMO AGUA INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERPERU**; presentado por el tesista **Marlon Javier Alegre Jara**, egresado del programa de **Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 090-2023-EPG-UNS de fecha 17 de mayo de 2023.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como: APROBADO asignándole la calificación de: Diecinueve.

Siendo las 12:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

  
Dr. Luis Fernando Torres Cabrera  
Presidente

  
Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca  
Secretario

  
Dr. Álvaro Edmundo Tresierra Aguilar  
Vocal



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Marlon Alegre Jara  
Título del ejercicio: HUMANIDADES Y CIENCIAS SOCIALES  
Título de la entrega: IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA NEUTRALIZACIÓ...  
Nombre del archivo: Tesis\_Final\_MarlonAlegreJara.\_24.06.2022\_REV.10.pdf  
Tamaño del archivo: 2.49M  
Total páginas: 101  
Total de palabras: 23,968  
Total de caracteres: 127,766  
Fecha de entrega: 04-jun.-2023 09:04p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2108997720



## **DEDICATORIA**

Mi reconocimiento y admiración a mi esposa Lisbeth Arroyo Mariños.

A mis hijos Marxia y Aziel por ser una fuente motivadora para seguir siempre adelante.

A mis hermanos Evelyn, Maribel y Dennis por ser fuente de inspiración y gozo de vivir.

A mis padres Luis e Hilda por su profunda entrega y apoyo en el desarrollo de mi persona.

El autor

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud y me reconocimiento sincero:

Al Dr. Álvaro Edmundo Tresierra Aguilar como asesor del presente trabajo.

Al Bachiller Dino García Llajaruna por su valioso apoyo y ayuda en la realización del presente trabajo.

Al estadista Anthony Bill Moran Muñoz por su apoyo incondicional en los análisis estadísticos.

A Alison Jazmín Zeñas Alegre por su aporte en el proceso de investigación.

Marlon Javier Alegre Jara

## Índice general

Hoja de conformidad del asesor .....	ii
Conformidad del jurado evaluador.....	iii
Dedicatoria .....	vi
Agradecimientos .....	vii
Índice general.....	vii
Lista de cuadros.....	ix
Lista de gráficos .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	13
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.1 Planteamiento y fundamentación del problema .....	14
1.2 Antecedentes de la investigación .....	14
1.3 Formulación del problema de Investigación .....	19
1.4 Delimitación del estudio.....	19
1.5 Justificación e importancia de la Investigación.....	20
1.6 Objetivos de la investigación .....	21
1.6.1 Objetivo general.....	21
1.6.2 Objetivos específicos.....	21
II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Fundamentos teóricos de la investigación .....	22
2.1.1 Los drenajes ácidos que originan la siderurgia y minería. ....	22
2.1.2 El proceso de galvanizado de materiales.....	22
2.1.3 Proceso de tratamiento de aguas residuales industriales .....	24
2.1.4 Técnicas para remoción de metales pesados más usados .....	28
2.1.5 Normas internacionales y nacionales que regulan los efluentes de la actividad siderúrgica. ....	33
2.2 Marco Conceptual .....	34
III. MARCO METODOLÓGICO .....	38
3.1 Hipótesis de la investigación .....	38
3.2 Variables e indicadores de la investigación .....	38
3.2.1 Variables.....	38
3.2.2 Indicadores .....	39

3.3	Método de investigación .....	40
3.4	Diseño o esquema de la investigación.....	41
3.5	Población y muestra .....	42
3.5.1	Población.....	42
3.5.2	Muestra.....	42
3.6	Actividades del proceso investigativo.....	42
3.7	Técnicas e instrumentos de la investigación .....	43
3.7.1	Técnicas serán observacionales y documentales.....	43
3.7.2	Instrumentos .....	44
3.8	Procedimiento para la recolección de datos .....	44
3.9	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	47
3.9.1	Procesamiento estadístico: .....	47
3.9.2	Procesamiento de datos .....	48
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1	Consideraciones generales y específicas .....	61
4.2	Flujos volumétricos de efluentes ácidos ingresantes.....	61
4.3	Cálculo del consumo de cal.....	63
4.4	Preparación de lechada de cal .....	64
4.5	Oxidación del ferroso y del manganeso .....	64
4.6	Generación y balance de sólidos en el proceso .....	66
4.7	Dimensionamiento de equipos de proceso .....	67
4.8	Dosificación de aditivos (floculantes).....	70
4.9	Evaluación Económica para la disposición de residuos.....	70
4.10	Evaluación del VAN, TIR y Tiempo De Retorno De La Inversión. ....	71
4.11	Cuadro de resultados Post Test. ....	73
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
5.1	Conclusiones .....	76
5.2	Recomendaciones.....	78
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA Y VIRTUAL .....	79
	ANEXOS.....	83

## Lista de cuadros

CUADRO 01: REACTIVOS QUÍMICOS NEUTRALIZANTES .....	29
CUADRO 02: AGENTES DE PRECIPITACIÓN PARA LA ELIMINACIÓN DE IONES METÁLICOS PESADOS .....	32
CUADRO 03: ESTÁNDARES DE COMPARACIÓN .....	33
CUADRO 04: MATRIZ DE OPERACIÓN DE VARIABLES DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS DE SIDERÚRGICA .....	40
CUADRO 05: TABLA DE MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS .....	46
CUADRO 06: COMPOSICIÓN DEL ÁCIDO GASTO Y LAS DE AGUAS ÁCIDAS Y ALCALINAS EN BLOQUES PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS. ....	49
CUADRO 07: CUADRO MATRIZ DEL P-VALUE PARA CADA PRUEBA DE RANGOS EN PARES. ....	58
CUADRO 08: COMPOSICIÓN DETALLADA DE LA MEZCLA DE ÁCIDO GASTO Y AGUAS ÁCIDAS Y ALCALINAS .....	62
CUADRO 09: FLUJO DE CAJA .....	71
CUADRO 10: CUADRO DE RESULTADOS POST TEST .....	74

## Lista de gráficos

Gráfico 01. Diagrama del proceso de tratamiento mediante precipitación química 2 .....	32
Gráfico 02. Distribución de las observaciones por tratamiento <sup>3</sup> .....	51
Gráfico 03. Primer Acercamiento .....	52
Gráfico 04. Segundo acercamiento de tratamiento .....	53
Gráfico 05. Tercer acercamiento de tratamiento .....	54
Gráfico 06. Normal q - q plot .....	56
Gráfico 07. Última observación con un zoom. ....	59
Gráfico 08. Análisis de factibilidad del proyecto. ....	73

# **“IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS PARA SU REUTILIZACIÓN COMO AGUA INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE GALVANIZADO EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA”**

## **RESUMEN**

El objetivo del presente estudio fue determinar el impacto ambiental y económico de la neutralización de aguas ácidas para su reutilización como agua industrial en el proceso de galvanizado en una empresa Siderúrgica. El efluente proveniente del proceso de galvanizado no cumple con la legislación exigible debido a su contenido de metales principalmente como fierro, manganeso y zinc. Se plantea un proceso de tratamiento de aguas ácidas, alcalinas y ácido gástrico para cumplir con los límites máximos permisibles exigidos para reutilizarlos en los procesos industriales y reducir el impacto ambiental y económico.

Para ello, se utilizó el método analítico de cuantificación de metales – Metales por ICP (inductively coupled plasma mass spectrometry) a fin de obtener los diferentes metales de la solución. Además de la determinación de los parámetros físico, químicos y biológicos se evaluaron la composición química de estos efluentes en cada una de las etapas del proceso a nivel laboratorio observando niveles altos de acidez de mezcla de soluciones ácidas y de metales como fierro, manganeso y zinc que ingresarán al proceso de tratamiento.

De los resultados obtenidos, a través del proceso de neutralización, se realiza la tratabilidad donde se da cumplimiento a los parámetros permisibles exigidos reduciendo los niveles de fierro a 1,73mg/l, Manganeso a 0,005 mg/l, Zinc a 0,13 mg/l y un pH de 8.5 para su reutilización como agua industrial.

Evaluando los resultados a través de una Matriz de Impacto Ambiental se concluye que la neutralización de aguas ácidas minimiza su impacto ambiental y trae ventajas económicas al permitir su reutilización como agua industrial para el proceso de galvanizado.

**Palabras clave:** Neutralización, aguas ácidas siderúrgicas, impacto ambiental y económico

**"ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACT OF THE NEUTRALIZATION OF  
ACIDIC WATER FOR ITS REUSE AS INDUSTRIAL WATER IN THE  
GALVANIZING PROCESS IN A STEEL COMPANY"**

**ABSTRACT**

The objective of this study was to determine the environmental and economic impact of the neutralization of acidic water for its reuse as industrial water in the galvanizing process in a steel company. The effluent from the galvanizing process does not comply with the required legislation due to its content of metals mainly such as iron, manganese and zinc. A process of treatment of acidic water, alkaline and acid waste is proposed to comply with the maximum permissible limits required to reuse them in industrial processes and reduce the environmental and economic impact.

For this, the analytical method of quantification of metals – Metals by ICP (inductively coupled plasma mass spectrometry) was used to obtain the different metals of the solution. To do this, the chemical composition of these effluents is evaluated in each of the stages of the process at the laboratory level observing high levels of acidity of mixture of acidic solutions and metals such as iron, manganese and zinc that will enter the treatment process.

From the results obtained, through the neutralization process, treatability is carried out where the required permissible parameters are met by reducing the levels of iron to 1.73mg/l, Manganese to 0.005 mg/l, Zinc to 0.13 mg/l and a pH of 8.5 for reuse as industrial water.

Evaluating the results through an Environmental Impact Matrix, it is concluded that the neutralization of acidic waters minimizes its environmental impact and brings economic advantages by allowing its reuse as industrial water for the galvanizing process.

**Keywords:** Neutralization, acidic steel waters, environmental and economic impact

## INTRODUCCIÓN

Las empresas siderúrgicas son las encargadas de producir y comercializar productos de acero de alta calidad, destinados a los sectores de construcción, minero e industrial; tanto en el mercado nacional como internacional. Entre ellas se encuentra SIDERPERU, el cual forma parte del grupo GERDAU desde el 2006, líder en la producción de aceros largos en el Continente Americano, se ubica en un terreno de aproximadamente 508 hectáreas, cuenta con más de 900 colaboradores y una capacidad de producción de 600 mil toneladas de acero, a través de sus Plantas de Acero, Laminación Largos y Planos, está dedicada a la producción y comercialización de productos de acero de alta calidad.

Dentro de sus actividades, tiene la fabricación de los productos viales donde se utiliza soluciones ácidas (ácido clorhídrico), así como alcalinas a fin de lograr un acabado superficial adecuado a las piezas de acero. Las piezas metálicas se sumergen en tinajas con estas soluciones, debiendo descartarse al cabo de cierto tiempo, ya que pierden su efectividad, al reducirse las concentraciones de acidez y cargarse de elementos metálicos disueltos, efecto similar ocurre con las soluciones alcalinas

Estas aguas ácidas una vez cumplido su ciclo de uso son almacenadas en contenedores para su disposición final a través de empresas autorizadas, generando gastos económicos y riesgos de contaminación ambiental durante la disposición.

Además, en los últimos años en el Perú la legislación ambiental es cada vez más exigente en cuanto a los valores de referencia como Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes generados en operaciones Siderúrgicas y Mineras y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

En este sentido la presente investigación busca demostrar que es posible recuperar las aguas ácidas para su reaprovechamiento como aguas industriales, con lo cual se mitigaría el impacto ambiental y favorecería la economía de la empresa, garantizando con ello la sostenibilidad y sustentabilidad de las actividades siderúrgicas y mineras como fuentes de trabajo y de materiales con mínimo impacto ambiental.

## **I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Planteamiento y fundamentación del problema**

Los drenajes ácidos que se originan en la siderurgia y minería son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo. Debido a que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, existe la necesidad de prevenir su formación y aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado.

Estos drenajes son tóxicos en diverso grado para el hombre, la fauna y la flora, contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de labores siderúrgicas, mineras, procesos de concentración de minerales, industria textil y del calzado, presas de residuos y escombreras de mina (Aduvire, 2006, p.1). Existen reportes de la muerte de miles de peces y crustáceos en ríos, afecciones al ganado y destrucción de cultivos y riveras, así como cambio de color de las aguas de ríos y lagos. Los drenajes ácidos además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos elementos en altas concentraciones son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre (Aduvire, 2006, p.1).

Debido al elevado costo que representa el tratamiento en depuradoras convencionales, es necesario buscar una solución a este problema. Una alternativa al tratamiento convencional de las aguas ácidas es a través de las plantas de neutralización de aguas ácidas en todas sus etapas como neutralización, oxidación, sedimentación, concentración y tratamiento (Aduvire, 2006, p.1).

### **1.2 Antecedentes de la investigación**

Aduvire (2018) en su trabajo sobre "Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas ácidas de mina, realizado con el objetivo de tratar las aguas ácidas en las mineras del Perú", hizo un gran número de ensayos de laboratorio y mediciones en campo orientados a determinar la acidez total de las aguas de mina, en donde se incluye la acidez protónica debida al pH y la acidez mineral correspondiente a la carga metálica presente

en cada efluente, esta información es base en los ensayos de neutralización porque lo que hay que abatir es la acidez presente en las aguas de mina. También se describe el dimensionado de los dispositivos de tratamiento activo o químico con cal, basados en ensayos experimentales de neutralización, floculación, coagulación y secuestro de fases sólidas y la obtención de subproductos de donde se pueden recuperar o reciclar metales, lo que permite reducir los costos de tratamiento y el desarrollo de una minería sostenida que respeta el medioambiente. (p. 1).

El estudio ha reportado resultados importantes considerando los procedimientos y la metodología seguida para el mismo, ya que al caracterizar las aguas ácidas de mina en función a la acidez ayuda a elegir el sistema de tratamiento más idóneo y eficiente, ya sea mediante sistemas activos o semi-pasivos, porque además de la acidez protónica se incluye la acidez mineral, aspecto que por lo general no se considera en los métodos clásicos de caracterización. El dimensionado del sistema de tratamiento para aguas ácidas basado en el contenido de acidez y por etapas, por un lado, permite aprovechar mejor los recursos gastando menos cal en el proceso de neutralización, y por otro lado, permite recuperar metales de los lodos del proceso. Esto hace que los tratamientos de aguas ácidas sean más eficientes, de menor costo y de mayor control ambiental. (p. 10)

Cadorin et. al, (2007) en su investigación “Avances en el Tratamiento de Aguas Ácidas por Minas”. En esta metodología construye una planta piloto de tratamiento del Drenaje Acido de Minas (DAM) utilizando un sistema de neutralización-precipitación floculación y flotación por aire disuelto.

El estudio ha reportado que los Efluentes mineros líquidos, generados en actividades mineras (carbón y sulfuros metálicos), especialmente el drenaje ácido de minas (DAM), causan grandes problemas ambientales debido a su alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales o subterráneos. El DAM es caracterizado por sus bajos valores de pH y elevadas concentraciones de iones inorgánicos tóxicos. El trabajo resume alternativas para la eliminación de iones metálicos y sulfato vía neutralización, precipitación (o co-precipitación) y separación sólido-líquido, en escala de laboratorio y piloto. Los sólidos (precipitados coloidales) generados son removidos usando flotación por aire disuelto (FAD). El énfasis fue en la eliminación de los iones sulfato, uno de los procesos más difíciles y costosos y la mejor alternativa consistió en la eliminación de iones sulfato (>1000 ppm), iones Fe y Mn, simultáneamente, a pH 12. En estas

condiciones y en la presencia de cal y sales de aluminio (policloruros-PAC), en tasas másicas de PAC:  $\text{SO}_4^{2-} = 2:1$ , los iones sulfato son precipitados como etringita y los iones Fe y Mn co-precipitados (hidróxidos). Los sólidos producidos fueron separados por flotación por aire disuelto (FAD) que presentó ventajas significativas sobre la sedimentación, en términos de calidad del agua tratada y una mayor cinética, alcanzando una tasa de operación (piloto-1m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>) de 13 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> y turbidez residual del agua de 0,5 NTU. Se concluye que las técnicas presentadas en este trabajo presentan un gran potencial en el tratamiento del DAM con re-uso de las aguas. (Cadorin et al., 2007, p. 849).

Dávila & Bayona (2018) en su trabajo denominado “Diagnóstico del Tratamiento del Efluente de una Empresa de Galvanoplastia”, realiza un análisis de una industria de galvanoplastia con el fin de proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado que cumpla con los requerimientos establecidos en las normativas del País, utilizando para su estudio una planta de tratamiento ya existente, concluyendo en la optimización de dicha Planta. Entre los hallazgos que más destacan en la investigación se resume:

La industria de Galvanoplastia en su proceso productivo involucra aproximadamente de 30 a 40 m<sup>3</sup> semanales de agua, tanto en los baños de proceso como en las etapas de lavado y enjuague. Las descargas de estas aguas residuales están compuestas por efluentes que se caracterizan por su carga contaminante tóxica en términos de su contenido de cianuro, metales pesados como el cromo hexavalente, ácidos y álcalis. El proceso de recubrimiento metálico, en general, es muy poco efectivo ya que sólo una pequeña cantidad de las sustancias utilizadas en éste se deposita en la pieza. Hasta un 90% de las sustancias pueden evacuarse a través de las aguas residuales. Actualmente la empresa en estudio tiene una planta de tratamiento de agua residual industrial, con capacidad para remover contaminantes como metales pesados. El problema radica en el no cumplimiento de las normativas del País y sus parámetros establecidos, consecuente con la pérdida del permiso de vertimiento al sistema de alcantarillado y costo adicional para tratamiento de estas aguas por entes privados autorizados. Por lo expuesto anteriormente se realiza un análisis del proceso productivo de la industria seleccionada, identificando los puntos de vertimiento, analizando la caracterización suministrada por la misma y el tratamiento que la industria posee para estas aguas. Del diagnóstico realizado se concluye que el

tratamiento utilizado no tiene las eficiencias requeridas para el cumplimiento de la Normativa, por tal razón se plantea una optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales que permita cumplir la norma de vertimiento. (Dávila & Bayona, 2018, p. 10 – 12)

Según Medina (2018) en su trabajo denominado “Diseño y Operatividad de la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas de Mina Paragsha Cerro de Pasco de la Minera Volcan S.A.A., presenta la forma como se implementa y se maneja la operatividad de la planta de Neutralización en la Planta Paragsha de Cerro de Pasco, empresa de capitales peruanos VOLCAN S.A.A, y la propuesta de construir una planta de Neutralización para el tratamiento de la Laguna de Quilacocha. Haciendo un resumen de este trabajo podemos decir:

El proceso comienza con la entrada del agua ácida a la planta, a través de un canal donde se mide el caudal y el pH, pasa seguidamente a las cubas de neutralización donde se adiciona la lechada de cal hasta alcanzar un valor del pH entre 10 y 10,5; con el que se consigue que se formen los hidróxidos de hierro y manganeso. Estas cubas disponen de unos agitadores que garantizan una mezcla homogénea, transcurrido cierto tiempo. En un depósito más pequeño se recogen las aguas de recirculación de los fangos del decantador y las aguas sucias procedentes del lavado de los filtros. Seguidamente el agua pasa por gravedad a los tanques de aireación, donde el oxígeno atmosférico se incorpora al agua mediante unas turbinas de agitación y se consigue la oxidación del hierro ferroso y el manganeso. En el canal de rebose de los tanques de aireación se añade policloruro de aluminio, que es un floculante primario. El agua entra a continuación en los clarificadores, transportando ya los pequeños flóculos de los precipitados coloidales y materiales en suspensión. Para producir el encadenamiento de dichos flóculos y posterior decantación se dosifica sobre una campana de reacción un polielectrolito aniónico, que es compuesto polímero. El agua clasificada que sale del decantador pasa a unas centrifugadoras o a unos filtros de arena, de la batería de filtros y antes de su vertido a los cause públicos, el agua pasa a un depósito de ajuste de pH, por lo general las plantas disponen de sistemas automáticos de control de pH, por lo que a la salida de los citados filtros se adiciona una pequeña cantidad de ácido sulfúrico si se necesita bajar la alcalinidad. En cuanto a los fangos producidos, se envían directamente a unas balsas de almacenamiento donde una vez secados se extraen y se vierten a las escombreras mezclados con los

estériles rocosos de mina, en algunos casos también se aprovecha parte de estos fangos en los trabajos de revegetación. (Medina, 2018, p. 4 – 16)

Según Loza & Aduvire (s. f) en la investigación denominado “Optimización de un Proceso de Tratamiento de aguas Ácidas de Mina para reducir contenidos de manganeso mediante neutralización secuencial en la Empresa SRK, Consulting Perú S.A”, hizo una caracterización de las aguas ácidas que se generan en los procesos mineros, ya que ello influye en el tipo de tratamiento a emplear para la remediación de las aguas ácidas. En resumen, la presente investigación indica:

Muchas veces la calidad de efluente tratado de una operación minera no cumple con la legislación exigible, como en el caso de Perú los Límites Máximos Permisibles para operaciones mineras, debido al contenido de metales como manganeso que por lo general requiere condiciones específicas para ser removido. Para resolver esta problemática se ha realizado pruebas de reevaluación del sistema de tratamiento aplicado principalmente en la etapa de neutralización del efluente a fin de identificar el problema y proponer posibles soluciones.

El estudio contempla una primera etapa o fase experimental en la cual se realizaron un conjunto de pruebas a nivel de laboratorio siendo el primer criterio diferenciador entre prueba y prueba el tipo de neutralización aplicado (neutralización directa o neutralización secuencial); mientras que el segundo criterio busca minimizar la cantidad de reactivos en el proceso manteniendo la efectividad del sistema de tratamiento implementado. Adicional a las pruebas se realizan mediciones en continuo antes, durante y después de los ensayos experimentales de parámetros como el pH, la conductividad eléctrica y el potencial de óxido de reducción que permitieron identificar los tiempos de corte en el tratamiento propuesto.

Como resultado del estudio, se logró la remoción del excedente de manganeso del efluente tratado; se identificó la secuencia de tratamiento que permitió alcanzar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles exigibles por la normativa peruana. Finalmente se evidencio la necesidad de implementar una modificación al sistema de tratamiento existente, a fin de alcanzar la legislación con el menor costo operativo posible. (Aduvire, s.f., p. 1)

Según Aduvire (2017) en su investigación denominada “Tratamiento de Aguas Ácidas de Mina con recuperación de subproductos con valor económico”, desarrollo un sistema de tratamiento de aguas ácidas que permitan recuperar sub productos, que permitan un valor económico añadido de nominado “tratamiento por etapas”, proceso cuya metodología reduciría los costos del tratamiento de agua de minas, considerando que a través del procedimiento seguidos prolongaría la vida de los depósitos de residuos y con ello la disminución de la descarga de residuos sólidos y líquidos en el ambiente. El estudio expone aspectos importantes de este proceso:

La actividad minera genera un gran volumen de materiales y residuos que deben almacenarse adecuadamente en depósitos de desmontes y relaves denominados botaderos o escombreras y relaveras o presas de relaves, por lo general, estos residuos mineros suelen contener sulfuros que en contacto con la atmósfera y agua inician unos complejos procesos de transformaciones físicas, químicas y biológicas, que dan origen a la generación de drenajes ácidos de mina.

Para hacer frente a esta problemática, en el Área de Geoquímica Ambiental se han desarrollado varios estudios para diseños de plantas de tratamiento de aguas de mina, en general estas plantas, ya sea de tipo convencional o HDS (High Density Sludge), operan a un pH entre 9 a 11 y tienen como proceso principal la neutralización y precipitación, a las que se suelen añadir otros dispositivos de tratamiento secundario ozono, osmosis inversa, intercambio iónico, nano y ultrafiltración entre otros. (Aduvire, 2017, p. 1)

### **1.3 Formulación del problema de Investigación**

¿Cuál es el impacto ambiental y económico de la neutralización de aguas ácidas para su reutilización como agua industrial en el proceso de galvanizado en una empresa Siderúrgica?

### **1.4 Delimitación del estudio.**

La presente investigación se desarrolló con materiales y equipos de laboratorio en la empresa SIDERPERÚ en los meses de enero 2020 a noviembre 2021.

El estudio es una investigación experimental, considerando que se va a manipular una de las variables, a la que se denomina causal o independiente, en este caso es la neutralización.

Los datos recopilados fueron procesados y examinados a través de la estadística descriptiva y pruebas de normalidad, calculando los porcentajes de las variables que cumplen o estén dentro de los estándares correctos para cada una de las mediciones o ítems. A fin de poder interpretar los resultados de las variables dependientes e independientes necesarios para establecer las conclusiones de acuerdo a los objetivos establecidos.

### **1.5 Justificación e importancia de la Investigación**

En los últimos años, debido a los problemas ambientales en el Perú y en el Mundo, el cuidado del medio ambiente ha cobrado mayor interés y se ha convertido en una prioridad, a ello se suma el cumplimiento de la legislación ambiental cada vez más exigente, por ello se hace indispensable incorporar el factor medio ambiental como garantía de un progreso eficiente.

La sociedad de hoy demanda la existencia de soportes y mecanismos que compensen y controlen los impactos ambientales generados por la industrialización, el crecimiento económico y la protección ambiental son aspectos complementarios para el desarrollo y progreso de un País.

La presente investigación busca controlar los riesgos del impacto ambiental debido a la contaminación del aire, suelo y agua que se puedan generarse durante la disposición y manejo de las aguas ácidas. Así mismo a través de un proceso y tratamiento sistemático se quiere recuperar las sustancias nocivas provenientes de los procesos industriales y reaprovechar el agua industrial como recursos que garanticen un impacto favorable para las personas, el medio ambiente y la economía. Esto permitirá un beneficio ambiental y económico para la sostenibilidad de las actividades como fuente de trabajo y generación de divisas.

Así mismo el proceso y producto de este estudio permitirá ser un referente para trabajos futuros en busca del desarrollo sostenible y sustentable.

## **1.6 Objetivos de la investigación**

### **1.6.1 Objetivo general**

Determinar el impacto ambiental y económico de la neutralización de aguas ácidas para su reutilización como agua industrial en el proceso de galvanizado en una empresa Siderúrgica.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Elaborar un diagnóstico inicial del impacto ambiental y económico que generan las aguas ácidas del proceso de galvanizado Siderúrgico como línea base.
- Diseñar y ejecutar el proceso de neutralización de aguas ácidas de siderúrgica.
- Caracterizar desde el punto de vista físico, químico y biológico las aguas ácidas del proceso de galvanizado antes y después de la neutralización.
- Comparar la calidad de las aguas ácidas siderúrgicas con los estándares de calidad ambiental antes y después del proceso de neutralización.
- Evaluar el impacto ambiental y económico por neutralización de aguas ácidas y su reutilización como agua industrial para el proceso de galvanizado en una empresa Siderúrgica.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Fundamentos teóricos de la investigación

#### 2.1.1 Los drenajes ácidos que originan la siderurgia y minería.

Según Adurive (2006) los drenajes ácidos son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo. Debido a que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, existe la necesidad de prevenir su formación y aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado.

Además, Adurive (2006) menciona que estos drenajes son tóxicos en diverso grado para el hombre, la fauna y la flora, contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de labores siderúrgicas, mineras, procesos de concentración de minerales, industria textil y del calzado, presas de residuos y escombreras de mina.

Hay informes de miles de peces y mariscos muriendo en el río, sentimiento hacia el ganado y destrucción de cultivos y playas, así como decoloración de las aguas de los ríos y lagos. El drenaje ácido, además de un pH bajo, también contiene una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfatos y minerales. Estos elementos en altas concentraciones son perjudiciales para la actividad biológica, contaminan los cursos de agua y pueden dañar las estructuras de ingeniería.

También Adurive (2016), señala que, debido al alto coste del tratamiento en las depuradoras convencionales, es necesario encontrar una solución a este problema. Una alternativa al tratamiento convencional de agua ácida es a través de todas las etapas del equipo de neutralización de agua ácida, como neutralización, oxidación, precipitación, concentración y tratamiento.

#### 2.1.2 El proceso de galvanizado de materiales.

Para la operación del proceso de galvanizado es necesario realizar las siguientes Etapas:

### **Habilitación de Material:**

En esta etapa se procede a identificar el material a procesar de acuerdo con el programa de producción. Aquí se posiciona el puente grúa encima de carro transportador, posicionar polipastos de acuerdo con las dimensiones del material a izar, asegurar la carga con las eslingas, izar y trasladar la carga hacia carro de carguío.

### **Colgado de Material:**

Mediante el carrito de carguío se procede a colgar el material en los ganchos hasta completar el rack; para los materiales y postes se utilizará el rack y para guardavías los aparejos. Levantar el rack o aparejo con la grúa y dirigirlo hacia la tina de desengrase.

### **Desengrase:**

Posicionando el rack sobre la tina de desengrase con la grúa. Una vez ubicado el rack, se baja a velocidad rápida hasta sumergir el material en la tina de desengrase. Mantener el material sumergido por un determinado tiempo. Luego se procede a levantar rack o aparejo con la grúa a velocidad rápida y dejar escurrir.

### **Decapado:**

Posicionar el rack o aparejo sobre la tina de ácido clorhídrico (HCL) con la grúa, sumergir el material en la tina de decapado a velocidad rápida.

La preparación del ácido será en proporción 1:1 (H<sub>2</sub>O / HCL).

El agregado o cambio de ácido será determinado por el operador de galvanizado de acuerdo a los resultados del reporte de análisis del laboratorio. Luego se procede a levantar el rack o aparejo a velocidad rápida y dejar escurrir.

**Enjuague 1:** Posicionar el rack sobre la tina de enjuague **1** con la grúa, sumergir el material en la tina con agua a velocidad rápida, para retirar los restos de ácidos y fierro. El tiempo que permanece el material en la tina es de 30 seg. Levantar el rack o aparejo con la grúa a velocidad rápida y dejar escurrir durante 30 seg.

**Enjuague 2:** Posicionar el rack sobre la tina de enjuague 2 con la grúa, sumergir el material en la tina con agua a velocidad rápida, para retirar los restos de ácidos y fierro. El tiempo de permanencia del material en la tina es de 30 seg. Levantar el rack o aparejo con la grúa a velocidad rápida y dejar escurrir durante 30 seg.

**Fluxado:** Posicionando el rack sobre la tina de fluxado con la grúa. Una vez ubicado el rack, bajarlo a velocidad rápida hasta sumergir el material en la tina de flux. Durante un tiempo determinado, posteriormente levantar el rack o aparejo con la grúa a velocidad rápida y dejar escurrir durante 1 min. Retirar las esferas de polipropileno del material realizando un ligero golpe con la paleta.

**Enfriamiento:** Posicionar el rack sobre la mesa de enfriamiento con la grúa, dejar el material en la mesa a velocidad rápida, El tiempo de permanencia del material en la mesa de enfriamiento es de 30 seg. Levantar el rack o aparejo con la grúa a velocidad lenta, dejar escurrir durante 30 seg.

**Descolgado de material:** Descolgar el material de los ganchos, medir 2 piezas seleccionadas, se deben realizar 3 mediciones en el material, de tal forma que abarque la mayor área posible. Los valores obtenidos en las mediciones deben cumplir con los estándares de calidad establecidos. Los valores obtenidos se registrarán en el formato de producción. Se debe identificar el material galvanizado escribiendo sobre el material (última plancha descargada para completar el paquete) la descripción del material, el código del paquete y la cantidad de planchas por paquete.

### **2.1.3 Proceso de tratamiento de aguas residuales industriales**

El efluente industrial para ser reaprovechada requiere un tratamiento físico químico y/o bioquímicos, que lo podemos dividir en:

#### **2.1.3.1 Tratamiento primario y/o pre-tratamientos**

La noción de tratamientos primarios se encuentra en elementos históricos; proviene de tiempos en los que los "tratamientos" se aplicaban a las aguas servidas y resultaba necesario instalar ciertos procesos de simple retención de sólidos previo a la descarga a cauces superficiales o el mar. Dado que

posteriormente se aplicaron otros tratamientos, a continuación de éste, se les llamo primarios.

Alternativamente, el término preprocesamiento tiene el mismo concepto de adaptar las condiciones de un proceso en curso sin implicar una notación secuencial (primaria, secundaria, terciaria). Es probable que la industria requiera un pretratamiento, por ejemplo, homogeneización del flujo seguida de neutralización de la acidez. En este caso, la ecualización y la neutralización serán todos los pasos necesarios para la industria.

Según Herrera, Z. L. (2000) los términos no tienen ninguna función más allá de ayudar a organizar los conceptos. Dentro de tratamientos tenemos:

- Retención de desbordes
- Ecualización (Homogeneización)
- Neutralización (acidez, alcalinidad)
- Oxidación
- Sedimentación
- Flotación y Concentración
- Filtración
- Reacciones químicas (coagulación).

**A. Retención de desbordes:**

Según Herrera, Z. L. (2000) tiene el objetivo de minimizar o controlar las fluctuaciones de caudal y/o de composición para optimizar las condiciones de procesos subsecuentes. En las operaciones industriales, particularmente, los propósitos son amortiguar las variaciones de carga orgánica, evitando las descargas de golpe (shock loading), minimizar requerimientos de neutralizante (pH variante) y minimizar cambios bruscos en la carga de sistemas fisicoquímicos (dosificaciones dentro de un rango dado).

## **B. Ecuación**

Los ecualizadores suelen agitarse y airearse a fin de prevenir la sedimentación y putrefacción. El mezclado se suele conseguir mediante la distribución del flujo de entrada y baffles y turbinas mecánicas. Herrera, Z. L. (2000)

## **C. Neutralización:**

Herrera, Z. L. (2000) afirma que en esta la etapa los efluentes ácidos y alcalinos se mezclan en el ecualizador para tener cierta capacidad de retención frente a fuertes cargas ácidas o alcalinas. Si la actividad industrial en cuestión produce desechos tanto ácidos como alcalinos, entonces el exceso de acidez y alcalinidad debe utilizarse para producir aguas residuales neutras.

- **Neutralizar ácidos en lechos de caliza.**

La caliza se da en forma natural como piedras y tal nombre se refiere al carbonato de calcio; la disolución del carbonato genera alcalinidad. Los lechos pueden ser tanto de flujo ascendente como descendente, la tasa de carga de diseño -sin información adicional de laboratorio- es del orden de los  $4 \cdot 10^{-2} \text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ; esta tasa está definida por las constantes de la caliza y por el tiempo de residencia típico de neutralización de caudales ácidos del tipo industrial. (Herrera, Z. L., 2000)

Si hay ácido sulfúrico, la concentración de ácido no debiera exceder un 0,6% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para no formar una capa excesiva de  $\text{CaSO}_4$  (no reactiva) y se debe vigilar que la evolución de  $\text{CO}_2$  no sea excesiva (pues produce un efecto tampón). (Herrera, Z. L., 2000)

- **Mezcla de ácidos con lodos de cal.**

Se suele llamar "cal" al hidróxido de calcio, también citado como "cal viva" (cuando la "cal apagada" es el óxido de calcio). El grado de neutralización dependerá del tipo de cal utilizada. La reacción de la cal se acelera -como muchas otras- por calor y por agitación física. (Herrera, Z. L., 2000)

- **Residuos alcalinos**

También llamados *básicos*. Se puede utilizar cualquier ácido fuerte. Por consideraciones prácticas, la elección se limita a considerar el ácido sulfúrico (en la máxima dosis tolerable sin exceder la norma de descarga de sulfatos) y el ácido clorhídrico (para completar la neutralización). La reacción es prácticamente instantánea, pero el grado de mezcla **no es instantáneo**. (Herrera, Z. L., 2000)

#### **D. Oxidación**

Es un proceso de oxidación que se realiza a través de oxígeno del aire, a fin de oxidar las especies reducidas de hierro y manganeso para llevarlas a una valencia, donde estas especies precipitan. (Herrera, Z. L., 2000)

#### **E. Sedimentación/ clarificación de sólidos precipitados**

Este proceso se lleva a cabo mediante un tanque de sedimentación, donde los sólidos se asientan, lo que en ocasiones requiere la adición de un agente de floculación, para obtener agua tratada de alta pureza. Esto se hace para crear una suspensión que se utiliza para eliminar los sólidos en suspensión del agua que los contiene. Dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión, ocurren tres tipos de procesos: precipitación simple; Depósitos de algodón y bloque de asentamiento. En la estabilidad simple, cada partícula cae como si no hubiera otras partículas en la solución; Cuando está coagulado, por el contrario, las partículas se aglutinan al caer; Finalmente, la deposición masiva ocurre cuando los bloques forman una red y caen juntos con fuerza.

Los sedimentos son retirados por la parte inferior para posterior tratamiento o disposición.

#### **F. Concentración de sólidos**

Tiene por propósito de eliminar agua tratada, atrapada en el sólido precipitado, permite duplicar la concentración de sólidos en el efluente que los contiene.

## **G. Tratamiento de los sólidos**

Éstos pueden ser tratados a través de filtros prensa, lecho de secados y otros, para posteriormente ser reusados o dispuestos.

- Análisis físico químico de las aguas
- Proceso de tratamiento de los residuos sólidos
- Diagrama de flujo del proceso
- Evaluación del impacto ambiental y económico del Proceso de Neutralización de aguas ácidas
- LMP (límites máximos permisibles) de uso de aguas industriales (MINAN).
- Estándares de calidad de Agua (MINAN).
- Cálculo de dosificación de aditivos.
- Generación de Balances de sólidos en el proceso.
- Dimensionamiento de equipos.

### **2.1.4 Técnicas para remoción de metales pesados más usados**

#### **2.1.4.1 Técnica de neutralización**

Según Cruz (2019) la neutralización química es la adición de sustancias alcalinas para neutralizar la acidez del agua, así como la acidez resultante de la hidrólisis y precipitación de los metales disueltos debido al aumento del pH. Este proceso podría ser como la etapa de pretratamiento o acondicionamiento previo a un proceso de precipitación.

Cruz (2019) también menciona que, para poder aplicar la técnica de neutralización en un flujo residual, va a depender de 3 factores como el pH exigido, el DBO y la acidez o alcalinidad del flujo a tratar.

Los reactivos químicos más usados para la neutralización son los siguientes

Cuadro 01: Reactivos Químicos Neutralizantes

Nombre Común	Nombre Químico	Fórmula	Neutralización Eficacia%
Cal hidratada	Hidróxido de calcio	Ca (OH) <sub>2</sub>	90
Cal viva	Óxido de calcio	CaO	90
Caliza	Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	30
Ceniza de soda	Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	60
Soda cáustica	Hidróxido de sodio	NaOH	100
Amoniaco	Anhidrido de amoniaco	NH <sub>3</sub>	100

Fuente: Y. De la Cruz, 2019, p 38.

#### 2.1.4.2 Tratamiento con cal hidratada

La cal hidratada es hidrófoba por lo que se requiere un agitador para mezclar bien con el agua. Cuando es necesario eliminar el hierro, se introduce la aireación necesaria en el propio proceso de agitación para oxidar el hierro negro hasta convertirlo en ferroso y maximizar la eliminación.

##### a) Ventajas

- Se puede manejar grandes flujos en condiciones altamente ácidas.
- Efectivo y de menor coste.
- Precipita metales tóxicos.

##### b) Desventajas

- Tiene limitaciones ya que requiere que el pH esté en condiciones altas para precipitar minerales como el manganeso.

#### 2.1.4.3 Tratamiento con cal viva

Según la National Lime Association (2004) la cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO<sub>3</sub>) en óxido de calcio.

##### a) Ventajas

- La cal viva ayuda a flocular sales metálicas, regula el pH. (Calera San Miguel, s.f.)

**b) Desventajas**

- Es un material alcalino que es reactivo en presencia de humedad.

La mezcla de cal viva y agua (de cualquier tipo, incluidos los productos químicos que contienen agua humidificada) puede generar un exceso de calor.

**2.1.4.4 Tratamiento con caliza**

Según Medina (2018) la caliza  $\text{CaCO}_3$  Se suele utilizar para elevar el pH hasta 4 o 4,5 en una primera etapa de tratamiento y a continuación seguir con el proceso empleando cal.

Se tienen las siguientes ventajas y desventajas:

**a) Ventajas**

- Es barato, abunda y no muy peligroso.
- No es necesario un control extremadamente estricto en su almacenamiento.

**b) Desventajas**

- Baja solubilidad.
- Requiere cantidades grandes de este material.

**2.1.4.5 Tratamiento con ceniza de soda**

El carbonato de sodio es un polvo granulado blanco que se utiliza principalmente para eliminar la dureza del agua utilizada para mezclar y para elevar el pH.

**a) Ventajas**

- Elimina los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  y maximiza de la productividad de los productos de bentonita y polímeros.

**2.1.4.6 Tratamiento con soda cáustica**

Según Medina (2018) se tienen las siguientes ventajas y desventajas:

**a) Ventajas**

- Las ventajas son el hidróxido sódico es muy soluble y eleva el pH de una forma muy rápida.

**b) Desventajas**

- Costos elevados y riesgos por su manipulación.

**2.1.4.7 Tratamiento con amoniaco**

Según Adurive (2006) el espacio disponible para una planta de tratamiento es muy pequeño, se puede usar amoníaco en forma de gas.

Se tienen las siguientes ventajas y desventajas:

**a) Ventajas**

- Soluble y rápido.

**b) Desventajas**

- Formación de complejos, nitrato amónico residual.

**2.1.4.8 Técnica por precipitación química**

Según Cruz (2019) la precipitación química es la formación de compuestos insolubles por la adición de reactivos alcalinos. La principal aplicación de este proceso químico se centra en la remoción de metales pesados (Ar, Cd, Cr, Pb, Hg, Fe, Zn, Mn y otros) mediante la formación de hidróxidos que luego son separados por un sistema de decantación o decantación.

Este proceso tiene tres etapas:

- Cruz (2019) menciona que el pH óptimo para la precipitación de los metales pesados es variable que está dentro del rango 9.5 y 12.0 obteniendo resultados buenos de eliminación o reducción de la concentración de los metales pesados.
- Adición de un precipitante, se utilizan principalmente hidróxidos, carbonatos y sulfuros, y las sales de carbonato y sulfuro con más eficaces para precipitar metales pesados. Hay muchos agentes que se utilizan más comúnmente (Tabla 02).

Cuadro 02: Agentes de precipitación para la eliminación de iones metálicos pesados

Agente de Precipitación	Ventajas	Desventajas
Hidróxido Cálcico o Lechada de Cal	Bajo coste	<i>Impurezas, proceso lento. Precipita <math>CaSO_4</math>, <math>CaCO_3</math></i>
Carbonato Sódico	Soluble. Rápido	<i>Coste superior</i>
Hidróxido Sódico	Limpio. Rápido	<i>Coste relativamente alto</i>
Amoniaco	Soluble. Rápido	<i>Formación de complejos, nitrato armónico residual</i>
Sulfuro Sódico	Productos muy insolubles	<i>Desprende <math>H_2S</math></i>
Ácido Clorhídrico	Rápido. Limpio	<i>Coste relativamente alto</i>
Dióxido de Carbono	Disponibles gases combustibles	

Fuente: Y de la Cruz, 2019, p. 39

- Para la floculación se agrega reactivos para que el sedimento se agrupe en forma de grumos volátiles y promueva la sedimentación o la estabilidad. Se pueden utilizar sales de hierro o aluminio.

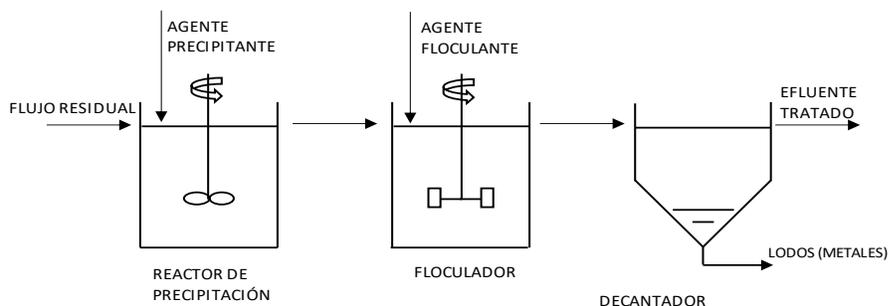


Gráfico 01. Diagrama del proceso de tratamiento mediante precipitación química

Fuente: Y. De la Cruz, 2019, p 40

Según Cruz (2019) la precipitación química con lechada de cal es uno de los medios más efectivos para el tratamiento de efluentes con altas concentraciones de metales. Después de ajustar el pH a condiciones alcalinas o básicas, los iones metálicos disueltos se convierten en compuestos insolubles por reacción química con un agente precipitante. Una desventaja de esta tecnología es que aumenta la cantidad de sólidos disueltos en las aguas residuales y crea un volumen de lodo que puede contener compuestos tóxicos y es difícil de tratar y eliminar.

## 2.1.5 Normas internacionales y nacionales que regulan los efluentes de la actividad siderúrgica.

### Estándares de comparación

Actualmente, el sector no ha establecido valores de comparación específicos para la actividad siderúrgica, tomándose las siguientes normas referenciales.

Cuadro 03: Estándares De Comparación

Parámetros	Unidades	LMP		
		1	2	3
Fecha de muestreo	---	---	---	---
Hora de muestreo	---	---	---	---
Caudal (*)	m <sup>3</sup> /h	---	---	---
pH	Ud. pH	6 – 9	6 – 9	6 – 9
Cianuro Total	mg/L	1	---	---
Arsénico Total	mg/L	0,1	---	---
Cadmio Total	mg/L	0,005	---	---
Cromo Total	mg/L	0,1	---	---
Mercurio Total	mg/L	0,002	---	---
Temperatura	°C	---	---	40
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg TSS/L	50	---	50
Cloruro	mg Cl/L	---	---	---
Fosfato	mg PO <sub>4</sub> /L	---	---	---
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> /L	---	---	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg O <sub>2</sub> /L	---	60	---
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	---	350	200
Aceites y grasas	mg Aceite y grasa/L	20	20	30
Plomo Total	mg/L	0,2	0,5	0,6
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	---	---
Manganeso	mg/L	---	---	---
Cobre Total	mg/L	0,5	1	---
Níquel	mg/L	---	2	2
Zinc	mg/L	1,5	10	1

(1) Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. - Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

(2) Decreto N° 883. Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de Agua y Vertido de Efluentes Líquidos de Venezuela.

(3) D.S. N° 33-95. NICARAGUA. Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Capítulo VII. Art. 45 (Descargas provenientes de la industria de hierro y acero).

## **2.2 Marco Conceptual**

### **Aspecto ambiental:**

Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente. Impacto Ambiental: Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización. (ISO 14001, 2015).

### **Ácido clorhídrico (hcl)**

Es un ácido con alta estabilidad térmica y tiene una amplia variedad de aplicaciones. Se obtiene combinando cloro e hidrógeno gaseoso en agua y absorbiéndolos. Es una sustancia muy utilizada hoy en día por los químicos en laboratorios e industrias. (García, B., Elena et. al, 2011).

### **Acido gasto:**

Es el ácido después de haber sido utilizado en el proceso de galvanizado. Es un ácido ya procesado con presencia de metales y otros componentes.

### **Caudal**

El caudal es otra de las magnitudes fundamentales en el estudio de la neumática. El caudal es el volumen aire comprimido que fluye a través de una sección por unidad de tiempo. (FP E INGENIERIA ELÉCTRICA, 2015).

### **Caracterización del agua**

Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua que permite determinar su calidad.

### **Control operacional ambiental**

Garantiza el cumplimiento de todos los requisitos ambientales relacionados con la fabricación de nuestros productos, o la prestación de nuestros servicios. (ISO 14001: 2015).

### **Decapado**

Esta técnica consiste en aplicar químicos, como ácidos, para eliminar la capa de óxido aplicada en otros procesos y reestablecer su estado original. Hay diversos agentes químicos que se usan para tal fin como el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico o el ácido fosfórico, para nuestro caso se usa el ácido clorhídrico. (Pérez, J., Merino, M., 2018).

### **Impacto ambiental**

Es un cambio que ocurre en el medio ambiente como resultado de acciones en todos o parte de los aspectos ambientales de la organización. Es necesario aclarar que el impacto ambiental puede ser beneficioso o perjudicial para el medio ambiente. (ISO 14001, 2015).

### **Impacto económico**

Es la contribución que produce una actividad en la economía de una región. En este caso particular la actividad es la siderurgia realizada por medio de una empresa.

Están diseñados para medir el impacto y los beneficios de otras actividades que pueden tener impactos socioeconómicos, incluida la inversión en infraestructura, la organización de eventos y los cambios en la legislación. (Rivera, G., & Molina, J. M., 2006)

### **Galvanizado:**

Se denomina galvanizado o galvanización al acto y resultado de galvanizar. Se trata de la aplicación de una capa metálica sobre otro metal diferente haciendo uso de una corriente eléctrica. (Pérez, J. & Merino, M., 2018).

### **Temperatura**

Es una magnitud escalar relaciona a la energía interna de un cuerpo, que puede estar expresada en ° C, ° K, °F, etc. (FP E INGENIERIA ELÉCTRICA, 2015).

### **Neutralización**

Es la reacción química producida entre una disolución acida y base, que reaccionan cualitativamente entre sí. (Pérez, J. & Merino, M., 2018).

### **Neutralización de aguas acidas**

Aguas con PH menor a 6,5 se define un agua ácida. Para saber cómo neutralizar un agua ácida, es importante conocer el origen de la acidez. Es el tratamiento químico que se le realiza al agua ácida a través de una solución base. (TEKWATER, 2023).

### **Presión**

Es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza vertical por unidad de superficie y se utiliza para caracterizar cómo actúa una fuerza resultante particular sobre una línea. (Córdova, F., 2021)

### **Proceso de Galvanizado**

Protege de la corrosión al acero en cualquiera de sus formas, incluidas las armaduras de refuerzo para concreto. Es una manera económica y eficiente de extender su vida útil en la mayoría de los ambientes. El zinc es el elemento clave en el Galvanizado por Inmersión en Caliente. (Asociación Internacional de Zinc, 2020)

### **Reaprovechamiento de Agua Industrial**

Es el proceso mediante el cual las aguas residuales producidas a partir de una fuente se tratan para que puedan usarse de nuevo en un proceso industrial. (HEURA, 2022)

### **TIR**

La Tasa interna de retorno (TIR), se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, para medir la tasa de retorno máxima que puede tener un proyecto para generar ganancias y para decidir si aceptar o rechazar el proyecto. (Mete, M. R., 2014).

### **VAN**

El Valor Actual Neto (VAN) es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos y los egresos periódicos. Es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios. (Mete, M. R., 2014)

### III. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Hipótesis de la investigación

La neutralización de aguas ácidas de siderúrgicas minimiza su impacto ambiental y trae ventajas económicas al permitir su reutilización como agua industrial para el galvanizado en una empresa Siderúrgica.

#### 3.2 Variables e indicadores de la investigación

##### 3.2.1 Variables

###### 3.2.1.1 Definición conceptual

- **Variable Independiente (V.I.):**

**Neutralización de aguas ácidas de siderúrgica.** Es el tratamiento químico que se realiza al agua ácida a través de una solución base.

- **Variable Dependiente (V.D.):**

**Impacto ambiental:** Es cualquier cambio que se produce en el medio ambiente siendo el resultado de la acción de todos o parte de los aspectos ambientales de su organización. Se tiene que aclarar que un impacto ambiental puede resultar beneficioso o adverso con el medio ambiente (ISO 14001: 2015).

**Impacto económico:** Sirven para medir la repercusión y los beneficios de inversiones en infraestructuras, organización de eventos, así como de cualquier otra actividad susceptible de generar un impacto socioeconómico, incluyendo cambios legislativos y regulatorios. (Peláez et al, 2012).

###### 3.2.1.2 Definición operacional

- **V.I.:** La medición de esta variable se realizará a través de los instrumentos como: termómetros, manómetros, conductímetro, pHchímetro, turbidímetro, y análisis volumétricos (alcalinidad, cloruros, dureza), colorimetría (metales pesados, cloro, hierro, sílice, sulfatos, fosfato, cobre), DBO, aceites y grasas, filtración de membranas y coliformes.

- **V.D.:** Para la variable ambiental se tendrá en cuenta la Normativa del MINAN, Estándares de Calidad de Agua, Matriz de **impactos ambientales** y para la **variable económica** se tendrá en cuenta los datos obtenidos de los sistemas contables como SAP (Systems, Applications, Products in Data Processing), la Normativa del MINAN, Estándares de Calidad de Agua, Matriz de impactos ambientales y otros.

### **3.2.2 Indicadores**

El detalle de los indicadores se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 04: Matriz de Operación de Variables de Neutralización de aguas ácidas de siderúrgica

Matriz de Operación de Variables					
Variable Definición	Dimensión	Indicador (Definición operacional)	Valor final	Tipo de variable	
<b>Neutralización de aguas ácidas:</b> Es el tratamiento químico que se le realiza al agua ácida a través de una solución base.	FÍSICA	Temperatura	°C	Numérica	
		Presión	atm	Numérica	
		Caudal	m3/h	Numérica	
		Densidad	Kg/m3	Numérica	
	QUÍMICA	pH			Numérica
		Dureza Total	ppm as CaCO3		Numérica
		Sólidos Totales Disueltos	ppm TDS		Numérica
		Conductividad	umhos a 25°C		Numérica
		Sílica Total	ppm as SiO2		Numérica
		DBO	ppm as O2		Numérica
		Cloruros	ppm as cl		Numérica
		Manganeso	ppm as Mn		Numérica
		Hierro Total	ppm as Fe		Numérica
		Cobre Total	ppm as Cu		Numérica
	BIOLÓGICA	Aceites y grasas	ppm		Numérica
		Fosforo	ppm as P		Numérica
Solidos Totales Suspendidos		ppm TSS		Numérica	
Coliformes Totales		NMP/100ml		Numérica	
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml		Numérica	
	Coliformes Fecales	NMP/100ml		Numérica	
Variable Definición	Dimensión	Indicador (Definición operacional)	Valor final	Tipo de variable	
<b>Impacto Ambiental:</b> Es cualquier cambio que se produce en el medio ambiente siendo el resultado de la acción de todos o parte de los aspectos ambientales de su organización. Se tiene que aclarar que un impacto ambiental puede resultar beneficioso o adverso con el medio ambiente (ISO 14001: 2015).	Impacto Ambiental	Identificación y Control de Aspectos Ambientales Significativos (ICAS)	N°	Numérica	
		Tasa de Reaprovechamiento de Agua Andustrial	m3 de agua procesada/ m3 agua fuente	Numérica	
<b>Impacto Económico:</b> Sirven para medir la repercusión y los beneficios de inversiones en infraestructuras, organización de eventos, así como de cualquier otra actividad susceptible de generar un impacto socioeconómico, incluyendo cambios legislativos y regulatorios (Peláez, 2012).	Impacto Económico	Gasto mensual	US\$/mes	Numérica	
		Costo del procesamiento de agua tratata	US\$/m3	Numérica	
		Tasa de Retorno de la Inversión (TIR)	Año	Numérica	
		Valor Actual Neto (VAN)	US\$	Numérica	

### 3.3 Método de investigación

**El método de investigación a utilizar es el experimental**, considerando que el investigador va a manipular una de las variables, a la que se denomina causal o independiente, en este caso es la neutralización.

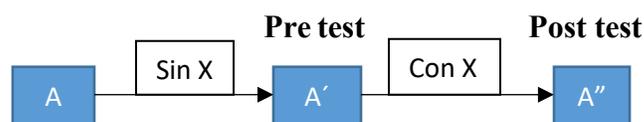
Según Babbie (2014) un experimento tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “elegir o realizar una acción” y después la específica es observar las consecuencias. (p.129).

### 3.4 Diseño o esquema de la investigación

En el desarrollo de la presente investigación, se hará uso de diseño pre experimental de sucesión o en línea con un solo grupo.

Según (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) este diseño de preprueba/posprueba con un solo grupo ofrece una ventaja sobre el otro tipo de diseño pre experimental existente llamado estudio de caso con una sola medición ya que existe un punto de referencia inicial para ver qué nivel tenía el grupo en las variables dependientes antes del estímulo; es decir, hay un seguimiento del grupo. El diagrama del diseño de sucesión o en línea es el siguiente:

Grupo Único:



X: Estímulo, proceso de neutralización de aguas ácidas

A: Muestra de aguas ácidas estabuladas

A': Muestra de aguas ácidas con Pre test

A'': Muestra de aguas ácidas neutralizadas y con Post test.

En el diseño pre experimental se trabaja con un solo grupo, debido a ello su uso es recomendable como un primer acercamiento al proceso. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

El método analítico de cuantificación de metales – Metales por ICP (inductively coupled plasma mass spectrometry) fue uno de los métodos de elección para obtener los diferentes metales de la solución. Además de la determinación de los parámetros físico, químicos y biológicos se evaluaron la composición química de estos efluentes en cada una de las etapas del proceso a nivel laboratorio observando niveles altos de acidez de mezcla de soluciones ácidas y de metales como fierro, manganeso y zinc que ingresarán al proceso de tratamiento.

La metodología de cuantificación utilizada en el pre test está referida a la obtención de los diferentes parámetros físicos, químicos, biológicos y de metales; para lo cual se recurrieron a diversos métodos de acuerdo a los estándares establecidos según norma para su cálculo (ver Cuadro 05: Tabla de métodos para la determinación de los parámetros físico, químicos y biológicos). Para el tratamiento de los parámetros obtenidos en el pos test se utilizó como referencia las normas nacionales e internacionales de calidad de agua a fin de determinar los límites requeridos para la aplicación del tratamiento; a través el balance químico y reacciones del proceso descritos en el capítulo IV se detalla el tratamiento aplicado a los mismos.

### **3.5 Población y muestra**

#### **3.5.1 Población**

La ejecución de la presente investigación se realizará en la Planta de Planos de Tubos y Viales de una empresa Siderúrgica, siendo la población todas las aguas ácidas que se generan el proceso de galvanizado en esta empresa y que son almacenadas en una poza única.

#### **3.5.2 Muestra**

Se tomarán al azar un total de 10 muestras de 100 cc, de la poza de almacenamiento de aguas ácidas que se generan del proceso de galvanizado de una empresa siderúrgica, se les hará un pretest antes y después del proceso de neutralización a fin de poder contrastar los resultados obtenidos. La selección de la muestra se hará al azar, en este tipo, los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser seleccionados para la muestra y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, y por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de muestreo/análisis. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 175).

### **3.6 Actividades del proceso investigativo**

- Habilitación de frascos para toma de muestra.
- Toma de muestra de aguas ácidas en la poza de almacenamiento.
- Determinación de los parámetros físico, químico y biológicos del agua ácida.

- Interpretación y análisis de resultados para la comparación con rangos establecidos para el uso industrial.
- Neutralización de las aguas ácidas para ajuste del pH y tratamiento de los parámetros físico, químico y biológicos fuera de rangos.
- Oxidación a partir de oxígeno del aire, en esta etapa se oxidará las especies reducidas de hierro y manganeso para llevarlas a una valencia más alta, donde las especies precipitan.
- Sedimentación los sólidos precipitados en las etapas anteriores serán sedimentados con ayuda de floculantes a fin de lograr un agua tratada con claridad.
- Concentrador de Sólidos luego de la etapa de oxidación del hierro y del manganeso como principales elementos, esta forma un lodo generado por la precipitación al contacto con el aire (oxígeno) el cual deberá ser separado para la continuación del proceso de tratamiento de agua.
- Evaluación ambiental a través de la Matriz ICAS (Índice de conformidad de aspectos significativos) y económica VAN y TIR de los resultados en base a la calidad de agua obtenida.

### **3.7 Técnicas e instrumentos de la investigación**

#### **3.7.1 Técnicas serán observacionales y documentales**

Las técnicas empleadas en la presente investigación son:

##### **Recolección de la muestra:**

Se procede a verificar que la poza donde se almacena la muestra se encuentre homogenizada y las 06 muestras serán retiradas a razón de 02 muestras por turno.

##### **Entrevista personal:**

Coordinación con los colaboradores a fin de evaluar el comportamiento del proceso en sus diferentes etapas y garantizar que el ácido utilizado y almacenado en la poza sea la única fuente de muestra.

##### **Registro e historial de precios de disposición de residuos**

La Fuente de datos es SAP (Systems, Applications, Products in Data Processing).

Precio por disposición de residuos:

Transporte Chimbote a Chincha: 1,600 soles (máx. 30 toneladas)

Materiales Peligros: 350 US\$/tonelada

Materiales No peligros industrial: 150 US\$/tonelada

### **Matriz de Evaluación de Aspectos e Impactos Ambientales (ISO 14001)**

Para la evaluación del estudio se utilizó la matriz ambiental de la norma ISO 14001 (Anexo 09 y 10) dado que facilita identificar el aspecto, impacto, la severidad y el control ambiental. Es un instrumento de planificación que vincula la variable ambiental dentro de todas las etapas del proceso.

#### **3.7.2 Instrumentos**

La recolección de datos se realizará a través de instrumentos mecánicos como:

- PH-METRO OAKTON: N° Serie 375251
- Turbidímetro 210Q: N° Serie 13030C024270
- Conductimetró Ultrameter LL4P: N° Serie 4211803
- Colorímetro Hach DR890: N° serie 12049BC22026
- Medidor Multiparámetro ULTRAMETER II 6PFC N° Serie 6270921
- Termómetro TRACEABL
- Balanza analítica OHAUS N° Serie 8332030161

Según Hernández et al. (2014), la investigación no experimental se está más cerca de las variables formuladas hipotéticamente como “reales” y, en consecuencia, tenemos mayor validez externa (posibilidad de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes). (p.163)

### **3.8 Procedimiento para la recolección de datos**

Criterios de Seguridad para acceso a Punto de Muestreo

EPP'S (equipos de protección personal): Lentes de seguridad, protector auditivo, guantes de nitrilo, mameluco antiácido, zapato o botas de seguridad, lavaojos o duchas de emergencia.

Durante toda actividad, manténgase focalizado y realice cada etapa con atención. Al inicio de la actividad separe el material de vidrio que será utilizado. Siempre identificar y descartar el material roto, quebrado o trizado. Utilizar guantes de nitrilo en caso de descarte. Segregar la vidriería descartada en recipientes específicos e identificados.

#### **A. Preparación de frascos para la recolección de muestras:**

Enjuague con solvente, lavado con jabón neutro utilizando esponja o escobilla específica, enjuague con agua, secado y acondicionamiento.

- Verificar estado, condiciones y conservación de los frascos.
- Lavado y manejo de los frascos de vidrio, utilizar detergente neutro para minimizar la contaminación del efluente.
- Lavado con abundante agua y después con agua destilada.
- Verificar estado de maleta y acondicionamiento de frascos
- Acceso a punto de muestro.
- Identificar frascos en punto de muestro fecha, hora y otra información necesaria.
- Abrir válvula de punto de muestra.
- Lavado con solución ácida: descartar el residuo del lavado con recipiente bien identificado.
- Cerrar válvula de punto de muestreo.
- Recolección de muestras

#### **B. Determinación de los parámetros físico, químico y biológicos del agua ácida.**

Las muestras recolectadas serán enviadas a Laboratorio para la determinación de los principales parámetros físico, químico y biológicos. Los Métodos para utilizar para la determinación de los parámetros son los siguientes:

**Cuadro 05: Tabla de métodos de cuantificación para la determinación de los parámetros físico, químicos y biológicos**

<b>Parámetro</b>	<b>Método de Cuantificación</b>
Sólidos Totales Suspendidos	APHA AWWA WEF 21th Edition, 2005. Pag 2-58 a 2-59. 2540-D Solids; Total Suspended Solids Dried at 103- 105oC. EPA 160.1 :Residue, filterable, Gravimetric, Dried at 180°C; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Cloruros	EPA 325.3 Chloride, ntrimetric, Mercuric Nitrate; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621- C-99-004, June 1999"
Dureza Total	EPA 130.2 Hardness, Total (mg/Las CaCO3), Titrimetric, EDTA; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Cromo	APHA AWWA WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21TH Ed. 2005. Part 3030-G Preliminary Treatment of Samples; Nitric Acid, Sulfuric Acid Digestion; Pag 3-9; SM 3111-B Direct Air- Acetylene Flame Method; Pag 3-17
Aceites y grasas	D 7066-04 Standard Test Method for dimet/trimer of chlorotrifluoroethylene (S-316) Recoverable Oil and Grease and Nonpolar Material by Infrared Determination; ASTM 2004
DBO	EPA 405.1 1999 Biochemical Oxygen Demand, 5 Dyas, 20°C
Coliformes Fecales, termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E. 22nd Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. 1. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).
Sulfato	EPA 375.4 1999 Sulfate (Turbidimetric)
Turbidez	EPA 180.1 1999 Turbidity, Nephelometric
Sólidos Totales Disueltos	EPA 160.1 1999 Residue, Filterable (Gravimetric, Dried at 180 °C)
Manganeso	EPA 243.1 :Manganese, Atomic Absorption, Direct Aspiration, Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements; Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Hierro	EPA 236.1 Iron, Atomic Absorption, Direct Aspiration; Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Zin	EPA 289.1 :Zinc, Atomic Absorption, Direct Aspiration; Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Metales por ICP	EPA 200.8 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry. Revisión 5.4, 1994.

### **C. Tratamiento de los parámetros para ajuste de valores dentro de Límites máximos permisibles.**

- Registro de información y check list de control del proceso, estos serán referentes para el diseño y ejecución del proceso de neutralización de aguas ácidas.
- Determinación de los parámetros a tratar y flujo de diseño.
- Cálculo del proceso de neutralización, en esta etapa se procede a determinar la cantidad y el tipo de neutralizante.
- Cálculo para el proceso de oxidación a partir de oxígeno del aire, en esta etapa se oxidará las especies reducidas de fierro y manganeso para llevarlas a una valencia más alta, donde las especies precipitan.
- Balance químico para la sedimentación los sólidos precipitados a fin de cumplir con las normativas vigentes.
- Dimensionamiento de principales equipos para el tratamiento de los lodos.
- Registros económicos, cotizaciones de empresas autorizadas sobre los precios de la disposición de residuos.

### **3.9 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **3.9.1 Procesamiento estadístico:**

En el análisis se iniciará con un proceso de estadísticas descriptivas, calculando los porcentajes de las variables que cumplen o estén dentro de los estándares correctos para cada una de las mediciones o ítems. También se establecerán intervalos de confianza que puedan definir límites con cierto grado de significancia para realizar la toma de decisiones en ambas observaciones (post y pre), estos intervalos se estudiarán con gráficos de cajas para analizar a fondo cada una de las observaciones antes y después de aplicarse el tratamiento, aplicándose la exclusión de outliers (datos atípicos) para analizar cómo se distribuyen cada una de las muestras tomadas.

El procedimiento estadístico inferencial sobre la comparación de mis dos observaciones se realizará bajo contrastes tanto paramétricos como no paramétricos ya que este último son las pruebas que tienen menos condiciones para los datos y pueden ser aplicadas de manera directa, es decir no necesitan de una prueba de

Normalidad para poder ser usada, mientras que las pruebas paramétricas si necesitan de esta. Las dos pruebas a utilizar serían la Prueba Diseño en Bloque Completamente al Azar en el campo paramétrico y la Prueba de Friedman en el campo no paramétrico.

El sustento de la aplicación de la prueba en bloques es porque cada muestra de agua (tratamiento) contiene elementos muy heterogéneos entre sí que hacen referencia a cambios químicos, físicos y biológicos en cada muestra, por lo que cada uno de estos elementos (Temperatura, Conductividad, Cr, Zn, Mn, Aceites y grasas, etc.) tiene características distintas y deben ser analizados de manera independiente como bloques.

El software a utilizar será R, ya que cuenta con facilidad de códigos y salidas dinámicas que ayudarán al procesamiento estadístico, por lo que en la parte teórica se especificarán cada uno de los procedimientos, pero no se detallará la matemática, puesto que el programa realizará los cálculos en su totalidad.

El proceso a seguir está basado en 5 puntos teóricos.

- Estadísticas descriptivas (engloban las medidas de tendencia central, percentiles y definición de intervalos de las observaciones).
- Análisis de valores Atípicos en base a Gráficos de Cajas por cada uno de los tratamientos y la exclusión de outliers que se encuentren muy fuera de la distribución de los datos y den resultados poco robustos.
- Definición del modelo paramétrico en base a las observaciones – Diseño en Bloque Completamente al Azar
- Prueba de Normalidad y explicación del uso de la Estadística No Paramétrica.
- Estadística Inferencial – Prueba de Friedman
  - o Análisis de significancia grupal.
  - o Diferencias Significativas por pares.
- Cuadro de datos para el Análisis Estadístico

### **3.9.2 Procesamiento de datos**

Se procesarán las muestras obtenidas de composición del ácido gástrico y las de aguas Ácidas y Alcalinas (Anexo 01).

Cuadro 06: composición del ácido gástrico y las de aguas Ácidas y Alcalinas en bloques para el procesamiento de datos.

BLOQUES	TRATAMIENTOS									
	GT-01	GV-01	GT-02	GV-02	GT-03	GV-03	GT-04	GV-04	MT-05	MV-05
Sólidos Totales Suspendedos	219.4000	403.4000	99.0000	16.0000	375.8000	663.6000	1302.6000	776.0000	200.0000	99.0000
Sólidos Totales Disueltos	42374.0000	13190.4000	912.6000	597.0000	134341.8000	276708.2000	3754.6000	91.8000	12860.7800	10580.1000
Cloruros	7.6000	2.7000	176.3000	70.5000	200660.4000	188296.5000	1570.8000	49.4000	3385.6000	2854.2000
Dureza Total	43.9000	6.1000	308.0000	119.2000	475.7000	490.3000	537.1000	27.7000	320.2000	315.7000
Conductividad	84780.4000	27360.4000	1825.6000	1187.4000	269890.5000	554687.2000	1846.8000	342.6000	25960.4000	21530.5000
DBO	4.2000	3.5000	5.7000	7.4000	6.8000	8.2000	5.4000	6.2000	6.8000	7.2000
DQO	6.8000	8.4000	12.4000	10.5000	9.4000	10.4000	8.2000	10.6000	10.8000	12.1000
Aceites y Grasas	1.2000	1.4000	3.2000	4.1000	1.1000	0.8000	0.5000	0.6000	0.2000	0.2000
Temperatura	20.0000	21.0000	20.0000	20.0000	22.0000	21.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
Densidad	1.0330	0.9960	1.0130	1.0000	1.1890	1.2590	1.0030	0.9900	1.0200	1.0100
Acidez	3.0000	7.0000	255203.2000	194747.6000	5.0000	3.0000	7.0000	5.0000	3663.5700	3547.2000
pH	7.0000	7.0000	3.0000	3.0000	6.3000	6.5000	8.2000	8.5000	5.0000	5.0000
Cr total	0.0258	0.0427	0.0116	0.0080	41.3659	53.0000	0.1606	0.1155	0.0116	0.0093
Fe total	7.7326	16.7541	51.8247	11.7302	68784.2551	122351.8289	324.5385	99.2463	1731.5800	1542.4300
Mn total	0.0582	0.2146	0.2746	0.0730	216.6631	335.0000	2.1656	0.3932	5.1400	3.2700
Zn total	21176.0000	14.8345	1.2943	2.0782	2752.2256	8615.4292	164.4589	12.5549	125.7800	118.5400
Ni total	0.4220	0.1217	0.0100	0.0123	3.6226	4.0200	0.0545	0.0625	0.2600	0.2200
Li total	0.1198	0.0267	0.0471	0.0157	0.0012	0.0012	0.0584	0.0012	0.0016	0.0014
B total	20.7524	0.7096	0.4711	0.2054	0.4715	0.5385	1.7365	0.0234	0.4736	0.3691
Be total	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0018	0.0060	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
P total	12.4082	10.9916	0.1625	0.1597	8.8288	10.9784	2.8952	1.4919	6.8600	5.2500
Ti total	0.2417	0.3584	0.0055	0.0140	2.0321	2.4203	0.1036	0.4702	0.1035	0.0940
V total	0.5275	0.0843	0.0003	0.0029	2.8496	4.5704	0.1637	0.0889	0.0032	0.0028
Co total	0.0015	0.0027	0.0041	0.0006	3.9808	5.9280	0.0270	0.0036	0.0378	0.0235
Cu total	0.8606	2.1432	0.1287	0.0186	26.9624	4.4616	6.4701	0.1492	1.7500	1.0200
As total	28458.0000	0.6217	0.0004	0.0091	0.2388	0.3372	0.1008	0.0473	0.0004	0.0003
Se total	0.0334	0.0013	0.0018	0.0002	0.1664	0.2556	0.0142	0.0014	0.0002	0.0002
Sr total	0.1125	0.3000	0.5059	0.1805	1.3896	0.3062	0.5156	0.0288	0.0920	0.0760
Mo total	0.6219	0.1037	0.0100	0.0119	3.8676	4.0600	0.0535	0.0606	0.2200	0.1800
Ag total	0.0005	0.0011	0.0002	0.0002	0.0235	0.0363	0.0021	0.0012	0.0002	0.0002
Cd total	0.0016	0.0005	0.0013	0.0004	0.0002	0.0203	0.0008	0.0004	0.0013	0.0010
Sn total	0.2797	0.4765	0.0122	0.0189	26.7546	30.5400	0.3520	0.8635	0.8200	0.4100
Sb total	0.3427	0.0344	0.0021	0.0002	0.0002	0.0002	0.0068	0.0077	0.0002	0.0002
Ba total	0.0094	0.0384	0.0348	0.0076	0.7173	0.3884	0.5030	0.0358	0.0030	0.0040
Ce total	0.0003	0.0031	0.0003	0.0003	0.0033	0.0271	0.0012	0.0013	0.0003	0.0003
Hg total	0.0014	0.0004	0.0001	0.0001	0.0036	0.0007	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Tl total	0.0012	0.0006	0.0003	0.0003	0.0464	0.0448	0.0226	0.0003	0.0003	0.0003
Pb total	0.0063	0.1871	0.0106	0.0059	3.7209	16.9186	0.2453	0.1678	0.0190	0.0170
Bi total	0.0003	0.0003	0.0040	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003

<b>Th total</b>	0.0070	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
<b>U total</b>	0.0014	0.0010	0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0010	0.0003	0.0003	0.0003
<b>Na total</b>	14596.4672	4441.5136	147.9815	182.5357	107.1903	193.5314	1069.4071	3.6043	4273.1900	3236.7600
<b>Mg total</b>	2.7581	16.4281	16.8924	7.7154	14.4500	15.9927	19.4507	1.7102	15.5670	7.5740
<b>K total</b>	66.3118	12.4512	2.9144	1.6084	0.9160	2.4056	10.2802	1.2074	4.1470	3.8230
<b>Ca total</b>	44.6401	83.2095	101.1868	35.0515	166.6696	169.9640	123.5960	4.5674	140.2300	137.2100

## - Estadísticas descriptivas

En este sentido se recolectará información de cada uno de los momentos en los que se tomó la muestra teniendo como control al tratamiento MV-5 y MT-5 que son la combinación de los 4 momentos anteriores, con el fin de describir apropiadamente las diversas características que puedan tener. (Anexo 02)

Se puede observar que la media y mediana de los elementos químicos que se evalúan son muy distantes, debido a las bajas y altas concentraciones que abarcan un intervalo de 0.0001 a 23745.45 en el caso de la mediana y 0.0006 a 9894.18 en el caso del promedio de cada uno de los bloques, por lo que la existencia de datos atípicos es casi un hecho ya que la distancia entre máximo de mediana y máximo de moda es muy abrupta.

Al evaluar solo los tratamientos (momentos de recaudación de la muestra), tomando un promedio de las concentraciones para evaluar una posible diferencia entre grupos de manera no oficial se puede notar que sigue existiendo una amplia distancia entre media y mediana, la mediana tiene un intervalo de 0.0189 a 4.06 mientras que el promedio oscila entre 32.6066 y 25615.9994 y esto se sigue sustentando en la diferencia abrupta de concentraciones por lo que en global las combinaciones de concentración tienen un comportamiento bastante disociado entre los momentos, debiéndose evaluar cada elemento como un bloque distinto ya que cada uno posee una distribución medida en mg/L que debe poseer sus propios outliers y sus propios intervalos dentro de lo conocido en términos químicos para el estudio.

- **Análisis de valores Atípicos en base a Gráficos de Cajas**

A continuación, se seguirá el análisis en base a los gráficos de cajas, se presentan los códigos en las tres fases de análisis en donde se maniobraron las escalas para poder hacer un ZOOM en la parte más representativa de los datos. (Anexo 03).

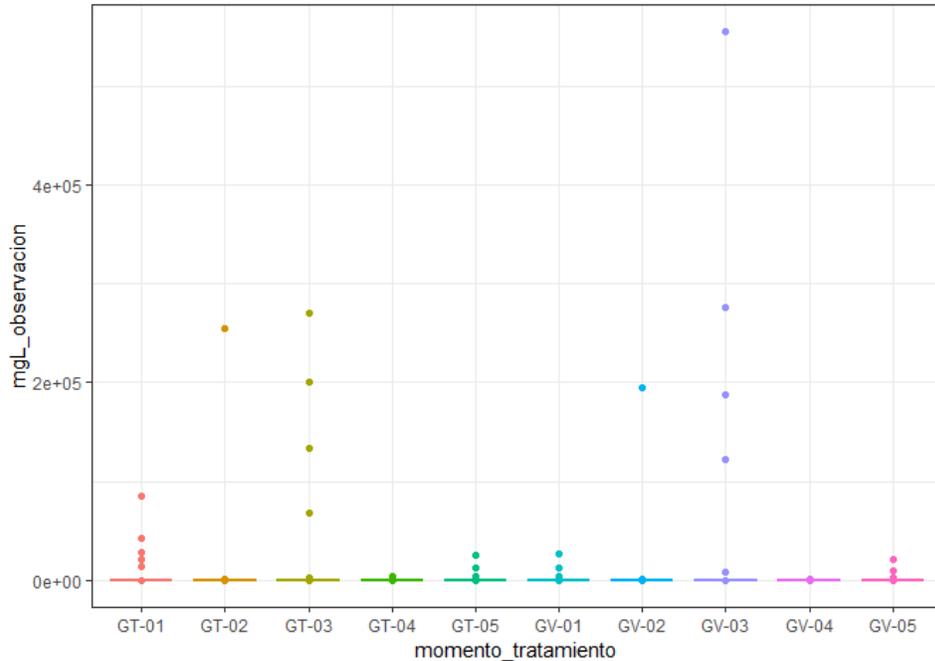


Gráfico 02. Distribución de las observaciones por tratamiento

Promedios y medianas por tratamiento:

	<b>Promedio</b>	<b>Mediana</b>
<b>GT-01</b>	4263.47	0.6219
<b>GV-01</b>	1013.62	0.4765
<b>GT-02</b>	5753.19	0.1287
<b>GV-02</b>	4378.34	0.0189
<b>GT-03</b>	15065.83	3.6226
<b>GV-03</b>	25615.99	4.0600
<b>GT-04</b>	239.66	0.5030
<b>GV-04</b>	32.61	0.1678
<b>GT-05</b>	1172.01	0.2600
<b>GV-05</b>	978.43	0.2200

Cómo se puede observar en la tabla las medianas se encuentran muy lejos de los promedios por lo que es necesario evitar las concentraciones muy altas para analizar los datos.

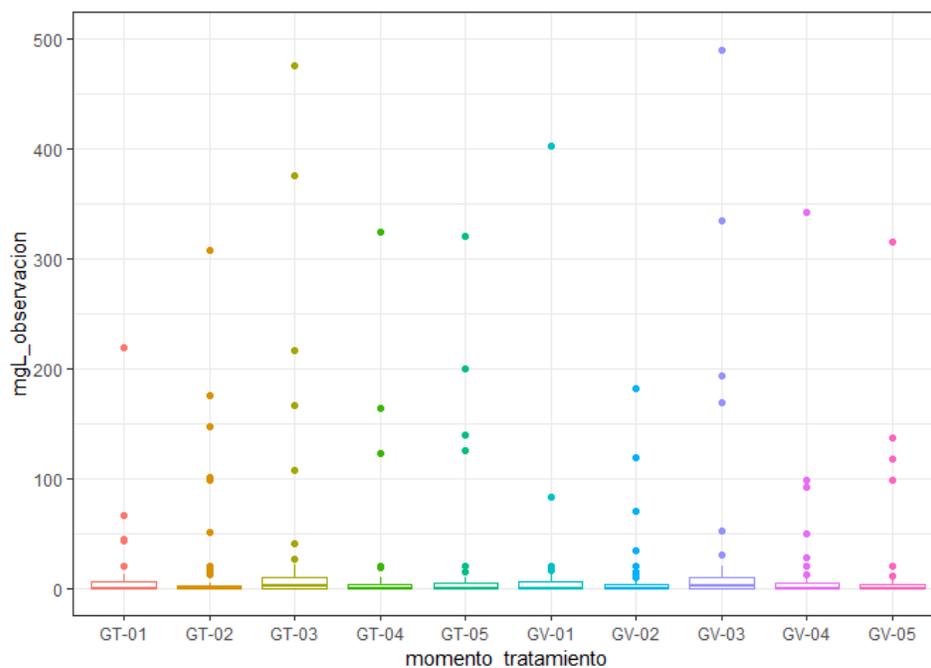


Gráfico 03. Primer acercamiento tratamiento

En este primer gráfico con todos los datos se puede visualizar una homogeneidad entre todos los momentos, pudiéndose cometer el error de asumir que todos los tiempos en donde se tomó la muestra pueden ser indistintos, pero lo correcto es fijarse que todas las distribuciones presentan datos atípicos, todos los momentos contienen el valor de algún químico específico que hace que no se pueda observar el detalle, por lo que se realizará un ZOOM a los datos, tomando el grupo más significativo.

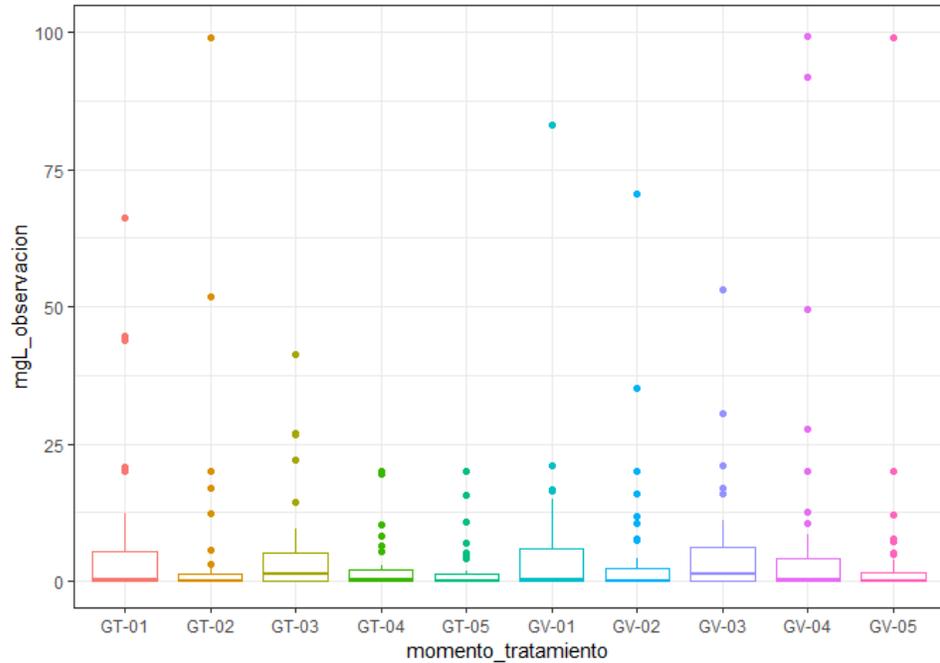


Gráfico 04. Segundo acercamiento de tratamiento

Después de realizar un primer acercamiento empezamos a notar un poco más la diferencia entre cajas de los 10 momentos tomados, aún se puede asumir una homogeneidad debido a que todas las cajas se distribuyen con concentraciones entre los 0 y 12.5 mg/L, pero notamos la cantidad de datos por encima de la caja, llegando a concentraciones por encima de los 75 mg/L, por lo que siguen existiendo elementos cuya dosis es muy alta para el conjunto analizado en global, por lo que se procederá a un último acercamiento para corroborar si los momentos son indistintos y se puede analizar cualquiera de ellos o debe existir un momento cuyo análisis brinde mejores resultados.

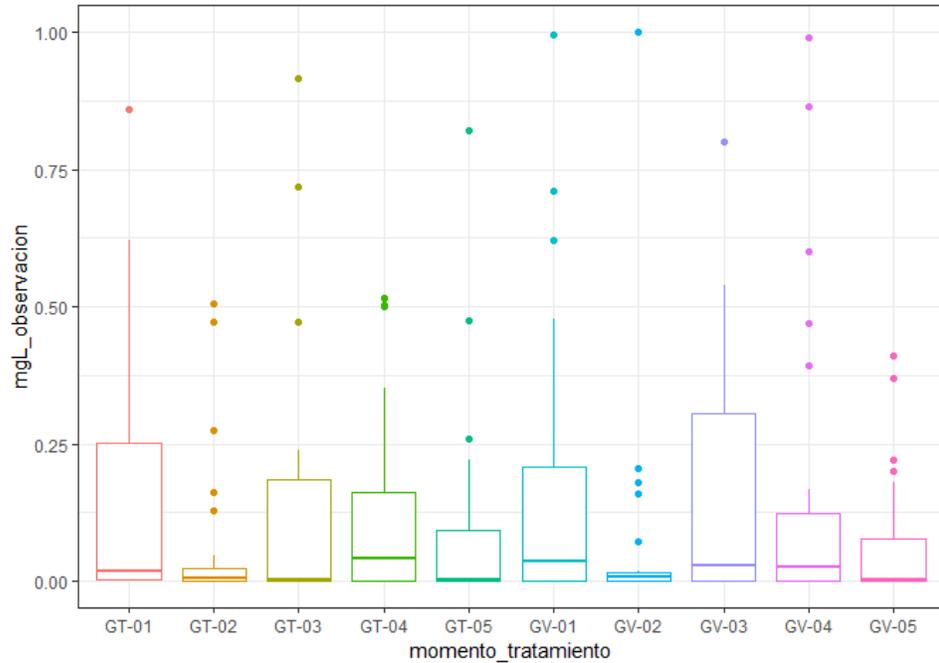


Gráfico 05. Tercer acercamiento de tratamiento

Con un último acercamiento ya empezamos a notar que los momentos poseen cajas diferentes, por lo que en este punto podemos definir que existen químicos más relevantes que otros dentro del grupo de 45 tomados y que los 10 momentos son diferentes. También se puede llegar a una conclusión algo prematura sobre los momentos GT-2, GV-2, MT-5 y MV-5, en donde se puede notar que las concentraciones son bastante pequeñas y con los outliers menos alejados de la distribución, por consiguiente, bajo la teoría y explicación química podrían ser los dos mejores momentos para tomar la muestra, ya que los demás tratamientos no son tan homogéneos en las concentraciones de químicos.

El análisis general nos indica que debe procederse con una prueba para muestras pareadas, ya que el agua fue tomada de un solo lugar, pero en momentos distintos y sabiendo de manera gráfica que cada uno de estos se desenvuelve de manera heterogénea, asumiendo también que los individuos en este caso son los químicos utilizados y que tienen características diferentes por lo que deben ser tratados como bloques.

- **Definición del modelo paramétrico en base a las observaciones.**

o **Definición de Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA)**

La definición de este modelo se tomará de la forma más general posible ya que no será aplicado en su totalidad, este modelo es la opción paramétrica, es decir cuando se conoce la distribución de los datos, pero la vida real y en la recopilación de información no sucede muy seguido por lo que no es recomendable cuando se trabaja de manera analítica un estudio de información química.

El fin de este modelo es evaluar si un conjunto de muestras presenta una media homogénea o no, teniendo como recolectores de información bloques distintos entre sí, por ejemplo, estudiar si un vino de diferentes marcas (tratamientos) es evaluado de manera correcta por 10 países (bloques); No se puede asumir que los países evalúen de la misma manera ya que cada país tendrá sus propios criterios, llevando este ejemplo al presente análisis sería el estudio de muestras de agua diferentes (tratamientos) que son afectadas por 45 químicos independientes (bloques).

El modelo analiza la homogeneidad de la media de estos tratamientos sabiendo que poseen un parámetro más que son los bloques.

Se presentarán los resultados del modelo, pero no serán analizados ya que la inferencia del estudio se hará con la prueba no paramétrica. (Anexo 04)

- **Prueba de Normalidad y explicación del uso de la Estadística No Paramétrica**

Este es un punto muy importante porque en base a este resultado es en donde tenemos la certeza de que se debe usar una prueba no paramétrica, se utilizarán los residuos del modelo paramétrico para ser evaluados sobre su distribución, de esta manera poder corroborar la NORMALIDAD. (Anexo 05)

H0: Los datos siguen una distribución Normal

H1: Los datos no siguen una distribución Normal

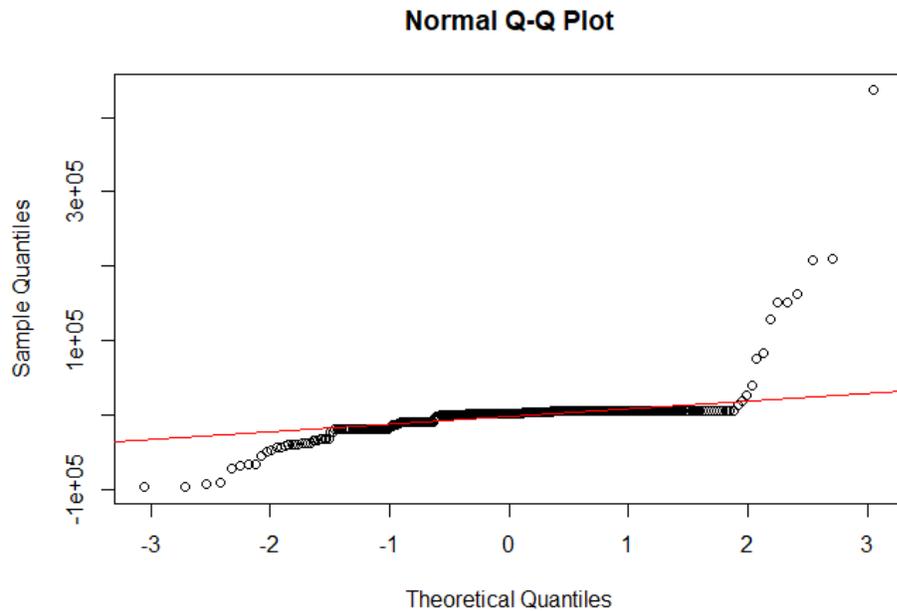


Gráfico 06. Normal Q - Q Plot

Nivel de significancia = 0.05

Estadístico de Shapiro Wilk = 0.42492

P-valor obtenido en la prueba = 0.00

Al ser menor el p-valor al nivel de significancia existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) por lo que NO se cumple la normalidad y se puede afirmar con certeza absoluta que el procedimiento a seguir es una prueba no paramétrica (TEST de Friedman).

- **Estadística Inferencial – Prueba de Friedman**

El test de Friedman es la alternativa no paramétrica a la prueba ANOVA cuando los datos son dependientes (pareados).

Considerando algunos conceptos de manera muy general y sencilla, puede considerarse como una comparación entre las medianas de varios tratamientos que pueden venir de una misma población.

El test de Friedman es el test adecuado cuando los datos tienen un orden natural y además son pareados.

En el presente análisis se quiere estudiar la diferencia e impacto de un conjunto de muestras de un mismo canal de agua por lo que la población es obtenida de un mismo grupo en momentos diferentes al cual se le aplican químicos diferentes y que se van evaluando en 5 momentos distintos para obtener sus muestras, analizando el impacto por cada químico (bloque) y por cada momento en que se toma (tratamiento) pudiendo conocer la deferencia del impacto entre estas

#### ○ **Comparaciones Post – Hoc**

Si la prueba de Friedman llega a brindar una significancia relevante en donde al menos un grupo sea distinto a los otros, pero sin saber cuál; se puede proseguir con la comparación entre todos los grupos o tratamientos, lo que implica realizar correcciones al nivel de significancia, para ese procedimiento se utilizará la prueba de rangos de signo de Wilcoxon (Prueba no paramétrica que no necesita de la hipótesis de normalidad)

A continuación, se brindarán los resultados en el software R y el análisis correspondiente.

```
> #Test de Friedman
> friedman.test(datos$mgL_observacion,
datos$momento_tratamiento,datos$elementos_bloques)

Friedman rank sum test

data: datos$mgL_observacion, datos$momento_tratamiento and
datos$elementos_bloques
Friedman chi-squared = 98.101, df = 9, p-value < 2.2e-16

> #El test encuentra diferencias significativas entre al menos dos grupos.
```

Donde las hipótesis planteadas son:

- Ho: No existe diferencia entre los momentos en que se tomó las muestras
- H1: Existe diferencia entre los momentos en los que se tomó la muestra.

El estadístico de prueba Chi cuadrado es 98.101 con un p-valor menor a 0.05, se rechaza la Ho por lo que si existen diferencias significativas entre los tratamientos y hay que evaluar cuál de los grupos (tratamientos – Momentos distintos) es

mejor, para ello se realizarán comparaciones dos a dos empleando el test de Wilcoxon de rangos por pares.

### COMPARACIONES MULTIPLES

```
> #Para saber cu?les son, se realizan comparaciones dos a dos empleando el
test de Wilcoxon rangos con signo.
> pairwise.wilcox.test(datos$mgL_observacion, datos$momento_tratamiento,
+                       paired = TRUE, p.adjust.method = "bonf")

Pairwise comparisons using Wilcoxon signed rank test with continuity
correction

data:  datos$mgL_observacion and datos$momento_tratamiento

      GT-01  GT-02  GT-03  GT-04  GT-05  GV-01  GV-02  GV-03  GV-04
GT-02 1.00000 -      -      -      -      -      -      -      -
GT-03 0.37487 0.01636 -      -      -      -      -      -      -
GT-04 1.00000 0.00530 0.15458 -      -      -      -      -      -
GT-05 1.00000 0.23526 0.00817 1.00000 -      -      -      -      -
GV-01 1.00000 1.00000 0.31318 1.00000 1.00000 -      -      -      -
GV-02 1.00000 0.19593 0.00626 0.00287 0.02825 0.09056 -      -      -
GV-03 0.26953 0.00249 0.01122 0.38840 0.00121 0.05902 0.00013 -      -
GV-04 1.00000 1.00000 0.00190 0.06653 0.32842 1.00000 1.00000 0.00033 -
GV-05 1.00000 1.00000 0.00409 1.00000 0.00132 1.00000 0.07455 0.00136 0.44280

P value adjustment method: bonferroni
```

Este resultado es una matriz que brinda el p-value para cada prueba de rangos en pares, aclarando que el método de ajuste es el de Bonferroni por elección de precisión para los cálculos, por lo que ordenándola quedaría de la siguiente manera:

Cuadro 07: Cuadro matriz del p-value para cada prueba de rangos en pares.

	GT-01	GT-02	GT-03	GT-04	GT-05	GV-01	GV-02	GV-03	GV-04	GV-05
GT-01	-	1.0000	0.3749	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2695	1.0000	1.0000
GT-02	1.0000	-	0.0164	0.0053	0.2353	1.0000	0.1959	0.0025	1.0000	1.0000
GT-03	0.3749	0.0164	-	0.1546	0.0082	0.3132	0.0063	0.0112	0.0019	0.0041
GT-04	1.0000	0.0053	0.1546	-	1.0000	1.0000	0.0029	0.3884	0.0665	1.0000
GT-05	1.0000	0.2353	0.0082	1.0000	-	1.0000	0.0283	0.0012	0.3284	0.0013
GV-01	1.0000	1.0000	0.3132	1.0000	1.0000	-	0.0906	0.0590	1.0000	1.0000
GV-02	1.0000	0.1959	0.0063	0.0029	0.0283	0.0906	-	0.0001	1.0000	0.0746
GV-03	0.2695	0.0025	0.0112	0.3884	0.0012	0.0590	0.0001	-	0.0003	0.0014
GV-04	1.0000	1.0000	0.0019	0.0665	0.3284	1.0000	1.0000	0.0003	-	0.4428
GV-05	1.0000	1.0000	0.0041	1.0000	0.0013	1.0000	0.0746	0.0014	0.4428	-

Se observan todas las diferencias significativas entre las cuales podemos destacar de verde todas las menores a 0.005 entendiendo por esto que en realidad si hay una marcada diferencia entre los grupos, ya que mientras el p-valor sea más reducido significa que hay más diferencia significativa entre los grupos comparados.

Para poder concluir cual es el mejor momento o con el que es más prometedor trabajar, se tomaran los momentos 3 y 5 que son los que tienen mayores diferencias significativas con los demás grupos de acuerdo a los valores de la tabla dados por la prueba de comparación por pares.

Se puede notar que el momento que los conocimientos a priori sobre el grupos 5 en donde los químicos tenían menos cantidad de concentraciones altas en mg/L (outliers) era correcto por consiguiente podrían estar dentro de los intervalos establecidos para el estudio teniendo concentraciones pequeñas que ayudarían a la toma de decisión final.

Se evaluará una última observación con un zoom para los momentos con mayor diferencia significativa (3 y 5)

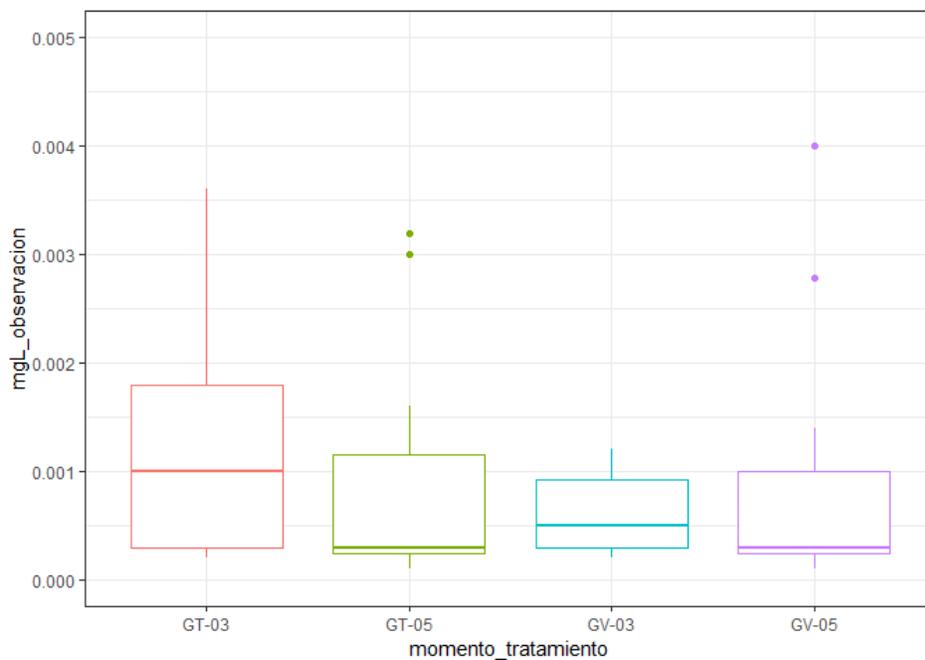


Gráfico 07. Última observación con un ZOOM.

```
> datos_final = datos %>%
+   filter(momento_tratamiento=="GT-03" |
+         momento_tratamiento=="GV-03"|
+         momento_tratamiento=="GT-05"|
+         momento_tratamiento=="GV-05")
> ggplot(data = datos_final, mapping = aes(x =momento_tratamiento , y =
mgL_observacion, colour = momento_tratamiento)) +
+   geom_boxplot() +
+   theme_bw() +
+   theme(legend.position = "none") +
+   scale_y_continuous(limits = c(0,0.005))
```

Con los resultados de la prueba de Friedman y la información de la prueba de Wilcoxon por pares podemos definir como el mejor grupo de momentos a GT y GV 05 por distribución y concentraciones que son más homogéneas y porque se diferencia en mayor impacto con los otros momentos. Teniendo en cuenta que este tratamiento es la combinación de todos los momentos, existe evidencia estadística para sustentar que el grupo control es el que mayor impacto genera.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas, Alcalinas y Acido Gasto procesará soluciones de los procesos químicos superficiales que se aplican a los productos siderúrgicos en las Plantas de Tubos y Viales. La propuesta consiste en el tratamiento de estos efluentes químicas, de manera de neutralizar el nivel de acidez que traen y abatir los metales pesados que forman parte de estos efluentes, al precipitarlos como especies salidas, las que posteriormente serán separadas del agua tratada. Los residuos sólidos serán concentrados, secados y dispuestos, en un escenario de disposición final, de una manera segura; por su parte, las soluciones o aguas tratadas cumplirán las normas vigentes respecto a la calidad química y serán almacenadas para ser luego reutilizadas.

### **4.1 Consideraciones generales y específicas**

El caudal a tratar será de 6.0 m<sup>3</sup>/hr de los cuales 0.1 m<sup>3</sup>/hr corresponde a ácido gasto y el 5.9 m<sup>3</sup>/hr corresponde a aguas ácidas y alcalinas.

Los siguientes parámetros descritos a continuación fueron asumidos:

- La lechada de cal: 10%.
- Oxidación del ferroso:90%

### **4.2 Flujos volumétricos de efluentes ácidos ingresantes**

De acuerdo con los análisis realizados se pudo encontrar en el anexo n°1 la composición del ácido gasto (GT-3 Y GV-3) y las de aguas Ácidas y Alcalinas (GT-1, GT-2, GT-4, GV-01 Y GV- 4) en un flujo volumétrico conjunto de 6.0 m<sup>3</sup>/hr. La composición detallada de esta mezcla se presenta a continuación.

Respecto al diagnóstico inicial del impacto ambiental que generan las aguas ácidas del proceso de galvanizado Siderúrgico como línea base se observa lo siguiente:

Cuadro 08: Composición Detallada de la Mezcla de Ácido Gasto y Aguas Ácidas y Alcalinas

Parámetros	Pre-Test	Unidades
Cloruros	3385.6	mg/lt
Hierro (Disuelto)	1731.58	mg/L
Manganeso	5.14	mg/L
Zinc	125.78	mg/L
Fósforo	6.86	mg/L
Cobre Total	1.76	mg/L
Molibdeno	0.22	mg/L
Estaño	0.82	mg/L
Plomo Total	0.019	mg/L
Sodio	4273.19	mg/L
Ácido (CaCO <sub>3</sub> )	3663.57	mg/L

(1) Decreto Supremo N° 001-2010-MINAM, que aprueba el inicio del proceso de transferencia de funciones de supervisión, fiscalización y sanción en materia ambiental del Osinergmin al OEFA, publicado en el Diario Oficial El Peruano el 21 de enero de 2010.

(2) Decreto N° 883. Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de Agua y Vertido de Efluentes Líquidos de Venezuela.

(3) D.S. N° 33-95. NICARAGUA. Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Capítulo VII. Art. 45 (Descargas provenientes de la industria de hierro y acero).

Los flujos individuales de ácido gasto y aguas acidas y alcalinas serán:

- Ácido Gasto: 0.1 m<sup>3</sup>/hr
- Agua Acida Alcalina: 5.9 m<sup>3</sup>/hr
- Total: 6.0 m<sup>3</sup>/hr

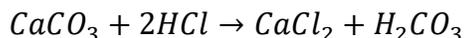
Tal como refiere Aduvive (2006) estas aguas son tóxicas en diverso grado para el hombre, la fauna y la flora ya que contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de labores siderúrgicas, mineras, procesos de concentración de minerales, industria textil y del calzado, presas de residuos y escombreras de mina. Estos elementos en altas concentraciones

son perjudiciales para la actividad biológica, contaminan los cursos de agua y pueden dañar las estructuras de ingeniería.

### 4.3 Cálculo del consumo de cal

Para el proceso de diseño y ejecución de la neutralización de aguas ácidas de una empresa siderúrgica se recurrieron a las siguientes reacciones;

La acidez de la mezcla de soluciones ácidas que ingresarán a la planta registra 3663.57 mg/lit como CaCO<sub>3</sub>. Por lo tanto, se lleva a concentración de ácido clorhídrico, de acuerdo con la siguiente reacción:



Por lo tanto, la concentración de HCl (en mg/lit) será:

$$3663.57 \frac{mg}{lt} \times \frac{73}{100} \frac{grHCl}{grCaCO_3} = 2674 \frac{mg}{lt} \text{ de HCl}$$

Para calcular la concentración de CaO neutralizante, se emplea la siguiente reacción:

$$2674 \frac{mg}{lt} \times \frac{56}{73} \frac{grCaO}{grHCl} = 2051.3 \frac{mg}{lt}$$

Para tener un valor numérico de cantidad de cal, dividiremos la capacidad de neutralización (como CaO) entre 0.8, que se considera como eficiencia de reacción y la pureza de la cal.

$$Cal = \frac{2051.3 \frac{mg}{lt}}{0.8} = 2564.13 \frac{mg}{lt} = 2.6 \frac{gr}{lt}$$

Se entiende que, con esta dosificación de cal, será posible alcanzar 8.5 de PH.

$$\text{Consumo de Cal por mes} = 2.6 \frac{gr}{lt} \times \frac{1000lt}{1m^3} \times \frac{1ton}{10^6gr} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 24 \frac{hr}{1día} \times 30 \frac{días}{1mes}$$

$$\text{Consumo de Cal por mes} = 11.23 \frac{ton}{mes} \text{ y por día} = 0.375 \frac{ton}{día}$$

#### 4.4 Preparación de lechada de cal

Para preparar lechada de cal, se utilizará cal viva a granel al 83%.

Para el caso que se tenga que realizar un ajuste de PH, se asumirá una gravedad específica de la cal en 3.2 ton/m<sup>3</sup> (gr/cm<sup>3</sup>) que a un 10% de sólidos (en pulpa). Corresponde a un volumen de lechada de 3.5m<sup>3</sup>/día, que deberán ser preparados.

El flujo de lechada de cal, por hora, será:

$$\text{Flujo de Lechada al Proceso} = \frac{3.50 \frac{m^3}{día}}{24 \frac{hr}{día}} = 0.15 \frac{m^3}{hr}$$

El factor empleado para convertir toneladas de cal a volumen ha sido 9.313 m<sup>3</sup>/tonelada de sólido.

Así, como afirma Cruz (2019) la precipitación química con lechada de cal es uno de los medios más efectivos para el tratamiento de efluentes con altas concentraciones de metales. Después de ajustar el pH a condiciones alcalinas o básicas, los iones metálicos disueltos se convierten en compuestos insolubles por reacción química con un agente precipitante.

#### 4.5 Oxidación del ferroso y del manganeso

Para la oxidación del ferroso, se asumirá que el 90% de esta especie reducida, se oxida en esta etapa, esto es:

$$F^{++} \text{ a Oxidarse} = 1732 \frac{mg}{lt} \times 0.90 = 1558.8 \frac{mg}{lt}$$

De otro lado, hay que efectuar un reajuste de concentración de ferroso, por el volumen que aporta el agua que viene con la lechada de cal (0.15m<sup>3</sup>/hr). Por lo tanto, se tiene:

$$1558 \frac{mg}{lt} \times \frac{6.00m^3/hr}{6.15m^3/hr} = 1520 \frac{mg}{lt}$$

Para determinar el requerimiento de oxígeno, se utilizará la siguiente relación:

$$O_2 = Q_w \times Fex(5.16 \times 10^{-4})$$

Donde:

- $O_2 = \frac{KgO_2}{hr}$
- $Q_W = \text{Flujo Volumétrico de agua ácida} \left(\frac{l}{s}\right)$
- $Fe = \text{Concentración de ferroso en} \frac{mg}{lt}$

Reemplazando, tendremos lo siguiente:

$$O_2 = \left(1.70 \frac{l}{s}\right) \times \left(1520 \frac{mg}{lt}\right) \times (5.16 \times 10^{-4})$$

$$O_2 = 1.33 \frac{KgO_2}{hr}$$

Para calcular la cantidad de aire, se utilizará la siguiente relación

$$Q_A = \frac{6.324 \times O_2}{E}$$

Donde:

- $Q_A = \text{Es la demanda total de aire en} \frac{m^3}{min}$
- $O_2 = \text{Es la demanda teórica de oxígeno en} \frac{KgO_2}{hora}$
- $E = \text{Es la eficiencia de transferencia de Oxígeno en la pulpa}$

Reemplazando valores:

$$Q_A = \frac{6.324 \times 1.33}{0.4} = 21.0 \frac{m^3}{min}$$

Para considerar el manganeso, se redondeará la cifra de aire a 22.0 m<sup>3</sup>/min

$$Q_A = 22 \frac{m^3}{min} \times 60 \frac{min}{hr} = 1320 \frac{m^3}{hr}$$

#### 4.6 Generación y balance de sólidos en el proceso

El cálculo de sólidos precipitados se hará en base a los procesos químicos que ocurren en los tanques de neutralización y oxidación en conjunto.

Los límites ambientales obtenidos para la descarga de efluentes conteniendo metales pesados fueron satisfactorios. Se obtuvo una eficiencia de precipitación mayor que 99,7% para todos los metales estudiados Zn, Fe férrico, Cu y Ni. (Ribeiro, B et. al, 2008).

Detalladamente, los sólidos estarán constituidos por lo siguiente:

- ✓ Sólidos Precipitados como Hidróxidos.
- ✓ Sólidos Suspendidos que traen las soluciones ingresantes.
- ✓ Sólidos Precipitados por insolubilidad de calcio y sulfato.
- ✓ Sólidos Insolubles que tiene consigo la cal.

##### ✓ Sólidos precipitados como hidróxidos.

$$\bullet \quad Fe = 1732 \frac{mg}{lt} \times 0.999 \times \frac{107}{56} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lbs}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$Fe \text{ en } Fe(OH)_3 = 19.8 \frac{Kg}{hr}$$

$$\bullet \quad Zn = 126 \frac{mg}{lt} \times 0.999 \times \frac{99}{65} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lbs}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$Zn \text{ en } Zn(OH)_2 = 1.15 \frac{Kg}{hr}$$

$$\bullet \quad Mn = 5.0 \frac{mg}{lt} \times 0.999 \times \frac{123}{55} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lbs}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$Mn \text{ en } Mn(OH)_4 = 0.07 \frac{kg}{hr}$$

$$\text{Subtotal de sólidos} = 21.0 \text{ kg/hr}$$

✓ **Sólidos suspendidos que traen las soluciones ingresantes.**

$$TSS = 200 \frac{mg}{lt} \times 6.0 \frac{m^3}{hr} \times 1000 \frac{lbs}{1m^3} \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{1kg}{1000gr}$$

$$TSS = 1.2 \frac{kg}{hr}$$

✓ **Sólidos precipitados por insolubilidad de calcio y sulfato:**

Se asume como 5% del peso de los sólidos precipitados como hidróxidos. Por lo tanto:

$$Insolubles: 21.0 \frac{kg}{hr} \times 0.05 = 1.05 \frac{kg}{hr}$$

✓ **Sólidos insolubles que trae consigo la Cal:**

Se asume como un 17% del peso de la cal utilizada, por lo tanto, tendremos:

$$Kg \text{ de Cal} = 11.26 \frac{ton}{mes} \times \frac{1mes}{30dias} \times \frac{1000kg}{1ton} \times \frac{1dia}{24horas} = 16 \frac{kg}{hr}$$

$$Insolubles \text{ en Cal} = 16.0 \times 0.17 = 2.72 \frac{kg}{hr}$$

$$Sólidos \text{ Totales: } 21.0 + 1.2 + 1.05 + 2.72 = 25.97$$

$$Sólidos \text{ Totales: } \frac{26Kg}{hr}$$

#### 4.7 Dimensionamiento de equipos de proceso

✓ **Tanque de neutralización:**

- Flujos Volumétricos Ingresantes al tanque:  $6.0 + 0.15 = 6.15 \text{ m}^3/\text{hr}$
- Tiempo de retención: 40 min
- Volumen del tanque: 110% de la pulpa de reacción

$$V_{tn} = \frac{6.15 \frac{m^3}{hr} \times 40 \text{ min} \times \frac{1hr}{60 \text{ min}}}{0.9} = 4.6 \text{ m}^3$$

$$V_{tn} = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 1.7m \text{ Y } H = 2.8m$$

✓ **Tanque de oxidación:**

- Flujo Volumétrico de pulpa:  $6.15 \frac{m^3}{hr}$
- Flujo Volumétrico de Aire:  $1320 \frac{m^3}{hr}$
- Tiempo de Retención: 50 minutos
- Volumen Ocupado por Aire: 15%
- Borde Libre: 10%

$$V_{to} = \frac{6.15 \frac{m^3}{hr} \times 50 \text{ min} \times \frac{1hr}{60 \text{ min}}}{0.85 \times 0.9} = 6.7 m^3 = 7.0m^3$$

$$V_{to} = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 2.5m \text{ Y } H = 2.5m$$

✓ **Sedimentador/Clarificador:**

- Flujo Volumétrico de Solución:  $6.15 + 0.068 = 6.22 m^3/hr$
- Rise Rate(Vrr): 1 m/hr (partícula de tamaño de precipitado)

$$A = \frac{Q}{V_{rr}}$$

$$A = \frac{6.22 \frac{m^3}{hr}}{1.0 \frac{m}{hr}} = 6.22m^2$$

$$A = 6.22m^2 \times 1.1 = 6.84 \cong 7.0m^2$$

$$V_{tn} = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 3m \quad Y \quad H = 2.5m$$

✓ **Sistema de adición de floculantes**

Generalmente, se compra en paquete con los siguientes datos.

$$Consumo = 0.03 \frac{kg}{hora} + 0.324 \frac{kg}{hora} = 0.354 \frac{kg}{hora}$$

Se prepara floculante al 0.5% y se dosifica a una concentración de 5ppm

✓ **Concentrador de sólidos**

- Flujo Volumétrico de pulpa: 0.55 m<sup>3</sup>/hora
- Concentración de sólidos entrante: 5%
- Concentración de sólidos saliente: 10%
- Rise Rate (Vrr): 0.3 m/hr (asumido)

$$A = \frac{0.55m^3/hr}{0.3m/hr} = 1.83m^2$$

$$A = 1.83m^2 \times 1.2 = 2.2 \cong 2.5m^2$$

$$Vtn = \frac{\pi D^3}{4}$$

$$D = H$$

$$D = 2m \quad Y \quad H = 2m$$

✓ **Lecho de secado**

- Flujo Volumétrico de pulpa: 0.27 m<sup>3</sup>/hora
- Concentración de sólidos entrante: 10%
- Concentración de sólidos saliente: 20%
- Dimensiones de la Cancha: L:14.0m x A:6.0m

✓ **Sistema de suministro de aire**

- Flujo de Aire Requerido: 1320 m<sup>3</sup>/hora

#### 4.8 Dosificación de aditivos (floculantes)

Se asume que el floculante se adicionará en una concentración de 5ppm, que es igual también a 5mg de floculante/litro de solución, convirtiendo a kg/hora de floculante, tendremos:

$$5.0 \frac{mg}{lt} \times 1000 \frac{lt}{1m^3} \times \frac{1kg}{10^6 mg} \times 6.15 \frac{m^3}{hora} = 0.031 \frac{kg}{hora}$$

El floculante se prepara al 0.5% en agua dulce y luego se diluye 10 veces para dosificarlo.

$$\text{Peso de Solución: } \frac{0.031 \frac{kg}{hr}}{0.005} = 6.2 \frac{kg}{hora} \text{ de solución.}$$

(99.5% de agua + 0.5% de floculante disuelto)

Como la solución es prácticamente agua, su densidad será 1kg/lt. En ese sentido, el flujo volumétrico de solución concentrada será:

$$\text{Flujo Volumétrico: } \frac{6.2 \frac{kg}{hr}}{1.0 \frac{kg}{lt}} = 6.2 \frac{lt}{hora}$$

Para dosificarlo, se diluye 10 veces, de modo que el flujo volumétrico de dosificación será:

$$6.2 \frac{lt}{hora} \times 11 = 68.2 \frac{lt}{hora} = 0.068 \frac{m^3}{hora}$$

*El peso del floculante sólido será:*

$$0.031 \frac{m^3}{hora} \times 24 \frac{horas}{1dia} = 0.744 \frac{kg}{dia} \times 30 \frac{dias}{1mes} = 22.32 \frac{kg}{mes}$$

#### 4.9 Evaluación Económica para la disposición de residuos.

- Precio de la tonelada de residuos peligrosos:  $350 \frac{US\$}{ton}$
- Precio de la tonelada de residuos no peligrosos:  $70 \frac{US\$}{ton}$
- Capacidad de Tina: 4 tinas (Capacidad de  $10m^3$  cada tina)
- Frecuencia de cambio: Quincenal

### Capacidad de agua almacenada:

$$80 \frac{m^3}{mes} * 1 \frac{ton}{m^3} * 350 \frac{US\$}{ton} = 28,000 \frac{US\$}{mes}$$

### Proceso Planta de Tratamiento:

$$26 \frac{kg}{h} * 1 \frac{ton}{1000 kg} * 150 \frac{US\$}{ton} * 720 \frac{h}{mes} = 2,808 \frac{US\$}{mes}$$

#### 4.10 Evaluación del VAN, TIR y Tiempo De Retorno De La Inversión.

Respecto al diagnóstico inicial del impacto económico que generan las aguas ácidas del proceso de galvanizado Siderúrgico como línea base se observa lo siguiente:

- Para una planta de  $26 \frac{kg}{h}$  se tiene una inversión de 1,000,000 US\$ (HANILEST EG PERÚ,2016)
- Costos Operativos:  $32,000 \frac{US\$}{año}$ 
  - Operador:  $12,000 \frac{US\$}{año}$
  - Mantenimiento:  $15,000 \frac{US\$}{año}$
  - Productos Químicos:  $5,000 \frac{US\$}{año}$
- Flujo de Caja:
  - Tasa de Descuento: 15%

Cuadro 09: Flujo de Caja

Año	Inversión (US\$)	Ingresos (US\$)	Costos Operativos (US\$)	Neto (US\$)	Flujo de Caja Acumulado (US\$)
0	-1,000,000.00	0.00	0.00	-1,000,000.00	-1,000,000.00
1	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	-696,000.00
2	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	-392,000.00
3	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	-88,000.00
4	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	216,000.00
5	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	520,000.00

6	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	824,000.00
7	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	1,128,000.00
8	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	1,432,000.00
9	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	1,736,000.00
10	-	336,000.00	32,000.00	304,000.00	2,040,000.00

- VAN, TIR y Tiempo de Retorno de la Inversión

<b>VAN</b>	525,705.66	US\$
<b>TIR</b>	28%	
<b>TIEMPO DE RETORNO</b>	3.3	Años

- Análisis de Factibilidad

- VAN > 0: US\$ 525,705.66 > 0 (La tasa de descuento elegida generará beneficios)
- TIR > Tasa de Descuento: 28% > 15% (El proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.)

Tasa de Descuento	Valor Actual Neto
	Proyecto
0%	S/2,040,000.00
5%	S/1,347,407.42
10%	S/867,948.40
15%	S/525,705.66
20%	S/274,511.51
25%	S/85,432.99
28%	S/0.00
35%	-S/174,626.99
40%	-S/266,274.43
45%	-S/340,887.44
50%	-S/402,543.65
60%	-S/497,941.44
70%	-S/567,868.49



Gráfico 08. Análisis de factibilidad del proyecto.

#### 4.11 Cuadro de resultados Post Test.

A continuación, se observa la caracterización de las aguas ácidas del proceso de galvanizado antes y después de la neutralización. Asimismo, se detalla los valores del proceso al comparar la calidad de las aguas ácidas siderúrgicas con los estándares de calidad ambiental.

Cuadro 10: Cuadro de Resultados Pre y Post Test

Parámetros	Pre Test	Post Test	Unidades	LMP		
				1	2	3
pH	5	8.5		6 -- 9	---	---
Sólidos Totales en Suspensión	200	27	mg/L	50	---	50
Aceites y Grasas	0.2	0.2	mg/L	20	20	30
Cianuro Total	---	---	mg/L	1	---	---
Arsénico Total	<0,0004	<0,0004	mg/L	0.1	---	---
Cadmio Total	0.0013	0.0013	mg/L	0.05	---	---
Cromo Total	0,0116	0,0116	mg/L	0.10	---	---
DBO	7.2	7.2	mg/L	---	60	---
DQO	12.1	12.1	mg/L	---	350	200
Mercurio Total	<0,001	<0,001	mg/L	0.002		
Cloruros	3385.6	3385.6	mg/L	---	---	---
Fierro (Disuelto)	1731.58	1.73	mg/L	2	---	---
Manganeso	5.14	0.005	mg/L	---	---	1.5
Zinc	125.78	0.13	mg/L	1.5	10	1
Fósforo	6.86	0.16	mg/L	---	---	---
Cobre Total	1.76	0.12	mg/L	0.5	1	---
Molibdeno	0.22	0.01	mg/L	---	---	---
Estaño	0.82	0.01	mg/L	---	---	---
Plomo Total	0.019	0.0106	mg/L	0.2	0.5	0.6
Sodio	4273.19	4273.19	mg/L	---	---	---
Níquel	0.26	0.26	mg/L	---	2	2

En el Anexo 10: Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales se precisan la evaluación y resultados de la neutralización de aguas ácidas y su reutilización como agua industrial para el proceso de galvanizado en una empresa Siderúrgica.

En este contexto, Cruz (2019) explica que la neutralización química es la adición de sustancias alcalinas para neutralizar la acidez del agua, así como la acidez resultante de la hidrólisis y precipitación de los metales disueltos debido al aumento del pH. Este proceso podría ser como la etapa de pretratamiento o acondicionamiento previo a un proceso de precipitación. También menciona que, para poder aplicar la técnica de neutralización en un flujo residual, va a depender de 3 factores como el pH exigido, el DBO y la acidez o alcalinidad del flujo a tratar.

Actualmente, el sector no ha establecido valores de comparación específicos para la actividad siderúrgica, sin embargo se tomaron normas referenciales internacionales y nacionales que regulan los efluentes de la actividad siderúrgica: el Decreto Supremo N° 001-2010-MINAM, que aprueba el inicio del proceso de transferencia de funciones de supervisión, fiscalización y sanción en materia ambiental del Osinergmin al OEFA, publicado en el Diario Oficial El Peruano el 21 de enero de 2010; Decreto N° 883. Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de Agua y Vertido de Efluentes Líquidos de Venezuela y el D.S. N° 33-95. Nicaragua. Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Capítulo VII. Art. 45 (Descargas provenientes de la industria de hierro y acero

El impacto ambiental constituye un cambio que ocurre en el medio ambiente como resultado de acciones en todos o parte de los aspectos ambientales de la organización. Es necesario aclarar que el impacto ambiental puede ser beneficioso o perjudicial para el medio ambiente y el impacto económico. Están diseñados para medir el impacto y los beneficios de otras actividades que pueden tener impactos socioeconómicos, incluida la inversión en infraestructura, la organización de eventos y los cambios en la legislación.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- La neutralización de aguas ácidas y su reutilización como agua industrial para el proceso de galvanizado en una empresa Siderúrgica, minimiza el impacto ambiental y trae ventajas económicas con un VAN de 525,3705.66 un TIR de 28% y PayBack de 3.3 años, lo cual permite su reutilización como agua industrial; tal como se evidencia en la matriz ICAS, el proceso de neutralización de aguas ácidas obtiene un valor de 20 el cual lo hace significativo y a través de la medida de control del proceso de neutralización de agua ácidas nos permite pasar a un aspecto controlado con un valor de 5 de acuerdo a la matriz de 5 x 5.
- De acuerdo con el diagnóstico inicial del impacto ambiental y económico que generan las aguas ácidas del proceso de galvanizado Siderúrgico se obtuvo que son los principales contaminantes son los metales: Fierro con un 1,731 mg/l, Zinc 5.14 mg/l y Manganeso 125.78 mg/l, parámetros que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles y un gasto por disposición de los residuos generados sin proceso de tratamiento de 28,000 US\$/mes.
- El diseño de ejecución del proceso de neutralización de aguas ácidas de siderúrgica se detalla en el anexo 7: Diagrama de Flujo de Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas, Alcalinas y Ácido Gasto que indica las etapas de neutralización, oxidación, clarificación, floculación, concentración de sólidos y evacuación de sólidos, considerando principalmente las técnicas de remoción de metales pesados y las normas internacionales y nacionales que regulan la actividad siderúrgica.
- De los datos obtenidos en el estudio físico, químico y biológico de las aguas ácidas del proceso de galvanizado antes y después de la neutralización de aguas se tiene que: para el tratamiento del ácido con un valor de 3,663.57 mg/l, se requiere una concentración de CaO de 2,051 mg/l para incrementar el pH de 5.0 a 8.5; para la precipitación del Fierro, Zinc y Manganeso es necesario un caudal de aire de 21 m<sup>3</sup>/min para la oxidación en un tiempo de

50 min.; en la fase de oxidación del Hierro, Zinc y Manganeso como principales elementos, éstos se precipitan mediante el proceso de clarificación. Respecto a los sólidos generados producto de la neutralización se obtuvo que: los sólidos precipitados como Hidróxidos son: Fe: 19.8 kg/h, Zn 1.15 kg/h y Mn 0.07 kg/h : total 21.0 kg/h.; los sólidos suspendidos que traen las soluciones ingresantes generan 1.2kg/h de sólidos.; los sólidos precipitados por insolubilidad de Calcio y Sulfato son de 1.05 kg/h.; los sólidos insolubles que trae que trae la cal es de 2.72 kg/h; y finalmente; para el tratamiento de 6.0m<sup>3</sup>/h (0.1m<sup>3</sup> de Ácidos Gastos y 5.9m<sup>3</sup> de Aguas ácidas y alcalinas), genera un total de 26 kg/h. de sólidos totales, los mismos que tienen que ser regulados a través de un programa de control de manejo de residuos sólidos.

- De acuerdo con las normas internacionales y nacionales que regulan la actividad siderúrgica de aguas ácidas, se tiene que el proceso de neutralización de estas en el estudio cumple los estándares de calidad ambiental para su reutilización como agua industrial conforme se evidencia en el cuadro No 10 de Resultados de Pre y Post Test y pueden ser reutilizada en los procesos que cumplan esta calidad.
- Para los demás parámetros como coliformes totales el valor obtenido es de < 1.8 como resultado del análisis realizado considerándose irrelevante en el proceso dado que la calidad de agua para este estudio es de tipo industrial.
- Existen parámetros como conductividad, DBO, DQO y otros, los cuales no ameritan mayor tratamiento, debido a que sus valores se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles en comparación a las tres normas de referencia.
- El estudio demuestra que la neutralización de aguas ácidas de siderúrgicas minimiza el impacto ambiental y trae ventajas económicas al permitir su reutilización como agua industrial para el galvanizado en una empresa Siderúrgica. respecto al gasto por disposición de los residuos generados producto de la neutralización disminuye de 28,000 US\$/mes para un proceso

sin tratamiento a 2,808 US\$/mes con un proceso con tratamiento de neutralización.

## **5.2 Recomendaciones**

- Realizar un análisis de los sólidos obtenidos producto de la neutralización a fin de poder darle un uso en la industria.
- A partir de los resultados obtenidos del efluente industrial neutralizado, buscar nuevas fuentes de uso en la industria.
- Replicar el método para otros procesos donde se requiera el tratamiento de efluentes ácidos.
- Instalar sistema de medición y monitoreo en línea para obtener el comportamiento de las mediciones obtenidas.
- Realizar un estudio para la etapa de diseño de equipos en baso a los resultados obtenidos.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA Y VIRTUAL

Aduvire, O. (2018). Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina. *Revista MAMYN* n° 5 Oruro. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522018000200001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522018000200001&script=sci_arttext)

Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina Generación y tratamiento. *Instituto geológico y minero de España*. España, Madrid. Recuperado de [http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258\\_0000001.pdf](http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf)

Aduvire, O. and Aduvire, H. (2005) Aguas ácidas de mina: caracterización, mineralogía y microbiología. *Ingeopres* 141, pp. 52-62. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=868368&pid=S2519-352201800020000100001&lng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=868368&pid=S2519-352201800020000100001&lng=es)

Aduvire, O. (s.f.). Tratamiento de aguas ácidas de mina con recuperación de sub productos con valor económico. *Instituto Geológico y Minero de España*. España, Madrid. Recuperado de [file:///C:/Users/malegre/Downloads/OAduvire\\_Subproductos\\_con\\_Valor\\_Economico\\_2016.pdf](file:///C:/Users/malegre/Downloads/OAduvire_Subproductos_con_Valor_Economico_2016.pdf)

Asociación Internacional de Zinc, [IZA]. 2020. Conceptos esenciales del galvanizado.

BioMetil (s.f.). Cenizas de Soda. Recuperado de: <https://www.biometil.cl/fichas/Cenizas-de-Soda.pdf>

Calera San Miguel (s.f.). Cal para Tratamiento de Aguas. Recuperado de: <https://calerasanmiguel.com/productos/industria/cal-para-tratamiento-de-aguas>

Calvo, D., Casado, J., Zamora, G., & Alfonso, P. (2013). Estudio para el tratamiento de las aguas ácidas por neutralización, precipitación en interior de la mina Santa Fé, Bolivia, *III Congreso internacional de geología y minería ambiental*, 297 – 310. Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/20956/C15%20CALVO%20-%20CASADO%20\(pp.%20297%20-%20306\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/20956/C15%20CALVO%20-%20CASADO%20(pp.%20297%20-%20306).pdf)

Cadorin, L., Carissimi, E., & Rubio, J. (2007). Avances en el tratamiento de aguas ácidas de minas. *Universidad Tecnológica de Pereira*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/277218640\\_Avances\\_en\\_el\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_acidas\\_de\\_minas](https://www.researchgate.net/publication/277218640_Avances_en_el_tratamiento_de_aguas_acidas_de_minas)

CEPLAN, (2017). Perú 2030 tendencias Globales y Regionales, Mayo 2017 – CEPLAN <file:///C:/Users/malegre/Downloads/analisis-ambiental.pdf>

CONEXIÓN ESAN, (2017). Un Indicador Clave de Rentabilidad <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/un-indicador-clave-de-rentabilidad-la-tasa-interna-de-retorno-tir/>

- Córdova, F. D. (2021). Diseño de la línea de aducción y red de distribución para el sistema de abastecimiento de agua potable en el caserío de barro blanco, distrito de Uchiza, provincia de Tocache, departamento San Martín–2018.
- Dávila, B., Bayona, N., (2018). Diagnóstico del tratamiento del efluente de una empresa de galvanoplastia. Colombia, Bogotá D. C. Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/861/1/D%C3%A1vila%20Giraldo%20%20Beatriz%20Andrea%20-2018.pdf>
- DECRETO SUPREMO N°010-2010-MINAM (21 de agosto del 2010). Límites Máximos Permisibles Para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos. Diario Oficial El Peruano. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>
- De la Cruz, Y. (2019). Efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Continental.
- Recuperado de:*  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5636/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_De\\_La\\_Cruz\\_Lima\\_2019.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5636/1/IV_FIN_107_TE_De_La_Cruz_Lima_2019.pdf)
- FP E INGENIERIA ELÉCTRICA (2015). Concepto de Fluido. Presión, Caudal, Humedad. Recuperado de:  
<http://fpeingenieriaelectronica.blogspot.com/2015/10/concepto-de-fluido-presion-caudal.html>
- García Bernal, E., Pérez de los Ríos, A., Hernández Fernández, F. J., Larrosa Guerrero, A., Ginestá Anzola, A., Sánchez Segado, S., ... & Godínez Seoane, C. (2011). Aplicaciones de los líquidos iónicos en la industria química.
- Hanilest EG Perú. (2016). Suministro e Instalación de una PCTAR. Recuperado de:  
<https://pdfcoffee.com/cotizacion-ptar--2-pdf-free.html>
- Herrera, Z. L. (2000). Procesos de neutralización de residuos industriales líquidos. Chile.
- HEURA. (2022). *HEURA Gestión Ambiental*. Obtenido de <https://heura.net/reutilizacion-de-aguas-residuales-industriales/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20el%20reciclaje,nuevo%20en%20un%20proceso%20industrial>
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. (2015). ISO 14001:2015. Recuperado de <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO]. (2023). ISO 14001:2023. Sistema Integrado de Gestión: Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales. Recuperado de <https://www.osinergmin.gob.pe/sig/SitePages/V2/ISO14001.aspx>
- Medina, R. (2018). Diseño y Operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de mina Paragsha cerro de pasco en minera Volcán S.A.A. Trabajo de Investigación para optar el título profesional de Ingeniero Metalurgista. Universidad Nacional de San Agustín.  
*Recuperado* *de:* <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5907/IMmequrj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85.
- Ministerio del Ambiente [MINAM], (2009) Avances y perspectivas del MINAM entorno a los indicadores ambientales- Lima. [https://www.oecd.org/greengrowth/Peru%20-%20presentacion\\_indicadores.pdf](https://www.oecd.org/greengrowth/Peru%20-%20presentacion_indicadores.pdf)
- Ministerio del Ambiente [MINAM], (2022). Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el Marco del SEIA. Recuperado de: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/10/Guia-Impactos.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MINAM], (2022). Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-descarga-efluentes-liquidos>
- National Lime Association, (2004). Manual de estabilización de suelo tratado con Cal. Estabilización y modificación con Cal.  
*Recuperado* *de:* [https://www.lime.org/documents/publications/free\\_downloads/construct-manual-spanish2004.pdf](https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/construct-manual-spanish2004.pdf)
- OCDE (2016) Evaluaciones del desempeño 2016 ambiental PERÚ Aspectos destacados y recomendaciones. <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/16-00313%20Evaluacion%20desempeno-Peru-WEB.pdf>

Peláez J., Lorenzo., & Pacheco., (2012). Estudios de Impacto Económico – PwC. Recuperado de:  
<https://www.pwc.es/es/sector-publico/assets/brochure-estudios-impacto-economico.pdf>

Pérez, J., Merino, M., (2018): Definición de términos. Recuperado de:  
<https://definicion.de/>

Ribeiro, B., Paim, T., & Rocha, S. (2008). Utilización de hidróxido de magnesio en la precipitación de metales pesados. Rev la Fac Ing, 22, 26-32.

Rivera, G., & Molina, J. M. (2006). Medición del impacto económico de una empresa minera en su entorno como herramienta de gestión. Caso de estudio Frontino Gold Mines Limited, en la región de Segovia y Remedios, Antioquia. Gestión y Ambiente, 9(1), 39-48.

SPDA (2016) 10 conflictos socioambientales en los que deberá intervenir el nuevo Defensor del Pueblo. Actualidad Ambiental Boletín Informativo. Jueves 8 de Septiembre, 2016-  
<http://www.actualidadambiental.pe/?p=40202>

TEKWATER. (2023). *TEKWATER*. Obtenido de <https://www.tekwater.cl/neutralizacion-de-agua/#:~:text=Neutralizaci%C3%B3n%20de%20Agua%20%C3%81cidas%3A%20Aguas,qu%C3%ADmica%20del%20agua%20a%20neutralizar.>

WAYKA.PE (2018) ¿Y los conflictos socioambientales?. Feb, 2018 | Actualidad, Últimas Noticias  
<https://wayka.pe/peru-inicia-2018-122-conflictos-socioambientales/>

## ANEXOS

### Anexo 01: Informe de ensayo con valor oficial n°11106671/09-ma

Lugar: Tubos y Viales

Producto: Agua

Cantidad de muestras: 50

Presentación: Frascos de plástico proporcionados por Laboratorio de Calidad

Procedencia de la muestra: Muestras recolectadas por Laboratorio de Calidad

Referencia de la muestra: Monitoreo de calidad de agua, efluentes ácidos y alcalinos

Fecha de muestreo: 10/01/2022

Fecha de ingreso de Muestra(s): 10/01/2022

Fecha de inicio de Análisis: 11/01/2022

Fecha de término de Análisis: 28/01/2022

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra Declarado por el Cliente	Sólidos Totales	Sólidos Totales	Cloruros	Dureza
		Suspendidos	Disueltos		Total
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L CaCO <sub>3</sub>
19018-103998	GT-01	219,4	42374,0	7,6	43,9
19018-104002	GV-01	403,4	13190,4	2,7	6,1
19018-103999	GT-02	99,0	912,6	176,3	308,0
19018-104003	GV-02	16,0	597,0	70,5	119,2
19018-104000	GT-03	375,8	134341,8	200660,4	475,7
19018-104004	GV-03	663,6	276708,2	188296,5	490,3
19018-104001	GT-04	1302,6	3754,6	1570,8	537,1
19018-104005	GV-04	776,0	91,8	49,4	27,7
19018-104006	MT-5	200	12860,78	3385,6	320,2
19018-104007	MV-5	99	10580,1	2854,2	315,7

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra Declarado por el Cliente	Conductividad	DBO	DQO	Aceites y Grasas
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
19018-103998	GT-01	84780,4	4,2	6,8	1,2
19018-104002	GV-01	27360,4	3,5	8,4	,1,4
19018-103999	GT-02	1825,6	5,7	12,4	3,2
19018-104003	GV-02	1187,4	7,4	10,5	4,1
19018-104000	GT-03	269890,5	6,8	9,4	1,1
19018-104004	GV-03	554687,2	8,2	10,4	0,8
19018-104001	GT-04	1846,8	5,4	8,2	0,5
19018-104005	GV-04	342,6	6,2	10,6	0,6
19018-104006	MT-5	25960,4	6,8	10,8	0,2
19018-104007	MV-5	21530,5	7,2	12,1	0,2

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra Declarado por el Cliente	Temperatura	Densidad	Acidez	pH
		°C	mg/L	mg/L	mg/L
19018-103998	GT-01	20	1,033	<10	7
19018-104002	GV-01	21	0,996	<10	7
19018-103999	GT-02	20	1,013	255203,2	3
19018-104003	GV-02	20	1,000	194747,6	3
19018-104000	GT-03	22	1,189	<10	6,3
19018-104004	GV-03	21	1,259	<10	6.5
19018-104001	GT-04	20	1,003	<10	8.2
19018-104005	GV-04	20	0,999	<10	8,5
19018-104006	MT-5	20	1,020	3663,57	5
19018-104007	MV-5	20	1,010	3547,2	5

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra Declarado por el Cliente	Cr(tot)	Fe(tot)	Mn(tot)	Zn(tot)	Ni (tot)
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
19018-103998	GT-01	0,0258	7.7326	0,0582	21,176	0,4220
19018-104002	GV-01	0,0427	16.7541	0,2146	14.8345	0.1217
19018-103999	GT-02	0,0116	51.8247	0,2746	1.2943	0,0100
19018-104003	GV-02	0,0080	11.7302	0,0730	2.0782	0.0123
19018-104000	GT-03	41.3659	68784.2551	216.66310	2752.2256	3.6226
19018-104004	GV-03	53	122351.8289	335	8615.4292	4.0200
19018-104001	GT-04	0,1606	324.5385	2.1656	164.4589	0.0545
19018-104005	GV-04	0,1155	99.2463	0,3932	12.5549	0.0625
19018-104006	MT-5	0.0116	1731.58	5.14	125.78	0.26
19018-104007	MV-5	0.00927	1542.43	3.27	118.54	0.22

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra Declarado por el Cliente	Li(tot)	B(tot)	Be(tot)	P(tot)	Ti(tot)	V(tot)
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
19018-103998	GT-01	0,1198	20.7524	<0,0006	12.4082	0,2417	0,5275
19018-104002	GV-01	0,0267	0,7096	<0,0006	10.9916	0,3584	0,0843
19018-103999	GT-02	0,0471	0,4711	<0,0006	0,1625	0,0055	<0,0003
19018-104003	GV-02	0,0157	0,2054	<0,0006	0,1597	0,0140	0,0029
19018-104000	GT-03	<0,0012	0,4715	0,0018	8.8288	2.0321	2.8496
19018-104004	GV-03	<0,0012	0,5385	0,0060	10.9784	2.4203	4.5704
19018-104001	GT-04	0,0584	1.7365	<0,0006	2.8952	0,1036	0,1637
19018-104005	GV-04	<0,0012	0,0234	<0,0006	1.4919	0,4702	0,0889

19018-104006	MT-5	<0,0016	0.4736	<0,0006	6.86	0.1035	0.0032
19018-104007	MV-5	<0,0014	0.3691	<0,0006	5.25	0.094	0.00278

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra Declarado por el Cliente	Co(tot)	Cu(tot)	As(tot)	Se(tot)	Sr(tot)	Mo(tot)	Ag(tot)
		mg/L						
19018-103998	GT-01	0,0015	0,8606	28,458	0,0334	0,1125	0,6219	0,0005
19018-104002	GV-01	0.0027	2.1432	0.6217	0.0013	0.3000	0.1037	0.0011
19018-103999	GT-02	0,0041	0,1287	<0,0004	0,0018	0,5059	0,0100	<0,0002
19018-104003	GV-02	0.0006	0.0186	0.0091	<0,0002	0.1805	0.0119	<0,0002
19018-104000	GT-03	3.9808	26.9624	0,2388	0,1664	1.3896	3.8676	0,0235
19018-104004	GV-03	5.928	4.4616	0.3372	0.2556	0.3062	4.0600	0.0363
19018-104001	GT-04	0.0270	6.4701	0.1008	0.0142	0.5156	0.0535	0.0021
19018-104005	GV-04	0.0036	0.1492	0.0473	0.0014	0.0288	0.0606	0.0012
19018-104006	MT-5	0.0378	1.75	<0.0004	<0,0002	0.092	0.22	<0,0002
19018-104007	MV-5	0.0235	1.02	<0.0003	<0,0002	0.076	0.18	<0,0002

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra Declarado por el Cliente	Cd(tot)	Sn(tot)	Sb(tot)	Ba(tot)	Ce(tot)	Hg(tot)	Tl(tot)	Pb(tot)
		mg/L							
19018-103998	GT-01	0.0016	0.2797	0.3427	0.0094	<0,0003	0.0014	0.0012	0.0063
19018-104002	GV-01	0.0005	0.4765	0.0344	0.0384	0.0031	0.0004	0.0006	0.1871
19018-103999	GT-02	0.0013	0.0122	0.0021	0.0348	<0,0003	<0,0001	<0,0003	0.0106
19018-104003	GV-02	0.0004	0.0189	<0,0002	0.0076	<0,0003	<0,0001	<0,0003	0.0059
19018-104000	GT-03	<0,0002	26.7546	<0,0002	0.7173	0.0033	0.0036	0.0464	3.7209
19018-104004	GV-03	0.0203	30.54	<0,0002	0.3884	0.0271	0.0007	0.0448	16.9186
19018-104001	GT-04	0.0008	0.3520	0.0068	0.5030	0.0012	<0,0001	0.0226	0.2453
19018-104005	GV-04	0.0004	0.8635	0.0077	0.0358	0.0013	<0,0001	<0,0003	0.1678
19018-104006	MT-5	0.0013	0.82	<0,0002	0.003	<0,0003	<0,0001	<0,0003	0.019
19018-104007	MV-5	0.001	0.41	<0,0002	0.004	<0,0003	<0,0001	<0,0003	0.017

<b>Código de Laboratorio</b>	<b>Descripción de Muestra Declarado por el Cliente</b>	<b>Bi(tot) mg/L</b>	<b>Th(tot) mg/L</b>	<b>U(tot) mg/L</b>	<b>Na(tot) mg/L</b>	<b>Mg(tot) mg/L</b>	<b>K(tot) mg/L</b>	<b>Ca(tot) mg/L</b>
19018-103998	GT-01	<0,0003	0,0070	0.0014	14596.4672	2.7581	66.3118	44.6401
19018-104002	GV-01	<0,0003	<0,0010	0.0010	4441.5136	16.4281	12.4512	83.2095
19018-103999	GT-02	0,0040	<0,0010	0.001	147.9815	16.8924	2.9144	101.1868
19018-104003	GV-02	<0,0003	<0,0010	<0,0003	182.5357	7.7154	1.6084	35.0515
19018-104000	GT-03	<0,0003	<0,0010	<0,0003	107.1903	14.4500	0,9160	166.6696
19018-104004	GV-03	<0,0003	<0,0010	<0,0003	193.5314	15.9927	2.4056	169.9640
19018-104001	GT-04	<0,0003	<0,0010	0.0010	1069.4071	19.4507	10.2802	123.5960
19018-104005	GV-04	<0,0003	<0,0010	<0,0003	3.6043	1.7102	1.2074	4.5674
19018-104006	MT-5	<0,0003	<0,0010	<0,0003	4273.19	15.567	4.147	140.23
19018-104007	MV-5	<0,0003	<0,0010	<0,0003	3236.76	7.574	3.823	137.21

<b>Código de Laboratorio</b>	<b>Descripción de Muestra Declarado por el Cliente</b>	<b>Coliformes(tot) NMP/100ml</b>	<b>Termo(tot) NMP/100ml</b>	<b>Feca(tot) NMP/100ml</b>
19018-103998	GT-01	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104002	GV-01	<1,8	<1,8	<1,8
19018-103999	GT-02	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104003	GV-02	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104000	GT-03	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104004	GV-03	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104001	GT-04	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104005	GV-04	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104006	MT-5	<1,8	<1,8	<1,8
19018-104007	MV-5	<1,8	<1,8	<1,8

## Anexo 02: Estadísticas descriptivas

```
> #Se evalua la Media y Mediana de cada uno de los elementos
> round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$elementos_bloques, FUN = median)),4)
datos$elementos_bloques
bloque36  bloque39  bloque41  bloque37  bloque20  bloque35  bloque30  bloque31  bloque40
0.0001  0.0003  0.0003  0.0004  0.0006  0.0007  0.0008  0.0009  0.0010
bloque33  bloque27  bloque18  bloque24  bloque13  bloque34  bloque26  bloque23  bloque38
0.0012  0.0016  0.0086  0.0138  0.0343  0.0353  0.0741  0.0866  0.0934
bloque29  bloque17  bloque22  bloque28  bloque32  bloque19  bloque8  bloque10  bloque15
0.1418  0.1708  0.1726  0.2402  0.4432  0.4726  0.9500  1.0115  1.2794
bloque25  bloque44  bloque11  bloque21  bloque12  bloque6  bloque7  bloque43  bloque9
1.3850  3.3687  6.0000  6.0550  6.4000  6.5000  10.4500  15.0085  20.0000
bloque45  bloque16  bloque14  bloque1  bloque4  bloque42  bloque3  bloque2  bloque5
112.3914 122.1600 211.8924 297.6000 311.8500 631.4692 873.5500 11720.4400 23745.4500
> round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$elementos_bloques, FUN = mean)),4)
datos$elementos_bloques
bloque41  bloque36  bloque39  bloque20  bloque40  bloque31  bloque35  bloque30  bloque37
0.0006  0.0007  0.0007  0.0013  0.0016  0.0028  0.0037  0.0066  0.0117
bloque18  bloque33  bloque27  bloque34  bloque28  bloque22  bloque23  bloque17  bloque29
0.0274  0.0395  0.0475  0.1742  0.3507  0.5843  0.8294  0.8806  0.9189
bloque24  bloque10  bloque8  bloque38  bloque19  bloque25  bloque12  bloque21  bloque32
1.0010  1.0513  1.3300  2.1299  2.5751  4.3964  5.9500  6.0026  6.0527
bloque6  bloque13  bloque7  bloque44  bloque43  bloque9  bloque15  bloque45  bloque4
6.1400  9.4751  9.9600  10.6065  11.8539  20.4000  56.3252  100.6325  264.3900
bloque1  bloque42  bloque26  bloque16  bloque14  bloque3  bloque11  bloque2  bloque5
415.4800 2825.2181 2845.9356 3298.3196 19492.1920 39707.4000 45718.2570 49541.1280 98941.1800
```

```
> #Se evalua la Media y Mediana de cada uno de los momentos
> round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$momento_tratamiento, FUN = median)),4)
datos$momento_tratamiento
GV-02 GT-02 GV-04 GV-05 GT-05 GV-01 GT-04 GT-01 GT-03 GV-03
0.0189 0.1287 0.1678 0.2200 0.2600 0.4765 0.5030 0.6219 3.6226 4.0600
> round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$momento_tratamiento, FUN = mean)),4)
datos$momento_tratamiento
GV-04 GT-04 GV-05 GV-01 GT-05 GT-01 GV-02 GT-02 GT-03
32.6066 239.6576 978.4333 1013.6212 1172.0148 4263.4729 4378.3371 5753.1958 15065.8313
GV-03
25615.9994
```

## Anexo 03: Análisis de valores Atípicos en base a Gráficos de Cajas

```
> ggplot(data = datos, mapping = aes(x = momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
+ geom_boxplot() +
+ theme_bw() +
+ theme(legend.position = "none") +
+ scale_y_continuous(limits = c(0,500))
>
> ggplot(data = datos, mapping = aes(x = momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
+ geom_boxplot() +
+ theme_bw() +
+ theme(legend.position = "none") +
+ scale_y_continuous(limits = c(0,100))
>
> ggplot(data = datos, mapping = aes(x = momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
+ geom_boxplot() +
+ theme_bw() +
+ theme(legend.position = "none") +
+ scale_y_continuous(limits = c(0,1))
```

## Anexo 04: Modelo paramétrico en base a las observaciones

```
> modelo=aov(mgL_observacion~momento_tratamiento+elementos_bloques,data=datos)
> summary(modelo)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
momento_tratamiento	9	2.766e+10	3.073e+09	2.455	0.00993	**
elementos_bloques	44	1.478e+11	3.358e+09	2.682	2.21e-07	***
Residuals	396	4.958e+11	1.252e+09			

```
---
```

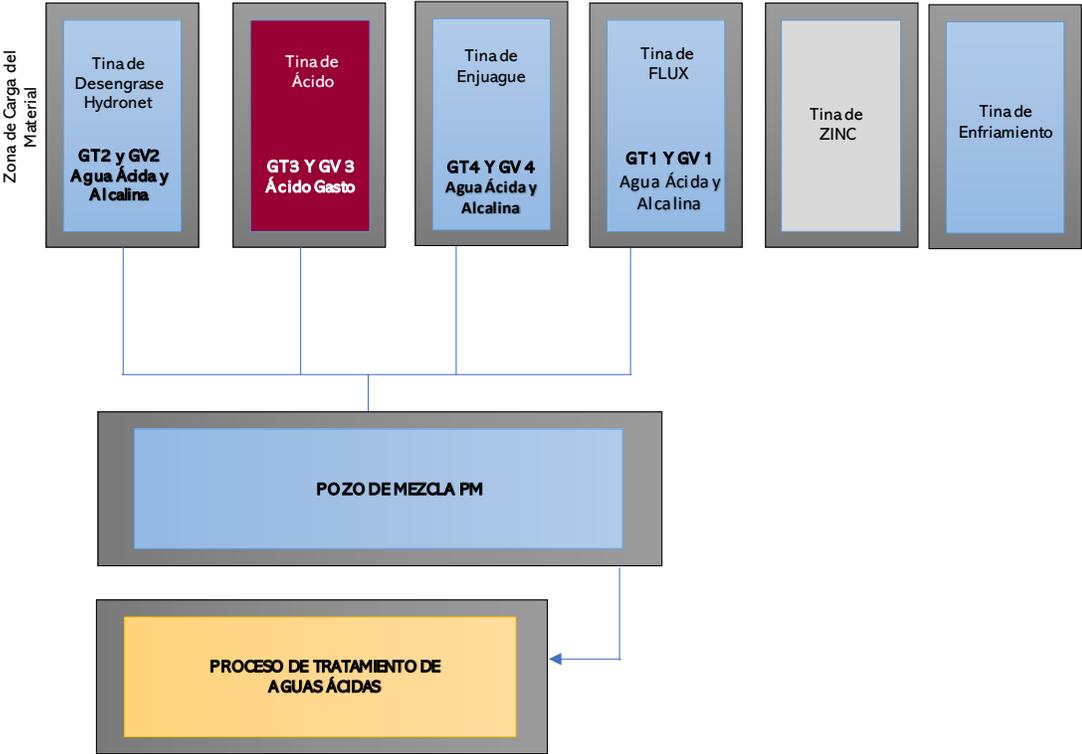
## Anexo 05: Prueba de la normalidad y explicación del uso de la estadística no paramétrica

```
> qqnorm(modelo$residuals)
> qqline(modelo$residuals,col='red')
> shapiro.test(modelo$residuals)
```

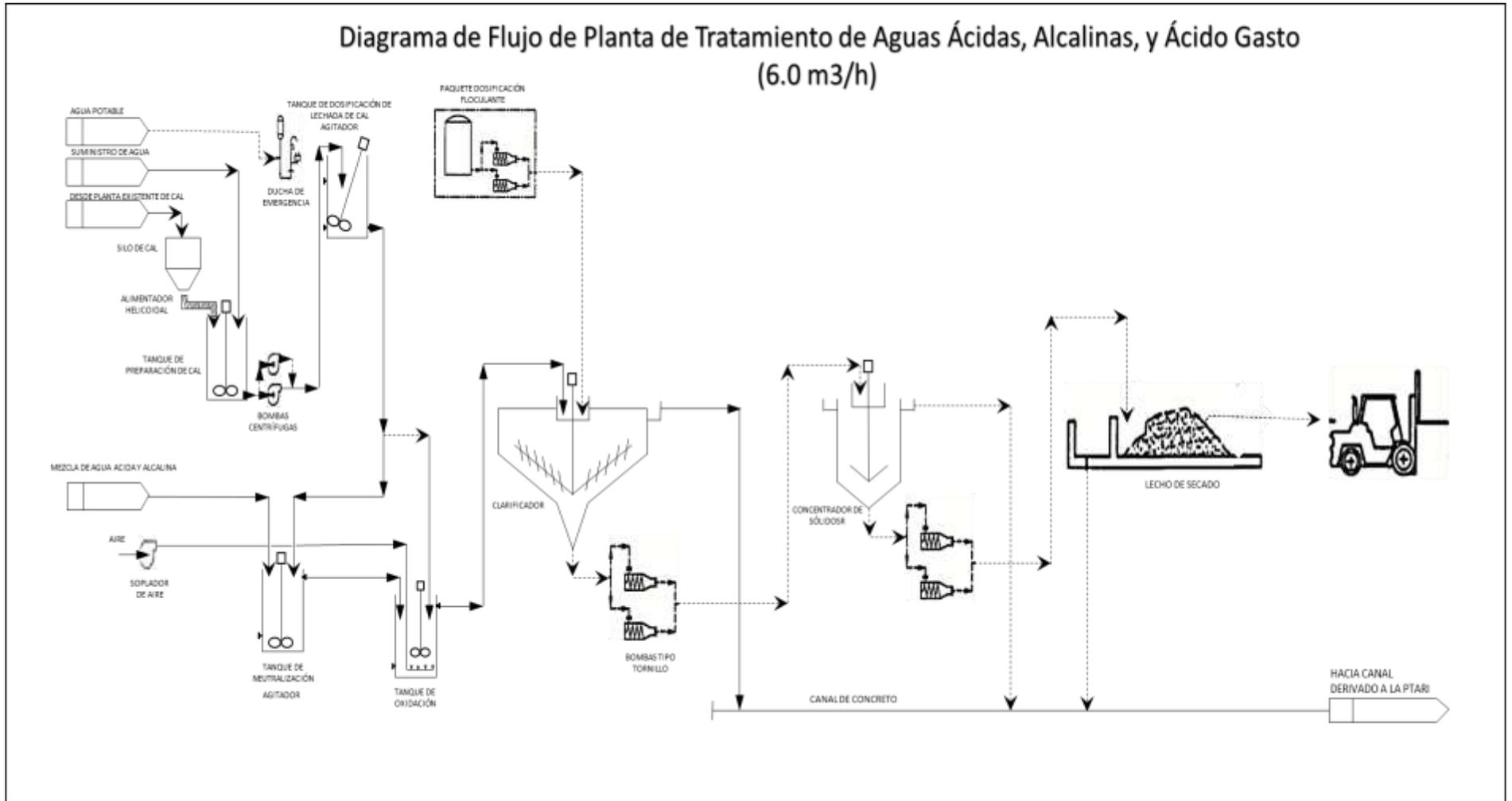
Shapiro-Wilk normality test

data: modelo\$residuals  
W = 0.42492, p-value < 2.2e-16

**Anexo 06: Etapas del proceso de galvanizado**



Anexo 07: Diagrama de Flujo de Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas, Alcalinas y Ácido Gasto



## Anexo 08: Decisión frente al Riesgo

DECISION FRENTE AL RIESGO		
NIVEL	DECISION	VALORES
<b>ALTO</b>	Necesario acciones inmediatas relacionadas con las condiciones físicas/instalaciones, seguimiento y rutina	12-15-16-20-25
<b>MEDIO</b>	Necesario acciones relacionadas con el seguimiento y rutina	5-6-8-9-10
<b>LEVE</b>	Evaluar necesidad de acciones de rutina o seguimiento	1-2-3-4

### Anexo 09: Matriz 5x5 para la evaluación de los impactos ambientales

FRECUENCIA / PROBABILIDAD		FRECUENCIA			PROBABILIDAD		Histórico de eventos (ocurrencias)	Controles	SEVERIDAD				
							ALTA	POSIBLE	RARA	IMPROBABLE - CASI	1	2	3
5			FRECUENTE		< 1 día	ALTA	Hace menos de un año en la unidad.	Tiene controles muy frágiles o no tiene los controles necesarios.	5	10	15	20	25
4			REGULAR		< 1 semana	POSIBLE	Más de una vez en el último año en Gerdau o en los últimos 5 años en la unidad.	Tiene apenas controles administrativos.	4	8	12	16	20
3			BAJA		< 1 mes	RARA	Una vez en el último año en Gerdau o en los últimos 5 años en la unidad.	Tiene apenas controles administrativos y de medición.	3	6	9	12	15
2			EVENTUAL		< 6 meses	IMPROBABLE	Por lo menos una vez en los últimos 10 años en este tipo de proceso / equipo.	Tiene controles de ingeniería, administrativo y medición que reducen la posibilidad de ocurrencia.	2	4	6	8	10
1			CONTINUO		> 6 meses	-CASI	No hay registros de casos similares en los últimos 10 años en este tipo de proceso / equipo.	Tiene controles de ingeniería, administrativo y mediciones eficaces, que eliminan la posibilidad de ocurrencia o no requiere controles.	1	2	3	4	5
							Daños al ambiente	Pueden ser mitigados por acción inmediata o por la regeneración del propio ambiente.	Demanda hasta 1 año o costo de mitigación hasta de US\$ 1 millón o hasta el 25% del EBITDA planificado mensual.	Demanda hasta 5 años o costo de mitigación de más de US\$ 1 millón o más del 25% del EBITDA planificado mensual.	Demanda hasta 10 años o costo de mitigación de más de US\$ 5 millones o más del 50% del EBITDA planificado mensual.	Demanda más de 10 años o costo de mitigación de más de US\$ 50 millones o más del 100% del EBITDA planificado mensual.	
							Paralización planta	No ocurre paralización.	Paralización del área / planta / célula ≤ 4 horas.	Paralización del área / planta / célula hasta de 24 horas.	Paralización del área / planta hasta de 30 días.	Paralización del área / planta / unidad por más de 30 días.	
							Alcance del impacto	Causa daños con alcance restringido a la célula.	Tiene alcance restringido al área / planta.	Requiere visita o comunicación a las viviendas cercanas a la unidad, sin evacuación ni interrupción del suministro de servicios públicos.	Requiere evacuación de las viviendas más cercanas a la unidad o la interrupción del suministro de servicios públicos hasta de 3 días.	Requiere evacuación de la comunidad, la interdicción de las vías cercanas o la interrupción de suministro de servicios públicos por más de 3 días.	
							Impacto en prensa	Sin exposición al público externo.	Puede causar exposición de la empresa en el medio local.	Puede causar manifestación colectiva o exposición de la empresa en el medio regional.	Puede causar manifestaciones colectivas o exposición de la empresa en el medio nacional.	Puede causar manifestaciones colectivas o causar exposición de la empresa en el medio internacional.	
							Recursos	No compromete la disponibilidad de recursos naturales.	No compromete la disponibilidad de recursos naturales.	Puede comprometer la reserva del recurso natural para la planta.	Puede agotar el recurso natural en el ámbito local.	Puede agotar el recurso natural en el ámbito regional.	
							Emisiones	Emisión no visibles externamente.	Emisión difusa poco visible externamente.	Emisión visible que no afecta ni causa alerta en la comunidad vecina.	Emisión visible que no afecta pero si causa alerta en la comunidad vecina.	Emisión visible que afecta y causa alerta en la comunidad vecina.	
							Efluentes	Vertimiento que no afecta el medio acuático.	Vertimiento que no afecta el medio acuático ni causa alerta en la comunidad vecina.	Vertimiento que no afecta al medio acuático pero causa alerta en la comunidad vecina.	Vertimiento que afecta al medio acuático y causa alerta en la comunidad vecina.	Vertimiento que afecta al medio acuático y causa organización de la comunidad vecina.	
							Residuos	Residuo < 5 t/mes que puede afectar la ocupación de suelo.	Residuo < 5 t/mes que puede afectar la ocupación y calidad de suelo.	Residuo < 20 t/mes que puede afectar la ocupación y calidad de suelo.	Residuo ≥ 20 t/mes que pueden afectar la ocupación y calidad de suelo.	Residuo que puede afectar la ocupación y calidad de suelo, ecosistema natural y áreas intangibles.	
									1	2	3	4	5

Fuente: ISO 14001, (2023).

Anexo 10: Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales

## Matriz de identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales

Ítem	Etapas del Proceso	Tarea	ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		CRITERIO DE EVALUACIÓN		Resultado	Significancia	MEDIDA DE CONTROL	Conformidad Ambiental	Requisitos legales y otros requisitos
			Aspecto Ambiental (Causa)	Impacto Ambiental (Efecto)	Frecuencia (f) o Probabilidad (p)	Severidad (s)			1. Ingeniería 2. Administrativa 3. Medición		
		Proceso de Neutralización de aguas ácidas	Consumo de energía eléctrica (alumbrado, equipos, etc.)	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	2. Apagar los equipos cuando no estén en uso		----
			Consumo de útiles de oficina (papel, etc.)	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	2. Usar lo necesario en las tareas.		----
			Consumo de aire comprimido	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	2. Cerrar valvulas y verificar posibles fugas.		----
			Consumo de cal cálcica, etc.	Agotamiento de recurso	5	1	5	N	2. Usar lo necesario en las tareas.		----
			Generación de efluente industrial	Contaminación del agua	5	4	20	S	1. Proceso de tratamiento de aguas ácidas y ácido gasto.	C	003 Leg. Efluentes
			Generación de residuos ( <i>sedimento de neutralización, trapos, EPPs, embalajes, etc.</i> )	Contaminación del suelo	5	3	15	S	1. Lona, big bag, contenedores, punto de acopio 2. Manejo de residuos del complejo industrial 3. Control de cantidad de sedimento generado.	C	004 Legislación de Residuos 010B - Plan de Manejo Ambiental
			Potencial derrame de ácido, aceites y grasas	Contaminación del suelo	2	2	4	N	1. Kits antiderrame 2. Ficha de emergencias derrames		008 Legislación En emergencias/010B - Plan de Manejo Ambiental
			Potencial incendio / explosión.	Contaminación del aire	1	2	2	N	1. Extintor 2. Ficha de emergencias incendio en áreas industriales.		----
			Contaminación del suelo	1	2	2	N	1. Contenedor de residuos 2. Ficha de emergencias incendio en áreas industriales.		----	

Fuente: ISO 14001, (2023).

## Anexo 11:

### Estándares de comparación

**Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM.** Niveles Máximos Permisibles de Emisión de Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas.

Niveles máximos permisibles de emisión de efluentes líquidos para las actividades minero-metalúrgicas

Parámetros	Unidades	LMP
pH	Ud. pH	5,5 – 10,5
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	100
Plomo	mg/L	1
Cobre	mg/L	2
Zinc	mg/L	6
Hierro	mg/L	5

**Decreto N° 833.** Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de Agua y Vertido de Efluentes Líquidos (Art. 12) de Venezuela.

Límites máximos permisibles para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertido de efluentes líquidos de Venezuela.

Parámetros	Unidades	LMP
pH	Ud. pH	6 – 9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	60
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	350
Aceites y Grasas	mg/L	20
Plomo	mg/L	0,5
Níquel	mg/L	2
Cobre	mg/L	1
Zinc	mg/L	10

**Decreto N° 33-95. NICARAGUA.** Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Capítulo VII. Art. 45 (Descargas provenientes de la industria de hierro y acero).

Límites Máximos Permisibles para el control de la contaminación, provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias.

Parámetros	Unidades	LMP
Temperatura	° C	40
pH	Ud. pH	6 – 9
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	50
Níquel	mg/L	2
Zinc	mg/L	1
Plomo	mg/L	0,6
Aceites y Grasas	mg/L	30
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200

**Decreto N° 33-95. NICARAGUA.** Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Capítulo V. Art. 19 (De las descargas domésticas, industriales y agropecuarias a las redes de alcantarillado Sanitario).

Límites Máximos Permisibles para el control de la contaminación, provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias.

Parámetros	Unidades	LMP
Temperatura	° C	50
pH	Ud. pH	6 – 10
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	400
Sulfuros	mg/L	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	400
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	900
Aceites y Grasas	mg/L	150

## Anexo 12: Ejemplos de panel de trabajo en códigos e imágenes R

Nombre Comando	Explicación
<code>stem(data)</code>	Diagrama de tallos y hojas
<code>hist(data)</code>	Histograma
<code>boxplot(data)</code>	Gráfico boxplot
<code>plot(data1, data2)</code>	Gráfico de puntos
<code>pairs(data)</code>	Gráfico de dispersión cruzado



Nombre Comando	Explicación
<code>summary(data)</code>	Resumen estadístico
<code>min(data)</code>	Mínimo
<code>max(data)</code>	Máximo
<code>range(data)</code>	Rango
<code>mean(data)</code>	Media aritmética
<code>median(data)</code>	Mediana
<code>length(data)</code>	Tamaño
<code>sd(data)</code>	Desviación típica
<code>var(data), cov(data)</code>	Varianza
<code>cor(data)</code>	Correlación
<code>quantile(data, 0.25)</code>	Cuantil Q1
<code>quantile(data, 0.75)</code>	Cuantil Q3
<code>IQR(data)</code>	Rango intercuartilico
<code>sort(data)</code>	Ordenar
<code>table(data)</code>	Tabla de frecuencias absolutas

## Anexo 13: Códigos para análisis de datos en R

```
#normalidad
modelo=aov(mgL_observacion~momento_tratamiento+elementos_bloques,data=datos)
summary(modelo)
qqnorm(modelo$residuals)
qqline(modelo$residuals,col='red')
shapiro.test(modelo$residuals)

#Se evalua la Media y Mediana de cada uno de los elementos
round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$elementos_bloques, FUN = median)),3)
round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$elementos_bloques, FUN = mean)),3)

#Se evalua la Media y Mediana de cada uno de los momentos
round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$momento_tratamiento, FUN = median)),3)
round(sort(by(data = datos$mgL_observacion, INDICES = datos$momento_tratamiento, FUN = mean)),3)

#Grafica de como se diferencian los momentos
library(ggplot2)
ggplot(data = datos, mapping = aes(x =momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
  geom_boxplot() +
  theme_bw() +
  theme(legend.position = "none")

#a Primera vista no se puede notar una marcada diferencia por lo que se deberá hacer un zoom a la gráfica
```

```
ggplot(data = datos, mapping = aes(x = momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
  geom_boxplot() +
  theme_bw() +
  theme(legend.position = "none") +
  scale_y_continuous(limits = c(0,500))
```

```
ggplot(data = datos, mapping = aes(x = momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
  geom_boxplot() +
  theme_bw() +
  theme(legend.position = "none") +
  scale_y_continuous(limits = c(0,100))
```

```
ggplot(data = datos, mapping = aes(x = momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
  geom_boxplot() +
  theme_bw() +
  theme(legend.position = "none") +
  scale_y_continuous(limits = c(0,1))
```

#Test de Friedman

```
friedman.test(datos$mgL_observacion, datos$momento_tratamiento, datos$elementos_bloques)
```

#El test encuentra diferencias significativas entre al menos dos grupos.

#Para saber cuáles son, se realizan comparaciones dos a dos empleando el test de Wilcoxon rangos con signo.

```
pairwise.wilcox.test(datos$mgL_observacion, datos$momento_tratamiento,
  paired = TRUE, p.adjust.method = "bonf")
```

```
datos_final = datos %>%
```

```
  filter(momento_tratamiento=="GT-02" |
    momento_tratamiento=="GV-02"|
    momento_tratamiento=="MT-05"|
    momento_tratamiento=="MV-05")
```

```
ggplot(data = datos_final, mapping = aes(x = momento_tratamiento , y = mgL_observacion, colour =
momento_tratamiento)) +
  geom_boxplot() +
  theme_bw() +
  theme(legend.position = "none") +
  scale_y_continuous(limits = c(0,0.02))
```

**Anexo 14: Tabla de Eficiencia de Metales Precipitados como Hidróxidos.**

Ión metálico	Concentración inicial (mg/ L)	Concentración final (mg /L)	Masa total de Mg (OH) <sub>2</sub> añadido	Eficiencia de precipitación (%)	Masa de Mg (OH) <sub>2</sub> / volumen de efluente (kg/m <sup>3</sup> )
Cobre	122,9	0,11	1,5	99,9	4,3
	340,0	0,25	2,1	99,9	6,0
	244,0	0,11	2,5	99,9	7,2
Fierro férrico	129,3	0,16	1,6	99,8	4,6
	383,0	0,61	1,8	99,7	5,1
	649,0	0,16	2,5	99,9	7,2
Níquel	92,1	0,24	1,3	99,7	3,7
	260,3	0,64	1,4	99,7	4,0
	459,0	1,00	1,9	99,7	5,4
Cinc	130,5	0,1	2,0	99,9	5,7
	294,5	0,2	2,6	99,9	7,4
	597,5	0,2	3,2	99,9	9,1

Fuente: Ribeiro, B et. al, 2008.

## **Anexo 15: Reacciones Químicas del Proceso de Neutralización de Agua**

### **Proceso Decapado**

- ✓  $Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e^{-}$   
 $Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2$
- ✓  $Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e^{-}$   
 $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$
- ✓  $MnO_2 + 4HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$

### **Proceso de Neutralización**

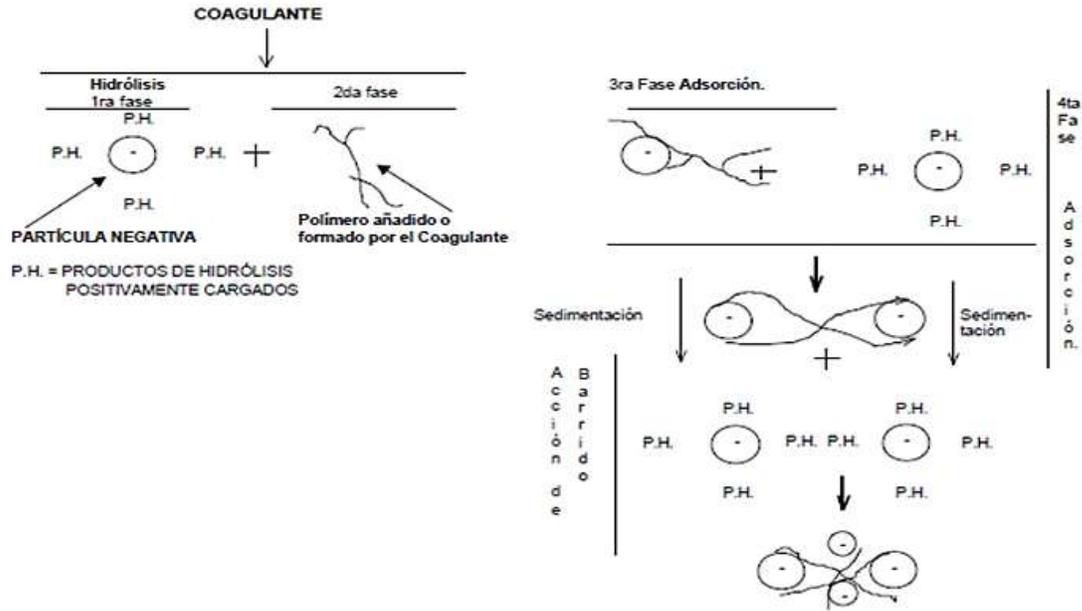
- ✓  $2HCl + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + 2H_2O$
- ✓  $FeCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + Fe(OH)_2$
- ✓  $ZnCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + Zn(OH)_2$
- ✓  $MnCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + Mn(OH)_2$

### **Proceso de Oxidación**

- ✓  $2Fe(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 + xH_2O \rightarrow Fe_2O_3 \cdot xH_2O_{(5)} + 2H_2O$
- ✓  $2Zn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2ZnO_2 + 2H_2O$
- ✓  $2Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2MnO_2 + 2H_2O$

**Anexo 16:**

Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico.  
**TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN**



**Anexo 17: Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	en mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: MINAM

# IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS Y SU REUTILIZACIÓN COMO AGUA INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE GALVANIZADO

*por Marlon Alegre Jara*

---

**Fecha de entrega:** 04-jun-2023 09:04p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2108997720

**Nombre del archivo:** Tesis\_Final\_MarlonAlegreJara.\_24.06.2022\_REV.10.pdf (2.49M)

**Total de palabras:** 23968

**Total de caracteres:** 127766

# IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS Y SU REUTILIZACIÓN COMO AGUA INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE GALVANIZADO

## INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com">rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://www.utp.edu.co">www.utp.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://asup.edu.pe">asup.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

9	<a href="http://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
11	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	TECNOLOGIA XXI S A. "EIA del Proyecto de Explotación y Beneficio La Arena- IGA0015198", R.D. N° 234-2010-MEM/AAM , 2021 Publicación	<1 %
13	<a href="http://app.vpa.unellez.edu.ve">app.vpa.unellez.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://docslide.us">docslide.us</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.escuelaing.edu.co">repositorio.escuelaing.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://repositorio.ana.gob.pe">repositorio.ana.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	TECNOLOGIA XXI S A. "Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Pallancata-	<1 %

IGA0004154", R.D. N° 342-2009-MEM/AAM,  
2020

Publicación

19

Submitted to Pontificia Universidad Catolica  
del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

20

es.wikipedia.org

Fuente de Internet

<1 %

21

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

22

INSIDEO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA -  
INSIDEO S.A.C.. "ITS para el Proyecto de  
Montaje de Máquinas para Fabricación de  
Armaduras Dentro de la Sede N°2 - Pisco-  
IGA0014317", R.D. N° 148-2018-  
PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI , 2021

Publicación

<1 %

23

Sebastian Sauer. "Moderne Datenanalyse mit  
R", Springer Nature, 2019

Publicación

<1 %

24

Submitted to Universidad Nacional del Santa

Trabajo del estudiante

<1 %

25

ECOPLANEACION CIVIL S.A  
ING.CONSULT.CON.S. "EIA de la Planta  
Agroindustrial dedicada al Procesamiento de  
Conservas Vegetales-IGA0014172", R.D. N°  
005-09-AG-DVM-DGAA, 2021

<1 %

26

[vsip.info](http://vsip.info)

Fuente de Internet

<1 %

27

[ccg-cct.azure.cloud.dfo-mpo.gc.ca](http://ccg-cct.azure.cloud.dfo-mpo.gc.ca)

Fuente de Internet

<1 %

28

WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "ITS del Proyecto Modernización de la Planta de Acería de la Sede N°2, Pisco-IGA0014489", R.D. N° 262-2018-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2021

Publicación

<1 %

29

[1library.co](http://1library.co)

Fuente de Internet

<1 %

30

Q'MIR S.R.L.. "DAA para la Planta Industrial de Curtido y Adobo de Cueros-IGA0003136", R.D. N° 028-2017-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020

Publicación

<1 %

31

Submitted to Universidad Anahuac México Sur

Trabajo del estudiante

<1 %

32

[www.revistaingenieria.uda.cl](http://www.revistaingenieria.uda.cl)

Fuente de Internet

<1 %

33

[dspace.unitru.edu.pe](http://dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

[www.acee.gc.ca](http://www.acee.gc.ca)

34

Fuente de Internet

<1 %

35

[www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

36

Submitted to Universitat Politècnica de València

Trabajo del estudiante

<1 %

37

[uvadoc.uva.es](http://uvadoc.uva.es)

Fuente de Internet

<1 %

38

[repositorio.sangregorio.edu.ec](http://repositorio.sangregorio.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

39

Submitted to Universidad Tecnologica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

40

[repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080](http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080)

Fuente de Internet

<1 %

41

[www.docstoc.com](http://www.docstoc.com)

Fuente de Internet

<1 %

42

CONSULRORIA CARRANZA E.I.R.L.. "PMA del Proyecto de Construcción y Funcionamiento de la Base de Operaciones Kiteni-IGA0005729", R.D. N° 47-2010-MEM/AAE, 2020

Publicación

<1 %

43

[www.tandfonline.com](http://www.tandfonline.com)

Fuente de Internet

<1 %

44	gaia.gobiernobogota.gov.co Fuente de Internet	<1 %
45	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
47	www.interacademies.net Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
50	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1 %
51	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
52	CARLOS ALFREDO MACHICAO PEREYRA Y ASOCIADOS S.R.L.. "PAMA de Planta de Beneficio y Procesos de Rico Pollo-IGA0015873", R.D.G. N° 042-12-AG-DVM-DGAAA, 2022 Publicación	<1 %
53	CONSULTORA ANDINA SAC. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del DAP de la	<1 %

Planta Industrial de Producción de Jugos,  
Pulpas, Envasado o Embotellado de Bebidas  
No Carbonadas-IGA0003349", R.D. N° 959-  
2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2021

Publicación

54

repositorio.unac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

55

WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS  
CONSULTORES. "EIA-SD del Proyecto de  
Exploración Minera Antioquía-IGA0012031",  
R.D. N° 095-2010-MEM/AAM, 2020

Publicación

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo