



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PILOTO PARA EL EFLUENTE LÍQUIDO DE LA MINA NUEVA ESPERANZA – NIVEL 2, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Katteryn Skarlet Baca Sánchez

Asesor:

M. Sc. Gladys Sandi Licapa Redolfo

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada principalmente a Dios, por darme salud para terminar con esta investigación, A mis padres Marcos Baca Briceño y María Sánchez Cruz, por su apoyo constante, comprensión, amor, dedicación, confianza y por darme la fuerza para continuar en este proceso, para obtener uno de mis anhelos más deseados, a mis hermanos por ser fuente de inspiración para ser mejor cada día.

Finalmente, quiero dedicar esta tesis a todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellas que compartieron su conocimiento.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis padres por su apoyo incondicional y esfuerzo que me ayudaron a culminar mi carrera universitaria, a mis hermanos por sus palabras de aliento que me hacían sentir orgullosa.

De igual forma agradecer a mi asesora de tesis ing. Gladys Licapa Redolfo, por su experiencia, consejos y correcciones, al ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez, por sus conocimientos, motivación y confianza

A toda mi familia y amigos (as) por sus oraciones y consejos, que de una u otra forma me acompañaron en el cumplimiento de mis sueños y metas.

Finalmente, a las Empresas INNODEVEL S.AC y ECOM PERÚ S.R.L, a cada uno de sus colaboradores, por su paciencia, comprensión y apoyo en todo el trascurso de la elaboración de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad problemática	12
1.1.1. Antecedentes.....	13
1.1.2. Efluente líquido minero.....	15
1.1.3. Sistema de tratamiento.....	15
1.1.4. Tipos de sistemas de tratamientos.	19
1.1.5. Parámetros a analizar.	21
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Objetivos.....	23
1.3.1. Objetivo general.....	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. Hipótesis	24
1.4.1. Hipótesis general.	24
1.4.2. Hipótesis específicas	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	25
2.1. Tipo de Investigación	25
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	26
2.2.1. Materiales.	26
2.2.2. Instrumentos.....	27
2.2.3. Método.	28
2.3. Procedimiento	33

2.3.1.	<i>Medición de parámetros físicos y químicos.</i>	33
2.3.2.	<i>Diseño y construcción, sistema piloto.</i>	34
2.3.3.	<i>Aspectos éticos de la investigación.</i>	36
CAPÍTULO III. RESULTADOS		37
3.1.	Caracterización del efluente líquido minero	37
3.2.	Alternativas de tratamiento de agua	37
3.2.1.	<i>Sistema “Convencional”</i>	38
3.2.2.	<i>Sistema Mixto.</i>	40
3.3.	Procesos unitarios a nivel laboratorio (sistema batch)	42
3.3.1.	<i>Sedimentador.</i>	42
3.3.2.	<i>Alcalinizador.</i>	43
3.3.3.	<i>Resultados iniciales y finales de los principales procesos unitarios en sistema batch.</i>	44
3.4.	Costos de construcción, operación y mantenimiento	45
3.5.	Resultados de la calidad del agua del sistema piloto	49
3.5.1.	<i>Comparación de resultados del sistema piloto, con los límites máximos permisibles (D.S N° 010-2010-MINAM).</i>	53
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		55
4.1.	Discusión	55
4.1.1.	<i>Costos de construcción operación y mantenimiento de los sistemas.</i>	55
4.1.2.	<i>Agua tratada en el Sistema Mixto a nivel piloto.</i>	56
4.1.3.	<i>Comparación de los metales, antes, durante y después del sistema piloto.</i>	63
4.2.	Conclusiones	71
REFERENCIAS		73
ANEXOS		77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Factores de selección y evaluación para las operaciones y procesos unitarios....</i>	17
Tabla 2	<i>Tratamientos físicos.....</i>	20
Tabla 3	<i>Tratamiento químicos.....</i>	20
Tabla 4	<i>Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.....</i>	21
Tabla 5	<i>Coordenadas de la Mina Nueva Esperanza – Nivel 2.....</i>	28
Tabla 6	<i>Acceso a la Mina Nueva Esperanza-Nivel 2</i>	28
Tabla 7	<i>Ríos y quebradas del Centro Poblado San Miguel Algamarca.....</i>	29
Tabla 8	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	30
Tabla 9	<i>Métodos de ensayo del Laboratorio SGS</i>	33
Tabla 10	<i>Evaluación de resultados de efluentes con respecto a límites máximos permisibles, N° D.S. 010-2010-MINAM</i>	37
Tabla 11	<i>Diseño de experimento para sedimentación.</i>	43
Tabla 12	<i>Piedra caliza y efluente líquido de mina.</i>	44
Tabla 13	<i>Resultados iniciales y finales para el sistema batch.</i>	44
Tabla 14	<i>Costos de construcción y operación del Sistema “Convencional”</i>	45
Tabla 15	<i>Costos de mantenimiento mensual del Sistema “Convencional”</i>	45
Tabla 16	<i>Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el primer y segundo año.....</i>	46
Tabla 17	<i>Costos de mantenimiento y operación del Sistema “Convencional” para el tercer año.....</i>	46
Tabla 18	<i>Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el cuarto año.....</i>	46
Tabla 19:	<i>Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el quinto año.</i>	46
Tabla 20	<i>Costos de construcción y operación del Sistema Mixto.</i>	47

Tabla 21 <i>Costos de mantenimiento mensual del Sistema Mixto.</i>	47
Tabla 22 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el primer año.</i>	47
Tabla 23 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el segundo año</i>	48
Tabla 24 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el tercer año.</i>	48
Tabla 25 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el cuarto año.</i>	48
Tabla 26 <i>Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el quinto año.</i>	48
Tabla 27 <i>Resultados primer día del sistema piloto</i>	49
Tabla 28: <i>Resultados segundo día del sistema piloto.</i>	50
Tabla 29 <i>Resultados tercer día del sistema piloto</i>	51
Tabla 30 <i>Resultados cuarto día del sistema piloto.</i>	52
Tabla 31 <i>Comparación de resultados del sistema piloto con los límites máximos permisibles (D.S N° 010-2010-MINAM).</i>	53
Tabla 32 <i>Comparación de costos</i>	55
Tabla 33 <i>Hipótesis estadística de ANOVA para pH.</i>	56
Tabla 34 <i>Resumen de los resultados de campo.</i>	57
Tabla 35 <i>Hipótesis estadística de ANOVA para CE.</i>	58
Tabla 36 <i>Resumen de los resultados de campo CE.</i>	59
Tabla 37 <i>Hipótesis estadística de ANOVA para CE.</i>	60
Tabla 38 <i>Resumen de los resultados de campo turbidez.</i>	61
Tabla 39 <i>Comparación de hierro disuelto, zinc, cobre, arsénico y cadmio con límites máximos permisibles.</i>	63
Tabla 40 <i>Comparación de plomo con límites máximos permisibles.</i>	64
Tabla 41 <i>Comparación de mercurio con límites máximos permisibles.</i>	65
Tabla 42 <i>Comparación de aceites y grasas con límites máximos permisibles.</i>	66
Tabla 43 <i>Comparación de cianuro con límites máximos permisibles.</i>	67

Tabla 44 <i>Comparación de cromo hexavalente con límites máximos permisibles.</i>	68
Tabla 45 <i>Comparación de solidos totales suspendidos con límites máximos permisibles.</i> ..	69
Tabla 46 <i>Presupuesto detallado del Sistema "Convencional"</i>	84
Tabla 47 <i>Presupuesto detallado del Sistema Mixto</i>	85

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Diseño del Sistema "Convencional", para tratar el efluente de mina.	35
<i>Figura 2:</i> Diseño del Sistema Mixto, para tratar el efluente de mina.	35
<i>Figura 3:</i> Comparación de los LMP con los resultados obtenidos en el sistema piloto.	54
<i>Figura 4:</i> Histograma del resultado de pH.....	56
<i>Figura 5:</i> Gráfica de cajas del comportamiento del pH en el sistema piloto.	57
<i>Figura 6:</i> Histograma de resultado del parámetro de conductividad eléctrica.....	58
<i>Figura 7:</i> Gráfica de intervalos del comportamiento de la conductividad eléctrica en el sistema piloto.	59
<i>Figura 8:</i> Histograma de resultado de la turbidez.....	61
<i>Figura 9:</i> Gráfica de cajas del comportamiento de la turbidez en el sistema piloto.	62
<i>Figura 10:</i> Comparación de hierro disuelto, zinc, cobre, arsénico y cadmio con límites máximos permisibles.	63
<i>Figura 11:</i> Comparación del plomo con límites máximos permisibles.	65
<i>Figura 12:</i> Comparación de mercurio con límites máximos permisibles.	66
<i>Figura 13:</i> Comparación de aceites y grasas con límites máximos permisibles.....	67
<i>Figura 14:</i> Comparación de cianuro con límites máximos permisibles.....	68
<i>Figura 15:</i> Comparación de cromo hexavalente con límites máximos permisibles.	69
<i>Figura 16:</i> Comparación de sólidos totales suspendidos con límites máximos permisibles.	70
<i>Figura 17:</i> Tesista realizando la toma de muestras para la caracterización del efluente minero.	77
<i>Figura 18:</i> Conservación y etiquetado de las muestras, para enviarlo al laboratorio SGS.	77
<i>Figura 19:</i> Proceso unitario de sedimentación.....	78
<i>Figura 20:</i> Pesado y llenado de la piedra caliza a los vasos de precipitación.....	78

<i>Figura 21:</i> Proceso unitario, para aumentar el pH del efluente minero.	79
<i>Figura 22:</i> Secado de la piedra caliza y de piedra de rio.	80
<i>Figura 23:</i> Tachos de agua, micas y multiparámetros para el sistema piloto	80
<i>Figura 24:</i> Filtro ascendente y alcalinizador respectivamente.....	81
<i>Figura 25:</i> Sistema piloto armado.....	81
<i>Figura 26:</i> Monitoreo de los parámetros de conductividad, pH, turbidez.	82
<i>Figura 27:</i> Observación de la estética del agua tratada	82
<i>Figura 28:</i> Tesista tomando muestras del sistema piloto (STN2AT-01 y STN2AT-02)....	83
<i>Figura 29:</i> Diferencia de agua que ingresa con el agua que sale en el sistema piloto.	83
<i>Figura 30:</i> Diagrama de Pourbaix para Cobre.	87

RESUMEN

La presente investigación está basada en diseñar y evaluar un sistema de tratamiento piloto para el efluente líquido de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2, Cajamarca 2020, para lograr el objetivo, se llevó a cabo la evaluación de diferentes alternativas de procesos unitarios a nivel bibliográfico, teniendo en cuenta los resultados de la caracterización del efluente líquido minero, seguidamente se realizaron algunos de los procesos unitarios elegidos a nivel de laboratorio (Sistema Batch). Además, se realizó cotizaciones de precios para determinar cuál de los dos sistemas propuestos denominados como; Sistema “Convencional” y Sistema Mixto, es el más económico en cuanto a construcción, operación y mantenimiento, considerando el caudal de 60 L/min. Con la empresa Innodel S.A.C se llevó a cabo el dimensionamiento a escala real en planos del sistema seleccionado, finalmente se construyó el Sistema Mixto a nivel piloto en la zona de estudio para verificar su efectividad, logrando mejorar la calidad del efluente líquido, pH se aumentó de 4.35 a 6.9 y Cobre total disminuyó de 1.34035 mg/L a 0.08934 mg/L, cumpliendo con los estándares el Decreto Supremo N°010-2010-MINAM.

Palabras clave: Efluente minero, sistema de tratamiento de agua, procesos unitarios.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería en el Centro Poblado San Miguel de Algamarca se desarrolla hace más de 90 años, iniciando la explotación del yacimiento mineral con la familia Achorones, años después paso a la familia Velesmoro, en 1940 el señor Miguel Orbegoso conformo la Compañía Minera Algamarca S.A. para continuar con la explotación del mineral dispuesto en vetas subverticales angostas, aperturando galerías (niveles), piques, chimeneas, tajos, subniveles y nuevos frentes de trabajo hasta 1991, año en el que la zona y labores fueron abandonadas.

En el 2005, algunos de los pobladores que tenían conocimientos básicos en minería empezaron a extraer mineral de las labores anteriormente abandonadas, iniciando así, la minería artesanal en el Centro Poblado San Miguel de Algamarca. En la actualidad existe aproximadamente 118 mineros artesanales los cuales conforman la Asociación de Mineros Artesanales San Blas de Algamarca (AMASBA).

El método de explotación del yacimiento mineral alojado en el centro poblado San Miguel de Algamarca es subterráneo (socavón), usando técnicas de circado, corte y relleno ascendente como descendente, de esta forma los mineros continúan con la explotación del yacimiento, recuperando puentes y pilares mineralizados, así como el desarrollo de nuevas galerías que permitan aumentar sus reservas minerales. En varias de las galerías que fueron abandonadas en 1991, se ha evidenciado filtraciones que por saturación y gradiente topográfico salen a superficie, convirtiéndose en efluente líquido minero, discurriendo sin tratamiento a los cursos de agua natural de la zona.

La mina Nueva Esperanza - Nivel 2, que actualmente es explotada por mineros artesanales en proceso de formalización, tiene presencia de efluente líquido minero,

que durante varios años ha discurrido hacia las zonas bajas de la mina sin previo tratamiento, generando impactos negativos al ambiente. Ante ello es de vital importancia el diseño, evaluación y construcción de un sistema de tratamiento adecuada, dando una solución a dicho problema.

El propósito de esta investigación es presentar el diseño y evaluación del sistema de tratamiento piloto, comparando alternativas de solución de acuerdo a las características que presenta el efluente líquido minero, y así seleccionar el mejor sistema de tratamiento para el efluente líquido minero de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2.

1.1.1. Antecedentes.

El estudio presentado por Calvo, Casado, Zamora y Alfonso (2013), titulado “Estudio para el tratamiento de las aguas ácidas por neutralización-precipitación en interior de la mina Santa Fé, Bolivia”, tuvo por objetivo el diseño de una propuesta para el tratamiento físico-químico de agua. El procedimiento consistió en la toma de 20 litros de agua ácida para la realización de los ensayos físico-químicos; los ensayos de neutralización – precipitación se realizaron en volumen de 500 mL con agitación mecánica, al cual agregaron cal hasta alcanzar un valor de pH cercano a 12. Se concluyó que, para aumentar el pH es necesario de 0.4 g a 0.6 g de cal por litro de agua a tratar.

Caraballo, Macías, Nieto y Ayora (2010), en su estudio “Tratamiento Pasivos de Aguas Ácidas de Mina: Evaluación de la eficiencia de un Sistema a Escala Real en la Mina Esperanza”, tuvo por objetivo implementar y dar seguimiento a un sistema de tratamiento pasivo. La metodología, consistió en llenar un tanque reactivo de 480 m³ con material Calizo, al cual llegó agua procedente de la mina mediante un canal abierto, a su vez el tanque se encontraba

conectado a una piscina decantadora, para conocer la efectividad del sistema se monitoreo seis puntos. Se concluyó que, el sistema de tratamiento alcanzo una elevada eficiencia en la eliminación de contaminantes metálicos.

Medina (2018), en su publicación “Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas acidas de Mina Paragsha Cerro de Pasco en Minera Volcan S.A.A”, su objetivo fue el diseño, la implementación y operatividad de una Planta de Neutralización, la metodología para la planta consistió en un canal abierto de la bocamina hacia el sistema, cubas de neutralización, tanques de aireación, decantador, centrifugadoras o filtros de arena. Se concluyó que, para tratar el pasivo ambiental de la laguna de Quilacocha se requiere una inversión de 2 536,600 dólares para la instalación de la planta de Neutralización.

En el artículo de Rimarachin (2015), “Tratamiento de efluentes mineros – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales”, su objetivo fue tratar las aguas de efluentes mineros-metalúrgicos empleando métodos pasivos y activos. Para el tratamiento pasivo se usó compost y humus, y para el método activo utilizó membrana semipermeable artesanal, los metales pesados que se analizaron fueron Cu, Zn, As, Pb, Cd y Hg, en el sistema pasivo la remoción de los metales fue de 92.78%, en el sistema activo los metales fueron retenidos 99.46%. Se concluye que el humus y compost tienen una elevada capacidad de remoción de metales; este al juntarlo con la membrana semipermeable, maximiza resultados esperados.

Según la tesis presentada por Quispe (2016), “Remoción de Arsénico de efluente minero en la unidad de producción de Marañón de compañía minera Poderosa, mediante la adición de cloruro férrico”, para el tratamiento de los efluentes mineros la dosificación de cloruro férrico varió de acuerdo a las

características del agua, en el caso de efluente “Estrella” la dosis FeCl_3 fue de 8.34 mg/L, para “Consuelo” 12.05 mg/L de FeCl_3 y para “Atahualpa”, la dosis fue de 8.34 mg/L de FeCl_3 , se concluyó que el cloruro férrico bajo el arsénico de 0.3989 mg/L a 0.0186 mg/L, teniendo una eficiencia de 95.34%, logrando así que la concentración de arsénico cumpla con el D.S N° 010-2010 MINAM.

1.1.2. Efluente líquido minero.

Según el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM Límites Máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (2010), en el artículo tres define a; “Efluente Líquido de la actividad minero – metalúrgicas: Es cualquier flujo regular o estacional de sustancias líquidas descargada a los cuerpos receptores, que provienen de”:

Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno que cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público). (MINAM, 2010).

1.1.3. Sistema de tratamiento.

Según Chávez de Allain (2012), una planta de tratamiento de agua se define como el conjunto de operaciones unitarias que pueden ser de tipo físico, químico o biológico y que tienen como fin último eliminar o reducir la contaminación o los parámetros no deseables del agua a tratar para obtener agua de mejor calidad con las características deseadas, según sea el tipo de agua que se tenga como afluente, ya sea aguas residuales domésticas o industriales, agua del pozo, etc., y del uso que se le vaya a dar al agua tratada, ya sea para riego de

cultivos, parques e incluso consumo humano. (Citado en Caminati y Caqui, 2013, p. 27).

La metodología del análisis de procesos que conducirá a la elección de los procesos de tratamiento para una planta determinada consta de diferentes pasos y evaluaciones que variaran en función de la complejidad del proyecto y de la experiencia del ingeniero proyectista. El análisis de procesos deberá tener en cuenta: (1) factores importantes en la elección de los procesos; (2) análisis cinético; (3) relaciones empíricas; (4) efecto de la variación de los caudales y de las cargas de contaminantes sobre los procesos, (5) fiabilidad del proceso en el cumplimiento de las normativas vigentes. (Metcalf y Eddy, 1995. p.191).

La selección del proceso de tratamiento de agua es una tarea complicada, debido a que las circunstancias suelen ser bastante diferentes para cada instalación de agua y quizás sean distintos para cada fuente o procedencia usadas por la instalación; la selección de uno o más procesos a utilizar en una situación determinada por la necesidad de cumplir los objetivos de calidad reglamentada. (American Water Works Association, 2012, p. 131).

Para la elección de los procesos unitarios y garantizar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento se deben tener en cuenta distintos factores. “Uno de los factores importantes que hay que tener en cuenta en el proyecto de una planta es la sección de procesos compatibles con las variaciones de caudales y que sean capaces de producir un efluente de calidad permanente y dentro de los límites permitidos”. (Metcalf y Eddy, 1995. p.192).

Las diferentes combinaciones de procesos y operaciones unitarias de una planta de tratamiento funcionan como un sistema, por lo que el ingeniero debe abordar el proyecto desde una perspectiva global, la mayor parte de la selección

de procesos se centra en la evaluación y valoración de diferentes combinaciones de procesos y operaciones unitarias y sus interacciones. (Metcalf y Eddy, 1995, p.192)

Tabla 1

Factores de selección y evaluación para las operaciones y procesos unitarios

Factor	Comentario
Potencial de Aplicación del proceso	El potencial de aplicación de un proceso se evalúa ... con datos de plantas a escala industrial, y datos obtenidos en estudio en planta piloto. Si se presentan condiciones nuevas o no usuales, los estudios en planta piloto son fundamentales.
Intervalo de caudal aplicable	El proceso se debe corresponder con el intervalo de caudales esperado. Por ejemplo, los estanques de estabilización no son adecuados para caudales muy elevados.
Variación de caudal aplicable	La mayoría de las operaciones y procesos unitarios trabajan mejor a caudal constante, a pesar de que pueden tolerar algunas variaciones. Si la variación de caudal es demasiado grande, puede ser necesaria su regulación.
Características del agua a tratar	Las características del agua a tratar afectan a los tipos de procesos a utilizar (químicos o biológicos) y las exigencias para su adecuada explotación
Limitaciones climáticas	La temperatura afecta a la velocidad de reacción en la mayoría de los procesos químicos y biológicos, y también puede afectar al funcionamiento de las operaciones físicas. Las temperaturas cálidas pueden acelerar la aparición de olores y limitar la dispersión en la atmósfera.
Cinética de reacción y selección del reactor	El dimensionamiento de los reactores se basa en la cinética de reacción que gobierna el proceso. Los datos de las expresiones cinéticas suelen deducirse a partir de la experiencia, de la literatura y de los resultados de estudios en planta piloto.
Eficacia	La eficacia se suele medir en función de la calidad del efluente, que debe estar de acuerdo con las exigencias formuladas respecto al vertido de efluentes.

Residuos del tratamiento	Es necesario conocer o estimar los tipos y cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos. A menudo se llevan a cabo estudios en planta piloto para la adecuada identificación de los residuos generados.
Tratamiento del fango	¿Existe alguna limitación que convierta el tratamiento de fangos en un proceso excesivamente caro o inviable? ¿Cómo afecta al rendimiento de las unidades de proceso del líquido las cargas del caudal de recirculación del tratamiento de fangos? La elección del sistema de tratamiento de los fangos debe estar estrechamente relacionada con la elección del sistema de tratamiento de la fracción líquida.
Limitaciones ambientales	Factores ambientales tales como la presencia de vientos, direcciones preferentes del viento, o la proximidad a núcleos de población, pueden implicar restricciones sobre la aplicabilidad de determinados procesos de tratamiento, especialmente en el caso de procesos que puedan generar olores. Tanto el tráfico como los ruidos pueden afectar a la ubicación de las instalaciones. Las aguas receptoras cuentan con limitaciones específicas que pueden precisar la eliminación de constituyentes específicos como los nutrientes.
Necesidades químicas	¿Qué recursos y en qué cantidades van a ser necesarios a largo plazo para el desarrollo satisfactorio de las operaciones o procesos unitarios? ¿Qué influencia tiene la adición de productos químicos sobre las características de los residuos del tratamiento y sobre el coste de este?
Necesidades energéticas	Para proyectar sistemas de tratamiento con una relación coste-efectividad satisfactorio es necesario conocer las necesidades energéticas, así como el coste futuro de la energía.
Necesidades de otros Recursos	¿Qué recursos adicionales, si los hubiere, son necesarios para el desarrollo satisfactorio del sistema de tratamiento propuesto, que incluye la operación o proceso unitario en cuestión?
Necesidades de personal	¿Con cuántos empleados, y con qué nivel de preparación, es preciso contar para la explotación del proceso u operación unitaria? ¿Es posible alcanzar rápidamente dichos niveles de preparación? ¿Qué cursos de preparación serán necesarios?

Necesidades de explotación mantenimiento	¿Qué necesidades de explotación y mantenimiento adicionales es necesario cubrir? ¿Qué repuestos serán necesarios? ¿Cuál es su coste y disponibilidad?
Fiabilidad	¿Cuál es la fiabilidad a largo plazo de la operación o proceso unitario en cuestión? ¿Puede desestabilizarse el proceso fácilmente? ¿Puede hacer frente a cargas de choque periódicas? Si es así, ¿Cómo afectan estas circunstancias a la calidad del efluente?
Complejidad	¿Qué grado de complejidad presenta la explotación del proceso, tanto en condiciones rutinarias como de emergencia? ¿Qué nivel de preparación de los operarios es necesario?
Compatibilidad	¿Pueden emplearse de manera satisfactoria las operaciones y procesos unitarios en conjunción con las instalaciones existentes? ¿Se puede ampliar la planta de manera sencilla?
Disponibilidad de Espacio	¿Existe espacio suficiente, no sólo para la implantación de las instalaciones que se están estudiando, sino también para instalaciones futuras? ¿Qué superficie de terreno hay disponible para minimizar el impacto visual de la construcción de las instalaciones?

Fuente: Extraído del libro de Metcalf y Eddy, (1995)

1.1.4. Tipos de sistemas de tratamientos.

De acuerdo con los factores antes mencionados, se tiene diferentes tipos de tratamiento como: tratamientos primario, secundario y terciario, los cuales se describen a continuación:

Los sistemas de tratamiento primario son procesos de tipo físico y/o químicos, que tienen como objetivo eliminar el contenido de sólidos presentes en las aguas residuales. Los procesos de tipo físico son aplicados a vertidos líquidos con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica no biodegradable y/o insoluble (en suspensión); mientras que los procesos químicos son usados para la eliminación de sustancias solubles, empleando para esto agentes

químicos como floculantes y/o coagulantes que mejoran la separación de partículas. (Peñuela y Morató, 2005, p.33)

Tabla 2

Tratamientos físicos

Posesos Físicos	Objetivos
Desbaste	Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices)
Desarenado	Separación de partículas sólidas pequeñas de alta densidad
Sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión entre 1mm -1m
Flotación	Remoción de grasas y aceites (arrastre por burbujas de aire)

Fuente: extraído de Peñuela y Morató, (2005)

Tabla 3

Tratamiento químicos

Procesos Químicos	Objetivo
Coagulación / Floculación	Mejora la sedimentación de las partículas en suspensión de sistemas coloidales, alterando las propiedades físico-químicas de las partículas, acelerando su decantación. Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices)

Nota: Extraído de Peñuela y Morató, (2005)

Se entiende por tratamiento secundario la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, mediante un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos que utilizan dicha materia orgánica como nutriente. Su objetivo es, entonces, el de remover la materia orgánica contaminante, vale decir, reducir la demanda de oxígeno en el agua. (Peñuela y Morató, 2005, p.34).

“El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios y secundarios; las tecnologías empleadas pueden ser de tipo física, química y/o biológicas” (Peñuela y Morató, 2005, p.37). “Un ejemplo de aplicación es la adsorción con

carbón activado, para la eliminación de compuestos organoclorados, o la desinfección para eliminar patógenos mediante cloración u ozonización, entre otros” (Metcalf y Eddy, 1995).

1.1.5. Parámetros a analizar.

Tabla 4

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.

Parámetros	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		06 – 09	06 – 09
Sólidos Totales en Suspensión	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: Adaptado del D.S N°010-2010-MINAM.

Nota: (*) = En muestra no filtrada

Otros parámetros que se deben considerar en los diseños de los sistemas de tratamiento; son los metales disueltos, la conductividad eléctrica y la turbidez a pesar de que estos parámetros no están considerados en los LMPs:

- a) “Los metales disueltos son aquellos metales presentes en una muestra de agua sin acidificar y que han pasado a través de un filtro de tamaño de $0.45\mu\text{m}$ ” (Rice y Baird, 2017), “Los metales disueltos en el agua existen en equilibrios complejos y pueden verse afectados por muchos factores físicos y químicos. Particularmente cambios en las condiciones de pH y Temperatura” (Hernandez, 2018).
- b) La conductividad eléctrica es importante porque “refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, se encuentra relacionada con la concentración de sólidos disueltos totales, también depende de la temperatura del agua (mientras más alta la temperatura, mayor conductividad eléctrica)” (Lenntech, 2019).
- c) La turbidez es trascendental ya que, a mayor turbiedad mayor partículas en suspensión existe en el agua, estas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, causando reducción en la concentración de oxígeno, además las partículas suspendidas ayudan a la adhesión de metales pesados y otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas (Lenntech, 2019).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el diseño del sistema de tratamiento piloto en la calidad del efluente líquido de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2, Cajamarca 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

Diseñar y evaluar a escala piloto un sistema de tratamiento para el efluente líquido de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2, Cajamarca 2020.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar las características del efluente líquido de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.
- Evaluar las alternativas de procesos unitarios mediante pruebas batch, del sistema de tratamiento para el efluente líquido de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, del centro poblado San Miguel de Algamarca.
- Estimar los costos de construcción, mantenimiento y operación de los sistemas propuestos para la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, del centro poblado San Miguel de Algamarca, Cajabamba, 2020.
- Determinar la remoción de contaminantes que superan los LMPs del sistema de tratamiento piloto de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2 del centro poblado San Miguel de Algamarca, Cajamarca 2020.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general.

El diseño y la evaluación de un sistema de tratamiento piloto influye positivamente en el mejoramiento del efluente líquido de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, ubicado en el Centro poblado San Miguel de Algamarca, debido a que el agua tratada en la planta cumple con los parámetros de los límites máximos permisibles (LMP).

1.4.2. Hipótesis específicas

- Mediante las características del efluente líquido de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, se estima que el cincuenta por ciento de los metales descritos en la norma, se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles
- Las alternativas de procesos unitarios mediante pruebas batch, del sistema de tratamiento para el efluente líquido de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, serán efectivas para tratar el agua.
- Los costos de construcción, mantenimiento y operación del Sistema Mixto son menores en comparación con los costos del Sistema “Convencional”.
- La remoción de contaminantes que superan los LMPs, en sistema de tratamiento piloto de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2 del centro poblado San Miguel de Algamarca, es efectivo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La investigación es Mixta, “La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 132).

El diseño de la investigación es experimental – cuasiexperimental, “Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 129)

“Los diseños cuasiexperimentales manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 151)

El presente trabajo de investigación, es tipo mixto y su diseño es cuasiexperimental, debido a que, primero se analizó las características del efluente líquido, seguidamente se realizó consultas bibliográficas, por último, se ejecutó una simulación de los procesos unitarios que conforman el sistema de tratamiento a nivel piloto para verificar su efectividad en el mejoramiento de la calidad de agua, por lo que se realizó manipulación de la variable.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Materiales.

- Vasos de precipitación
- Fiola
- Probeta
- Embudo
- Piseta
- Agua ultra pura
- Papel filtro
- Crisol
- Pinzas
- Espátula
- Piedra Caliza (tres cuartos pulgada a una pulgada)
- Grava de media pulgada, una pulgada y dos pulgadas
- Sacos de polietileno
- Pico y palana
- Arco y sierra
- Martillo y clavos
- Cuatro Tachos de agua de 100 litros de capacidad
- Dos recipientes de mica de 70 litros de capacidad
- Tubos y accesorios (niples, codos, canastilla, etc.) de PVC de una pulgada
- Manguera transparente de un cuarto de pulgada
- Llave de paso
- Cable Extensión
- Cinta teflón, adhesiva y aislante

- Guantes de laboratorio
- Papel Tissue (papel suave)
- Papel toalla
- Cuaderno de apuntes
- Lapiceros
- Chaleco
- Casco
- Cinta de advertencia

2.2.2. Instrumentos.

- Turbidímetro
- pHmetro
- Conductímetro
- Agitador magnético
- Balanza analítica
- Bomba al vacío
- Bomba centrífuga
- Mufla
- Laptop
- Impresora
- Cámara digital
- Cronometro
- GPS Garmin eTrex 22x

2.2.3. Método.

2.2.3.1. Lugar de ejecución.

Ubicación: La investigación se llevó a cabo en la Mina Nueva Esperanza – Nivel 2, ubicada en:

Centro Poblado : San Miguel de Algamarca

Distrito : Cachachi

Provincia : Cajabamba

Departamento : Cajamarca

Se encuentra dentro del cuadrángulo de Cajabamba (Hoja 16-G), considerando la ubicación de la mina en las siguientes coordenadas UTM en el sistema WGS-84, 17S (Ver anexo n° 6: Plano de Ubicación Geográfica).

Tabla 5
Coordenadas de la Mina Nueva Esperanza – Nivel 2

Coordenadas	Este	Norte
1	804310	9157512

Nota: Coordenadas tomadas con GPS Garmin eTrex 22x.

Accesibilidad: Para llegar a la zona de estudio, se conoce la siguiente ruta, (ver anexo n°. 8: Plano de Accesibilidad)

Tabla 6
Acceso a la Mina Nueva Esperanza-Nivel 2

Origen – Destino	Distancia (km)	Estado de la carretera
Cajamarca – Cajabamba.	122	Asfaltada
Cajabamba – San Miguel de Algamarca.	38.3	Trocha – Afirmada
San Miguel de Algamarca – Mina Nueva Esperanza, Nivel 2.	2.4	Trocha carrozable
Total	162.7	

Nota: Se muestra las condiciones de los diferentes accesos a la mina Nueva Esperanza – Nivel 2.

Hidrología: La red hidrológica del Centro Poblado de San Miguel de Algamarca está dada por ríos y quebradas tal y como se describe a continuación: (ver anexo n°. 7: Plano Red Hidrológica).

Tabla 7

Ríos y quebradas del Centro Poblado San Miguel de Algamarca

Cuerpos de agua	Nombre	Condición
Río	Algamarca	Cause constante
	Saucicucho	Cause constante
	Tantal Tigüinza Cienigo	Se activan en temporada de lluvia para el desfogue de alcantarilla de carretera.
Quebradas	Tranca el Agua	
	El Sereno	Solo hay cause en temporada de precipitación.
	Caupur	
	El Cobre	
	Santo Cristo	
	Marampamba	Cause constante
	San José	

Nota: Redes hídricas cercanas al CC. PP San Miguel de Algamarca.

2.2.3.2. *Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos*

Tabla 8

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica	Instrumentos
Análisis de características de aguas.	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados de ensayos de laboratorio • D.S N°010-2010-MINAM
Análisis documental de procesos unitarios para el tratamiento de aguas	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes bibliográficas
Análisis de costo	<ul style="list-style-type: none"> • Cotizaciones
Elaboración de pruebas de laboratorio (sistema batch)	<ul style="list-style-type: none"> • Fuente bibliográficas • Instrumentos de laboratorio
Elaboración del sistema piloto	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes bibliográficas • Sistema batch
Análisis de características de agua tratada	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados de ensayos de laboratorio • D.S. N.º 010-2010-MINAM

Medición de Parámetros.

- La medición de parámetros para la caracterización del efluente líquido minero, se realizó mediante el laboratorio SGS.
- La toma de muestras del efluente líquido minero, lo realizó la tesista, teniendo en cuenta las indicaciones del laboratorio SGS, para la conservación de las muestras.
- La medición de los parámetros en campo (turbidez, pH y conductividad) y toma de muestras de los parámetros que solicita el D.S N° 010-2010-MINAM, en el sistema piloto, para demostrar si es eficaz, se llevó a cabo, por un colaborador de Innodevel y la

tesista, las evaluaciones de los ensayos de las muestras tomadas serán analizadas por el laboratorio SGS.

Diseño y construcción del sistema piloto.

- Los procesos unitarios, para el diseño de los sistemas, fue mediante revisión bibliográfica, los cuales fueron elegidos de acuerdo con la caracterización del efluente líquido minero.
- Bibliográficamente se propone dos sistemas de tratamiento, la elección del mejor sistema se ejecutó, de acuerdo a los costos de construcción, operación y mantenimiento, debido a que los dos sistemas propuestos son eficientes para el tratamiento del efluente líquido de mina, además se realizó la elaboración de planos a escala real del sistema de tratamiento piloto. (ver anexo n°. 9 y n°. 10: planos planta y perfil)
- La construcción del sistema piloto, se realizó para verificar que el sistema propuesto es eficiente, los materiales que se utilizaron en su mayoría constaron de tachos de plástico para almacenamiento de agua, tubos PVC de diferentes dimensiones, entre otros, los cuales fueron adaptados dependiendo el proceso unitario que el sistema conformó.

2.2.3.3. Técnicas para el procesamiento, análisis e interpretación de datos.

El análisis estadístico se plasmó mediante el uso de los softwares Minitab y Excel. Dichos softwares se emplearon para las siguientes labores:

Minitab:

Se utilizó el análisis estadístico ANOVA DE UN SOLO FACTOR, para los datos tomados en campo (pH, conductividad eléctrica y turbidez). “El análisis de varianza ANOVA de un factor nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa”. (Bakieva, González y Jornet, 2010).

Excel

Se utilizó para la comparación de los resultados obtenidos en la caracterización y en el sistema piloto, con el D.S N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos. También para la estimación de los costos de los sistemas de tratamiento propuestos, estas están dados de acuerdo a las cotizaciones hechas por la empresa Innodevel.

2.2.3.4. Población y muestra

Población: Todo el efluente líquido minero que se genera en la mina “Nueva Esperanza – Nivel 2”, 60 L/ min.

Muestra: Toda el agua (efluente líquido de mina) que ingresa al sistema de tratamiento piloto durante cuatro días, con un caudal de 0.8 L/min a 1 L/min.

2.3. Procedimiento

El desarrollo de la investigación se realizó de acuerdo a lo indicado a continuación:

2.3.1. Medición de parámetros físicos y químicos.

- Caracterización del efluente líquido minero, en base a los parámetros del D.S N° 010-2010-MINAM.
- La toma de muestra se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por el laboratorio SGS, para su conservación, tales como:
 - Aceites y grasas, añadir ácido sulfúrico (H_2SO_4)
 - Cianuro Total, añadir granallas de hidróxido de sodio (NaOH)
 - Metales Totales, añadir ácido nítrico (HNO_3)
 - Cromo Hexavalente, añadir solución búfer e hidróxido de sodio (NaOH).
- Los métodos de ensayos utilizados por el laboratorio son los siguientes:

Tabla 9

Métodos de ensayo del Laboratorio SGS

Parámetro	Método de Ensayo
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.:2017. Turbidity. Nephelometric Method
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed.:2017. Conductivity. Laboratory Method
Solidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed.:2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
Cromo Hexavalente Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-CR-B; 23rd Ed.:2017. Chromium. Colorimetric Method.
Potencial de Hidrógeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+-B; 23rd Ed.:2017. pH Value: Electrometric Method.

Aceites y Grasas	ASTM D3921 - 96 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water - (Validado)2014
Cianuro Total	ASTM D7511 - 12 (Reapproved 2017) E01. Standard Test Method for Total Cyanide by Segmented Flow Injection Analysis, In-Line Ultraviolet Digestion and Amperometric. Detection (Validado). 2017
Metales Totales	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry
Metales Disueltos	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fuente: Extraído del Informe de ensayo con valor oficial MA1924597 Rev. 0

2.3.2. Diseño y construcción, sistema piloto.

- Después de la evaluación bibliográfica de procesos unitarios, para sistemas de tratamiento de agua, se consideró dos alternativas de tratamiento, las cuales fueron nombradas o definidas como; Sistema “Convencional” y Sistema Mixto.

Sistema “Convencional”

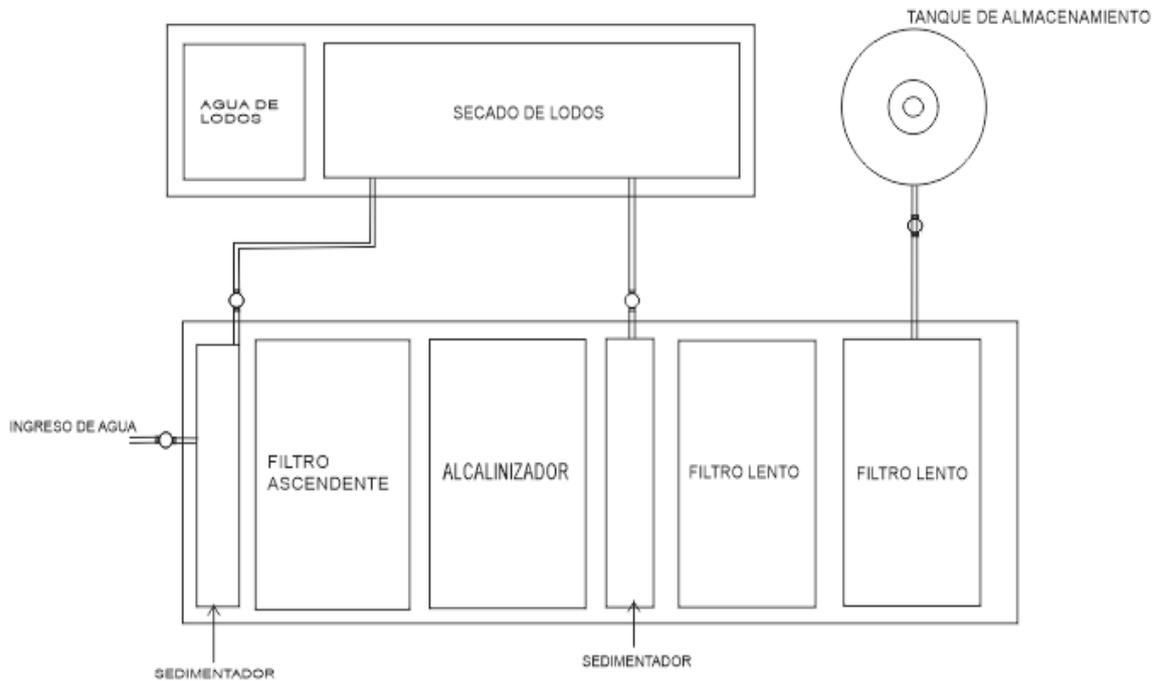


Figura 1: Diseño del Sistema "Convencional", para tratar el efluente de mina.

Sistema Mixto

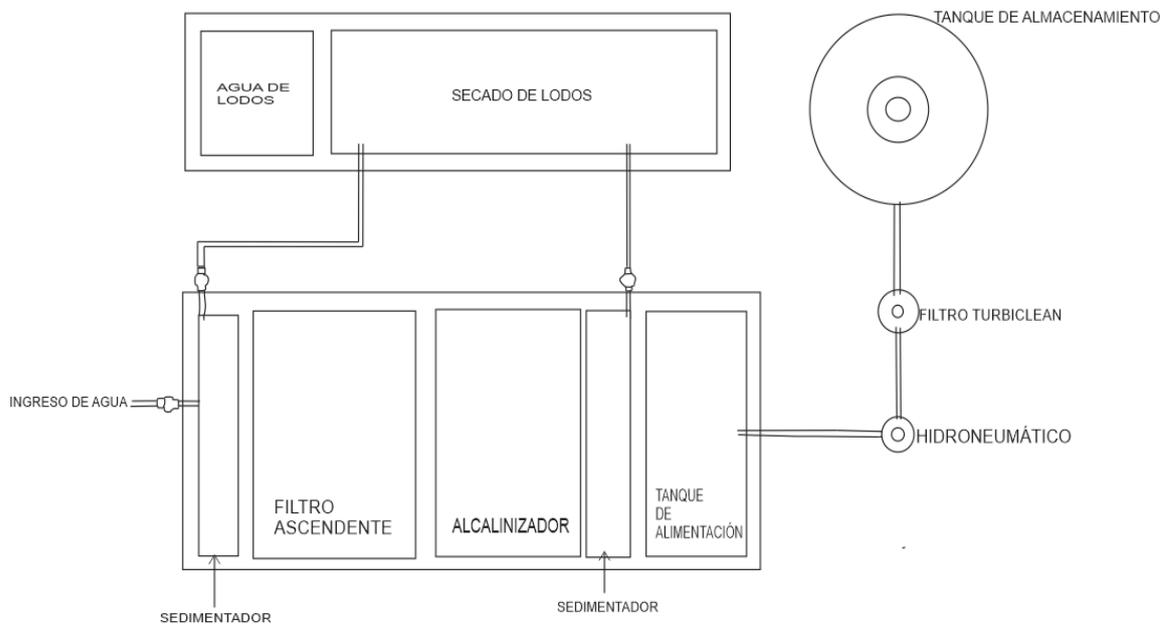


Figura 2: Diseño del Sistema Mixto, para tratar el efluente de mina.

- Ejecución de pruebas en sistema batch de los principales procesos unitarios (aumento de pH y tiempo de sedimentación de efluente líquido de la mina Nueva Esperanza - Nivel 2).
- Se determina los costos de construcción, mantenimiento y operación para definir el sistema de tratamiento de agua más económico.
- Implementación del sistema piloto que cumple con el mejoramiento de la calidad del agua y es más económico.

2.3.3. Aspectos éticos de la investigación

Los aspectos éticos de la investigación, se ejecutaron de acuerdo al formato de redacción de la Universidad Privada del Norte, por lo que, el investigador tiene que trabajar en cumplimiento de la normatividad institucional que rige una investigación tales como; derechos de autor, revelar la fuente informativa, brindar información sincera y completa en beneficio de la comunidad científica, los resultados deben ser confiables y verdaderos en la investigación de campo, sirviendo como base con datos fehacientes para futuras investigaciones, presentar un contenido entendible y citar acorde a las Norma APA.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización del efluente líquido minero

Tabla 10

Evaluación de resultados de efluentes con respecto a límites máximos permisibles, D.S. N° 010-2010-MINAM

Parámetro	Unidad	Límite en Cualquier Momento	Resultado (PSTO-01)
pH		6-9	4.35
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	23
Aceites y Grasas	mg/L	20	<0.4
Cianuro total	mg/L	1	<0.0008
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.01785
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.02615
Cromo Hexavalente Total	mg/L	0.1	<0.003
Cobre Total	mg/L	0.5	1.34035
Hierro Disuelto	mg/L	2	0.0589
Plomo Total	mg/L	0.2	0.0033
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.00012
Zinc Total	mg/L	1.5	0.3018

3.2. Alternativas de tratamiento de agua

Según la información bibliográfica y de acuerdo con la caracterización que se realizó en la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, se propone los siguientes sistemas de tratamiento a cada uno se les ha dado un nombre para su fácil interpretación, Sistema “Convencional” y Sistema Mixto, los cuales se describe a continuación:

3.2.1. Sistema “Convencional”.

El sistema cuenta con cinco procesos unitarios principales: 1. Sedimentador, 2. Filtro ascendente, 3. Alcalinizador, 4. Filtros lentos y 5. Tanque de almacenamiento. por otro lado, se tendrá dos procesos unitarios secundarios o de complemento: 1. Secado de lodos y 2. Agua de lodos.

Sedimentador.

La sedimentación es, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (Maldonado, 2002).

Filtro ascendente o filtro rápido.

“La filtración es la remoción de partículas suspendidas, disueltas y coloidales (turbiedad) del agua, haciéndola pasar a través de un medio poroso, que puede ser arena, antracita, algún material prefabricado, etc.”. (Ponce, 2005).

En este caso el proceso consiste en filtrar el efluente de mina, de un lecho poroso de grava, el flujo de agua circula en forma ascendente pasando por tres capas de grava (media pulgada, dos pulgadas, tres pulgadas) para disminuir los sólidos suspendidos.

Alcalinización.

Proceso unitario que constará de una cámara rectangular cerrada de almacenamiento de piedra caliza (dos pulgadas a cinco pulgadas), la cual servirá para a elevar el pH entre los intervalos (6 – 9).

Filtros lentos.

Para este proceso se necesitará dos filtros lentos, consiste en filtrar el agua alcalinizada lentamente a través de un lecho poroso de arena, conformado por tres capas de grava tratada (6.00 mm, 10 mm, 12.00 mm) y de dos capas de arena tratada (0.02 mm, 0.2 mm).

Tanque de almacenamiento.

Esta es la última operación unitaria principal, se encarga de recepcionar y almacenar el agua tratada, esto se puede llevar acabo en un reservorio o en un tanque rotoplas.

Secado de lodos.

Proceso unitario donde se tratará todos los sedimentos obtenidos en las rampas de sedimentos, su principal función es secar los sedimentos para posteriormente utilizarlo para otros fines.

Agua de lodos.

Este proceso consta de un tanque de almacenamiento de agua, su función es recepcionar el agua que escurre del secado de lodos, para que posteriormente esta sea recirculada al sistema de tratamiento.

3.2.2. Sistema Mixto.

Este sistema de tratamiento cuenta con siete procesos unitarios principales:

1. Sedimentador, 2. Filtro ascendente, 3. Alcalinizador - Sedimentador, 4. Tanque de alimentación, 5 Hidroneumático, 6. Filtro Turbiclean, y 7. Tanque de almacenamiento; por otro lado, se tendrá dos procesos unitarios secundarios o de complemento: 1. Secado de lodos y 2. Agua de lodos.

Sedimentador.

La sedimentación es, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (Maldonado V., 2002)

Filtro rápido o filtro ascendente.

“La filtración es la remoción de partículas suspendidas, disueltas y coloidales (turbiedad) del agua, haciéndola pasar a través de un medio poroso, que puede ser arena, antracita, algún material prefabricado, etc.”. (Ponce, 2005).

En este caso el proceso consiste en filtrar el efluente de mina, de un lecho poroso de grava, el flujo de agua circula en forma ascendente pasando por tres capas de grava (media pulgada, dos pulgadas, tres pulgadas) para disminuir los sólidos suspendidos.

Alcalinización - Sedimentación.

Proceso unitario constituida de dos cámaras rectangulares, la primera de almacenamiento de piedra caliza (dos pulgadas a cinco pulgadas), la cual servirá para a elevar el pH entre los intervalos (6.00 – 9.00). La segunda cámara, tendrá

un ángulo de 30° de inclinación lo cual servirá para separar las partículas más densas que el agua, generadas en el proceso de alcalinización, estas partículas tienen una trayectoria descendente lo cual hace que se depositen en el fondo del sedimentador, además este proceso unitario contará de una rampa transversal inclinada a 45° la cual cumple la función de evitar pasar los sólidos con menos densidad.

Tanque de alimentación.

En este proceso, el agua que ha pasado por los anteriores procesos unitarios será almacenada, para luego ser distribuida al Tanque Hidroneumático.

Tanque Hidroneumático.

Un tanque hidroneumático es un recipiente cerrado que contiene aire y agua bajo presión (Zamora, 2015).

Sus funciones principales son: “entregar el agua según un rango de presión seleccionado para que la bomba de agua realice los arranques y paradas respectivas” (Zamora, 2015), en el proceso unitario mencionada función servirá para; regular el caudal y romper la presión del filtro Turbiclean, “prevenir que una bomba arranque de nuevo cada vez que el sistema de distribución tenga una pedida baja de agua. (Zamora, 2015).

Filtro Turbiclean.

Este medio filtrante es de la tercera generación su función es remover partículas y sedimentos, prevé un rendimiento excelente en la filtración de sólidos suspendidos (Merinsac, s.f). Con este proceso unitario, se tendrá un filtrado más profundo que en los métodos convencionales.

Tanque de almacenamiento.

Esta es la última operación unitaria la cual se encarga de recepcionar y almacenar el agua tratada, esto se puede llevar a cabo en un reservorio o en un tanque Rotoplas.

Secado de lodos.

Proceso unitario donde se tratará todos los sedimentos obtenidos en las rampas de sedimentos, su principal función es secar los sedimentos para posteriormente utilizarlo para otros fines.

Agua de lodos.

Este proceso consta de un tanque de almacenamiento de agua, su función es recepcionar el agua que escurre del secado de lodos, para que posteriormente esta sea recirculada al sistema de tratamiento.

3.3. Procesos unitarios a nivel laboratorio (sistema batch)

Luego de una revisión exhaustiva sobre bibliografía de tratamiento de aguas y de acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización del efluente líquido de mina. Se realizó los siguientes procesos:

3.3.1. Sedimentador.

Para evaluar este proceso se realizó lo siguiente: En vasos de precipitación de 500 mL, se agregó 500 mL de efluente de mina y se controló con el parámetro de Turbidez, la acción se realizó en tres repeticiones R1, R2 y R3, conteniendo el mismo volumen de agua.

Tabla 11

Diseño de experimento para sedimentación.

Tiempo (min)	Turbiedad (UNT)		
	R1	R2	R3
0	268	268	268
5	232	230	226
10	221	227	220
15	216	193	204
20	183	198	204
25	164	159	180
30	140	134	132
35	131	133	131
40	130	134	124
45	125	128	121
50	123	121	121
55	122	121	122
60	120	119	120

Nota: R1 (repetición uno), R2 (repetición dos) y R3 (repetición tres), además, se observa que a partir del minuto 35 de haber empezado las pruebas, la turbiedad empieza disminuir lentamente.

3.3.2. Alcalinizador.

En este proceso unitario se utilizó piedra caliza, para incrementar el pH del efluente líquido a un promedio de ocho, debido a que, según el diagrama de Pourbaix para Cobre, es necesario subir el pH a ocho, para que así el metal se pueda precipitar, teniendo en cuenta que su Límite Máximo Permisible para el Cobre Total es de 0.5 mg/L.

Las pruebas se realizaron en tres vasos de precipitación de 500 mL, a diferente volumen de agua, pero igual cantidad de piedra caliza.

- 100 g de piedra caliza y 100 mL de efluente de mina.
- 100 g de piedra caliza y 200 mL de efluente de mina.

- 100 g de piedra caliza y 300 mL de efluente de mina.

Tabla 12

Piedra caliza y efluente líquido de mina.

Tiempo (min)	pH		
	1	2	3
0	4.69	4.69	4.69
5	4.66	4.83	4.69
10	4.96	4.94	5.06
15	5.29	5.33	5.43
20	5.42	5.39	5.46
25	5.65	5.68	5.51
30	6	5.9	5.76
35	6.14	6.2	6.07
40	6.46	6.36	6.13
45	7.22	7.34	6.22
50	7.89	7.77	6.49
55	8.11	7.92	7.01
60	8.37	8.09	7.23

Nota: Se evidencia que, para subir el pH a ocho, el efluente líquido de mina, tiene que estar en contacto con la piedra caliza, aproximadamente 1 hora (60 minutos).

3.3.3. Resultados iniciales y finales de los principales procesos unitarios en sistema batch.

Tabla 13

Resultados iniciales y finales para el sistema batch.

Parámetro	Unidad	Resultado inicial	Resultado final
pH	mg/L	4.69	7.75
Conductividad eléctrica	μS/cm	187	218
Turbidez	UNT	268	11.2
Temperatura	°C	17.1	17.4
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	252	22.5

3.4. Costos de construcción, operación y mantenimiento

Los costos de construcción, operación y mantenimiento están basados de acuerdo al caudal de efluente líquido, que generar la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, lo cual es de 60 L/min, además de los planos a escala real.

Sistema “Convencional”.

Tabla 14

Costos de construcción y operación del Sistema “Convencional”

Ítems	Operación	Costo (S/)
1	Construcción de Sistema	65,359.00
1.1	Obras provisionales y preliminares	345.2
1.2	Movimiento de tierra	675.8
1.3	Obras de concreto simple	113.9
1.4	Obras de concreto armado	60,724.10
1.5	Transporte de Material	3,500.00
COSTO DIRECTO		65,359.00
SUPERVISIÓN DE OBRA 10 %		6,535.90
UTILIDAD 10 %		6,535.90
SUB TOTAL		78,430.76
IGV 18 %		14,117.54
TOTAL PRESUPUESTO		92,548.30

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel.

Tabla 15

Costos de mantenimiento mensual del Sistema “Convencional”

Material	Cantidad (m ³)	Precio (S/)	Total (S/)
Arena	2	972.40	1,944.80

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel.

Tabla 16

Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el primer y segundo año.

Año	Material	Cantidad (m ³)	Precio (S/)	Total (S/)
Primer	Arena	24	972.40	23,337.60
Segundo	Arena	24	972.40	23,337.60

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel.

Tabla 17

Costos de mantenimiento y operación del Sistema “Convencional” para el tercer año.

Material	Cantidad (m ³)	Precio (S/)	Sub total (S/)
Arena	32	972.40	31,116.80
Piedra Caliza	4	1,059.50	4,238.00
<i>Total (S/)</i>			<i>35,354.80</i>

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel. En el tercer año de vida de sistema se cambiará la arena 10 cubos, los 11 meses restantes se seguirá realizando su mantenimiento mensual de dos cubos, además se tendrá que aumentar y cambiar la piedra caliza.

Tabla 18

Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el cuarto año.

Material	Cantidad (m ³)	Precio (S/)	Total (S/)
Arena	24	972.4	23,337.60

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel.

Tabla 19

Costos de mantenimiento del Sistema “Convencional” para el quinto año.

Material	Cantidad (m ³)	Precio (S/)	Sub total (S/)
Arena	32	972.4	31,116.80
Grava	11	808.6	8,894.60
Piedra Caliza	4	1,059.5	4,238.00
TOTAL (S/)			44,249.40

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel. En el quinto año de vida del sistema se cambiará la arena 10 cubos, los 11 meses restantes se seguirá realizando su mantenimiento mensual de dos cubos, además se tendrá que cambiar la grava y piedra caliza.

Sistema Mixto

Tabla 20

Costos de construcción y operación del Sistema Mixto.

Ítem	Partida	Costo (S/)
1	CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE TRATAMIENTO.	67,550.00
1.1	Obras provisionales y preliminares	345.23
1.2	Movimiento de tierra	675.74
1.3	Obras de concreto simple	113.91
1.4	Obras de concreto armado	35,602.49
1.5	Filtro Multimedia	13,160.00
1.6	Tanque de almacenamiento de agua	3,563.00
1.7	Material Tratado	9,089.60
1.8	Imprevistos	1,500.00
1.9	Transporte	3,500.00
	COSTO DIRECTO	67,549.97
	SUPERVISIÓN DE OBRA 10 %	6,755.00
	UTILIDAD 10 %	6,755.00
	SUB TOTAL	81,059.96
	IGV 18 %	14,590.79
	TOTAL PRESUPUESTO	95,650.75

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodel.

Tabla 21

Costos de mantenimiento mensual del Sistema Mixto.

Recurso	Cantidad (kWh)	Precio (S/)	Total (S/)
Energía eléctrica	400	1,00	400.00

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodel.

Tabla 22

Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el primer año.

Recurso	Cantidad	Precio (S/)	Sub total (S/)
Energía eléctrica (kWh)	4 800	1,00	4,800.00
Filtro multimedia	1	9,860	9,860.00
Total			14,660.00

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodel

Tabla 23

Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el segundo año.

Recurso	Cantidad	Precio (S/)	Sub total (S/)
Energía eléctrica (kWh)	4 800	1,00	4,800.00
Filtro multimedia	1	9,860	9,860.00
Total			14,660.00

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel

Tabla 24

Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el tercer año.

Recurso	Cantidad	Precio (S/)	Sub total (S/)
Energía eléctrica (kWh)	4 800	1,00	4,800.00
Filtro multimedia	1	9,860	9,860.00
Piedra Caliza (m ³)	4	1,059.50	4,238.00
Total			18,898.00

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel

Tabla 25

Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el cuarto año.

Recurso	Cantidad	Precio (S/)	Sub total (S/)
Energía eléctrica (kWh)	4 800	1,00	4,800.00
Filtro multimedia	1	9,860	9,860.00
Total			14,660.00

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel

Tabla 26

Costos de mantenimiento del Sistema Mixto para el quinto año.

Recurso	Cantidad	Precio (S/)	Sub total (S/)
Energía eléctrica (kWh)	4 800	1,00	4,800.00
Filtro multimedia	1	9,860	9,860.00
Grava (m ³)	6	808.60	4,854.60
Piedra Caliza (m ³)	4	1,059.50	4,238.00
Total			23,749.60

Nota: Costo actualizado y modificado de la empresa Innodevel

3.5. Resultados de la calidad del agua del sistema piloto

El sistema piloto trabajo con un caudal promedio de 0.8 L/min a 1 L/min, ya que los tachos de agua utilizados tenían la capacidad de 100 L y las micas donde se instaló el filtro rápido y el alcalinizador, su capacidad fue de 60 L, como se puede evidenciar en la tabla 12, el tiempo de retención del efluente líquido con la piedra caliza tiene que ser 60 minutos aproximadamente.

Los parámetros de pH, Turbidez y Conductividad eléctrica fueron monitoreados y/o evaluados durante los cuatro días que duro el sistema piloto, del 03 de febrero hasta el 06 de febrero del 2020, esto debido a que con los resultados obtenidos se pudo evidenciar si el sistema mixto es efectivo para mejorar la calidad de agua.

Tabla 27

Resultados primer día del sistema piloto

Fecha	Punto de muestreo	Parámetros			Hora
		pH	CE	Turbidez	
3/02/2020	1. Ingreso	4.56	197	35.3	
	2. Salida de Alcalinizador	7.29	205	22.7	05:45 p.m.
	3. Salida	7.14	218	10.97	
	1. Ingreso	4.59	186	36.7	
	2. Salida de Alcalinizador	7.54	198	33.2	06:30 p.m.
	3. Salida	6.98	230	11.43	
	1. Ingreso	4.62	191	39.2	
	2. Salida de Alcalinizador	7.95	200	28.7	07:00 p.m.
	3. Salida	7.36	225	10.6	
	1. Ingreso	4.56	198	41.3	
	2. Salida de Alcalinizador	7.89	207	33.2	08:00 p.m.
	3. Salida	7.3	236	9.87	

Nota: Comparación del ingreso y salida del sistema mediante los parámetros: pH, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y Turbidez (UNT); en el día indicado.

Tabla 28

Resultados segundo día del sistema piloto.

Fecha	Punto de muestreo	Parámetros			Hora
		pH	CE	Turbidez	
4/02/2020	1. Ingreso	4..61	190	41.2	
	2. Salida de Alcalinizador	7.92	225	24.6	08:00 a.m.
	3. Salida	7.5	236	5.41	
	1. Ingreso	4.59	188	40.7	
	2. Salida de Alcalinizador	8.05	231	34.2	09:00 a.m.
	3. Salida	7.4	241	6.3	
	1. Ingreso	4.69	193	36.8	
	2. Salida de Alcalinizador	7.82	235	32.7	10:00 a.m.
	3. Salida	7.17	237	4.38	
	1. Ingreso	4.69	198	33.6	
	2. Salida de Alcalinizador	8.05	203	24.1	11:00 a.m.
	3. Salida	7.42	226	4.73	
	1. Ingreso	4.98	200	40.6	
	2. Salida de Alcalinizador	8.02	216	26.7	12:00 p.m.
	3. Salida	7.26	231	3.97	
	1. Ingreso	4.57	199	43.9	
	2. Salida de Alcalinizador	8.21	228	20.7	03:00 p.m.
	3. Salida	7.62	215	5.26	
	1. Ingreso	4.62	197	51.7	
	2. Salida de Alcalinizador	8.28	218	14.3	04:00 p.m.
	3. Salida	7.12	212	4.38	
	1. Ingreso	4.65	201	48.2	
	2. Salida de Alcalinizador	8.82	222	16.7	05:00 p.m.
	3. Salida	7.06	248	3.47	
1. Ingreso	4.81	198	45.6		
2. Salida de Alcalinizador	8.09	218	20.3	06:00 p.m.	
3. Salida	7.46	220	3.42		

Nota: Comparación del ingreso y salida del sistema mediante los parámetros: pH, CE ($\mu\text{S/cm}$) y Turbidez (UNT); en el día indicado.

Tabla 29

Resultados tercer día del sistema piloto

Fecha	Descripción	Parámetros			Hora
		pH	CE	Turbidez	
5/02/2020	1. Ingreso	4.6	191	32.6	
	2. Salida de Alcalinizador	7.36	203	22.5	08:00 a.m.
	3. Salida	8.15	215	3.51	
	1. Ingreso	4.56	193	41.3	
	2. Salida de Alcalinizador	8.82	212	18.72	10:00 a.m.
	3. Salida	7.28	223	4.21	
	1. Ingreso	4.81	200	38.1	
	2. Salida de Alcalinizador	8.79	212	15.4	12:00 p.m.
	3. Salida	7.41	231	3.78	
	1. Ingreso	4.31	198	39.7	
	2. Salida de Alcalinizador	8.52	222	16.2	03:00 p.m.
	3. Salida	7.48	243	4.08	
	1. Ingreso	4.31	199	37.6	
	2. Salida de Alcalinizador	8.12	220	16.5	05:00 p.m.
	3. Salida	7.48	239	3.98	
1. Ingreso	4.83	197	39.3		
2. Salida de Alcalinizador	8.22	221	15.9	07:00 p.m.	
3. Salida	7.41	237	4.01		

Nota: Comparación del ingreso y salida del sistema mediante los parámetros: pH, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y Turbidez (UNT); en el día indicado.

Tabla 30

Resultados cuarto día del sistema piloto.

Fecha	Descripción	Parámetros			Hora
		pH	CE	Turbidez	
	1. Ingreso	4.83	199	38.7	
	2. Salida de Alcalinizador	8.17	215	14.6	08:00 a.m.
	3. Salida	7.38	239	3.97	
	1. Ingreso	4.71	192	37.2	
	2. Salida de Alcalinizador	8.04	206	29.8	10:30 a.m.
	3. Salida	7.2	243	3.9	
	1. Ingreso	4.89	198	38.7	
6/02/2020	2. Salida de Alcalinizador	8.39	210	23.6	12:30 p.m.
	3. Salida	7.15	225	3.89	
	1. Ingreso	4.59	198	38.9	
	2. Salida de Alcalinizador	8.34	212	25.3	03:00 p.m.
	3. Salida	7.2	226	3.89	
	1. Ingreso	4.59	200	39.6	
	2. Salida de Alcalinizador	8.42	215	20.4	04:00 p.m.
	3. Salida	7.1	123	3.88	

Nota: Comparación del ingreso y salida del sistema mediante los parámetros: pH, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y Turbidez (UNT); en el día indicado.

En las siguientes tablas, se muestra los resultados obtenidos del efluente líquido de mina, cada resultado recibe diferente codificación, donde:

- STN2AT-01, resultado del agua tratada en el sistema piloto (salida 1) estabilización de los procesos unitarios; fecha de muestreo 04/02/2020
- STN2AT-02, resultado del agua tratada en el sistema piloto (salida 2); estabilización del sistema, fecha de muestreo 06/02/2020.

3.5.1. Comparación de resultados del sistema piloto, con los límites máximos permisibles (D.S N° 010-2010-MINAM).

Tabla 31

Comparación de resultados del sistema piloto con los límites máximos permisibles (D.S N° 010-2010-MINAM).

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Resultado STN2AT-01	Resultado STN2AT-02
Potencial de Hidrógeno		6 - 9	–	6.9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	–	<3
Aceites y Grasas	mg/L	20	–	<0.4
Cianuro total	mg/L	1	–	<0.0008
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.00682	0.00468
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.00228	0.00095
Cromo Hexavalente Total	mg/L	0.1	–	<0.003
Cobre Total	mg/L	0.5	0.2964	0.08934
Hierro Disuelto	mg/L	2	–	0.0851
Plomo Total	mg/L	0.2	0.0011	<0.0006
Mercurio Total	mg/L	0.002	<0.00009	<0.00009
Zinc Total	mg/L	1.5	0.1489	0.0381

Nota: Comparación de los parámetros fisicoquímicos del efluente en relación con la legislación.

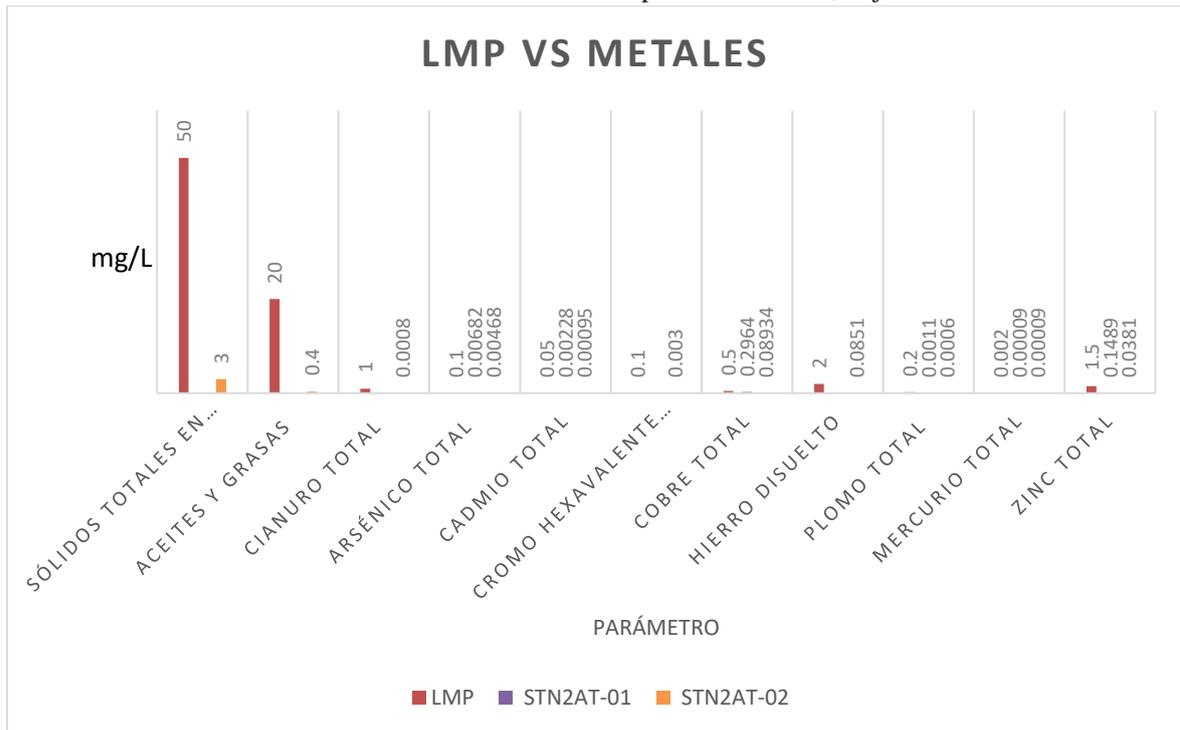


Figura 3: Comparación de los LMP con los resultados obtenidos en el sistema piloto.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Costos de construcción operación y mantenimiento de los sistemas.

Tabla 32

Comparación de costos

Etapa	Precio Sistema	
	"Convencional"	Mixto
Construcción y operación	S/ 92,548.30	S/ 95,650.80
Mantenimiento de cinco años	S/ 149,617.00	S/ 86,627.60
Total	S/ 242,165.30	S/ 182,278.40

Nota: Costos calculados a partir de la construcción y operación, y mantenimiento (pronosticado para 5 años) de los diferentes sistemas propuestos.

En la tabla 32 se observa el resumen de los costos de mercado que se realizaron para la construcción, operación y mantenimiento del Sistemas “Convencional” y Sistema Mixto, en el cual se evidencia que, el Sistema Mixto es el más adecuado para el tratamiento del efluente líquido de la mina, Nueva Esperanza – Nivel 2, ubicado en el centro poblado San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, Provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, debido a que, es más económico, además, sus procesos unitarios son convencionales y tecnológicos para tratar el agua.

Medina (2018), en su publicación “Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas acidas de Mina Paragsha Cerro de Pasco en Minera Volcan S.A.A”. Estimo que se requiere una inversión de 2 536,600 dólares para instalación de la planta de neutralización, sin embargo, en el presente trabajo de investigación se estima 182,279 soles, lo que se debe a la cantidad de caudal de agua a tratar y que ambos sistemas cuentan con distintos procesos unitarios.

4.1.2. Agua tratada en el Sistema Mixto a nivel piloto

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: Resultado pH vs punto de muestreo.

Tabla 33

Hipótesis estadística de ANOVA para pH.

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Histograma de Resultado.

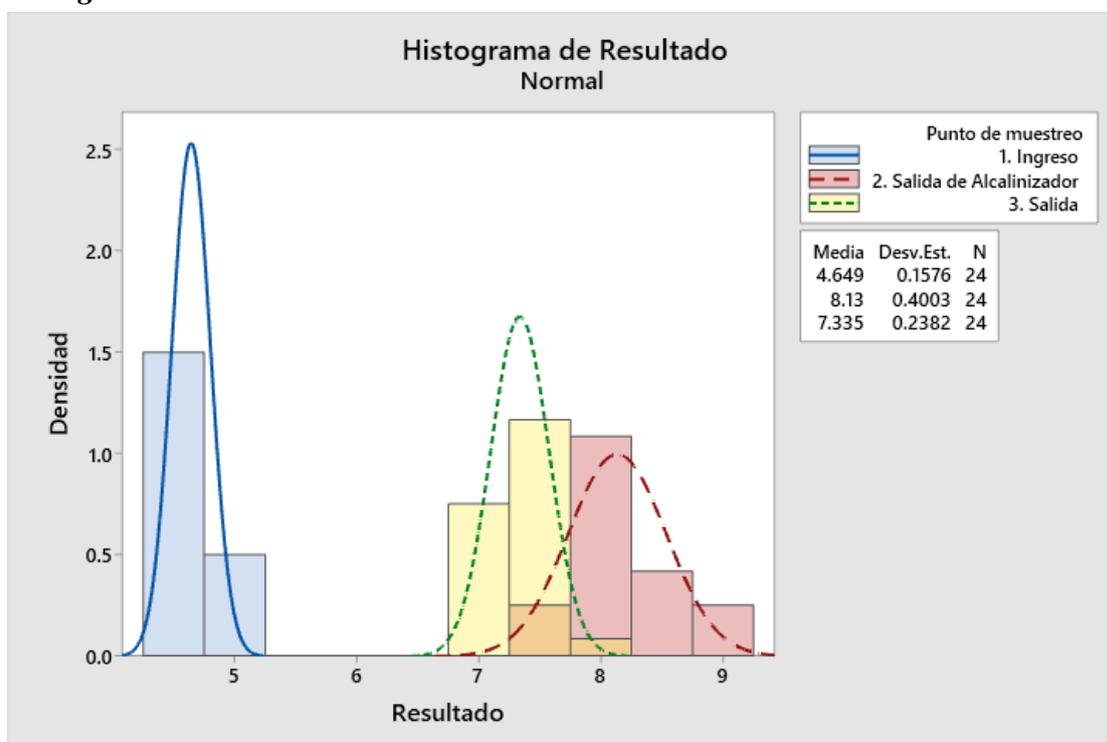


Figura 4: Histograma del resultado de pH

En la figura 4 se aprecia que, en la prueba de ingreso el efluente líquido de mina es ácido, y a medida que este tiene contacto con el sistema de tratamiento a nivel piloto, se observa que se encuentra dentro del rango establecido por la norma de LMP vigente.

Tabla 34

Resumen de los resultados de campo.

Punto de muestreo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1. Ingreso	24	4.6488	0.1576	(4.5331; 4.7644)
2. Salida de Alcalinizador	24	8.1300	0.4003	(8.0144; 8.2456)
3. Salida	24	7.3346	0.2382	(7.2190; 7.4502)

Nota: N = Número de muestras, Desv. Est. = Desviación Estándar, IC = Intervalo de Confianza.

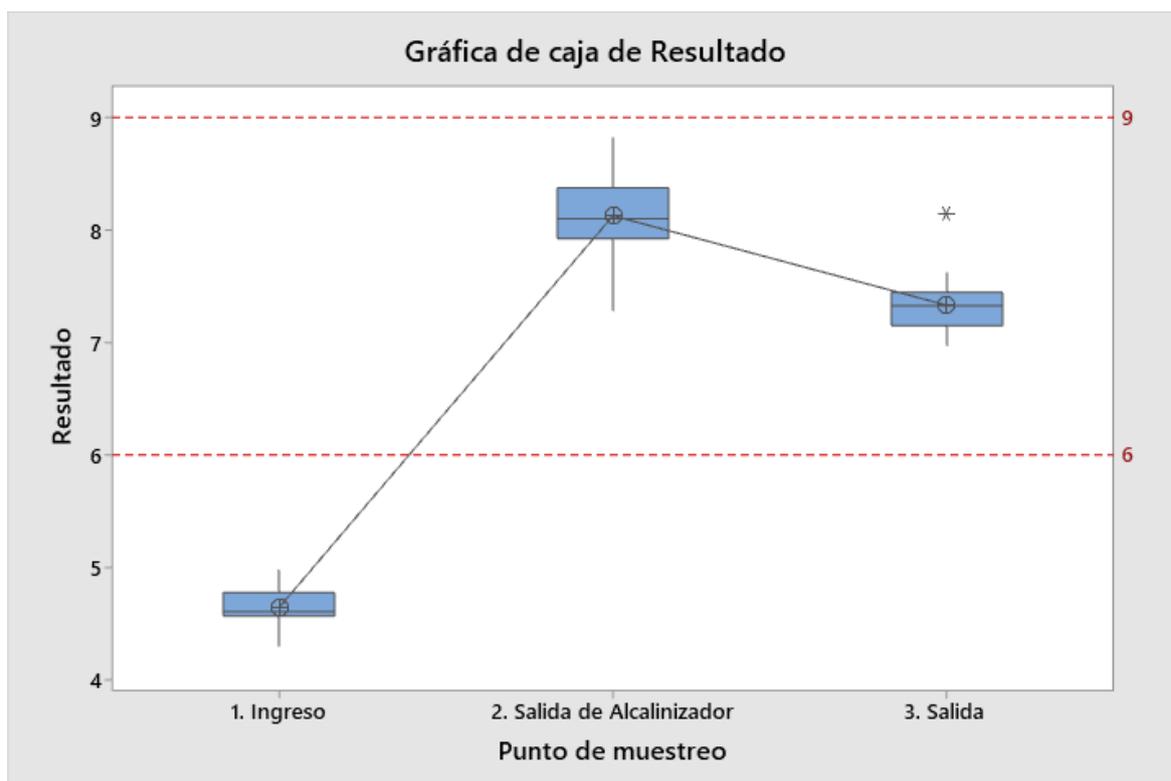


Figura 5: Gráfica de cajas del comportamiento del pH en el sistema piloto.

En la figura 5 se observa que, según el D.S N°010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, el parámetro pH (Potencial de Hidrógeno) debe encontrarse en el rango de seis a nueve para que cumpla con la norma, la media de agua que ingresa al sistema de tratamiento es de 4.6488, no cumpliendo con lo establecido, por lo que, utilizando Sistema Mixto a nivel piloto, se logró aumentar los valores del agua tratada a 7.3346, dando cumplimiento a la norma.

Además, según el estudio presentado por Calvo, Casado, Zamora y Alfonso (2013), titulado “Estudio para el tratamiento de las aguas ácidas por neutralización-precipitación en interior de la mina Santa Fé, Bolivia”, concluyó que para subir el drenaje ácido de mina necesito de 0.4 g a 0.6 g de cal por cada litro de agua para aumentar el pH a 12, sin embargo en la presente tesis para aumentar el pH a 8, se utilizó piedra caliza con una retención de 50 a 60 minutos, este proceso unitario es más lento, que la lechada de cal, pero efectivo.

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: Resultado de conductividad eléctrica vs punto de muestreo.

Tabla 35

Hipótesis estadística de ANOVA para CE.

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Histograma de resultado.

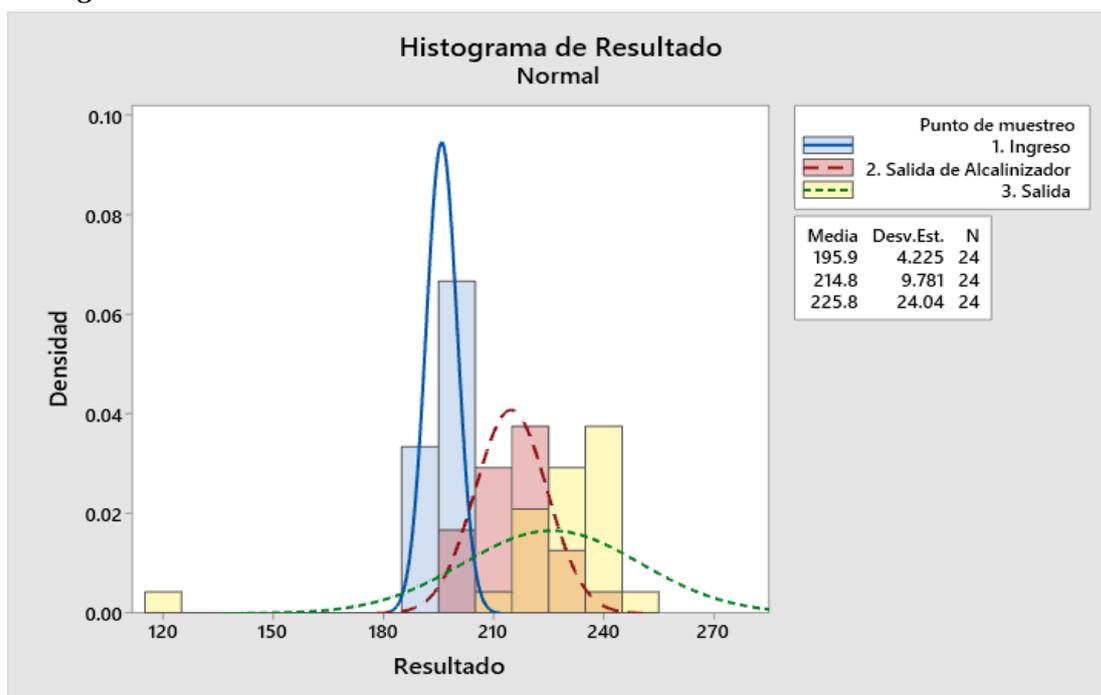


Figura 6: Histograma de resultado del parámetro de conductividad eléctrica.

En la figura 6, notamos en el histograma que la Conductividad Eléctrica aumenta su valor ligeramente desde el ingreso del efluente líquido hasta la salida del mismo, lo que favorece a una mejor conductividad eléctrica.

Tabla 36

Resumen de los resultados de campo CE.

Punto de muestreo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1. Ingreso	24	195.875	4.225	(189.693; 202.057)
2. Salida de Alcalinizador	24	214.75	9.78	(208.57; 220.93)
3. Salida	24	225.79	24.04	(219.61; 231.97)

Nota: N = Número de muestras, Desv. Est. = Desviación Estándar, IC = Intervalo de Confianza.

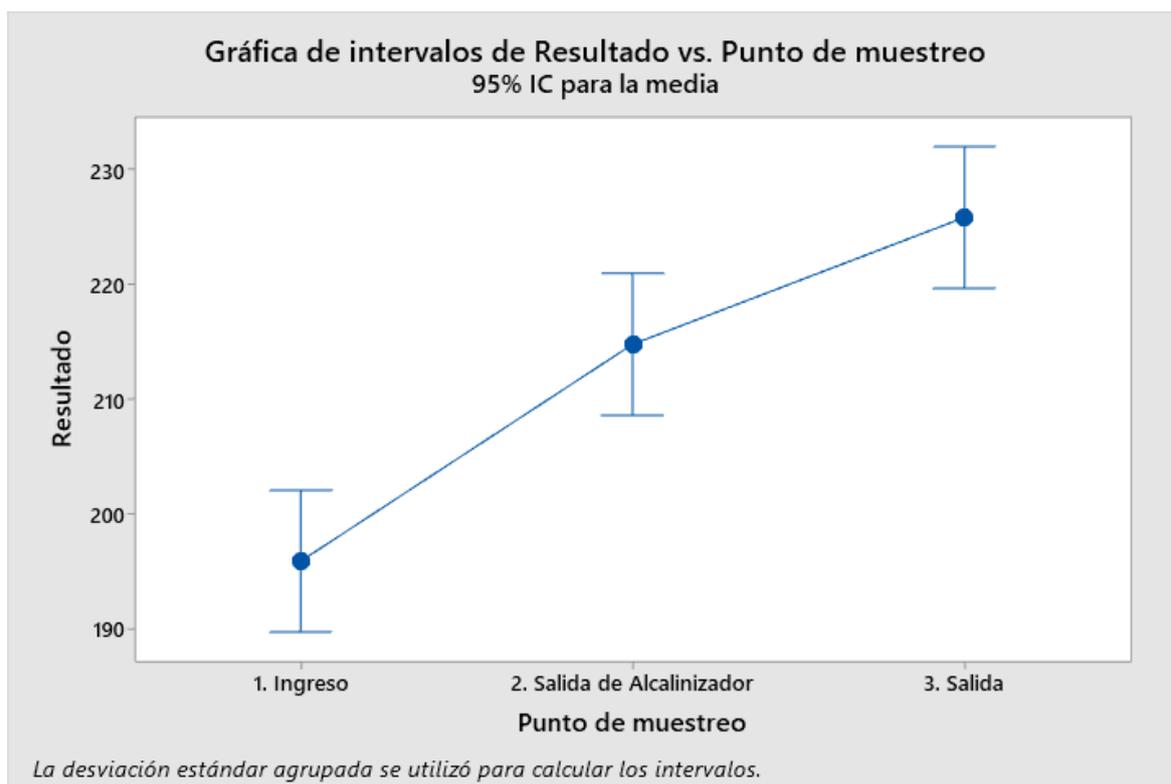


Figura 7: Gráfica de intervalos del comportamiento de la conductividad eléctrica en el sistema piloto.

En la figura 7 se observa que, según el D.S N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría tres: riego de vegetales y bebida de animales, D1: Riego de vegetales, indica que la conductividad del agua no debe superar los 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la media de los resultados del agua que ingreso al sistema de tratamiento a nivel piloto fue de 195.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y a medida que el agua paso por los procesos unitarios este aumento a un promedio 225.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose así dentro de la normativa vigente; así mismo, la conductividad eléctrica es “la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, se encuentra relacionada con la concentración de solidos disueltos totales” (Lenntech, 2019). Indicando que algunos metales disueltos han aumentado, para luego precipitar.

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: Resultado de turbiedad vs punto de muestreo

Tabla 37

Hipótesis estadística de ANOVA para CE.

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Histograma de resultado.

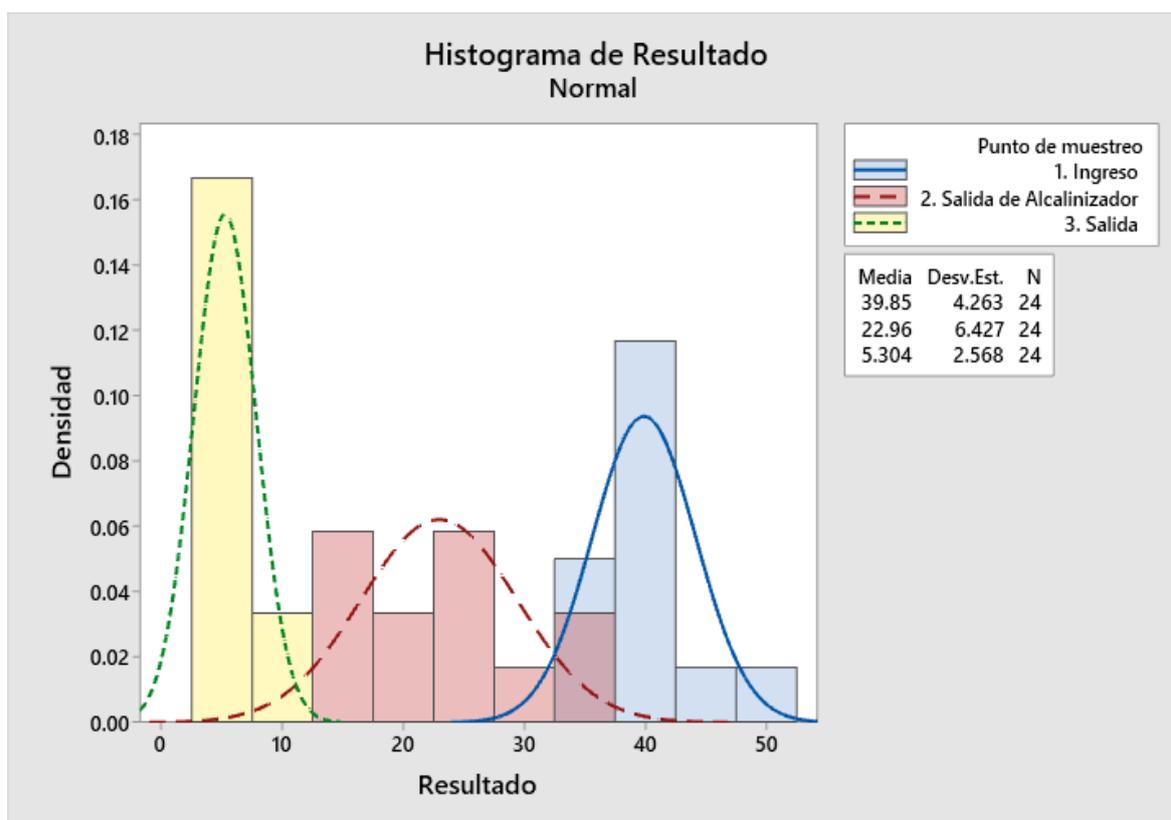


Figura 8: Histograma de resultado de la turbidez.

En la figura 8 se muestra claramente que la turbiedad disminuye considerablemente desde el punto de muestreo de ingreso del efluente líquido, hasta el punto de muestreo de salida, definiendo así un aumento considerable en la calidad del agua tratada por el Sistema Mixto a nivel piloto.

Tabla 38

Resumen de los resultados de campo turbidez.

Punto de muestreo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1. Ingreso	24	39.854	4.263	(37.943; 41.765)
2. Salida de Alcalinizador	24	22.96	6.43	(21.05; 24.87)
3. Salida	24	5.304	2.568	(3.393; 7.215)

Nota: N = Número de muestras, Desv. Est. = Desviación Estándar, IC = Intervalo de Confianza.

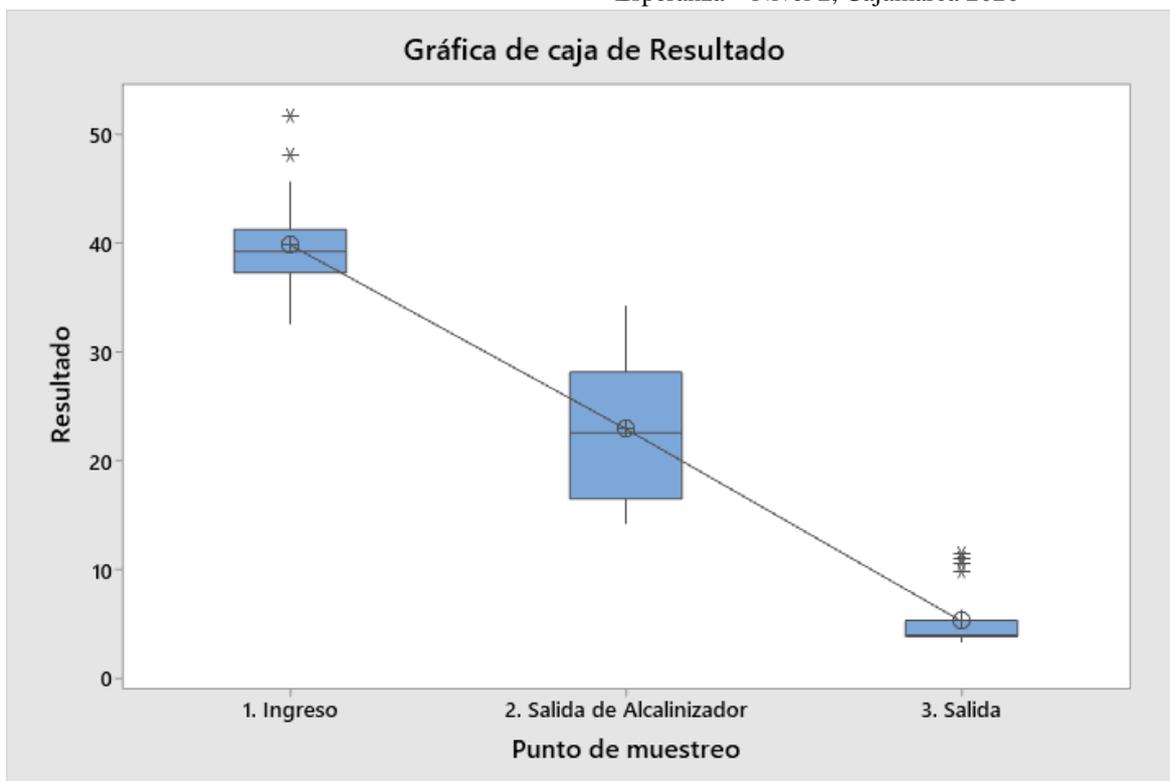


Figura 9: Gráfica de cajas del comportamiento de la turbidez en el sistema piloto.

Según la figura 09, grafica de cajas del comportamiento de la turbidez, se puede evidenciar que, cuando el agua pasa por los procesos unitarios del sistema piloto, estas medidas van disminuyendo, esto es debido a que las partículas sedimentaron y fueron filtradas.

La media de ingreso del efluente líquido de mina es de 39.854 UNT, según el D.S N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 1: Poblacional y recreacional, A2: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, indica que la Turbiedad del agua no debe superar los 100 UNT, encantándose este parámetro dentro de lo que establece la norma, sin embargo, después que al agua paso por el sistema piloto la turbidez disminuyo a 5.304 UNT, mejorando la calidad de esta.

4.1.3. Comparación de los metales, antes, durante y después del sistema piloto.

Tabla 39

Comparación de hierro disuelto, zinc, cobre, arsénico y cadmio con límites máximos permisibles.

Parámetro	Ingreso	Salida 1	Salida 2	LMP
Hierro Disuelto ($\mu\text{g/L}$)	58.9	85.1	0	2000
Zinc Total ($\mu\text{g/L}$)	301.8	148.9	38.1	1500
Cobre Total ($\mu\text{g/L}$)	1340.35	296.4	89.34	500
Arsénico Total ($\mu\text{g/L}$)	17.85	6.82	4.68	100
Cadmio Total ($\mu\text{g/L}$)	26.15	2.28	0.95	50

Nota: Ingreso = Resultados de la caracterización del agua, Salida 1 = Resultados intermedios del sistema piloto, Salida 2 = Resultados finales del sistema piloto, LMP = límites máximos permisibles para la descarga efluentes líquidos Minero.

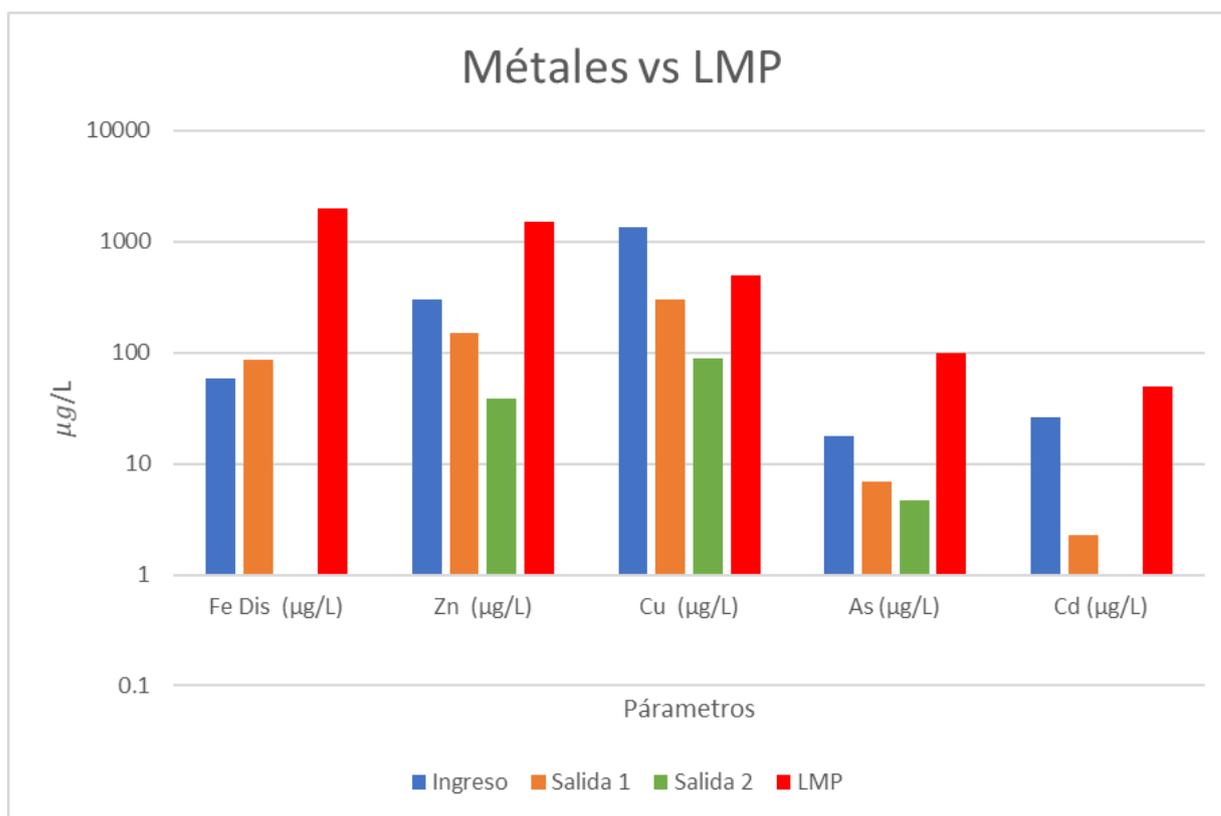


Figura 10: Comparación de hierro disuelto, zinc, cobre, arsénico y cadmio con límites máximos permisibles.

En la figura 10 se observa que según el D.S N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos los metales Hierro disuelto, Zinc total, Arsénico total y Cadmio total, cumplen con lo establecido en la norma vigente en todas los monitoreos; Sin embargo, el Cobre total, sobrepasa los LMP en el punto de ingreso, después del pasar por el Sistema Mixto piloto este metal cumple con lo requerido en la norma.

Por otro lado, en el estudio presentado por Caraballo, Macías, Nieto y Ayora (2010), donde la metodología utilizada consistió en tratar el agua con material calizo, concluyendo que este alcanzo una elevada eficiencia en la eliminación de contaminantes metálicos, por lo que se puede determinar que al elevar el pH a un determinado rango este produce que los metales se precipiten, tal y como se muestra en la figura 10 con el parámetro de Cobre total, donde se tuvo que elevar el pH a 8, logrando los resultados requeridos.

Tabla 40

Comparación de plomo con límites máximos permisibles.

Parámetro	Ingreso	Salida 1	Salida 2	LMP
Plomo Total (mg/L)	0.0033	0.0011	0.0006	0.2

Nota: Ingreso = Resultados de la caracterización del agua, Salida 1 = Resultados intermedios del sistema piloto, Salida 2 = Resultados finales del sistema piloto, LMP = Límites Máximos Permisibles para la descarga efluentes líquidos Minero.

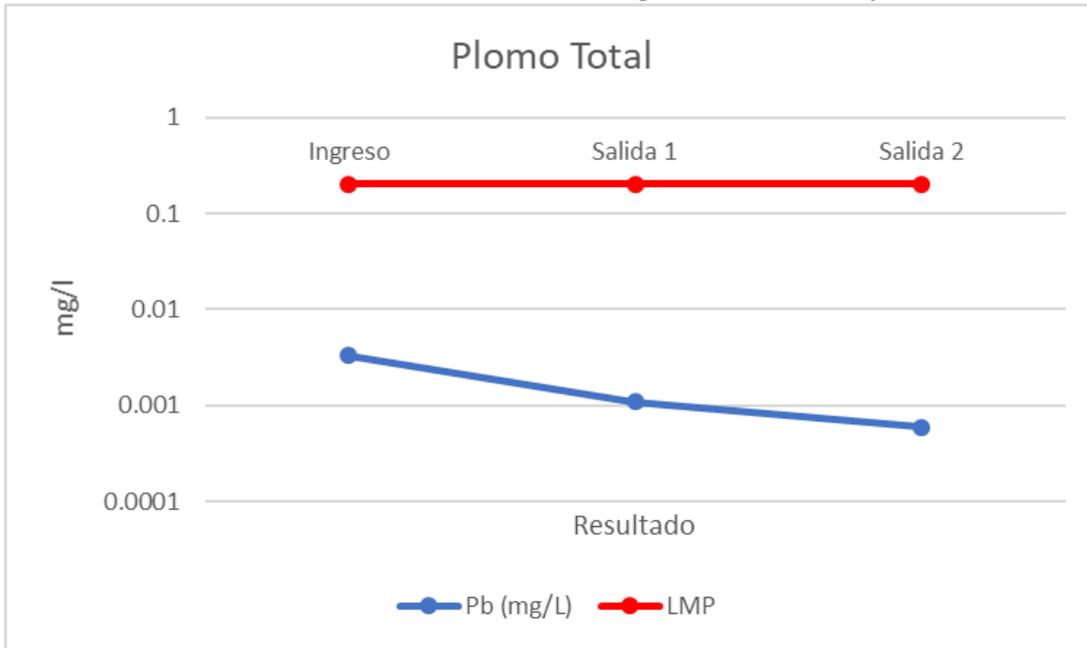


Figura 11: Comparación del plomo con límites máximos permisibles.

En la figura 11 se evidencia que según el D.S N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, el parámetro de Plomo total en los tres monitoreos realizados, se obtienen valores, que se encuentran por debajo LMP, que establece la norma vigente.

Tabla 41

Comparación de mercurio con límites máximos permisibles.

Parámetro	Ingreso	Salida 1	Salida 2	LMP
Mercurio Total (mg/L)	0.00012	0.00009	0.00009	0.002

Nota: Ingreso = Resultados de la caracterización del agua, Salida 1 = Resultados intermedios del sistema piloto, Salida 2 = Resultados finales del sistema piloto, LMP = Límites Máximos Permisibles para la descarga efluentes líquidos Minero.

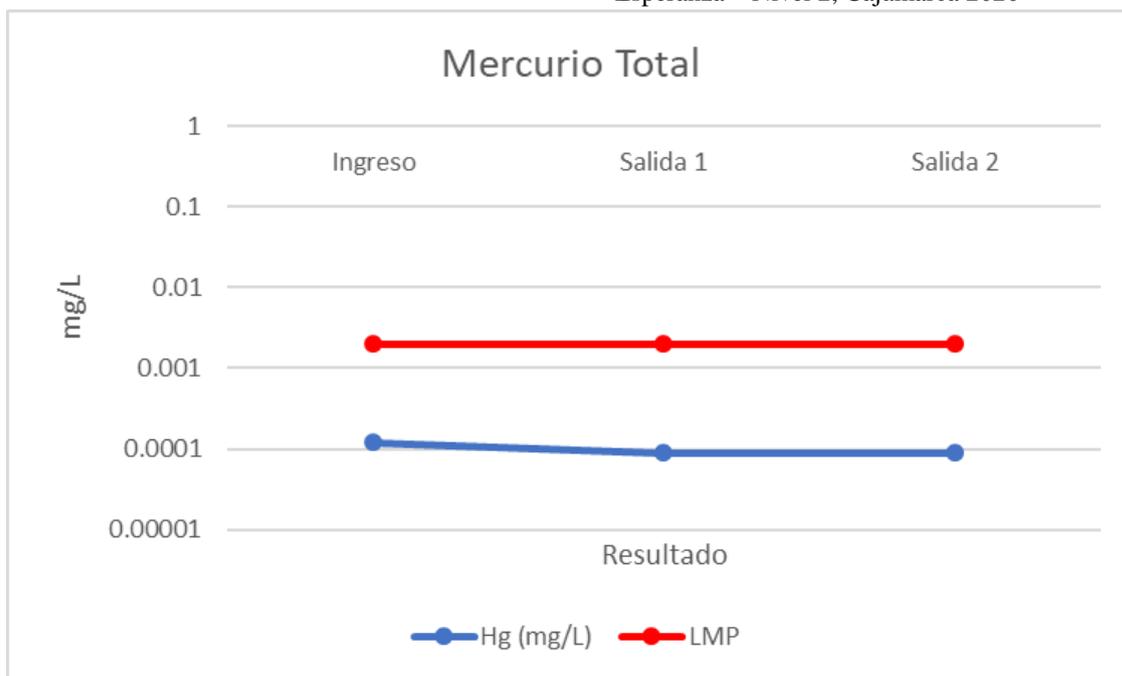


Figura 12: Comparación de mercurio con límites máximos permisibles.

En la figura 12 se observa que según el D.S N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, el parámetro de Mercurio total, en los tres monitoreos, se encuentran por debajo LMP, que establece la norma vigente mencionada.

Tabla 42

Comparación de aceites y grasas con límites máximos permisibles.

Parámetro	Ingreso	Salida 2	LMP
Aceites y grasas (mg/L)	0.4	0.4	20

Nota: Ingreso = Resultados de la caracterización del agua, Salida 2 = Resultados finales del sistema piloto, LMP = Límites Máximos Permisibles para la descarga efluentes líquidos Minero.

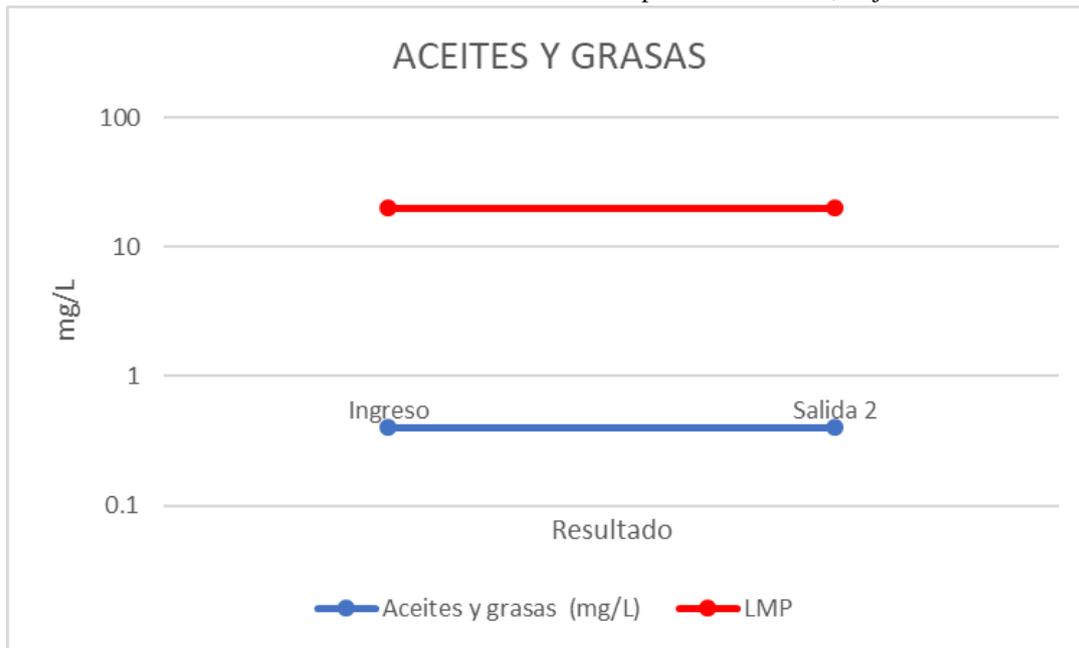


Figura 13: Comparación de aceites y grasas con límites máximos permisibles.

En la figura 13 se observa que según el D.S N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, el parámetro de Aceites y Grasas, en los dos monitoreos, se encuentran por debajo LMP, que establece la norma vigente mencionada.

Tabla 43

Comparación de cianuro con límites máximos permisibles.

Parámetro	Ingreso	Salida 2	LMP
Cianuro Total (mg/L)	0.0008	0.0008	1

Nota: Ingreso = Resultados de la caracterización del agua, Salida 2 = Resultados finales del sistema piloto, LMP = Límites Máximos Permisibles para la descarga efluentes líquidos Minero.

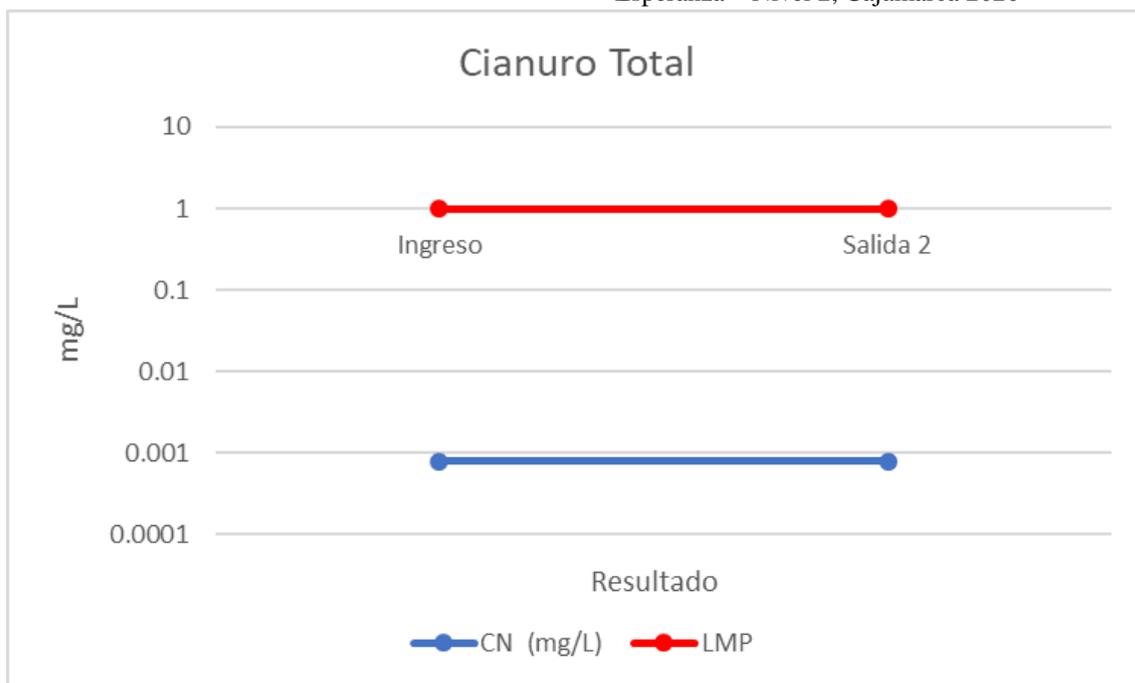


Figura 14: Comparación de cianuro con límites máximos permisibles.

Según el D.S N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, el parámetro de Cianuro, en los dos monitoreos, se encuentran por debajo LMP, que establece la norma vigente mencionada.

Tabla 44

Comparación de cromo hexavalente con límites máximos permisibles.

Parámetro	Ingreso	Salida 2	LMP
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.003	0.003	0.1

Nota: Ingreso = Resultados de la caracterización del agua, Salida 2 = Resultados finales del sistema piloto, LMP = Límites Máximos Permisibles para la descarga efluentes líquidos Minero.

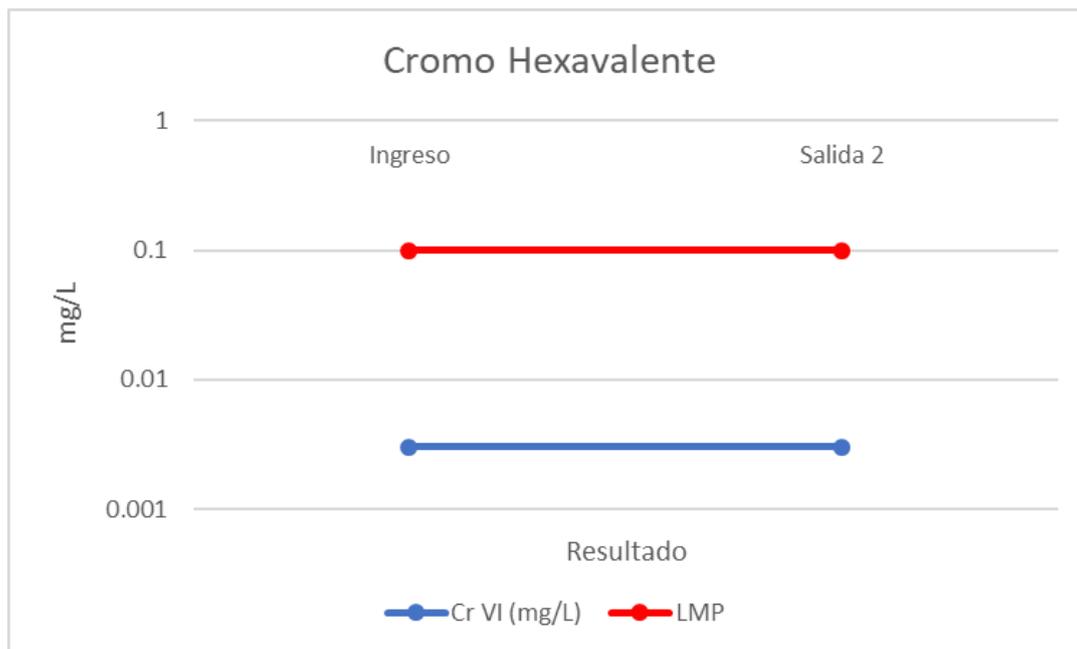


Figura 15: Comparación de cromo hexavalente con límites máximos permisibles.

En la figura 15 se observa que según el D.S N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, el parámetro de Cromo Hexavalente, en los dos monitoreos, se encuentran por debajo LMP, que establece la norma vigente mencionada.

Tabla 45

Comparación de sólidos totales suspendidos con límites máximos permisibles.

Parámetro	Ingreso	Ingreso 2 (*)	Salida 2	LMP
Sólidos Totales en Suspensión (mg/L)	23	252	3	50

Nota: Ingreso 2 (*), fue evaluado en el laboratorio INNODEVEL; Ingreso y Salida 2, fueron valorados en el laboratorio de SGS, además Ingreso = Resultados de la caracterización del agua, Ingreso 2 (*) = Resultados iniciales de cómo se encuentra efluente, LMP = Límites Máximos Permisibles para la descarga efluentes líquidos Minero.

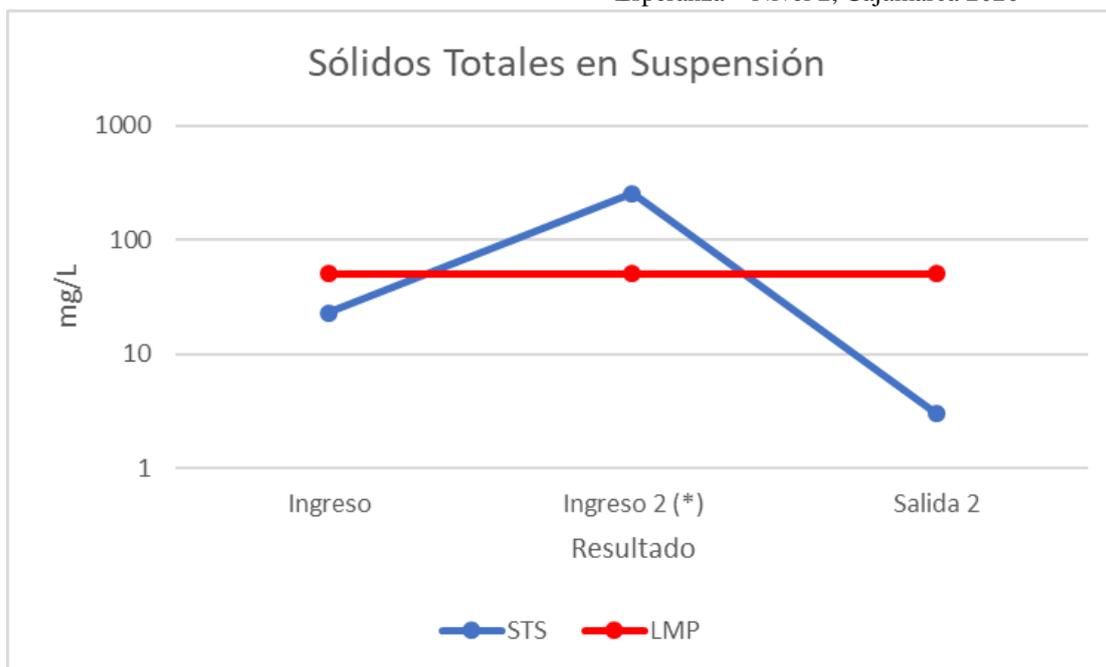


Figura 16: Comparación de sólidos totales suspendidos con límites máximos permisibles.

En la figura 16 se observa que para el parámetro Sólidos Totales en Suspensión los monitoreos de ingreso y salida 2 se encuentra por debajo de los Límites máximos permisibles según el D.S N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, sin embargo, en el ingreso 2 (*), se evidencia que sobrepasa los LMP, la toma de muestra *ingreso 2 (*)*, se realizó cuando hubo alta actividad en interior de mina, los resultados fueron obtenidos en el laboratorio ambiental Innodevel.

4.2. Conclusiones

- Se diseñó dos sistemas de tratamiento; Sistema “Convencional” y Sistema Mixto, además se evaluó a escala piloto el mejor sistema de tratamiento para el efluente líquido de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, ubicado en el centro poblado San Miguel de Algamarca, el seleccionado fue el Sistema Mixto, compuesto por siete procesos unitarios: 1. Sedimentador, 2. Filtro rápido a ascendente, 3. Alcalinizador - Sedimentador, 4. Tanque de alimentación, 5. Tanque Hidroneumático, 6. Filtro Turbiclean, y 7. Tanque de almacenamiento; por otro lado, se tendrá dos procesos unitarios secundarios o de complemento: 1. Secado de lodos y 2. Agua de lodos.
- Se determinó las características del efluente líquido de la Mina Nueva Esperanza – Nivel 2, en base a los Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, del centro poblado San Miguel de Algamarca, obteniendo que el pH (4.35) y el Cobre total (1.34035 mg/L) no cumplen con la normativa vigente, los otros parámetros como: Sólidos Totales en Suspensión, Aceites y Grasas, Cianuro total, Arsénico total, Cadmio total, Cromo Hexavalente, Hierro (disuelto), Plomo total, Mercurio total, Zinc total; se encuentran dentro de los límites en cualquier momento según el D.S N°010-2010-MINAM.
- Se evaluó los procesos unitarios que conforman los sistemas de tratamiento, de los cuales, el proceso unitario de sedimentación y alcalinización fueron realizadas en el laboratorio Innodevel (pruebas batch), estos dos procesos fueron efectivos para aumentar el pH con piedra caliza y verificar como disminuye la turbidez al pasar los minutos, las pruebas se realizaron con efluente de la mina Nueva

Esperanza – Nivel 2, del centro poblado San Miguel de Algamarca, logrando cumplir con los parámetros descritos en los Límites Máximos Permisibles.

- Se estimó los costos de construcción, mantenimiento y operación de los sistemas de tratamiento de agua, para el Sistema “Convencional” S/ 242,165.30 y para el Sistema Mixto S/ 182,278.40, concluyendo que el más económico para la mina Nueva Esperanza – Nivel 2, del centro poblado San Miguel de Algamarca es el Sistema Mixto.
- Se determinó que los contaminantes que superan los Límites Máximos Permisibles, pH y Cobre total, cumplen con la norma vigente, debido a que los LMP para pH es de 6 - 9 y para el Cobre total su LMP es de 0.5 mg/L, el resultado del agua tratada en Sistema Mixto a nivel piloto de la mina Nueva Esperanza – Nivel 2 del centro poblado San Miguel de Algamarca, para pH fue de 6.9 y para Cobre total fue de 0.08934 mg/L, cumpliendo así con lo dispuesto en el D.S N°010-2010-MINAM.

REFERENCIAS

- American Water Works Association (2002). *Calidad y tratamiento del agua: Manual de suministros de agua comunitaria* (ed. 5). España: McGraw-Hill.
- American Water Works Association (2012). *Water treatment plant design*. McGraw-Hill
- Ayora, C., Rötting, T., Caraballo, M., & Nieto, J. (2007). *DAS: Un sistema pasivo novedoso de tratamiento de aguas de mina con altas concentraciones de metales*. Barcelona. MACLA, pp. 72.
- Bakieva, M., González Such, J., & Jornet, J. (2010). *SPSS: Anova de un factor*. Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa.
- Cadorin, L., Carissimi, E., & Rubio, J. (2007). *Avances en el tratamiento de aguas ácidas de minas* (vol. 1). Scientia et Technica, pp 849,853.
- Calvo, D., Casado, J., Zamora, G., & Alfonso, P. (2013). *Estudio para el tratamiento de las aguas ácidas por neutralización-precipitación en el interior de la mina Santa Fé, Bolivia*. Libro de actas del III congreso internacional de geología y minería ambiental para el ordenamiento territorial y el desarrollo. (pp. 297-310). Cardona.
- Caminati Briceño, A. M., & Caqui Febre, R. C. (2013). *Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la universidad de Piura*. Piura.
- Caraballo Monge, M., Mecías Suárez, F., Nieto Liñan, J., & Ayora Ibañez, C. (2010). *Tratamiento pasivo de aguas ácidas de mina: Evaluación de la eficiencia de un sistema a escala real en la mina Esperanza*. MACLA.
- Eugene, R. W. (2013). *Applications of Enviromental Aquatic Chemistry* (ed. 3). United States: Taylor & Francis Group.

Fernández C. A. (diciembre 2012). *El agua: Un recurso esencial* (vol. 11). Argentina: *Química Viva*. pp 147-170.

Heredia Cáceres, M. L. (2015). *Remoción de Cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante*. Lima.

Hernandez, P. (2018). *Mejores prácticas para prevenir falsos positivos y negativos para metales disueltos*. ALS.

Hernández Sapieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-HILL.

LENNTECH, (20 de agosto de 2019). Turbidez. Recuperado de <https://www.lenntech.es/turbidez.htm>

LENNTECH, (20 de agosto de 2019). Conductividad del agua. Recuperado de <https://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>

López Gutiérrez, H. (2011). *Tratamiento anaeróbico de aguas ácidas de mina con travertino y compost a escala de laboratorio*. Huancayo.

Maldonado Yactayo V. (2002), Capítulo 7: *Sedimentación*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf>

Pourbaix Marcel (1966). *Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions* (vol.2). National Association of Corrosion Engineers.

Medina Quispe, R. J. (2018). *Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de Mina Paragsha Cerro de Pasco en Minera Volcan S.A.A.*

Morales Escalante, J. E. (2016). *Remoción de sulfatos del efluente del sistema de refrigeración de una central termoeléctrica de ciclo combinado mediante la precipitación química de la Etringita*.

Merisac (s.f). Turbiclean, Filtración avanzada, recuperado de:

http://www.merinsa.com/pdf/industriales/equipos/FiltroTurbiCleanMerinsacSimple_Magnum.pdf

Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* (ed. 3). España.

Peñuela, G., & Morató, J. (2005). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. RED ALFA TECSPAR (Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales).

Peters, M., & Timmerhaus, K. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers*. McGRAW-HILL.

Ponce Ochoa, E. (2005). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada, Capítulo 3: Filtración*. Mexico. Universidad de las Américas Puebla.

Presidente de la República. (21 de agosto de 2010). *Aprueban Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas*. [Decreto Supremo N°010-2010-MINAM. Perú. Diario oficial el Peruano.

Presidente de la República. (7 de junio de 2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. [Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Perú. Diario oficial el Peruano.

Quispe Coica, F. A. (2016). *Remoción de Arsénico (As) de efluente minero en la unidad de producción de Marañón de compañía minera Poderosa, mediante la adición de cloruro férrico*.

Ramírez Sangay, F., & Días Uriarte, J. L. (2019). *Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Mejorar la Calidad del Agua Residual de las Piscinas Municipales del Distrito de Baños del Inca -2018*. Cajamarca: UPAGU

Rice, E.W., & Baird, A. D. (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater (ed. 23)*. American Water Works Assosation.

Rimarachin Varas P. (2015), *Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales*. Trujillo: UNT

Sgier, H., Macías, F., Nieto, J. M., & Rötting, T. (2015). *Diseño de una planta piloto para el tratamiento pasivo de drenaje acido de mina. artículo técnicos*, pp.70-75.

Zamora Carranza D. R. (2015). *Diseño de un tanque hidroneumático para agua potable según la norma ASME*. Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral.

ANEXOS

Anexo n.º 1. Toma de muestras para la caracterización del efluente minero



Figura 17: Tesista realizando la toma de muestras para la caracterización del efluente minero.



Figura 18: Conservación y etiquetado de las muestras, para enviarlo al laboratorio SGS.

**Anexo n.º 2. Evaluación de procesos unitarios en Sistema Batch en el laboratorio
Innodevel**



Figura 19: Proceso unitario de sedimentación.



Figura 20: Pesado y llenado de la piedra caliza a los vasos de precipitación.



Figura 21: Proceso unitario, para aumentar el pH del efluente minero.

Anexo n.º 3. Construcción y toma de muestras del sistema piloto.



Figura 22: Secado de la piedra caliza y de piedra de río.



Figura 23: Tachos de agua, micas y multiparámetros para el sistema piloto



Figura 24: Filtro ascendente y alcalinizador respectivamente.



Figura 25: Sistema piloto armado.



Figura 26: Monitoreo de los parámetros de conductividad, pH, turbidez.



Figura 27: Observación de la estética del agua tratada



Figura 28: Tesista tomando muestras del sistema piloto (STN2AT-01 y STN2AT-02)



Figura 29: Diferencia de agua que ingresa con el agua que sale en el sistema piloto.

Anexo n.º 4. Presupuesto detallado de costos de construcción de los sistemas.

Tabla 46

Presupuesto detallado del Sistema "Convencional"

Ítem	Partida	Unid.	Metrado	Precio Unitario (S/)	Parcial (S/)
1	Construcción de Sistema				65,358.97
1.1	Obras provisionales y preliminares				345.23
1.1.1	Limpieza manual del terreno	m ²	133.81	1.76	235.51
1.1.2	Trazo y replanteo de ejes y niveles	m ²	133.81	0.82	109.72
1.2	Movimiento de tierra				675.74
1.2.1	Nivelación, refíne y compactación.	m ²	133.81	5.05	675.74
1.3	Obras de concreto simple				113.91
1.3.1	Concreto para solados (Espesor = 0.10 m)	m ³	4.54	25.09	113.91
1.4	Obras de concreto armado				60,724.09
1.4.1	Losa de fondo				12,103.37
1.4.1.1	Concreto F'C=210 kg/cm ²	m ³	26	340.26	8,846.76
1.4.1.2	Encofrado/ Desencofrado Normal	m ²	4.6	27.95	128.57
1.4.1.3	Acero F'Y 4,200 kg/cm ²	m ²	789.91	3.96	3,128.04
1.4.2	Pantalla				13,968.66
1.4.2.1	Concreto F'C=210 kg/cm ²	m ³	17.3	338.2	5,850.86
1.4.2.2	Encofrado/ Desencofrado Normal	m ²	184	43.15	7,939.60
1.4.2.3	Acero F'Y 4200 kg/cm ²		45	3.96	178.20
1.4.3	Caseta de Válvula				269.01
1.4.3.1	Concreto F'C=140 kg/cm ²	m ³	0.52	379.53	197.36
1.4.3.2	Tubería PVC		1	71.65	71.65
1.4.4	Acabados				2,846.48
1.4.4.1	Tarrajeo (Espesor = 2.0 cm)	m ²	184	15.47	2,846.48
1.4.5	Material Para Filtro				24,356.60
1.4.5.1	Imprevistos		1	1,500.00	1,500.00
1.4.5.2	Material tratado		1	22,856.60	22,856.60
1.4.6	Tanque de Almacenamiento de Agua				3,563.00
1.4.6.1	Tanque Rotoplas de 5000 L	m ³	1	3,563.00	3,563.00
1.4.7	Secado de lodos				3,616.97
1.4.7.1	Concreto F'C=210 kg/cm ²	m ³	3	379.53	1,138.59
1.4.7.2	Encofrado/ Desencofrado Normal	m ²	6	43.15	258.90
1.4.7.3	Acero F'Y 4200 kg/cm ²		54	3.96	213.84
1.4.7.4	Tubería PVC		5	4	20.00
1.4.7.5	Tarrajeo (Espesor = 2.0 cm)	m ²	12	15.47	185.64
1.4.7.6	Techo	m ²	15	120	1,800.00
1.5	Transporte de Material		1	3500	3,500.00
	COSTO DIRECTO				65,358.97
	SUPERVISIÓN DE OBRA 10 %				6,535.90
	UTILIDAD 10%				6,535.90
	SUB TOTAL				78,430.76

IGV 18%	14,117.54
TOTAL PRESUPUESTO	92,548.30

Nota: Costos actualizados y modificados de Innodevel.

Tabla 47

Presupuesto detallado del Sistema Mixto

Ítem	Partida	Unidad	Metrado	Precio Unitario (S/)	Parcial (S/)
1	CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE TRATAMIENTO.				67,550.0
1.1	Obras provisionales y preliminares				345.23
1.1.1	Limpieza manual de terreno	m ²	133.81	1.76	235.51
1.1.2	Trazo y replanteo de ejes y niveles	m ²	133.81	0.82	109.72
1.2	Movimiento de tierra				675.74
1.2.1	Nivelación, refine y Compactación.	m ²	133.81	5.05	675.74
1.3	Obras de concreto simple				113.91
1.3.1	Concreto Para Solados (Espesor = 0.10 m)	m ³	4.54	25.09	113.91
1.4	Obras de concreto armado				35,602.49
1.4.1	Losa de fondo				12,103.37
1.4.1.1	Concreto F'C=210 kg/cm ²	m ³	26	340.26	8,846.76
1.4.1.2	Encofrado/ Desencofrado Normal	m ²	4.6	27.95	128.57
1.4.1.3	Acero F'Y 4200 kg/cm ²		789.91	3.96	3128.04
1.4.2	Pantalla				13,968.66
1.4.2.1	Concreto F'C=210 kg/cm ²	m ³	17.3	338.2	5,850.86
1.4.2.2	Encofrado/ Desencofrado Normal	m ²	184	43.15	7,939.60
1.4.2.3	Acero F'Y 4200 kg/cm ²		45	3.96	178.20
1.4.3	Caseta De Válvula				269.01
1.4.3.1	Concreto F'C=140 kg/cm ²	m ³	0.52	379.53	197.36
1.4.3.2	Tubería PVC		1	71.65	71.65
1.4.4	Acabados				2,846.48
1.4.4.1	Tarrajeo (Espesor = 2.0 cm)	m ²	184	15.47	2,846.48
1.4.5	Secado de lodos				3,616.97
1.4.5.1	Concreto F'C=210 kg/cm ²	m ³	3	379.53	1,138.59
1.4.5.2	Encofrado/ Desencofrado Normal	m ²	6	43.15	258.90
1.4.5.3	Acero F'Y 4200 kg/cm ²		54	3.96	213.84
1.4.5.4	Tubería PVC		5	4	20.00
1.4.5.5	Tarrajeo (Espesor = 2.0 cm)	m ²	12	15.47	185.64
1.4.5.6	Techo	m ²	15	120	1,800.00
1.4.6	Hidroneumático				2,798.00
1.4.6.1	Hidroneumático 100 L		1	1,999.00	1,999.00
1.4.6.2	Bomba de Presión 1 Hp		1	799.00	799.00
1.5	Filtro Multimedia				13,160.00
1.5.1	Filtro Multimedia		1	9,860.00	9,860.00

1.5.2	Conexiones		1	800.00	800.00
1.5.3	Instalación		1	2,500.00	2,500.00
1.6	Tanque de almacenamiento de agua				3,563.00
1.6.1	Tanque Rotoplas de 5000 L	m ³	1	3,563.00	3,563.00
1.7	Material Tratado				9,089.60
1.7.1	Material Para Filtro Ascendente y Alcalinizador		1	9,089.60	9,089.60
1.8	Imprevistos		1	1,500.00	1,500.00
1.9	Transporte		1	3,500.00	3,500.00
	COSTO DIRECTO				67,549.97
	SUPERVISIÓN DE OBRA 10%				6,755.00
	UTILIDAD 10%				6,755.00
	SUB TOTAL				81,059.96
	IGV 18%				14,590.79
	TOTAL PRESUPUESTO				95,650.75

Nota: Costos actualizados y modificados de Innodevel.

Anexo n.º 5. Diagrama de Pourbaix para Cobre

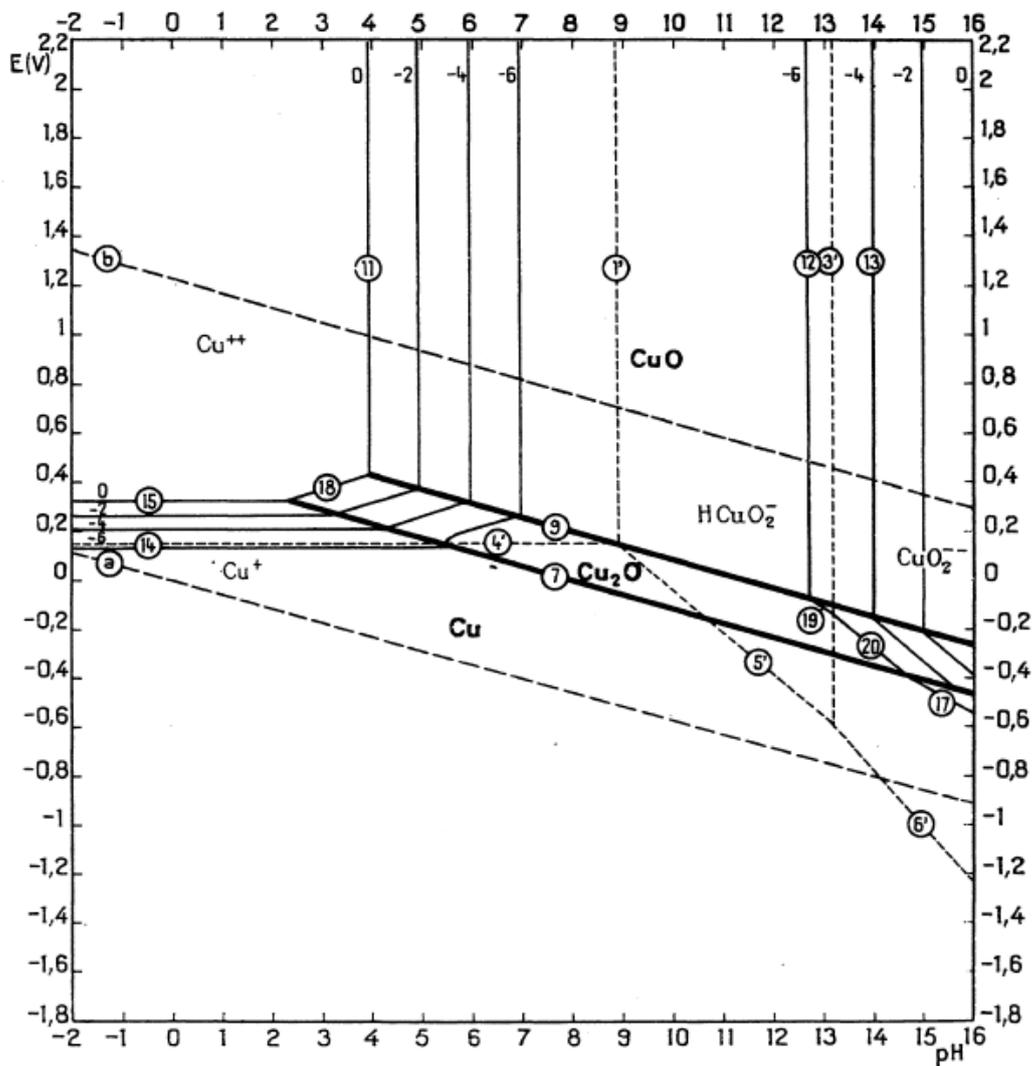
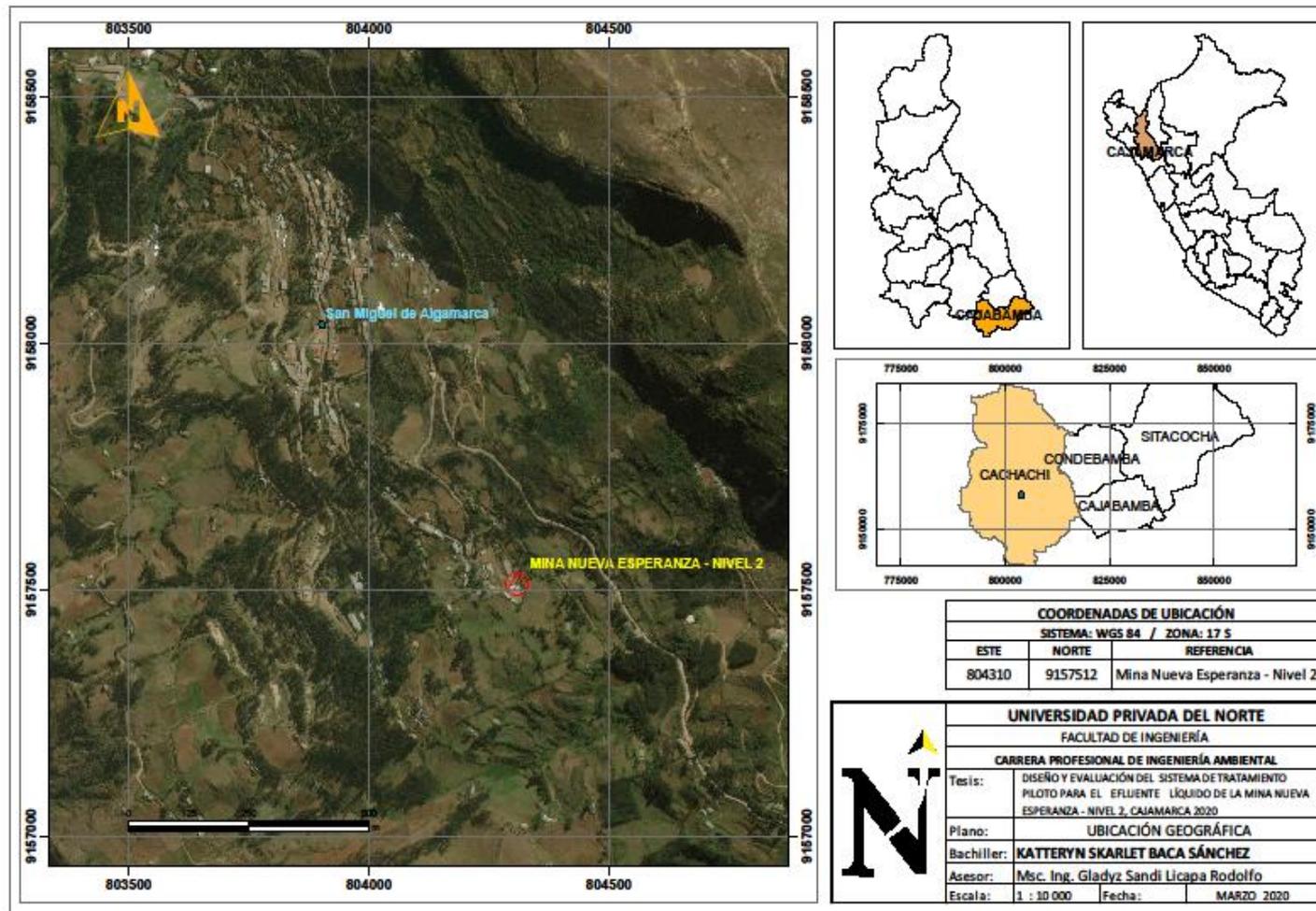


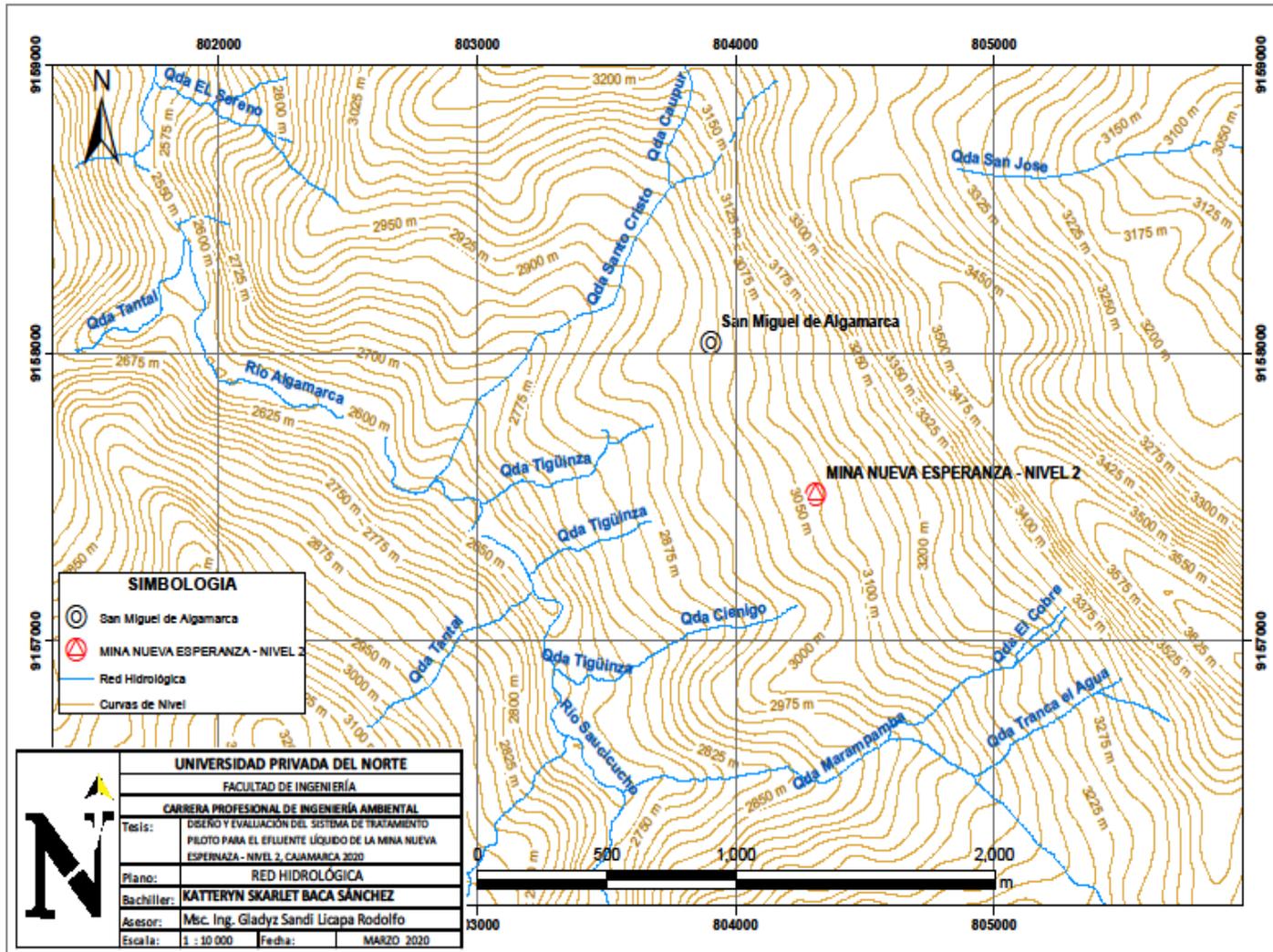
Figura 30: Diagrama de Pourbaix para Cobre.

Fuente: Pourbaix Marcel, 1974, pp.89.

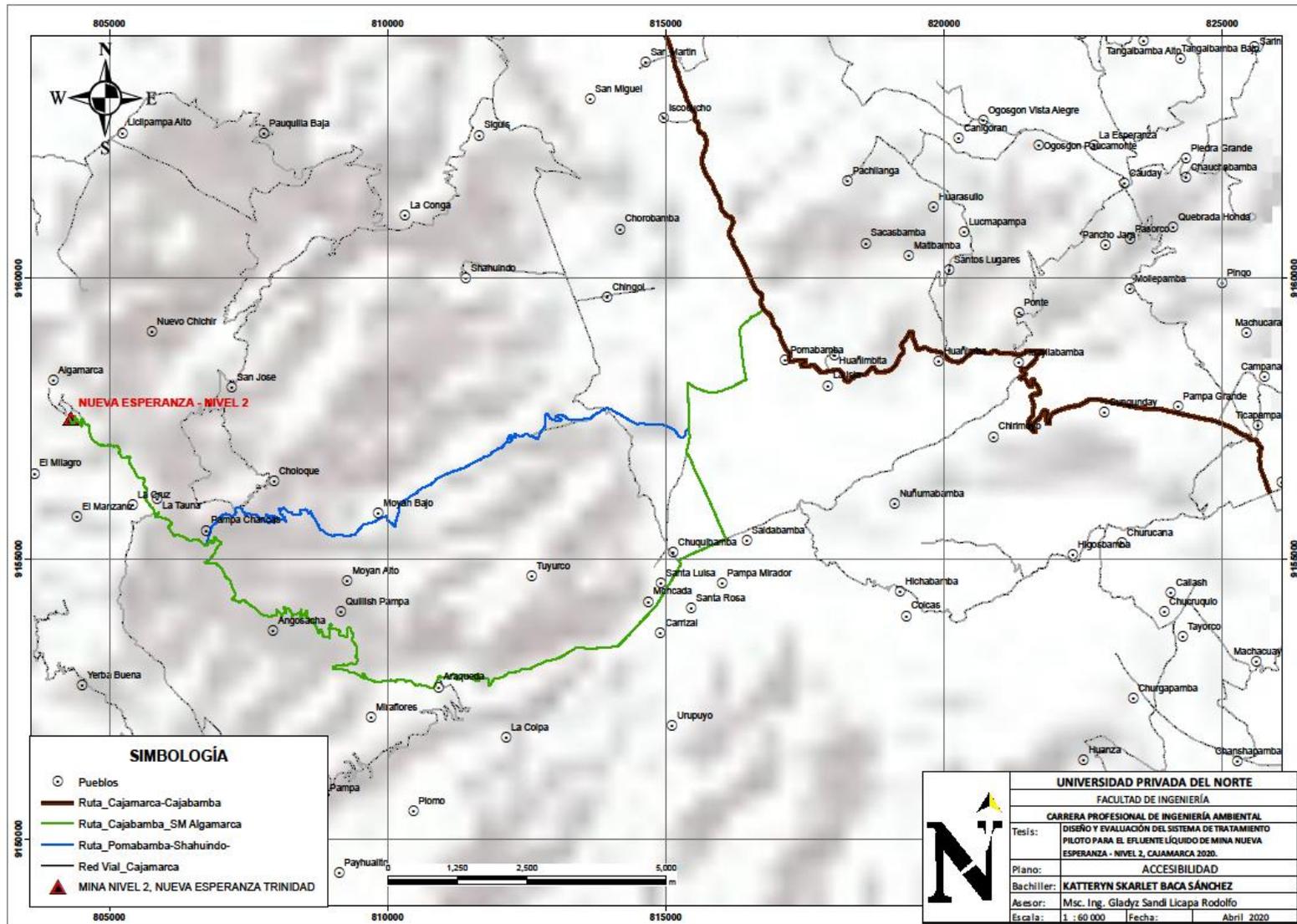
Anexo n° 6. Plano de Ubicación Geográfica



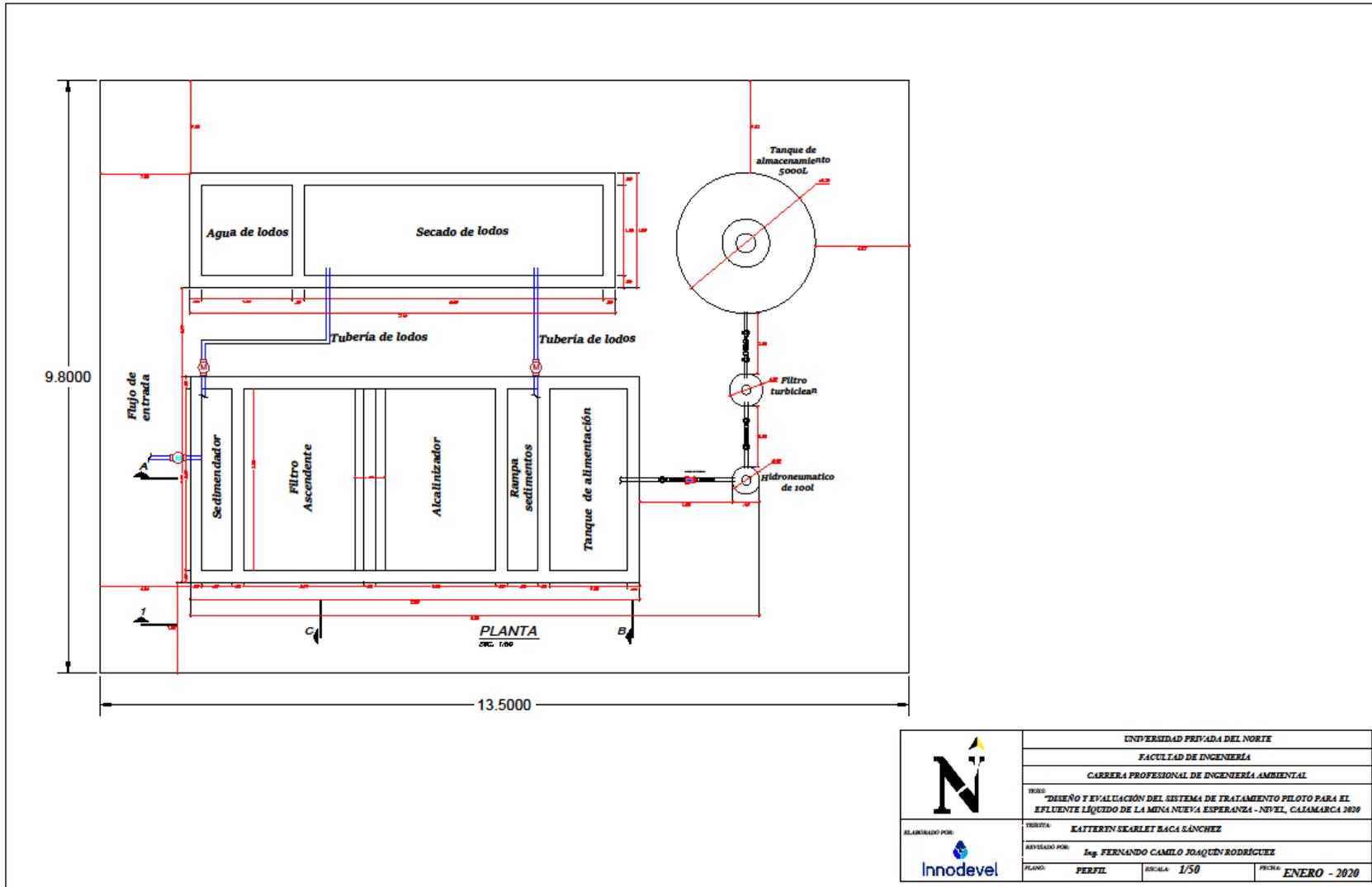
Anexo n.º 7. Plano de Red Hidrológica



Anexo n.º 8. Plano de accesibilidad a la zona donde se realizó la investigación.

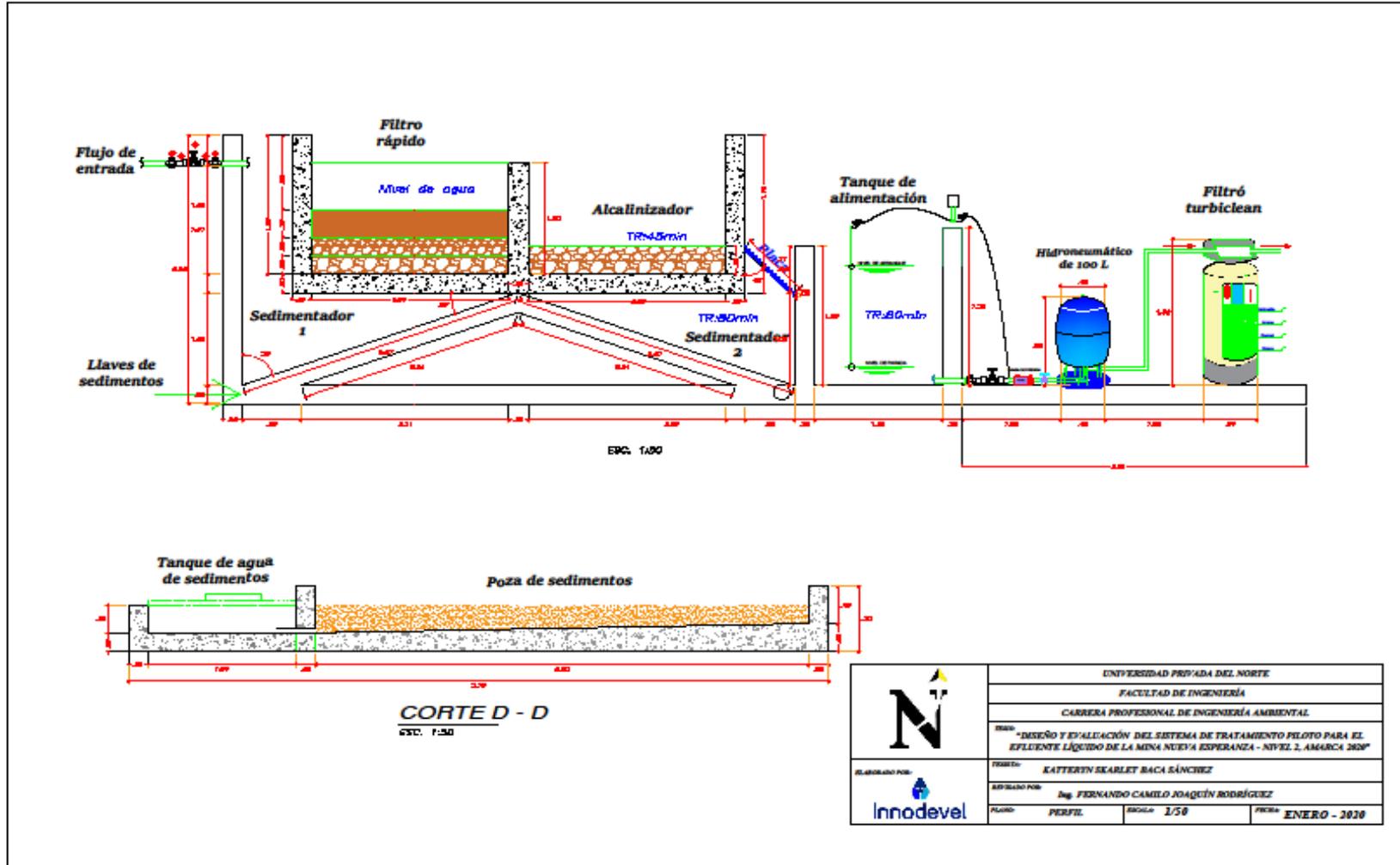


Anexo n.º 9. Plano Planta del Sistema Mixto



	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
	TÍTULO: "DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PILOTO PARA EL EFLUENTE LÍQUIDO DE LA MINA NUEVA ESPERANZA - NIVEL, CAJAMARCA 2020"
ELABORADO POR:	TÉCNICA: KATTERYN SKARLET BACA SÁNCHEZ
	REVISADO POR: Ing. FERNANDO CAMILO JOAQUÍN RODRÍGUEZ
	PLANO: PERFIL ESCALA: 1/50 FECHA: ENERO - 2020

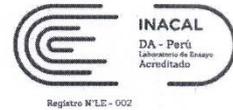
Anexo n.º 10. Plano Perfil del Sistema Mixto



Anexo n.º 11. Resultados de ensayos para la caracterización del efluente

SGS

**DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1924597 Rev. 0**

INNODEVEL S.A.C

JR. LOS LEONES NRO. 464 URB. SANTA MERCED CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

ENV / LB-345963-054

PROCEDENCIA : CAJAMARCA

Fecha de Recepción SGS : 30-09-2019
Fecha de Ejecución : Del 30-09-2019 al 07-10-2019
Muestreo Realizado Por : CLIENTE
Observación : INGRESO A LAB CALLAO 01/10/19

Estación de Muestreo

PSTO-01

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 07/10/2019


Jade C. Huarcaya Soto
C.B.P. 8471
Jefe de Oficina

Página 1 de 6

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

SGS

DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1924597 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PSTO-01
FECHA DE MUESTREO					29/09/2019
HORA DE MUESTREO					02:00:00
CATEGORÍA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA					AGUA SUBTERRÁNEA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Fisicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B_CX	NTU	0,1	0,2	39,9
Conductividad	EW_APHA2510B_CX	µS/cm	—	—	189,8
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D_CX	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	23
Cromo Hexavalente Total	EW_APHA3500CRB_CX	mgCr/L	0,001	0,003	<0,003
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB_CX	pH	—	—	4,35 *
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0,2	0,4	<0,4
Cianuro total	EW_ASTMD7511_CX	mg/L	0,0003	0,0008	<0,0008
Metales Disueltos					
Aluminio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,001	0,003	1,136
Antimonio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00004	0,00013	0,00184
Arsénico Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00003	0,00010	0,00183
Bario Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0001	0,0003	0,0339
Berilio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00002	0,00006	0,00084
Bismuto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00001	0,00003	<0,00003
Boro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,002	0,006	<0,006
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00001	0,00003	0,02188
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,003	0,009	5,952
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00008	0,00024	0,00169
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0001	0,0003	0,0006
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00001	0,00003	0,02794
Cobre Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00003	0,00009	1,16682
Cromo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Estaño Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0002	0,0006	0,0373
Galio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00004	0,00012	<0,00012
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0002	0,0006	<0,0006
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00005	0,00015	<0,00015
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0004	0,0013	0,0589
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0005	0,0015	<0,0015
Litio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0001	0,0003	0,0033
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00002	0,00006	<0,00006
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,001	0,003	3,099
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00003	0,00010	1,13399
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00003	0,00009	<0,00009
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00002	0,00006	<0,00006
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0005	0,0015	<0,0015
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0002	0,0006	0,0291
Plata Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Potasio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0002	0,0006	0,0009
Rubidio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,04	0,13	2,32
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0003	0,0009	0,0040
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0004	0,0013	<0,0013
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,09	0,27	13,79 *
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,04	0,13	6,44
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,006	0,019	4,424
Talio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00002	0,00006	<0,00006
Tantalo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0007	0,0021	<0,0021
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,001	0,003	<0,003
Torio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00006	0,00019	<0,00019
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0002	0,0006	0,0021
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0001	0,0003	0,0025
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0002	0,0006	<0,0006
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00002	0,00006	0,0007
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,0008	0,0026	0,2502
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0,00015	0,00045	<0,00045
Metales Totales					
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,001	0,003	2,279
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00004	0,00013	0,01242
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00003	0,00010	0,01785
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,0001	0,0003	0,0436
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00002	0,00006	0,00091
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00001	0,00003	0,00018
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,002	0,006	<0,006
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00001	0,00003	0,02615
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,003	0,009	9,537
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00008	0,00024	0,00284
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,0001	0,0003	0,0010
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00001	0,00003	0,03154
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00003	0,00009	1,34035
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010

Página 2 de 6

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao
Arequipa
Cajamarca

t (511) 517 1900
t (054) 213 506
t (076) 366 092
www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS

SGS

DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1924597 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PSTO-01
FECHA DE MUESTREO					29/09/2019
HORA DE MUESTREO					02:00:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUBTERRÁNEA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales Totales					
Estroncio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0476
Galio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00041
Germanio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0004	0.0013	1.9338
Lantano Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Litio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0038
Lutecio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.001	0.003	3.984
Manganeso Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00010	1.29614
Mercurio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00012
Molibdeno Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Niobio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0331
Plata Total	EW EPA200 8	mg/L	0.000003	0.000010	0.000454
Plomo Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0033
Potasio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.04	0.13	2.78
Rubidio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0068
Selenio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013
Silicio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.09	0.27	17.34 *
Sodio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.04	0.13	8.11
Talio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.006	0.019	4.745
Tantalio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Telurio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW EPA200 8	mg/L	0.001	0.003	<0.003
Thorio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0071
Uranio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010
Vanadio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0034
Wolframio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00009
Zinc Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0008	0.0026	0.3018
Zirconio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA , para la matriz en mención.

SGS

DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1924597 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Conductividad	µS/cm	–		0%	100%		
Turbidez	NTU	0.2	<0.2	0%	98%		
Cianuro total	mg/L	0.0008	<0.0008		99 - 101%	105 - 106%	0 - 5%
Cromo Hexavalente Total	mgCr/L	0.003	<0.003		99%	94%	0%
Aluminio Total	mg/L	0.003	<0.003	0 - 4%	100%	104%	5%
Antimonio Total	mg/L	0.00013	<0.00013	0 - 3%	95 - 99%	96%	0%
Arsénico Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 7%	96 - 102%	101%	0%
Bario Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 8%	100 - 104%	108%	1%
Berilio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	95%	105%	9%
Bismuto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	95 - 97%	100%	0%
Boro Total	mg/L	0.006	<0.006	0 - 3%	98 - 106%	108%	0%
Cadmio Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 2%	103 - 109%	100%	1%
Calcio Total	mg/L	0.009	<0.009	0 - 7%	98 - 99%	98%	2%
Cerio Total	mg/L	0.00024	<0.00024	0 - 7%	92 - 95%	102%	0%
Cesio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 6%	97 - 103%	104%	0%
Cobalto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 1%	99 - 100%	96%	3%
Cobre Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0 - 5%	97 - 105%	93%	0%
Cromo Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	103 - 104%	96%	1%
Estaño Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	99 - 103%	99%	0%
Estroncio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 8%	103 - 105%	105%	4%
Galio Total	mg/L	0.00012	<0.00012	0 - 4%	100 - 102%	101%	0%
Germanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	99 - 101%	99%	0%
Hafnio Total	mg/L	0.00015	<0.00015	0%	96 - 103%	103%	8%
Hierro Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0 - 5%	99 - 108%	98%	1%
Lantano Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	91 - 99%	91%	3%
Litio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 2%	96 - 99%	98%	10%
Lutecio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	97 - 102%	91%	3%
Magnesio Total	mg/L	0.003	<0.003	1 - 8%	100 - 101%	102%	2%
Manganeso Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 5%	94 - 97%	101%	0%
Mercurio Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0%	98%	101%	0%
Molibdeno Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 7%	97 - 109%	103%	3%
Niobio Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	94 - 98%	98%	0%
Niquel Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 3%	101 - 107%	102%	5%
Plata Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0%	97%	97%	2%
Plomo Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 4%	100%	102%	0%
Potasio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 8%	99%	100%	2%
Rubidio Total	mg/L	0.0009	<0.0009	0 - 6%	98 - 105%	107%	2%
Selenio Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0%	97 - 99%	99%	0%
Silica Total	mg/L	0.27	<0.27	0 - 7%	94%	94%	1%
Silicio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 7%	94%	94%	1%
Sodio Total	mg/L	0.019	<0.019	0 - 7%	96 - 99%	95%	2%
Talio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	98 - 99%	101%	0%
Tantalio Total	mg/L	0.0021	<0.0021	0%	97 - 99%	99%	0%
Teluro Total	mg/L	0.003	<0.003	0%	99%	100%	3%
Thorio Total	mg/L	0.00019	<0.00019	0%	99 - 105%	104%	0%
Titanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 4%	101%	100%	0%
Uranio Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0 - 8%	97 - 106%	98%	0%
Vanadio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 6%	106 - 109%	97%	3%
Wolframio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 3%	98 - 103%	94%	1%
Yterbio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 6%	94 - 99%	100%	7%
Zinc Total	mg/L	0.0026	<0.0026	0 - 6%	97 - 99%	99%	0%
Zirconio Total	mg/L	0.00045	<0.00045	0%	99 - 102%	95%	10%
Aceites y Grasas	mg/L	0.4	<0.4	0%	103%	105%	
Aluminio Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	0 - 2%	100%	99%	0%
Antimonio Disuelto	mg/L	0.00013	<0.00013	0 - 2%	95 - 99%	97%	0%
Arsénico Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 2%	102%	100%	0%
Bario Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 7%	95 - 100%	99%	3%
Berilio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	95%	97%	2%
Bismuto Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	95 - 99%	91%	1%
Boro Disuelto	mg/L	0.006	<0.006	0%	94 - 98%	96%	2%
Cadmio Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 2%	99 - 102%	95%	4%
Calcio Disuelto	mg/L	0.009	<0.009	0 - 6%	98 - 99%	98%	8%
Cerio Disuelto	mg/L	0.00024	<0.00024	0 - 2%	99 - 100%	102%	0%
Cesio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	97 - 103%	104%	0%
Cobalto Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	98 - 100%	98%	6%
Cobre Disuelto	mg/L	0.00009	<0.00009	0 - 2%	97 - 99%	94%	1%
Cromo Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	95 - 101%	96%	6%
Estaño Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	100 - 103%	99%	0%
Estroncio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 7%	102 - 103%	102%	0%
Galio Disuelto	mg/L	0.00012	<0.00012	0%	97 - 100%	102%	0%

Página 4 de 6

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

SGS

DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1924597 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Germanio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	98 - 102%	100%	0%
Hafnio Disuelto	mg/L	0.00015	<0.00015	0%	99 - 102%	103%	0%
Hierro Disuelto	mg/L	0.0013	<0.0013	0 - 7%	99%	97%	0%
Lantano Disuelto	mg/L	0.0015	<0.0015	0 - 3%	101 - 103%	91%	13%
Litio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 8%	96 - 97%	98%	10%
Lutecio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	98 - 99%	99%	0%
Magnesio Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	0 - 7%	100 - 101%	104%	2%
Manganeso Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 6%	97 - 98%	98%	0%
Mercurio Disuelto	mg/L	0.00009	<0.00009	0%	99 - 100%	101%	0%
Molibdeno Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 5%	98 - 100%	99%	0%
Niobio Disuelto	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	96 - 99%	98%	0%
Niquel Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 4%	97 - 99%	92%	3%
Plata Disuelto	mg/L	0.000010	<0.000010	0%	99 - 100%	109%	0%
Plomo Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	96 - 102%	93%	1%
Potasio Disuelto	mg/L	0.13	<0.13	0 - 4%	99%	99%	2%
Rubidio Disuelto	mg/L	0.0009	<0.0009	0 - 7%	99 - 104%	100%	0%
Selenio Disuelto	mg/L	0.0013	<0.0013	0%	97 - 99%	99%	0%
Silice Disuelto	mg/L	0.27	<0.27	0 - 7%	94%	91%	1%
Silicio Disuelto	mg/L	0.13	<0.13	0 - 7%	94%	91%	1%
Sodio Disuelto	mg/L	0.019	<0.019	0 - 4%	97 - 99%	97%	0%
Talio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	99 - 100%	101%	3%
Tantalio Disuelto	mg/L	0.0021	<0.0021	0%	97 - 99%	99%	2%
Teluro Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	0%	99%	97%	3%
Thorio Disuelto	mg/L	0.00019	<0.00019	0%	99 - 102%	104%	12%
Titanio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	99%	101%	0%
Uranio Disuelto	mg/L	0.000010	<0.000010	0 - 4%	99%	95%	2%
Vanadio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	97 - 99%	99%	9%
Wolframio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	98 - 99%	96%	3%
Yterbio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 3%	98 - 99%	100%	0%
Zinc Disuelto	mg/L	0.0026	<0.0026	0%	97 - 99%	99%	0%
Zirconio Disuelto	mg/L	0.00045	<0.00045	0%	99 - 102%	93%	0%
Potencial de Hidrógeno	pH	--	--	0%	101%	--	--
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	3%	95%	--	--

SGS

**DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1924597 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2130B_CX	Cajamarca	Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.: 2017. Turbidity. Nephelometric Method
EW_APHA2510B_CX	Cajamarca	Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed.: 2017. Conductivity. Laboratory Method
EW_APHA2540D_CX	Cajamarca	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed.: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
EW_APHA3500CRB_CX	Cajamarca	Cromo Hexavalente Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-CR-B; 23rd Ed.: 2017. Chromium. Colorimetric Method
EW_APHA4500HB_CX	Cajamarca	Potencial de Hidrógeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+-B; 23rd Ed.: 2017. pH Value. Electrometric Method.
EW_ASTMD3921	Callao	Aceites y Grasas	ASTM D3921 - 96 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water -(Validado)2014
EW_ASTMD7511_CX	Cajamarca	Cianuro total	ASTM D7511-12: (Reapproved 2017) E01. Standard Test Method for Total Cyanide by Segmented Flow Injection Analysis, In-Line Ultraviolet Digestion and Amperometric Detection (Validado),2017
EW_EPA200_8	Callao	Metales Totales	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
EW_EPA200_8_DIS	Callao	Metales Disueltos	EPA 200.8, Rev 5.4:1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx> Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio., su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fé pública y se reguía por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

Anexo n.º 9. Resultados de ensayos del agua tratada en el sistema piloto.

SGS

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2002994 Rev. 0**

INNODEVEL S.A.C

JR. LOS LEONES NRO. 464 URB. SANTA MERCED CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

ENV / LB-346554-007

PROCEDENCIA : MINA NIVEL 2 - ALGAMARCA CAJAMARCA

Fecha de Recepción SGS : 06-02-2020

Fecha de Ejecución : Del 06-02-2020 al 13-02-2020

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
STN2AT-01
STN2AT-02


Emitido por SGS del Perú S.A.C.
Impreso el 13/02/2020

Jade C. Huarcaya Soto
C.B.P. 8471
Jefe de Oficina

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2002994 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					STN2AT-01	STN2AT-02
FECHA DE MUESTREO					04/02/2020	06/02/2020
HORA DE MUESTREO					17:00:00	10:30:00
CATEGORÍA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORÍA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Físicoquímicos						
Turbidez	EW_APHA2130B_CX	NTU	0.1	0.2		1.7
Conductividad	EW_APHA2510B_CX	µS/cm	--	--		277.3
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D_CX	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3		<3
Cromo Hexavalente Total	EW_APHA3500CRB_CX	mgCr/L	0.001	0.003		<0.003
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB_CX	pH	--	--		6.90 *
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4		<0.4
Cianuro total	EW_ASTMD7511_CX	mg/L	0.0003	0.0008		<0.0008
Metales Disueltos						
Aluminio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.001	0.003		0.047 ± 0.02
Antimonio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00004	0.00013		0.00176 ± 0.00008
Arsénico Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00003	0.00010		0.00451 ± 0.00011
Bario Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0001	0.0003		0.0142 ± 0.002
Berilio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00002	0.00006		<0.00006
Bismuto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00001	0.00003		<0.00003
Boro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.002	0.006		<0.006
Cadmio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00001	0.00003		0.00071 ± 0.00002
Calcio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.003	0.009		12.060 ± 0.388
Cerio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00008	0.00024		<0.00024
Cesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0001	0.0003		<0.0003
Cobalto Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00001	0.00003		0.00706 ± 0.00092
Cobre Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00003	0.00009		0.07506 ± 0.00023
Cromo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0001	0.0003		<0.0003
Estaño Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00003	0.00010		<0.00010
Estroncio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0002	0.0006		0.0766 ± 0.0064
Galio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00004	0.00012		<0.00012
Germanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0002	0.0006		<0.0006
Hafnio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00005	0.00015		<0.00015
Hierro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0004	0.0013		0.0851 ± 0.0070
Lantano Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0005	0.0015		<0.0015
Litio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0001	0.0003		<0.0003
Lutecio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00002	0.00006		<0.00006
Magnesio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.001	0.003		2.742 ± 0.288
Manganeso Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00003	0.00010		0.66771 ± 0.04936
Mercurio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00003	0.00009		<0.00009
Molibdeno Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00002	0.00006		<0.00006
Niobio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0005	0.0015		<0.0015
Niquel Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0002	0.0006		0.0062 ± 0.0013
Plata Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.000003	0.000010		<0.000010
Plomo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0002	0.0006		<0.0006
Potasio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.04	0.13		1.40 ± 0.2
Rubidio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0003	0.0009		0.0043 ± 0.0006
Selenio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0004	0.0013		<0.0013
Silice Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.09	0.27		11.07 ± 0.37
Silicio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.04	0.13		5.18 ± 0.27
Sodio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.006	0.019		7.475 ± 0.309
Talio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00002	0.00006		<0.00006
Tantalo Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0007	0.0021		<0.0021
Teluro Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.001	0.003		<0.003
Thorio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00006	0.00019		<0.00019
Titanio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0002	0.0006		0.0015 ± 0.0001
Uranio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.000003	0.000010		<0.000010
Vanadio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0001	0.0003		<0.0003
Wolframio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0002	0.0006		<0.0006
Yterbio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00002	0.00006		<0.00006
Zinc Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.0008	0.0026		0.0366 ± 0.0077
Zirconio Disuelto	EW_EPA200_8_DIS	mg/L	0.00015	0.00045		<0.00045
Metales Totales						
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.162 ± 0.045	0.050 ± 0.014
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00221 ± 0.00062	0.00186 ± 0.00052
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00682 ± 0.00143	0.00468 ± 0.00098
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0183 ± 0.0038	0.0144 ± 0.0030
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	<0.006	<0.006
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00228 ± 0.00052	0.00095 ± 0.00022
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	15.583 ± 4.052	12.317 ± 3.202
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	0.00040 ± 0.00010	<0.00024
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.01058 ± 0.00296	0.00849 ± 0.00238
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.29640 ± 0.07410	0.08934 ± 0.02234
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0993 ± 0.0228	0.0821 ± 0.0189
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	<0.00012
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Página 2 de 6

Miembro del Grupo SGS

SGS

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2002994 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					STN2AT-01	STN2AT-02
FECHA DE MUESTREO					04/02/2020	06/02/2020
HORA DE MUESTREO					17:00:00	10:30:00
CATEGORÍA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORÍA					INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Hierro Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0004	0.0013	0.1727 ± 0.0397	0.0938 ± 0.0216
Lantano Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0013 ± 0.0003	0.0011 ± 0.0003
Lutecio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.001	0.003	3.224 ± 0.806	2.965 ± 0.741
Manganeso Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00010	0.79325 ± 0.21418	0.71189 ± 0.19221
Mercurio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0108 ± 0.0025	0.0088 ± 0.0020
Plata Total	EW EPA200 8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0011 ± 0.0003	<0.0006
Potasio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.04	0.13	3.03 ± 0.70	2.82 ± 0.65
Rubidio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0056 ± 0.0012	0.0047 ± 0.0010
Selenio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	<0.0013
Silice Total	EW EPA200 8	mg/L	0.09	0.27	13.19 * ± 3.03	11.84 * ± 2.72
Silicio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.04	0.13	6.16 ± 1.42	5.53 ± 1.27
Sodio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.006	0.019	8.671 ± 1.821	7.534 ± 1.582
Talio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00019 ± 0.00004	0.00017 ± 0.00004
Tantalo Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW EPA200 8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Thorio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0543 ± 0.0114	0.0016 ± 0.0003
Uranio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Vanadio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW EPA200 8	mg/L	0.0008	0.0026	0.1489 ± 0.0283	0.0381 ± 0.0072
Zirconio Total	EW EPA200 8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

Notas:

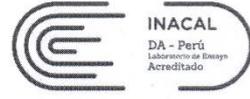
El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA , para la matriz en mención.

SGS

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2002994 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Conductividad	µS/cm	—		0%	100 - 101%		
Turbidez	NTU	0.2		0%	98%		
Cromo Hexavalente Total	mgCr/L	0.003	<0.003		89%	96 - 104%	1%
Aluminio Total	mg/L	0.003	<0.003	0 - 5%	91 - 105%	98%	1%
Antimonio Total	mg/L	0.00013	<0.00013	0 - 2%	96 - 97%	92%	3%
Arsénico Total	mg/L	0.00010	<0.00010	1 - 2%	95 - 104%	100%	2%
Bario Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 7%	98 - 109%	103%	2%
Berilio Total	mg/L	0.00008	<0.00008	0%	94 - 102%	92%	7%
Bismuto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	2 - 3%	96 - 100%	96%	3%
Boro Total	mg/L	0.006	<0.006	0%	95 - 100%	91%	7%
Cadmio Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	99 - 102%	98%	2%
Calcio Total	mg/L	0.009	<0.009	3 - 5%	100 - 104%	101%	6%
Cerio Total	mg/L	0.00024	<0.00024	0 - 1%	103 - 122%	101%	5%
Cesio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 2%	100 - 102%	102%	0%
Cobalto Total	mg/L	0.00003	<0.00003	0 - 5%	93 - 96%	95%	0%
Cobre Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0 - 4%	97 - 98%	100%	1%
Cromo Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 1%	95%	95%	1%
Estaño Total	mg/L	0.00010	<0.00010	0 - 4%	103 - 105%	103%	3%
Estroncio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	2%	94 - 100%	97%	6%
Gallo Total	mg/L	0.00012	<0.00012	0%	101 - 102%	98%	3%
Germanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	100 - 103%	99%	0%
Hafnio Total	mg/L	0.00015	<0.00015	0 - 7%	94 - 100%	99%	3%
Hierro Total	mg/L	0.0013	<0.0013	2 - 5%	101 - 102%	99%	1%
Lantano Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0 - 8%	98 - 104%	100%	7%
Litio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	1 - 2%	94 - 100%	94%	1%
Lutecio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	94 - 98%	100%	3%
Magnesio Total	mg/L	0.003	<0.003	3 - 4%	101%	99%	1%
Manganeso Total	mg/L	0.00010	<0.00010	4 - 6%	93 - 95%	100%	2%
Mercurio Total	mg/L	0.00009	<0.00009	0%	100%	107%	7%
Molibdeno Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	95 - 100%	92%	4%
Niobio Total	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	102 - 107%	98%	3%
Niquel Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 1%	92 - 95%	97%	6%
Plata Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0%	93 - 94%	97%	3%
Plomo Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	104 - 107%	101%	8%
Potasio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 3%	101%	93%	9%
Rubidio Total	mg/L	0.0009	<0.0009	0 - 4%	102 - 104%	100%	9%
Selenio Total	mg/L	0.0013	<0.0013	0%	101 - 103%	93%	1%
Silice Total	mg/L	0.27	<0.27	0 - 2%	92%	91%	13%
Silicio Total	mg/L	0.13	<0.13	0 - 2%	92 - 99%	91%	13%
Sodio Total	mg/L	0.019	<0.019	1 - 4%	102 - 105%	101%	0%
Talio Total	mg/L	0.00006	<0.00006	0 - 1%	101%	101%	2%
Tantalo Total	mg/L	0.0021	<0.0021	0%	99 - 100%	101%	3%
Teluro Total	mg/L	0.003	<0.003	0%	102 - 104%	102%	0%
torio Total	mg/L	0.00019	<0.00019	0 - 2%	96 - 98%	97%	1%
Titanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 5%	95 - 99%	97%	1%
Uranio Total	mg/L	0.000010	<0.000010	0 - 5%	100%	100%	0%
Vanadio Total	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 1%	96 - 98%	96%	1%
Wolframio Total	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	99 - 101%	99%	9%
Yterbio Total	mg/L	0.00008	<0.00008	0 - 2%	93 - 97%	93%	5%
Zinc Total	mg/L	0.0026	<0.0026	3 - 7%	98%	99%	1%
Zirconio Total	mg/L	0.00045	<0.00045	0 - 1%	95 - 100%	103%	0%
Aceites y Grasas	mg/L	0.4	<0.4	0%	105%	89%	
Cianuro total	mg/L	0.0008	<0.0008		101 - 102%	105 - 107%	0%
Aluminio Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	0 - 7%	94 - 105%	103%	1%
Antimonio Disuelto	mg/L	0.00013	<0.00013	0%	96 - 97%	94%	1%
Arsénico Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	95 - 104%	100%	2%
Bario Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0 - 4%	98 - 104%	102%	1%
Berilio Disuelto	mg/L	0.00008	<0.00008	0%	95 - 102%	102%	0%
Bismuto Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	96 - 106%	98%	5%
Boro Disuelto	mg/L	0.006	<0.006	0%	95 - 100%	101%	1%
Cadmio Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	97 - 102%	97%	1%
Calcio Disuelto	mg/L	0.009	<0.009	1 - 3%	99 - 102%	99%	4%
Cerio Disuelto	mg/L	0.00024	<0.00024	0 - 2%	98 - 102%	101%	3%
Cesio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	100 - 102%	102%	1%
Cobalto Disuelto	mg/L	0.00003	<0.00003	0%	93 - 95%	95%	1%
Cobre Disuelto	mg/L	0.00009	<0.00009	0 - 1%	96 - 101%	98%	1%
Cromo Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	95%	92%	4%
Estaño Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	0%	102 - 103%	102%	1%
Estroncio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0 - 1%	97 - 98%	97%	5%
Gallo Disuelto	mg/L	0.00012	<0.00012	0%	100 - 101%	101%	3%
Germanio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	99 - 102%	99%	0%
Hafnio Disuelto	mg/L	0.00015	<0.00015	0%	99 - 100%	106%	6%
Hierro Disuelto	mg/L	0.0013	<0.0013	0 - 4%	98 - 99%	99%	2%
Lantano Disuelto	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	98 - 108%	109%	5%

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

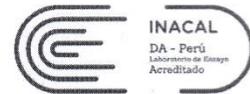
www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Página 4 de 6

Miembro del Grupo SGS

SGS

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2002994 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Litio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	94 - 100%	94%	0%
Lutecio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	97 - 104%	104%	4%
Magnesio Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	0 - 1%	99 - 102%	101%	0%
Manganeso Disuelto	mg/L	0.00010	<0.00010	1 - 5%	95 - 105%	102%	1%
Mercurio Disuelto	mg/L	0.00009	<0.00009	0%	95 - 109%	103%	3%
Molibdeno Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	95 - 100%	93%	3%
Niobio Disuelto	mg/L	0.0015	<0.0015	0%	100 - 106%	100%	0%
Niquel Disuelto	mg/L	0.0008	<0.0008	0%	94 - 100%	99%	1%
Plata Disuelto	mg/L	0.000010	<0.000010	0%	95 - 99%	100%	0%
Plomo Disuelto	mg/L	0.0008	<0.0008	0%	95 - 97%	97%	5%
Potasio Disuelto	mg/L	0.13	<0.13	0%	100 - 101%	98%	1%
Rubidio Disuelto	mg/L	0.0009	<0.0009	0 - 5%	104 - 108%	103%	0%
Selenio Disuelto	mg/L	0.0013	<0.0013	0%	99 - 102%	98%	2%
Silice Disuelto	mg/L	0.27	<0.27	0 - 2%	94%	106%	1%
Silicio Disuelto	mg/L	0.13	<0.13	0 - 2%	94 - 99%	106%	1%
Sodio Disuelto	mg/L	0.019	<0.019	0 - 1%	102 - 105%	101%	0%
Talio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	103 - 105%	102%	4%
Tantalo Disuelto	mg/L	0.0021	<0.0021	0%	101%	105%	0%
Teluro Disuelto	mg/L	0.003	<0.003	0%	102%	102%	0%
Thorio Disuelto	mg/L	0.00019	<0.00019	0%	97 - 109%	97%	3%
Titanio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	102 - 107%	98%	2%
Uranio Disuelto	mg/L	0.000010	<0.000010	0%	100 - 101%	100%	0%
Vanadio Disuelto	mg/L	0.0003	<0.0003	0%	92 - 95%	97%	6%
Wolframio Disuelto	mg/L	0.0006	<0.0006	0%	92 - 100%	98%	2%
Yterbio Disuelto	mg/L	0.00006	<0.00006	0%	99 - 100%	98%	5%
Zinc Disuelto	mg/L	0.0026	<0.0026	0 - 4%	98 - 108%	99%	1%
Zirconio Disuelto	mg/L	0.00045	<0.00045	0%	100 - 102%	100%	2%
Potencial de Hidrógeno	pH	-	-	0%	100 - 101%	-	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	1%	98%	-	-

SGS

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2002994 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_EPA200_8	Callao	Metales Totales	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
EW_APHA2130B_CX	Cajamarca	Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.: 2017. Turbidity. Nephelometric Method
EW_APHA2510B_CX	Cajamarca	Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed: 2017. Conductivity: Laboratory Method
EW_APHA2540D_CX	Cajamarca	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
EW_APHA3500CRB_CX	Cajamarca	Cromo Hexavalente Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-CR-B; 23rd Ed: 2017. Chromium. Colorimetric Method
EW_APHA4500HB_CX	Cajamarca	Potencial de Hidrógeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+-B; 23rd Ed: 2017. pH Value: Electrometric Method.
EW_ASTMD3921	Callao	Aceites y Grasas	ASTM D3921 - 96 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water -(Validado)2014
EW_ASTMD7511_CX	Cajamarca	Cianuro total	ASTM D7511-12: (Reapproved 2017) E01. Standard Test Method for Total Cyanide by Segmented Flow Injection Analysis, In-Line Ultraviolet Digestion and Amperometric Detection (Validado).2017
EW_EPA200_8_DIS	Callao	Metales Disueltos	EPA 200.8, Rev 5.4:1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio., su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

Página 6 de 6
www.sgs.pe
e Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS