UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS

"TRATAMIENTO DE LODOS DE PERFORACION DIAMANTINA UTILIZANDO EL SISTEMA MACTUBE PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PROYECTO MINERO PUKAQAQA COMPAÑIA NEXA RESOURCES PERÚ S.A.A. HUANCAVELICA – 2018"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

MEDIO AMBIENTE

PRESENTADO POR:

Bach. QUINTO CAPANI, Juan Luis

Bach. TORRES LLACCTAHUAMAN, Efraín

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

HUANCAVELICA, PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N ° 25265)

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

AV. CENTENARIO N°1200 TELÉF. 952847104
LICENCIADA BAJO RESOLUCIÓN N° 088-2019-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL

EN LA CIUDAD DE LIRCAY DEL DIA 13 DE ENERO DEL 2021, SIENDO LAS 15:00 P.M; EN CUMPLIMIENTO A LA ***DIRECTIVA N° 001-VRAC-UNH****, APROBADO CON* ***RESOLUCIÓN N° 355-2020-CU-UNH (20/07/2020)****, MEDIANTE LA PLATAFORMA VIRTUAL MEET SE REUNIERON LOS MIEMBROS DEL JURADO* DESIGNADO CON RESOLUCION **N° 002-2021– FIMCA – UNH (13/01/2021)** CONFORMADO EN LA SIGUIENTE MANERA

PRESIDENTE :.M.Sc. César Salvador Guzmán Ibañez
SECRETARIO : M.Sc. Freddy Parejas Rodríguez
VOCAL : M.Sc. Manuel Emiliano Esteves Pairazamán

Y EN CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD VIRTUAL N° 002-2021-FIMCA-UNH, DE HORA Y FECHA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS TITULADO: **"TRATAMIENTO DE LODOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA UTILIZANDO EL SISTEMA MACTUBE PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PROYECTO MINERO PUKAQAQA COMPAÑÍA NEXA RESOURCES PERÚ S.A.A. HUANCAVELICA -2018"**
SIENDO AUTOR(ES) (EL) (LOS) GRADUADOS (S):

BACHILLER (S):

QUINTO CAPANI Juan Luís
TORRES LLACCTAHUAMÁN Efraín

SE OTORGA 25 MINUTOS PARA PROCEDER CON LA SUSTENTACION DE LA TESIS FINAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA; LUEGO DE CONCLUIDO DICHO ACTO SE PROCEDE A LA RONDA DE PREGUNTAS POR PARTE DE LOS MIEMBROS DEL JURADO.

SEGUIDAMENTE SE INVITA A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL ESPERAR EN LA PLATAFORMA DEL MEET POR UNOS MINUTOS PARA LA **DELIBERACIÓN DEL RESULTADO**; LUEGO DE UN LAPSO DE TIEMPO, SE PROSIGUE EN LA PLATAFORMA GOOGLE MEET PARA LA LECTURA DEL RESULTADO FINAL, CULMINANDO ÉSTE PROCESO A LAS 17:30 PM. CON EL SIGUIENTE RESULTADO.

BACHILLER: QUINTO CAPANI Juan Luís

MIEMBROS:	**RESULTADO FINAL:**
PRESIDENTE: M.Sc. César Salvador Guzmán Ibañez	**APROBADO POR UNANIMIDAD**
SECRETARIO: M.Sc. Freddy Parejas Rodríguez	
VOCAL: M.Sc. Manuel Emiliano Esteves Pairazamán	

BACHILLER: TORRES LLACCTAHUAMÁN Efraín

MIEMBROS:	**RESULTADO FINAL:**
PRESIDENTE: M.Sc. César Salvador Guzmán Ibañez	**DESAPROBADO**
SECRETARIO: M.Sc. Freddy Parejas Rodríguez	
VOCAL: M.Sc. Manuel Emiliano Esteves Pairazamán	

DE CONFORMIDAD CON LO ACTUADO FIRMAMOS AL PIE DEL PRESENTE.

Presidente
M.Sc. César Salvador Guzmán Ibañez.

Secretario
M.Sc. Freddy Parejas Rodríguez

Vocal
M.Sc Manuel Emiliano Esteves Pairazamán.

Sustentante
QUINTO CAPANI, Juan Luis

TITULO

TRATAMIENTO DE LODOS DE PERFORACION DIAMANTINA UTILIZANDO EL SISTEMA MACTUBE PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PROYECTO MINERO PUKAQAQA COMPAÑIA NEXA RESOURCES PERÚ S.A.A. HUANCAVELICA – 2018

AUTORES:

Bach. Juan Luis QUINTO CAPANI

Bach. Efraín TORRES LLACCTAHUAMAN

ASESOR

M.Sc. Jorge W. RODRIGUEZ DEZA

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminar y tener a toda nuestra familia unida, por habernos ayudado a llegar hasta esta meta que tuvimos planeado, damos fe, fortaleza, salud y sabiduría que fueron indispensables para lograr nuestros objetivos y por su infinita bondad y amor.

A Nuestros padres que son el ejemplo, gracias por la vida y por todo lo que nos han dado, por su apoyo incondicional y magnánimo que en todo momento impartieron para poder alcanzar nuestros objetivos.

A nuestros docentes quienes nos apoyaron y encaminaron para ir por el buen camino de la vida, quienes compartieron todos sus saberes para poder llegar a ser un buen profesional de éxito.

TABLA DE CONTENIDO

TITULO ..... **iii**
AGRADECIMIENTO ..... **vi**
TABLA DE CONTENIDO ..... **vii**
TABLA DE CONTENIDOS DE CUADROS ix
TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS x
RESUMEN ..... **xii**
ABSTRACT ..... **xiv**
INTRODUCCIÓN ..... **xvi**
CAPITULO I **18**
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **18**
1.1. Descripción del Problema 18
1.2. Formulación del Problema 19
1.2.1. Problema General 19
1.2.2. Problemas Específicos 20
1.3. Objetivos: General y Específicos 20
1.3.1. Objetivo General 20
1.3.2. Objetivos Específicos 20
1.4. Justificación 21
CAPÍTULO II **23**
MARCO TEÓRICO **23**
2.1. Antecedentes 23
2.1.1. Antecedentes Internacionales 23
2.1.2. Antecedentes Nacionales 25
2.2. Bases Teóricas 27
2.2.1. Tratamiento de Lodos de Perforación Diamantina con el Sistema MacTube 27
2.2.2. Calidad del agua 56
2.2.3. Sobre el Proyecto Minero Pukaqaqa (245GE0075A) 66
2.3. Hipótesis 87
2.3.1. Hipótesis General 87
2.3.2. Hipótesis Específicos 88

2.4. Definición de Términos 88
2.5. Definición Operativa de Variables e Indicadores 91
2.5.1. Definición de las Variables 91
2.5.2. Definición de los Indicadores 92
2.5.3. Operacionalización de las Variables e Indicadores 93
CAPÍTULO III 94
MATERIALES Y MÉTODOS 94
3.1. Tipo y Nivel de Investigación 94
3.1.1. Tipo de Investigación 94
3.1.2. Nivel de Investigación 95
3.2. Método de Investigación 95
3.2.1. Método General 95
3.2.2. Método Específico 96
3.3. Diseño de Investigación 97
3.4. Población y Muestra 97
3.4.1. Población 97
3.4.2. Muestra 98
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 98
3.5.1. Técnicas 98
3.5.2. Instrumentos 99
3.6. Procedimiento de Recolección de Datos 99
3.6.1. Procedimientos Generales 99
3.6.2. Procedimientos en Campo 100
3.6.3. Procedimientos de Recolección de las Muestras 100
3.6.4. Metodología para la Toma de Muestras físicos – químicos 101
3.6.5. Selección de los Parámetros a Medir 103
3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos 104
CAPÍTULO IV 110
DISCUSIÓN DE RESULTADOS 110
4.1. Presentación de Datos 110
4.1.1. Calidad de los Parámetros físicos-químicos según el D.S. N° 010-2010–MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgico" y D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua" 110

4.2. Análisis de Datos 128
4.2.1. Contrastación de la Hipótesis 128
4.3. Dosificación Adecuada para el Tratamiento de Lodos 144
4.3.1. Dosis del Coagulante 144
4.3.2. Dosis del Floculante 145
CONCLUSIONES 146
RECOMENDACIONES 147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 148
APÉNDICE 150

TABLA DE CONTENIDOS DE CUADROS

Cuadro N° 1. Flujo de lodos (con retorno) generados en las perforaciones diamantinas 32
Cuadro N° 2. Tiempo de decantación de las diferentes partículas en función del diámetro y densidad 33
Cuadro N° 3. Tiempo de tratamiento de lodos 45
Cuadro N° 4. Medidas del geocontenedor MacTube 47
Cuadro N° 5. Tiempo de deshidratación 47
Cuadro N° 6. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS N° 010-2010-MINAM. 59
Cuadro N° 7. **Categoría 1**: Poblacional; **Subcategoría A**: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable; **A1** 61
Cuadro N° 8. **Categoría 3:** Riego de vegetales; **D1** 63
Cuadro N° 9. Inventario de Reservas y Recursos – Pukaqaqa 67
Cuadro N° 10. Componente de Mina 73
Cuadro N° 11. Ubicación y Características de los **Sondajes Geotécnicos** propuestos 76
Cuadro N° 12. Ubicación y Características de los **Sondajes Hidrogeológicos** propuestos 77
Cuadro N° 13. Ubicación y Características de los **Sondajes Metalúrgicos** propuestos 78
Cuadro N° 14. Clasificación API del tamaño de las partículas 83
Cuadro N° 15. Operacionalización de Variables 93
Cuadro N° 16. Selección de los Parámetros a medir según el DS N° 010-2010-MINAM (LMP) y DS N° 004-2017-MINAM (ECA para agua). 103
Cuadro N° 17. Resultados de la Turbidez Promedio. 111
Cuadro N° 18. Resultados de la Conductividad Eléctrica (CE) Promedio 112
Cuadro N° 19. Resultados de Oxígeno Disuelto (OD) Promedio 114
Cuadro N° 20. Resultados de Potencial de Hidrógeno (pH) Promedio 115
Cuadro N° 21. Resultados de los Sólidos Totales Suspendidos (STS) Promedio 117
Cuadro N° 22. Resultados del Arsénico (As) total Promedio 118
Cuadro N° 23. Resultados del Cadmio (Cd) total Promedio. 120
Cuadro N° 24. Resultados del Cobre (Cu) total Promedio. 121
Cuadro N° 25. Resultados del Hierro (Fe) disuelto Promedio. 122

Cuadro N° 26. Resultados del Plomo (Pb) total Promedio 124
Cuadro N° 27. Resultados del Mercurio (Hg) total Promedio 125
Cuadro N° 28. Resultados del Zinc (Zn) total Promedio 127
Cuadro N° 29. Prueba de ANOVA para la Turbidez. 129
Cuadro N° 30. Prueba HSD Tukey para Turbidez 129
Cuadro N° 31. Prueba de ANOVA para la Conductividad Eléctrica 130
Cuadro N° 32. Prueba HSD Tukey para Conductividad Eléctrica 131
Cuadro N° 33. Prueba de ANOVA para Oxígeno Disuelto 131
Cuadro N° 34. Prueba HSD Tukey para Oxígeno Disuelto 132
Cuadro N° 35. Prueba de ANOVA para pH 133
Cuadro N° 36. Prueba HSD Tukey para pH 133
Cuadro N° 37. Prueba de ANOVA para Sólidos Totales Suspendidos (*) 134
Cuadro N° 38. Prueba HSD Tukey para Sólidos Totales Suspendidos 135
Cuadro N° 39. Prueba de ANOVA para Arsénico (As) total 135
Cuadro N° 40. Prueba HSD Tukey para Arsénico (As) total 136
Cuadro N° 41. Prueba de ANOVA para Cadmio (Cd) total 137
Cuadro N° 42. Prueba HSD Tukey para Cadmio (Cd) total 137
Cuadro N° 43. Prueba de ANOVA para Cobre total 138
Cuadro N° 44. Prueba HSD Tukey para Cobre total 139
Cuadro N° 45. Prueba de ANOVA para Hierro disuelto 139
Cuadro N° 46. Prueba HSD Tukey para Hierro disuelto 140
Cuadro N° 47. Prueba de ANOVA para Plomo total 141
Cuadro N° 48. Prueba HSD Tukey para Plomo total 141
Cuadro N° 49. Prueba de ANOVA para Mercurio total 142
Cuadro N° 50. Prueba HSD Tukey para Mercurio total 143
Cuadro N° 51. Prueba de ANOVA para Zinc total 143
Cuadro N° 52. Prueba HSD Tukey para Zinc total 144
Cuadro N° 53. Dosificación con el Coagulante 145
Cuadro N° 54. Dosificación con el Floculante 145
Cuadro N° 55. Cronograma. 152
Cuadro N° 56. Presupuesto. 153

TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Instalación del Sistema MacTube 29
Figura 2. Tratamiento de Lodos 30
Figura 3. Tinas de almacenamiento de lodos 31
Figura 4. Válvula principal para abastecer lodo. 31
Figura 5. Durante el tratamiento del lodo 34
Figura 6. Después del tratamiento 35
Figura 7. El mecanismo de coagulación y floculación 36
Figura 8. Coagulación 38
Figura 9. Fases de la coagulación 40
Figura 10. Coagulación Por Adsorción 41

Figura 11. Coagulación Por Barrido 42
Figura 12. Floculación 43
Figura 13. Preparación del floculante. 45
Figura 14. Instalación de la bolsa del MacTube 46
Figura 15. Filtración del agua clara de las bolsas del MacTube 48
Figura 16. Evolución de la altura de la bolsa de MacTube durante cinco ciclos consecutivos de llenado, drenaje y consolidación. 49
Figura 17. Tiempo de deshidratación después del llenado final 50
Figura 18. Bolsas de MacTube sedimentado 50
Figura 19. Pozas de acumulación de agua recuperada del Sistema MacTube 51
Figura 20. Tanque IBC (1000 L) 52
Figura 21. Lodo seco 53
Figura 22. Tubo usado para aplicaciones de deshidratación mostrando las costuras en los lados y entorno al puerto de llenado. 54
Figura 23. Tensiones longitudinales (τL), las tensiones transversales (τT) y las tensiones en el puerto de llenado (τP) 54
Figura 24. Sección transversal de un tubo geotextil lleno mostrando las dimensiones típicas. 55
Figura 25. Proporción de diseño para la aplicación de tubos geotextiles para la deshidratación del lodo 56
Figura 26. Proyecto Pukaqaqa 68
Figura 27. Corte transversal Pukaqaqa (Tajo Norte). 70
Figura 28. Endoskarn Tajo Norte 71
Figura 29. Testigos registrados y codificados 80
Figura 30. Máquina de perforación diamantina – Proyecto Pukaqaqa 81
Figura 31. Rango Recomendado de Sólidos en Fluidos Base Agua. 82
Figura 32. Tamaño de las partículas 83
Figura 33. Gráfico de Medias de la Turbidez. 111
Figura 34. Gráfico de Medias de la Conductividad Eléctrica (CE). 113
Figura 35. Gráfico de Medias de la Oxígeno Disuelto (OD) 114
Figura 36. Gráfico de Medias de Potencia de Hidrógeno (pH). 116
Figura 37. Gráfico de Medias de los Sólidos Totales Suspendidos (STS) 117
Figura 38. Gráfico de Medias del Arsénico (As) total. 119
Figura 39. Gráfico de Medias del Cadmio (Cd). 120
Figura 40. Gráfico de Medias del Cu. 122
Figura 41. Gráfico de Medias del Hierro disuelto. 123
Figura 42. Gráfico de Medias del Pb. 124
Figura 43. Gráfico de Medias del Hg. 126
Figura 44. Gráfico de Medias del Zn. 127

RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado "Tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube para la calidad del agua en el Proyecto Minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica - 2018", cuyo problema investigada fue ¿En qué medida el tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube permite obtener la calidad del agua en el proyecto minero pukaqaqa?, su objetivo fue determinar el tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube para obtener la calidad del agua en el proyecto minero pukaqaqa, siendo la hipótesis: El tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube permite obtener la calidad del agua significativamente en el proyecto minero pukaqaqa.

La investigación es aplicada, con nivel explicativo, comprende un diseño mixto la metodología fue un diseño completamente al azar (Análisis de Varianza (ANOVA) y Prueba de Tukey), con una población que lo constituyeron los lodos generados en las actividades de perforación diamantina y las muestras fueron conformadas por dos Estaciones de Muestreos en el Sistema MacTube, la primera Estación de Muestreo EM1-TRL (Lodo antes del tratamiento), la segunda Estación de Muestreo EM2-PAR (Agua recuperado después del tratamiento). Además de ello se ha empleado instrumentos como datos de campo insitu, análisis de muestras en laboratorio, comparaciones con los parámetros de acuerdo con los decretos entre los datos obtenidos de los lodos antes del tratamiento y agua recuperada después del tratamiento; bajo las consideraciones descritas la investigación realizada conlleva a los siguientes resultados:

Basado en las normas que exigen los decretos establecidos por el Ministerio del Ambiente y Ministerio de Energía y Minas, parámetros que estén dentro de los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental para Agua, según el DS N° 010-2010-MINAM y DS N° 004-2017-MINAM significativamente, en efecto: los lodos antes del tratamiento muestran datos fuera de los parámetros tales: Turbidez (49.49747), Conductividad Eléctrica (2.40416), Oxígeno Disuelto (0.02121),

Potencial de Hidrógeno (0.07071), Sólidos Totales en Suspensión (88.38835), Arsénico (0.013364), Cadmio (0.007354), Cobre (0.0427092), Hierro (0.0060104), Plomo (0.8671958), Mercurio (0.0016971) y Zinc (0.5862622); mientras con la investigación la calidad del agua recuperada muestran datos dentro de los parámetros tales: Turbidez (0.21213), Conductividad Eléctrica (3.53553), Oxígeno Disuelto (0.06364), Potencial de Hidrógeno (0.07071), Sólidos Totales en Suspensión (0.28284), Arsénico (0.000424), Cadmio (0.000000), Cobre (0.0006364), Hierro (0.0002828), Plomo (0.0001414), Mercurio (0.0001414) y Zinc (0.0009899), respecto al anterior; el tratamiento de los lodos de perforación diamantina nos dio como resultado, obtener la calidad del agua con todos los parámetros que están dentro de los estándares de calidad que exigen las normas ambientales en las actividades mineras.

Por otro lado, se determinó la dosificación adecuada del coagulante y floculante para el adecuado tratamiento de lodos en la tina de 3m3 por ciclo de tratamiento, obteniendo resultados eficientes de la calidad del agua recuperada.

Palabras claves:

Tratamiento de lodos, perforación diamantina, sistema MacTube y calidad del agua.

ABSTRACT

This research project entitled “Treatment of diamond drilling muds using the MacTube system for water quality in the Pukaqaqa Mining Project Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica - 2018 ”, whose investigated problem was to what extent the treatment of diamond drilling muds using the MacTube system allows to obtain the quality of the water in the pukaqaqa mining project?, Its objective was to determine the treatment of diamond drilling muds using the MacTube system to obtain the water quality in the pukaqaqa mining project, being the hypothesis: The treatment of diamond drilling muds using the MacTube system allows to obtain the quality of the water significantly in the pukaqaqa mining project.

The research is applied, with an explanatory level, comprising a multiple design, the methodology was a completely random design (DCA), with a population that is made up of the sludge generated in diamond drilling activities and the samples are made up of two Sampling Stations in the MacTube System, the first EM1-TRL Sampling Station (Mud before treatment), the second EM2-PAR Sampling Station (Water recovered after treatment). In addition, instruments such as in-situ field data, analysis of laboratory samples, comparisons with the parameters according to the decrees between the data obtained from the sludge before treatment and water recovered after treatment have been used; Under the considerations described, the research carried out leads to the following results:

Based on the norms required by the decrees established by the Ministry of the Environment and the Ministry of Energy and Mines, parameters that are within the Maximum Permitted Limits and Environmental Quality Standards for Water, according to DS N°. 010-2010-MINAM and DS N° 004-2017-MINAM significantly, in effect: the sludges before treatment show data outside the parameters such as: Turbidity (49.49747), Electrical Conductivity (2.40416), Dissolved Oxygen (0.02121), Hydrogen Potential (0.07071), Solids Totals in Suspension (88.38835), Arsenic (0.013364), Cadmium (0.007354), Copper (0.0427092), Iron (0.0060104), Lead (0.8671958), Mercury (0.0016971) and Zinc (0.5862622); while with the

investigation the quality of the recovered water shows data within such parameters: Turbidity (0.21213), Electrical Conductivity (3.53553), Dissolved Oxygen (0.06364), Hydrogen Potential (0.07071), Total Solids in Suspension (0.28284), Arsenic (0.000424), Cadmium (0.000000), Copper (0.0006364), Iron (0.0002828), Lead (0.0001414), Mmercury (0.0001414) and Zinc (0.0009899), with respect to the previous one; The treatment of diamond drilling muds gave us, as a result, the quality of the water with all the parameters that are within the quality standards required by environmental regulations in mining activities.

On the other hand, the adequate dosage of the coagulant and flocculant was determined for the adequate treatment of sludge in the 3m3 tub per treatment cycle, obtaining efficient results in the quality of the recovered water.

Keywords:

Sludge treatment, diamond drilling, MacTube system and water quality.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación referido al "Tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube para la calidad del agua en el Proyecto Minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica - 2018", se realizó en el Proyecto de Exploración Minera Pukaqaqa, en el Centro Poblado de Pueblo Libre, distrito de Huando, provincia y departamento de Huancavelica donde se efectuó el tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube; evaluando los resultados de las muestras según los parámetros, efectividad y control de la dosificación, el cual nos permitió obtener la calidad del agua recuperada.

La presente Tesis está desarrollada en cuatro capítulos:

En el Capítulo I, trata sobre el problema de investigación, en donde se visualiza el planteamiento del problema compuestos por: la descripción del problema, formulación del problema, objetivos de investigación y la justificación.

En el Capítulo II, se menciona el marco teórico conceptual de la investigación, donde se muestra los antecedentes, la información teórica importante sobre las variables y el ámbito de estudio; es decir sobre el tratamiento de lodos y las normas establecidas sobre los parámetros a evaluar para la obtención de la calidad del agua, la hipótesis, definición de términos utilizados en la investigación y definición operativa de variables e indicadores.

En el Capítulo III, trata sobre la metodología de investigación tales como: el tipo y nivel de investigación, método y diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas de procesamiento y análisis de datos.

En el Capítulo IV, trata sobre los resultados; donde se detalla la presentación de los datos y análisis de los datos tanto del Diseño Completamente al Azar (DCA), prueba de ANOVA y Tukey, finalizando con la discusión de resultados.

Culminando con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas según el estilo APA y los respectivos anexos del presente trabajo de investigación.

Los Autores.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

Encontrándose a nivel internacional que los lodos de perforación son residuos que no fueron dispuestos adecuadamente según la reglamentación ambiental para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos y líquidos en los proyectos de perforación de pozos petroleros y perforaciones diamantinas en proyectos mineros. (Pozo, 2015, pág. 23).

Asimismo, en el territorio nacional muchos proyectos de exploración minera optan por las perforaciones diamantinas para delimitar los cuerpos mineralizados y como consecuencia de dicha actividad generaron lodos que no recibieron un tratamiento adecuado generando impactos ambientales y como consecuencia los conflictos sociales.

Por lo cual el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) adscrito al Ministerio del Ambiente fue el encargado de revisar y aprobar el Estudio de Impacto Ambiental EIA del Proyecto Pukaqaqa.

En el Proyecto Pukaqaqa durante la campaña 2018 se desarrollaron perforaciones diamantinas para la obtención de testigos con diferentes objetivos de estudio como sondajes: metalúrgicos, geotécnicos e hidrogeológicos y a raíz de ello se generaron *lodos* que al no disponerlos adecuadamente para su tratamiento pudieron causar impactos ambientales.

Motivo por el cual se desarrolló la investigación para el tratamiento de lodos mediante el sistema MacTube y producto del tratamiento la calidad del agua resultante que estén dentro de las normas DS. N° 010-2010-MINAM (LMP) y DS. N° 004-2017-MINAM (ECA para agua).

En tal sentido la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas es el responsable del monitoreo de efluentes líquidos de todas las actividades minero – metalúrgicas, las fiscalizaciones y sanciones por el incumplimiento de los LMP está a cargo por OSINERGMIN y OEFA; el titular minero "Nexa Resources" está en la obligación de reportar los resultados del monitoreo realizado en los periodos mensuales, trimestrales y anuales.

Por lo expuesto el agua recuperada producto del tratamiento se reutilizaron en diferentes actividades de operaciones del proyecto ya que se encuentran dentro de los LMP.

Con un trabajo ambientalmente segura el Proyecto Pukaqaqa continuará desarrollándose en la etapa de exploración e iniciarse la construcción de todos los componentes y posteriormente la explotación.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida el tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube permite obtener la calidad del agua en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018?

1.2.2. Problemas Específicos

a. ¿Cuál es la dosis adecuada del coagulante y floculante para el tratamiento de lodos de perforación diamantina en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018?

b. ¿Cuál es la calidad de los lodos de perforación diamantina sin tratamiento respecto al Límite Máximo Permisible (LMP) D.S. N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018?

c. ¿Cuál es la calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube respecto al Límite Máximo Permisible (LMP) D.S. N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018?

1.3. Objetivos: General y Específicos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube para obtener la calidad del agua en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

1.3.2. Objetivos Específicos

a. Determinar la dosis adecuada del coagulante y floculante para el tratamiento de lodos de perforación diamantina en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

b. Determinar la calidad de los lodos de perforación diamantina sin tratamiento respecto al Límite Máximo Permisible (LMP) D.S. N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S.

N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

c. Determinar la calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube respecto al Límite Máximo Permisible (LMP) D.S. N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

1.4. Justificación

El desarrollo del proyecto de investigación expone la situación de un proyecto minero donde no existía un adecuado control, disposición, tratamiento de los lodos y recuperación del agua utilizada en los sondajes de perforaciones diamantinas durante las actividades de exploración, durante las actividades se obtuvieron grandes volúmenes de lodos por cada pozo de perforación, de igual modo se sabe que las actividades de perforación diamantina son trabajos preliminares para cubicar las reservas mineralizadas, diseño de tajo y construcción de los componentes de mina.

El tratamiento de lodos de las perforaciones fue importante porque sin un control adecuado pudo afectar el medio ambiente generando impactos negativos en el proyecto de estudio y como consecuencia de ello ocasionaría problemas sociales con las comunidades y por parte del ente supervisor con una sanción al titular minero, que podría paralizar la etapa de exploración minera.

Los resultados de esta investigación contribuyeron a que el proyecto Pukaqaqa continúe con los sondajes de perforación diamantina en las diferentes zonas de estudio de acuerdo a los componentes para la mina, ya que todos los lodos generados fueron controlados y tratados adecuadamente mediante el sistema MacTube y el agua resultante esté dentro de los Límite Máximo Permisible (LMP) establecidos en el D.S. N° 010-2010-MINAM y los

parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Con una responsabilidad ambiental el proyecto minero Pukaqaqa desarrolló los estudios de perforación ya que está próximos a iniciarse la operación mina.

Por otro lado, se justifica por innovar conocimientos inherentes al tema, lo cual sirvió como referencia y contribución para una solución de dificultades similares en proyectos de exploraciones mineras.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

a) Altamirano (2013), desarrolló su trabajo de investigación con el tema "Estudio Hidroquímico y de Calidad del Agua Superficial en la Cuenca del Rio Mira" para optar el Título Profesional de Ingeniera Química de la Universidad Central del Ecuador de la ciudad de Quito – Ecuador; donde formuló como objetivo general: Análisis del Hidroquímico para la calidad del agua superficial en el rio mira, los objetivos específicos: 1) Análisis del Hidroquímico en la cuenca del río mira, 2) Determinar la calidad del agua superficial en la cuenca del rio mira; la metodología de investigación que se aplicó fue: diseño: experimental, la población con la que se trabajo fue conformada por la quebrada del rio mira; donde se llegó a los siguientes resultados: Los parámetros en CM-01 muestran 98.5% de oxígeno 1.8 mg/l de fosfatos y 4.4 mg/l de nitrato, determinación del ICA para CM-01 muestran 98.57% de Oxígeno disuelto 84.98 pH y 90.64 de Turbidez, el índice de calidad del agua del punto de muestreo CM-01 determinado para la cuenca del rio mira muestra parámetros de 72.98 ICA

(NSF9), con una calidad NSF Riego de Calidad Aceptable y de Contaminación Leve en calidad NSF para consumo humano; donde se arriba las siguientes conclusiones: 1) De acuerdo a la evaluación de la calidad del agua en función con la normativa ambiental vigente el 7% de los puntos de muestreo son contaminadas no aptas para consumo humano, el 10% con una contaminación mayor. El 45% contaminada, el 35% contaminación leve y el 3% son aptas para el consumo humano, 2) De acuerdo al estudio Hidroquímico el mayor porcentaje de las fuentes del agua muestran concentraciones de cationes de sodio y calcio en mayor cantidad junto con el anión bicarbonato.

b) Pozo (2015), desarrollo su trabajo de investigación con el tema "Estudio para Mejorar el Proceso de Tratamiento de Aguas y Manejo de Sólidos de los Fluidos de Perforación en Pozos del Oriente Ecuatoriano" para obtener el Título profesional de Ingeniero en Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito-Ecuador; donde formulo como objetivo general: Describir el proceso de los fluidos de perforación, los objetivos específicos: 1) Describir el proceso de separación del fluido y ripios de perforación en agua residual y sólidos, 2) Describir el tratamiento de aguas residuales del proceso de dewatering; la metodología de investigación que se aplicó fue: tipo: descriptivo, la población con la que se trabajo fue formada por el sistema de perforación en pozos del oriente ecuatoriano; donde se llegó a los siguientes resultados: Los fluidos de perforaciones son controlados en un 99% de todas las pozas, la separación de fluidos y detritos de perforación son eficientes al 100% del agua tratada, el tratamiento del agua industrial es eficiente y los costos del tratamiento del agua residual son económicos; donde se arribó las siguientes conclusiones: 1) Los fluidos de perforación es el medio por el cual por el cual se extraen los detritos, además estabiliza las paredes del pozo durante la construcción y controla las presiones de las formaciones, 2) El agua tratada es reutilizada en las siguientes perforaciones de las pozas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

a) Tenorio (2015), desarrolló su trabajo de investigación con el tema "Tratamiento de Lodos de Perforación Mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, Distrito de Huallanca, Región Ancash 2015" para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental de la Universidad José Carlos Mariátegui de la ciudad de Moquegua; donde formuló como objetivo general: Evaluar el tratamiento de los lodos de perforación mediante el sistema de tubos de geotextil tejido (polipropileno), los objetivos específicos: 1) Determinar el volumen del recurso hídrico utilizado en los sondajes con diamantina y el volumen recuperado mediante el empleo del sistema de tubos de geotextil tejido, 2) Evaluar las características físico-químicos de los lodos sin tratamiento y agua resultante, respecto a los parámetros físico-químicos establecidos en el D.S. N° 010-2010-MINAM, 3) Determinar si el agua resultante puede ser utilizado en el riego de accesos; la metodología de investigación que se aplicó fue: diseño: mixto, la población con la que se trabajó lo constituyen los lodos generados en las actividades de perforación minera en el proyecto, las técnicas que se utilizó fue: cuantitativas: análisis de muestras y cualitativas: análisis de documento y observación directa, el instrumento que se utilizó fue un multiparámetro y ficha de registro de campo; donde se llegó a los siguientes resultados: la calidad según los parámetros físicos-químicos para PAL1 el STS promedio es de 6219 mg/l con una dispersión de 83.43 con valores de 6160 mg/l el mínimo y 6278 mg/l el máximo, para PS1 el STS promedio es de 3.95 mg/l con dispersión de 1.20 con valores de 3.10 mg/l el mínimo y 4.80 mg/l el máximo, para PCL1 el promedio es de 2.80 mg/l con una dispersión de 0.28 con valores de 2.60 mg/l el mínimo y 3 mg/l el máximo. Para PAL1 la Turbidez promedio es de 3994.5 NTU con una dispersión de 48.79 con valores de 3960 NTU el mínimo y 4029 NTU el máximo, para PS1 la Turbidez promedio es de 4.1 NTU con una dispersión de 0.5656 con valores de 3.7 NTU el mínimo y 4.5 NTU el máximo, para PCL1 la Turbidez promedio es de 1.95 NTU con una dispersión de 0.2121 con valores

de 1.8 NTU el mínimo y 2.10 NTU el máximo; donde se arriba las siguientes conclusiones: 1) El tratamiento de los lodos de perforación mediante el empleo de los tubos de geotextil es eficiente disminuyendo en más del 96% la Turbidez y STS, 2) El volumen de lodo a tratar es de 36 m3/día y el agua recuperado es de 34.56 m3/día, 3) Los Solidos Totales Suspendidos y Turbidez del lodo sin tratamiento exceden los rangos establecidos en los LMP y ECA Agua.

b) Vigo (2016), desarrolló su trabajo de investigación con el tema "Tecnologías Limpias en el Proceso de Perforación Diamantina en la Etapa de Exploración Geológica en Minería, Cajamarca, 2016" para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas de la Universidad César Vallejo de la ciudad de Cajamarca; dónde formuló como objetivo general: Aplicar tecnologías limpias en el proceso de perforación diamantina en la etapa de exploración minera, los objetivos específicos: 1) Describir el proceso de la perforación diamantina, 2) Describir las tecnologías limpias aplicadas a la perforación en la exploración, 3) Evaluar la aplicabilidad práctica de la perforación en el norte del Perú; la metodología de investigación que se aplicó fue: diseño: no experimental – descriptivo, la población con la que se trabajó fue conformada por las empresas de mediana minería y gran minería, las técnicas que se utilizó fue la observación directa y análisis documental, el instrumento que se utilizó fue las fichas de recolección de datos, logueo geológico y geotécnico; donde se llegó a los siguientes resultados: se logró describir al 100% cada detalle del proceso de la perforación diamantina, se describió al 100% paso a paso las tecnologías limpias aplicadas en la perforación diamantina en la etapa de exploración minera, se logró evaluar la aplicabilidad práctica de las perforaciones en el norte del país; donde se arribas las siguientes conclusiones: 1) Las perforaciones diamantinas se ejecutan con bromas diamantadas que logran cortar la roca en el suelo para obtener los testigos donde de acuerdo a los estudios requeridos entran en evaluación cada una de ellas, 2) Las tecnologías limpias en perforación CRI y RECLAIM no generan contaminación porque se enfocan en la reinyección de residuos generados mediante una perforación estratégica o donde queda vacío, 3) En el país las empresas que ejecutan las

perforaciones diamantinas no aplican las tecnologías limpias en sus operaciones.

c) Bocanegra (2015), desarrolló su trabajo de investigación con el tema "Calidad de Agua para Uso Agrícola y Conservación de Recursos en la Cuenca Baja del Rio Moche, Julio-Diciembre 2014. La Libertad" para optar el Título profesional de Biólogo de la Universidad Nacional de Trujillo de la ciudad de Trujillo; donde desarrolló un minucioso estudio sobre los procedimientos para la calidad del agua de acuerdo a los parámetros físicos-químicos para la conservación del recurso hídrico comparados con ECA para agua Categoría 3 del D.S. N° 002-2008-MINAM; donde llegó a los siguientes resultados: En la cuenca baja del Rio Moche los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua Categoría 3 muestran los siguientes resultados: valor promedio de pH se encuentran entre 7.6 y 7.9, temperatura ambiental muestra un valor máximo de 20.12°C, Conductividad con un máximo valor de 1066 µs/cm y un mínimo valor de 970.275 µs/cm, oxígeno con un máximo valor de 2.86 mg/l y un mínimo valor de 1.43 mg/l, oxígeno disuelto con un valor de 12.86 mg/l y un mínimo valor de 9.60 mg/l; donde se arriba a las siguientes conclusiones: 1) La calidad del agua del río moche se encuentran dentro de los límites establecidos según los parámetros físico-químicos calculados en comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, 2) La correlación de Pearson muestra que existe una relación positiva entre el pH y la Temperatura con un valor de 0.7633, 3) El Oxígeno Disuelto y la Temperatura muestra una correlación positiva con un valor de 0.2500.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Tratamiento de Lodos de Perforación Diamantina con el Sistema MacTube

El Informe Técnico Sustentatorio (ITS) involucra la instalación del Sistema MacTube como almacén temporal de residuos para el tratamiento de lodos en la campaña 2018. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, págs. 06-07).

Los lodos de perforación fueron sedimentados en la poza junto a las plataformas para luego ser retirados mediante mangueras hacia los camiones cisternas de 15m3 (15 000 L) el cual fueron transportados hacia la tina de acondicionamiento de lodos previo al ingreso al sistema MacTube. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 25).

2.2.1.1. Historia de Tratamiento de Lodos en el Proyecto Pukaqaqa

Desde inicios de la exploración en el Proyecto Pukaqaqa se tuvo diferentes métodos para el tratamiento de los lodos generados por las perforaciones diamantinas.

En un inicio el sistema para el tratamiento de lodos se instaló en un área donde se requirió un motor electrógeno para bombear el lodo de una tina a la otra y a lo largo de todas las campañas de perforación se tuvo varias etapas en donde se fue mejorando el trabajo de tratamiento de lodos. (Huiza, 2018).

En la tina de 3 m^3 se descargó lodos con la bomba en un tiempo de 45 minutos aproximadamente, tiempo que no lograba abastecer a la cantidad de lodos que llegaba en los camiones cisternas, lodos que provenían de los sondajes de perforación con mucha densidad de detritos de rocas.

Según Huiza (2018), el tratamiento de lodos con el sistema MacTube se dio inicio el año 2012 y se viene mejorando a lo largo de los años, en la actualidad el tratamiento de los lodos muestra resultados eficientes.

A nivel nacional en el Proyecto Pukaqaqa se realizó el primer trabajo con el sistema MacTube para el tratamiento de lodos, desde los inicios muestran resultados eficientes en la recuperación del agua y que están dentro de los Límites Máximos Permisibles.

Actualmente muchos proyectos de exploración minera como Hilarión y Magistral propiedad de la Compañía Minera Milpo S.A.A. vienen trabajando con el sistema MacTube.

2.2.1.2. Sistema MacTube

El Sistema MacTube para la campaña 2018 fueron instaladas de forma estratégica puesto que toda la distribución es por gravedad.

El sistema MacTube es un proceso de tratamiento eficiente para recuperar el agua que fueron utilizadas en las perforaciones diamantinas.

Para las medidas de manejo y mitigación ambiental del suelo se adoptaron medidas temporales de control de la erosión tales como coberturas inertes (la poza de geocontenedores MacTube y el almacén de lodos secos del sistema de deshidratación). La cobertura de geomembrana mismo que disminuirá la posibilidad de contaminación de suelos en caso de derrames. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 34).

Figura 1. Instalación del Sistema MacTube

Fuente. Nexa Resources Perú S.A.A.

Figura 2. Tratamiento de Lodos

Fuente. Nexa Resources Perú S.A.A.

El MacTube es un tubo fabricado con geotextil tejido de alta tenacidad, inerte a la degradación biológica y resistente a los ataques químicos (óxidos y ácidos).

2.2.1.3. Componentes del Sistema de Tratamiento de Lodos MacTube

Según Huiza (2018), los componentes del sistema de tratamiento de lodos de perforación diamantina con el sistema MacTube son:

2.2.1.3.1. Tinas de Recepción de Lodos

Las tinas de recepción de lodos tienen una capacidad para almacenar de 13 m^3 cada una, es el área previa al ingreso a la tina de tratamiento. Las cuales tienen por función recibir y almacenar los lodos provenientes de las plataformas de perforación diamantina que son transportados por camiones cisternas de 15m3 (15 000 L).

Figura 3. Tinas de almacenamiento de lodos

Fuente: Nexa Resources Perú S.A.A.

Cada uno de las tinas de recepción de lodos tienen una válvula instalada en la base con mangueras de 2 pulgadas que tienen como fin transportar el lodo recepcionado hasta la tina de tratamiento.

Figura 4. Válvula principal para abastecer lodo.

Fuente. Nexa Resource Perú S.A.A.

2.2.1.3.1.1. Flujo de Lodos

El flujo de lodos generado en el proyecto es de acuerdo a las perforaciones ejecutadas por día (m3/día).

El consumo de agua en promedio es de 11.18 gal/min (sin retorno). Por lo que el volumen industrial estimado que utilizan 6 máquinas perforadoras en simultaneo es de 4.23 L/s. el agua que se utiliza son proveídos con camiones cisternas de 5 000 galones de capacidad. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 29).

El flujo de lodos generado en los sondajes de perforación diamantina (con retorno) es el siguiente:

Cuadro N° 1. Flujo de lodos (con retorno) generados en las perforaciones diamantinas

Flujo de lodos (con retorno) generados por las máquinas de perforación diamantina											
Item	Máquinas	Litros de lodos generados por tiempo					Volumen de lodos generados por tiempo				
		L/s	L/min	L/hr	L/gda	L/día	m3/s	m3/min	m3/hr	m3/gda	m3/día
1	LF90D-02	0.705	42.3	2538	20304	40608	0.001	0.043	2.556	20.448	40.896
2	LF90D-05A	0.705	42.3	2538	20304	40608	0.001	0.043	2.556	20.448	40.896
3	LF90D-06A	0.705	42.3	2538	20304	40608	0.001	0.043	2.556	20.448	40.896
4	DE 710-07	0.705	42.3	2538	20304	40608	0.001	0.043	2.556	20.448	40.896
5	Mancore	0.705	42.3	2538	20304	40608	0.001	0.043	2.556	20.448	40.896
6	TDR-500 Ecohñan	0.705	42.3	2538	20304	40608	0.001	0.043	2.556	20.448	40.896
TOTAL		**4.23**	**253.8**	**15228**	**121824**	**243648**	**0.004**	**0.256**	**15.336**	**122.688**	**245.376**

Fuente. Buenaventura Ingenieros S.A. (BISA Ingeniería de Proyectos S.A., 2018)

2.2.1.3.1.2. Densidad de Lodo

Según Huiza (2018), los tratamientos se realizaron de acuerdo a la densidad del lodo que vienen de las perforaciones.

a) Partículas en Suspensión

Las partículas en suspensión de los lodos provienen de los detritos de rocas y de la disolución de sustancias minerales.

Las características de las partículas en suspensión son los siguientes:

- ✓ Tamaño de las Partículas en Suspensión

  Las partículas se clasifican según su tamaño; con diámetro inferior a 1 micrómetro (µm), se depositan muy lentamente.

Cuadro N° 2. *Tiempo de decantación de las diferentes partículas en función del diámetro y densidad.*

Tipo de Partículas	Diámetro (mm)	Tiempo de Caída			
		Densidad 2.65	Unidad	Densidad 1.1	Unidad
Grava	10	0.013	s	0.2	s
Arena Gruesa	1.0	1.266	s	20.9	s
Arena fina	0.1	126.66	s	34.83	min
Lodo fino	0.01	3.52	h	58	h
Bacterias	0.001	14.65	d	249.1	d
Coloides	0.0001	4.12	a	66.59	d

Fuente: Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación (2000).

- ✓ Los Coloides

  Los coloides son suspensiones estables, dado que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la **turbiedad** y del **color de agua**.

b) Los Lodos

Los lodos contienen 2 tipos de sólidos:

- **Sedimentables**. Partículas con diámetro mayor de 10 micras (Ø > 10 micras).
- **No sedimentables**. Son sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.
  - ✓ Los sólidos suspendidos generalmente: arcilla, cieno, etc., son partículas en el orden de magnitud de 1 micra.
  - ✓ Las partículas coloides que suelen ser causantes de la turbidez y el color consisten en limo fino, bacterias, lignitos, etc., tienen tamaño de partícula entre 1 micra y 1 milésima de micra.

2.2.1.3.2. Tina de Tratamiento de Lodos

La tina de tratamiento de lodos tiene una capacidad de $3m^3$ (3 000 L). Donde se añaden dosis de coagulante y floculante para el proceso del tratamiento.

Los lodos al ser mezclados con los aditivos deben agitarse constantemente hasta obtener efecto; el agua turbia (lodo) fue separándose en grumos de lodos y va mostrándose agua clara.

La utilización del coagulante y floculante aceleran el proceso de deshidratación de lodos.

.

Figura 5. Durante el tratamiento del lodo

Fuente. Nexa Resources Perú S.A.A.

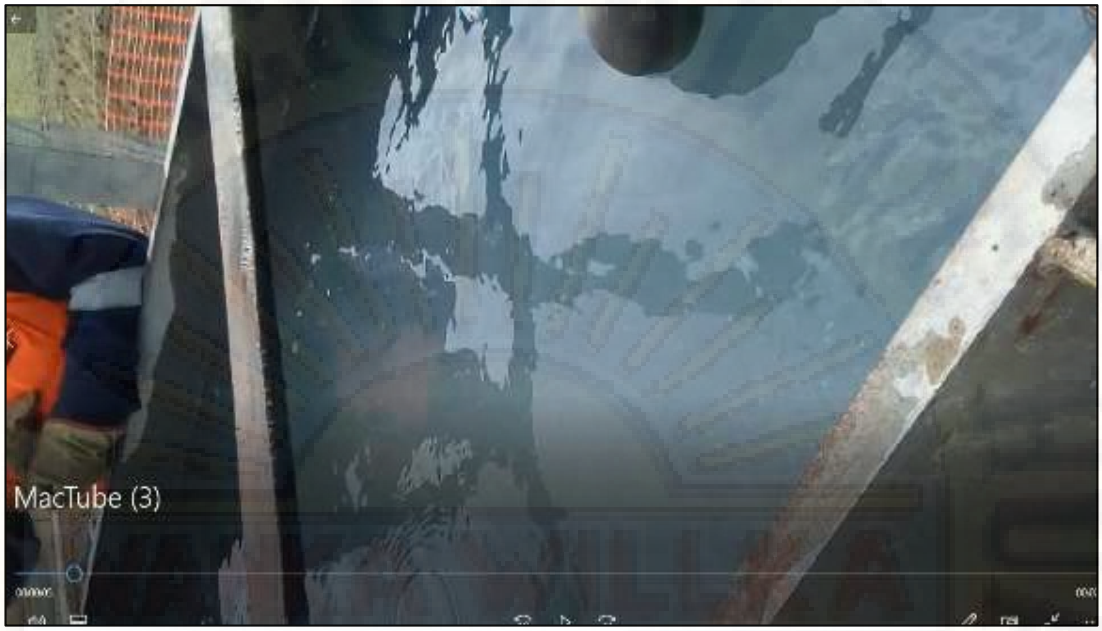


Figura 6. Después del tratamiento

Fuente. Nexa Resources Perú S.A.A.

Asimismo añade Huiza (2018), el proceso de tratamiento se trabaja con dos aditivos: coagulante y floculante, son productos biodegradables por lo que no son contaminantes es por ello que después del tratamiento el agua resultante es usado para riego de las plantas en el entorno de las instalaciones del sistema MacTube y dan buenos resultados.

a) El Mecanismo de Coagulación y Floculación

La descontaminación del agua es la clarificación que es el proceso físico-químico cuyo objetivo fue eliminar las partículas que enturbian el agua (es decir: los sólidos en suspensión, precipitándolos en forma de lodos). (Nihon Kasetsu, 2019).

El agua utilizada durante la perforación diamantina resulta con altos contenidos de turbidez y detritos de partículas muy pequeños llamados *partículas coloides*. Para eliminar estas partículas se acude a los procesos de coagulación y floculación. La *coagulación* tiene por objetivo desestabilizar las partículas en suspensión es decir (facilitar la aglomeración), durante el tratamiento este procedimiento es caracterizado por la inyección y disposición

rápida de productos químicos. La *floculación* tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas, estas partículas se unen para formar un floc (grumos de lodos) que quedan atrapados dentro de las bolsas del MacTube. (Andía, 2000, pág. 5).

Las partículas que se encuentran en suspensión tienen cierta carga eléctrica negativa que las hace estar en constante movimiento (movimiento browniano). *Se denomina coagulación al proceso de desestabilización de las partículas en suspensión coloidal presentes en el agua*. *La floculación es la aglomeración (masa) de esas partículas desestabilizadas en flóculos más grandes que pueden decantarse en forma de lodo y posteriormente filtrarse*. Para que se produzcan ambos procesos se debe añadir sustancias denominadas coagulantes y floculantes.

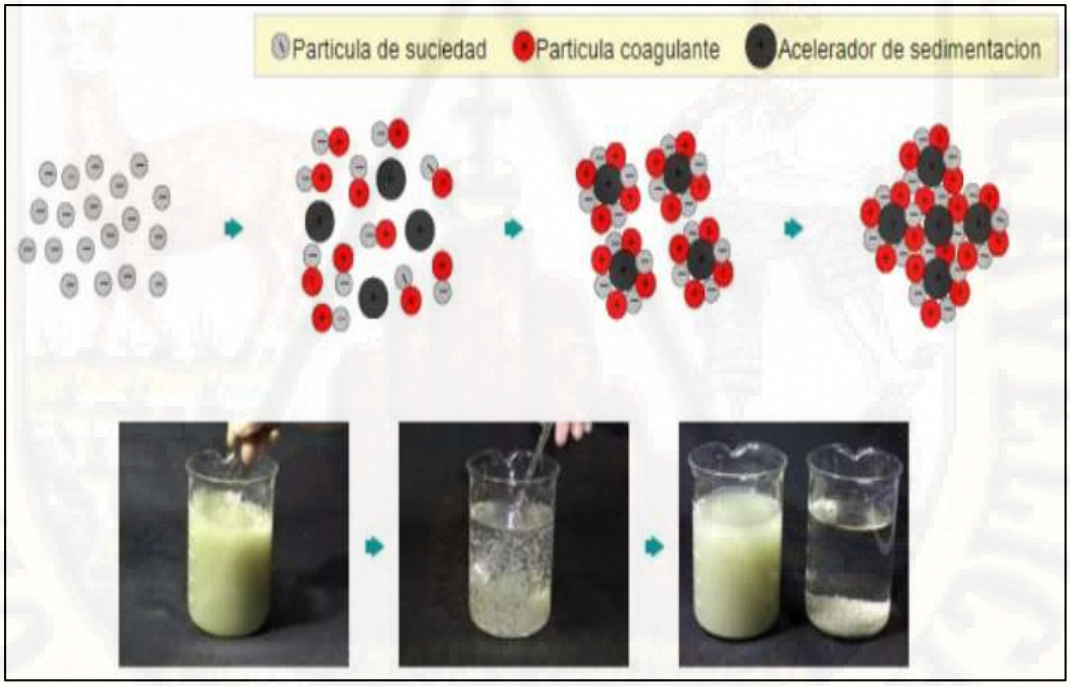


Figura 7. El mecanismo de coagulación y floculación

Fuente. (Nihon Kasetsu, 2019)

Los floculantes realizan ambos procesos de coagulación/floculación. Contienen sustancias con carga positiva que atraen a las partículas en suspensión coloidal para posteriormente juntar los corpúsculos (partículas)

formados con otros compuestos minerales haciendo que se sedimenten en forma de lodo.

2.2.1.3.2.1. Coagulante

a) Objetivo principal

La coagulación tiene por objetivo desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables, turbiedad y la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos. (Andía, 2000, pág. 9).

b) Que es la Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la energía del mezclado (agitación). (Andía, 2000, pág. 9).

Asimismo Pozo (2015), define que es el proceso por el cual se reducen las fuerzas de repulsión existentes entre las partículas coloidales, mediante la aplicación de sustancias químicas (coagulantes) al agua y su distribución uniforme en ella (agitación), estos productos neutralizan las cargas eléctricas negativas sobre la superficie del coloide; este proceso permite la unión de las mismas. La coagulación inicia en el mismo instante en que se agregan los químicos coagulantes en un tiempo de una fracción de segundo.

En la siguiente figura se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos (grumos de lodos). (Andía, 2000, págs. 9-10).

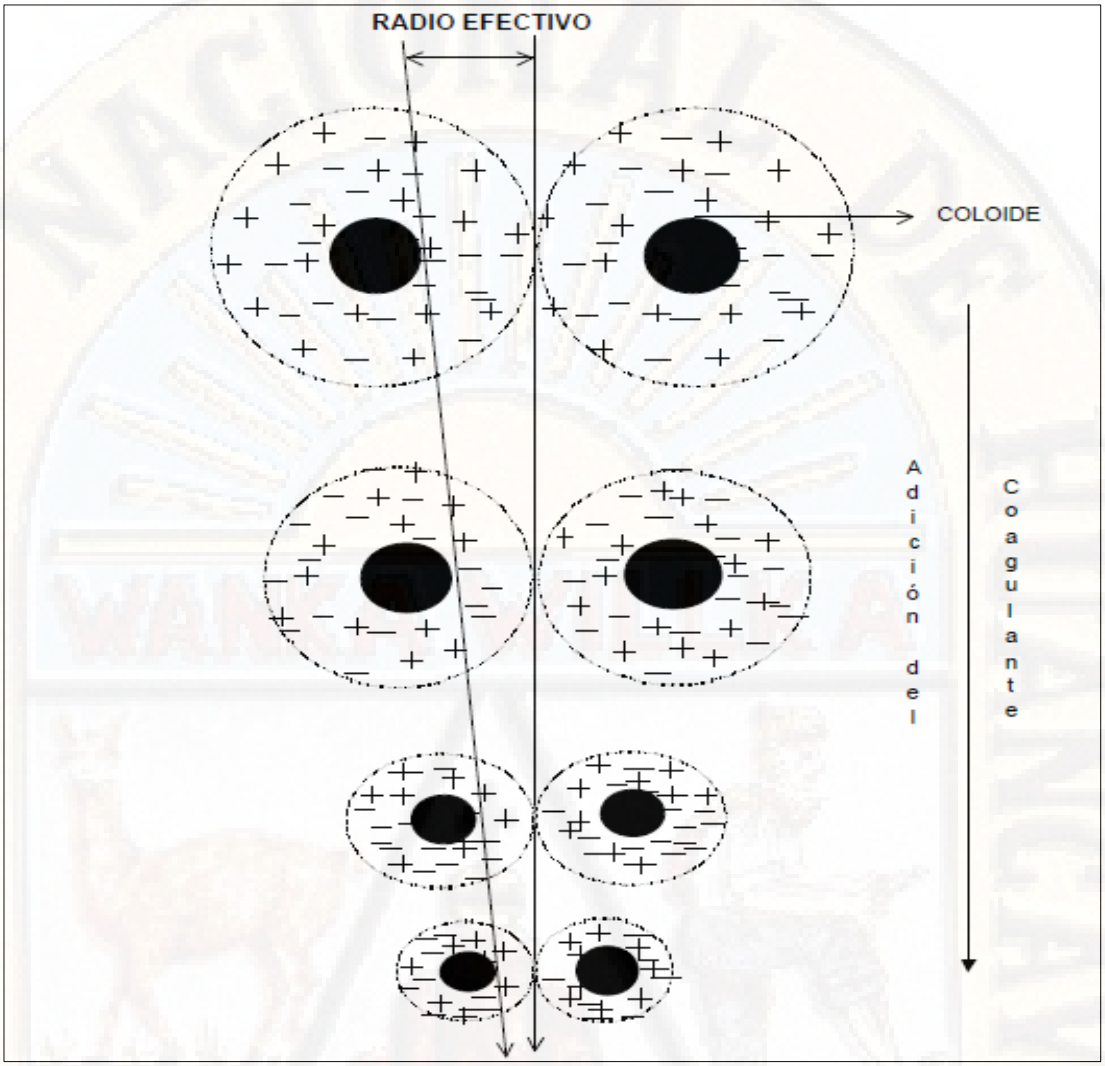


Figura 8. Coagulación

Fuente: Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación (2000).

La adición del coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la nube de iones que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

c) Coagulante Utilizado

Los componentes son productos químicos que, al añadir al agua producen una reacción química con los componentes químicos del agua, principalmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso y muy absorbente, compuesto absolutamente por el hidróxido metálico del coagulante utilizados que son las sales de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$

y de Hierro $FeCl_3$; cuando se añaden estas sales al agua para su preparación producen una serie de reacciones muy complejas, donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones, estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados. (Andía, 2000, pág. 14).

Alcalinidad. La alcalinidad es un método de análisis, con el que se determina el contenido de bicarbonatos (HCO_3); carbonatos (CO_3^{-2}) e hidróxidos del agua natural o tratada. La alcalinidad tiene relación con el pH del agua. (Andía, 2000, pág. 14).

d) Influencia de la Dosis del Coagulante

La cantidad del coagulante a usar para el tratamiento tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, como:

- Dosis con poca cantidad del coagulante, no llega a neutralizar totalmente la carga de la partícula, por lo que la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbidez es elevada.
- Dosis con alta cantidad del coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, que conduce a la formación de una gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto, la turbidez es elevada.
- La Dosis óptima del coagulante produce efectos significativos para la buena calidad del agua recuperada.

Según Huiza (2018), la dosificación del coagulante para el tratamiento de lodos se trabajó con una cantidad estándar.

Se requirió de:

- 0.04 mililitros (ml) de coagulante por litro de agua.

La preparación fue de:

- 120 mililitros (ml) de coagulante por tina de tratamiento; ya que la tina tiene la capacidad de 3m3 (3 000 L).

e) Influencia de Mezcla

El grado de agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua para que la mezcla entre el agua y el coagulante sean eficientes y pueda producir la reacción química de neutralización de cargas correspondientes.

f) Fases de la Coagulación

La coagulación se desarrolla de manera instantánea que son las etapas:

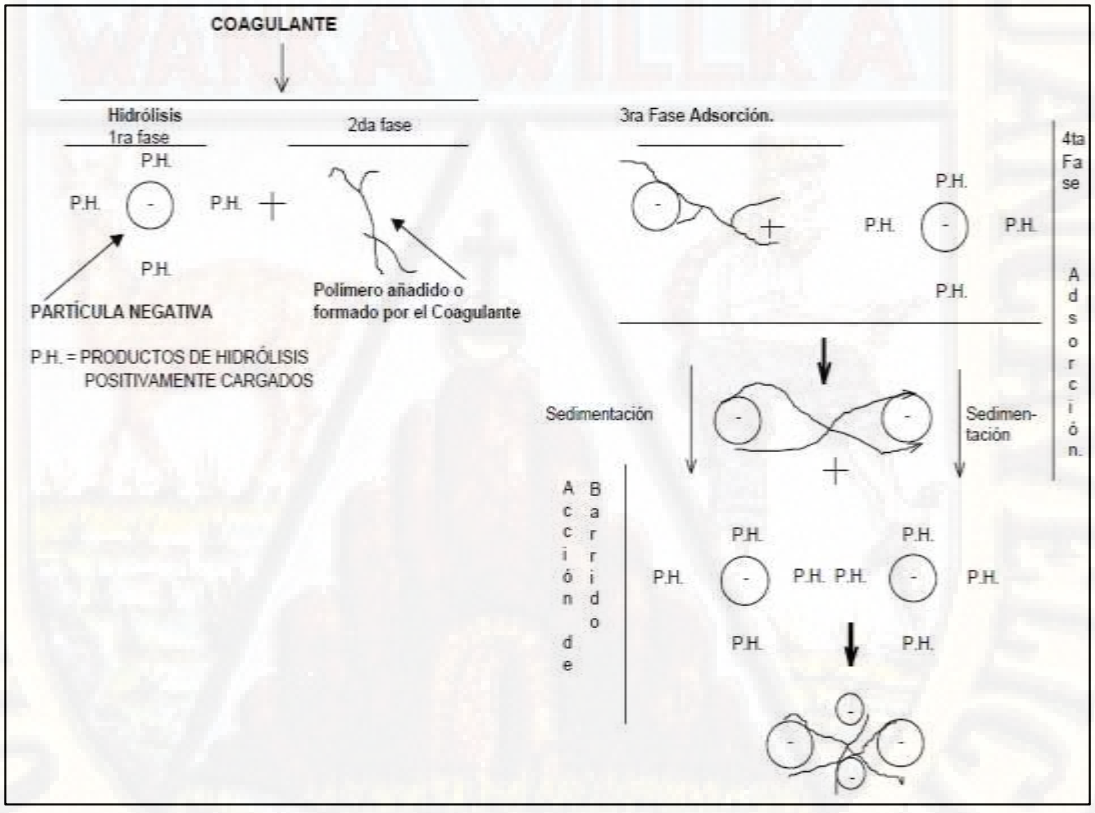


Figura 9. Fases de la coagulación

Fuente: Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación (2000).

g) Tipos de Coagulación

Son dos tipos de coagulación: Por Adsorción y Por Barrido.

i. Coagulación Por Adsorción

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua muestra una alta concentración de partículas al estado coloidal (alta Turbidez); cuando el coagulante es añadido en agua turbia, los productos solubles de los coagulantes son absorbidos por los coloides y forman los flóculos casi instantáneo. (Andía, 2000, pág. 26).

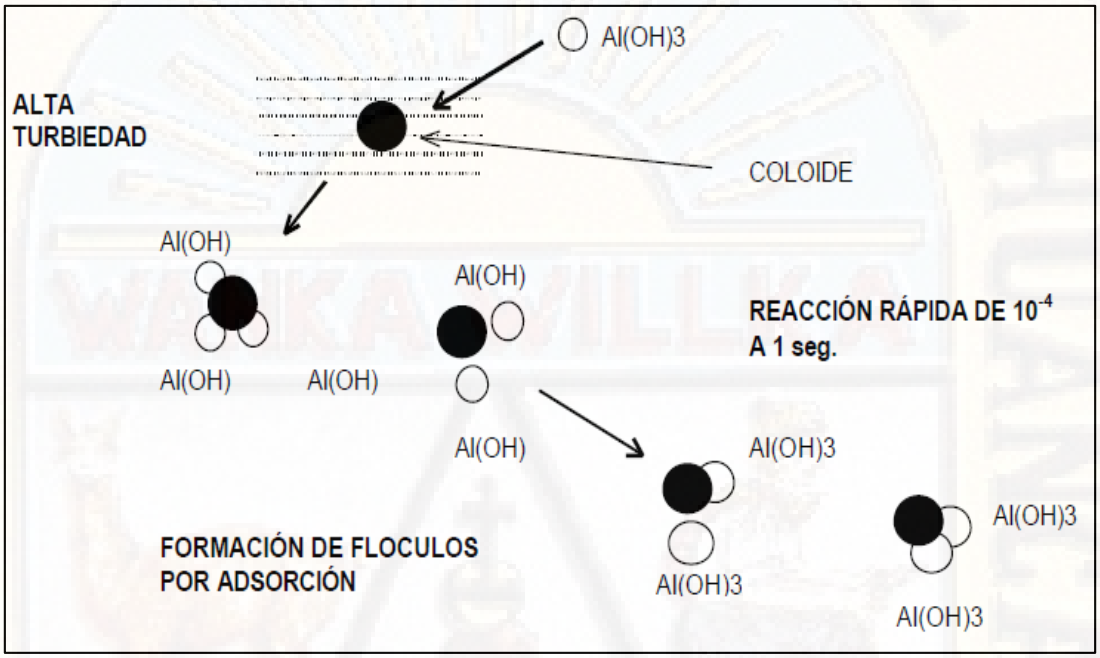


Figura 10. Coagulación Por Adsorción

Fuente: Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación (2000)

ii. Coagulación Por Barrido

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (baja Turbidez) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico. (Andía, 2000, pág. 27).

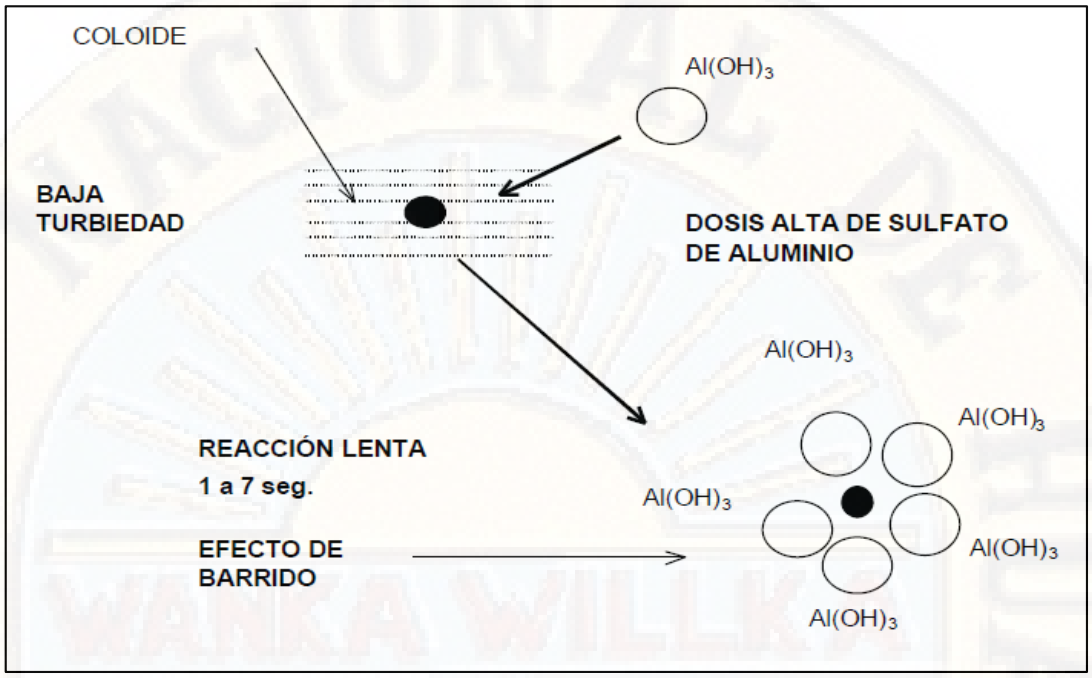


Figura 11. Coagulación Por Barrido

Fuente: Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación (2000)

2.2.1.3.2.2. Floculante

a) Objetivo de la Floculación

La floculación tiene por objetivo permitir los contactos entre los flóculos, la turbidez y el color, la mezcla deber ser adecuada para crear diferencias de velocidades del agua dentro de la unidad de floculación. (Andía, 2000, pág. 30).

El floculante tuvo la finalidad de separar y aglutinar las partículas sólidas, minimizando el escape de la fracción más fina de sedimentos y mejora la velocidad de la deshidratación.

b) Definición

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación. Consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos (grumos de lodo) formados, con la finalidad de agrandar el tamaño de las partículas del flóculo y el peso para sedimentar con facilidad. (Andía, 2000, pág. 33).

La floculación es el fenómeno de transporte de partículas previamente coaguladas o desestabilizadas, es el puente que une dos o más partículas que colisionan para formar partículas más grandes de fácil asentamiento conocidos flóculos y se tiene que hacer una agitación suave del agua; el flóculo de color (coloides) es débil, quebradizo y se sedimenta muy lentamente. El flóculo de turbiedad (Sólidos Suspendidos) es fuerte y se asienta relativamente rápido. (Pozo, 2015, pág. 118).

El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables.

Figura 12. Floculación

Fuente: Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación (2000)

c) Tipos de Floculación

Hay dos tipos de Floculación:

i. Floculación Pericinética

Es producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y está inducida por la energía térmica. Este movimiento es conocido como el movimiento browniano. (Andía, 2000, pág. 34).

ii. Floculación Ortocinética

> Se basa en las colisiones de las partículas a causa del movimiento del agua, que es inducido por una energía exterior (mecánico o hidráulico) a la masa del agua. (Andía, 2000, pág. 34).

Una vez coagulada el agua tiende a producirse la aglomeración de los microflóculos, para que esto suceda se produce primero la *floculación pericinética* luego se produce la *floculación ortocinética*.

d) Parámetros de la Floculación

Los parámetros característicos de la floculación son:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de velocidad (energía suficiente para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microflóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño del floc (grumos de lodo).
- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

e) Floculantes

Son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua, están formadas por bloques monómeros, repetidos en cadena larga.

f) Dosis de Floculante

Según Huiza (2018), la dosificación del floculante para el tratamiento de lodos se trabajó con una cantidad estándar.

Se requirió de:

- 500 mililitros (ml) de floculante por 60 galones de agua (cilindro para preparación).

Por lo tanto, para una tina de tratamiento de 3m3 (3 000 L) se suministró 16 Litros de floculante preparado.

Figura 13. Preparación del floculante.

Fuente. Nexa Resources Perú S.A.A.

2.2.1.3.2.3. Tiempo de Tratamiento de Lodos

El tiempo de tratamiento del lodo en el área del MacTube es de la siguiente manera:

Cuadro N° 3. *Tiempo de tratamiento de lodos*

Item	Capacidad de una tina de tratamiento de lodos	Numero de tinas tratados por tiempo			Volumen de lodos tratado	
		N° T/10 min	N° T/hr	N° T/gda	m3/gda	m3/mes
1	3m3 (3 000 L)	1	6	72	216	6480

Fuente: (Empresa Comunal Hatun Ñan - Ecohñan, 2018)

Según Huiza (2018), por cada tina de lodo tratado contiene un promedio de 20% de lodo y 80% de agua que es recuperado.

2.2.1.3.3. Geocontenedor MacTube

Al recibir el lodo en su interior, el MacTube permite salir el flujo del líquido a través de los poros del geotextil tejido, el cual retiene las partículas sólidas, reduciendo el contenido de humedad y consecuentemente la cantidad de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), generando agua clara. (MACCAFERRI América Latina, pág. 3).

Los geocontenedores MacTube reciben lodos mezclados con coagulante y floculante, desarrolla la deshidratación a través de un proceso de eliminación del agua clara por gravedad y retener el lodo que quedan atrapados en su interior. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 27).

Para el acondicionamiento de las bolsas del MacTube se construyó una plataforma de 20m x 24m (480 m^2) con un gradiente de 1% para que el agua filtrado pueda circular hacia las siguientes pozas de agua recuperada para ser reutilizado en las actividades.

Figura 14. Instalación de la bolsa del MacTube

Fuente: (MACCAFERRI América Latina).

a) Beneficios del MacTube

- Gran reducción del volumen de lodos y sedimentos.
- Reduce el espacio de almacenamiento del lodo o sedimento, permite el apilamiento de las unidades.

- Excelente relación costo/beneficio.
- Fácil instalación y operación.
- Bajo mantenimiento.
- Posibilita el aprovechamiento de los sólidos.
- Alta velocidad de contención y deshidratación.
- Reduce de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- Clarifica el agua.

2.2.1.3.3.1. Capacidad

Una bolsa del MacTube tiene la capacidad de almacenar 40m^3 de lodo sedimentado.

La Unidad del MacTube tiene las siguientes medidas:

Cuadro N° 4. *Medidas del geocontenedor MacTube*

Material	Circunferencia (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Puertas de entrada	Volumen (m3)
MacTube	9,10	4	7	1,5	1	40

Fuente. Tesis *"Tratamiento de Lodos de Perforación Mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, Distrito de Huallanca, Región Ancash"* (2015, pág. 96).

2.2.1.3.3.2. Tiempo de Deshidratación

El MacTube deja salir el agua a través de los poros del tejido, el efluente que drena es de:

Cuadro N° 5. *Tiempo de deshidratación*

Tiempo de deshidratación					
Item	Geocontenedores	Litros de aguas recuperados por tiempo			
		L/s	L/min	L/hr	L/día
1	Bolsa #1	0.4	24	1440	34560
2	Bolsa #2	0.4	24	1440	34560
3	Bolsa #3	0.4	24	1440	34560
4	Bolsa #4	0.4	24	1440	34560
5	Bolsa #5	0.4	24	1440	34560

6	Bolsa #6	0.4	24	1440	34560
	TOTAL	**2.4**	**144**	**8640**	**207360**

Fuente: (Empresa Comunal Hatun Ñan - Ecohñan, 2018)

Una bolsa de MacTube lleno al 100% tiene que estar hasta 3 meses (90 días) para que el agua clara filtre hasta en un 99% y quede lodo sedimentado seco.

Dentro de las bolsas del MacTube el lodo tiende a sedimentarse y el agua es expulsado mediante filtraciones por las paredes.

Cada una de las bolsas del MacTube han sido colocadas estratégicamente sobre rocas de cantos rodados con una gradiente de 1% para que el agua pueda filtrar consecutivamente.

Este proceso de deshidratación conocido en inglés como "*dewatering*".

Figura 15. Filtración del agua clara de las bolsas del MacTube

Fuente: Nexa Resources Perú S.A.A.

Una vez bombeados los lodos dentro de las bolsas del MacTube, el tejido retiene los sedimentos dejando salir agua a través de los poros del tejido. El efluente que drena de los tubos se colecta para ser

reutilizado en las operaciones en la campaña de perforación. (Pedocchi, Mosquera, Teixeira, & Groposo, 2011, pág. 15).

La adición del coagulante y floculante mejoran la eficiencia del proceso de deshidratación de lodos, reduciendo el tiempo de desagüe y contribuyendo a la separación entre el agua y los sólidos, minimizando el escape de la fracción más fina de los sedimentos.

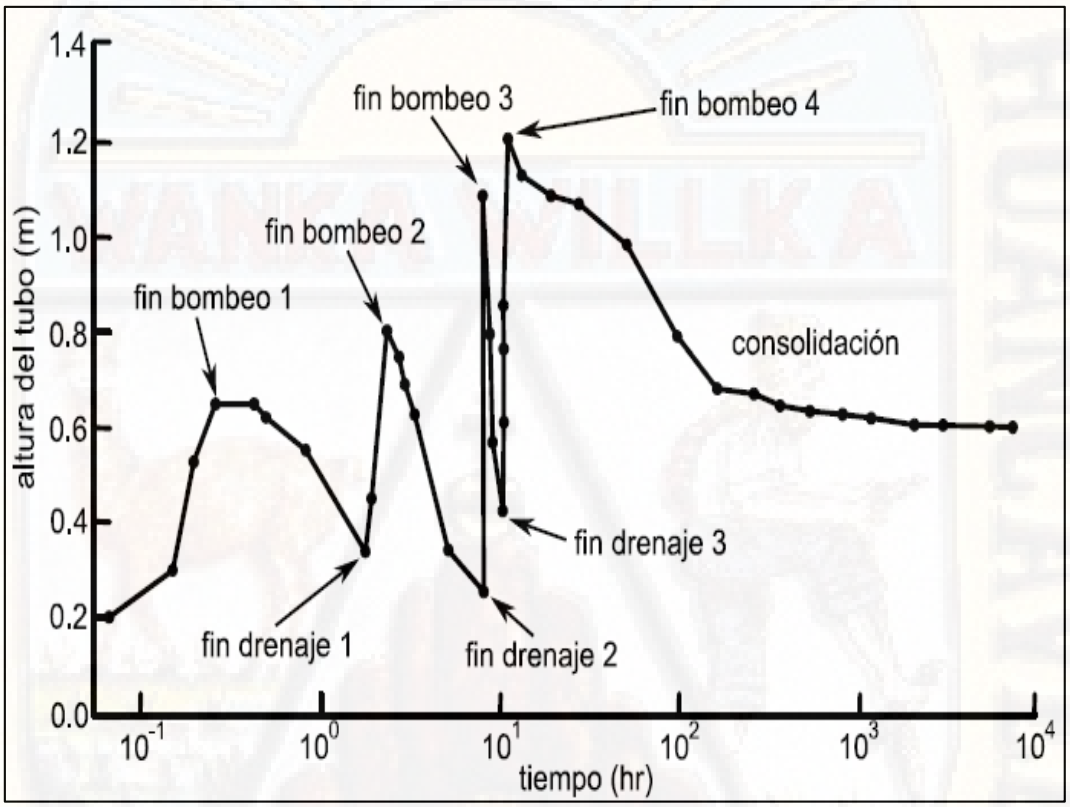


Figura 16. Evolución de la altura de la bolsa de MacTube durante cinco ciclos consecutivos de llenado, drenaje y consolidación.

Fuente: Fuente: Adaptado de Pedocchi et al. (2011). *Evaluación de la aplicación de los contenedores geotextiles de los materiales de dragado de la Bahía de Montevideo (p. 16).* Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

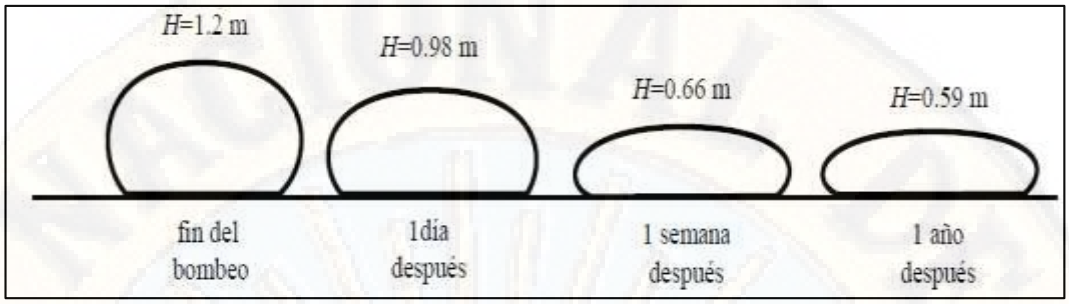


Figura 17. Tiempo de deshidratación después del llenado final

Fuente: Fuente: Adaptado de Pedocchi *et al.* (2011). *Evaluación de la aplicación de los contenedores geotextiles de los materiales de dragado de la Bahía de Montevideo (p. 16).* Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

2.2.1.3.3.3. Número de Geo-contenedores Sedimentados

De acuerdo a los sondajes de perforación diamantina para la campaña 2018 se tuvo programado utilizar 10 unidades de Geo-contenedores MacTube en un área de 20m x 24m (480 m2) donde serán instalados estratégicamente. El acondicionamiento de las unidades de Geo-contenedores MacTube fue en forma progresiva.

Según Huiza (2018), se tiene 6 unidades de Geo-contenedores MacTube llenas al 100%.

Figura 18. Bolsas de MacTube sedimentado

Fuente. Nexa Resources Peru S.A.A.

2.2.1.3.4. Poza de Agua Clarificada

La poza de agua clarificada es el elemento final del sistema de deshidratación MacTube.

El agua que filtra de las bolsas del MacTube es agua clara sin partículas de lodos que pasa por gravedad a la primera poza de almacenamiento de agua clarificada con un caudal de (Q = 0,4 l/s) donde son acumulados para luego retirarlos con camiones cisternas de 15m3 (15 000 L) para diferentes usos en las operaciones del Proyecto Pukaqaqa.

Cada una de las pozas fueron construidas con una dimensión de 4m (ancho) x 5m (largo) x 2m (profundidad) con una capacidad total de (40m^3) de volumen.

El agua recuperada es utilizada en las siguientes operaciones como:

- Riego de accesos; Riego de las vegetaciones (áreas remediadas)
- Acumulación en bidones para la preparación del coagulante

En la poza final se tomó muestras de agua para evaluar según el DS N° 010-2010-MINAM (LMP) y DS N° 004-2017-MINAM (ECA para agua).

Figura 19. Pozas de acumulación de agua recuperada del Sistema MacTube

Fuente: Nexa Resources Perú S.A.A.

a) Tanque IBC para Almacenamiento de Agua Clara

El tanque de IBC (chavo) tiene la capacidad de 1m3 (1000 L), tuvo por objetivo almacenar agua producto de la deshidratación de lodos, para luego ser utilizada en la disolución del floculante.

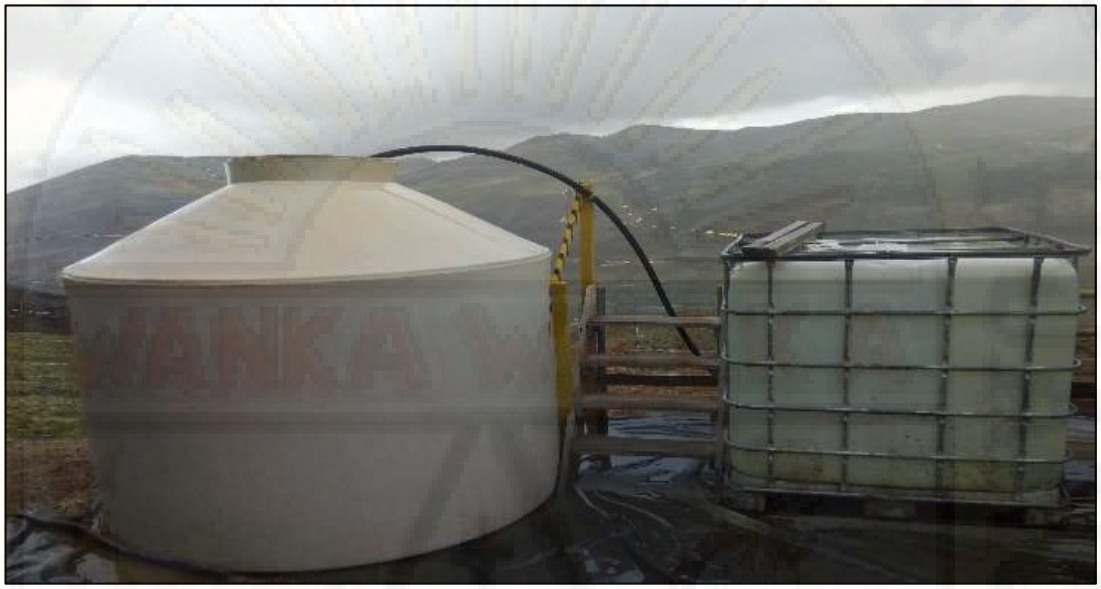


Figura 20. Tanque IBC (1000 L)

Fuente. Nexa Resources Perú S.A.A.

2.2.1.3.5. Confinamiento del Lodo Seco

Al culminar los 88 sondajes de perforación diamantina en el Proyecto Pukaqaqa y evacuadas al 100% los lodos de todas las plataformas de perforación al sistema MacTube para su tratamiento correspondiente, se dispuso la disposición final del lodo seco como parte del cierre progresivo de la campaña 2018.

Se almacenaron los geocontenedores con los lodos secos ya filtrados desde el sistema MacTube hasta la poza madre por intermedio de un camión grúa. Los lodos secos dentro del MacTube feuron llevados hasta su disposición final únicamente como parte del cierre progresivo de cada plataforma de perforación en tierra firme. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, págs. 27-28).

Los lodos secos fueron destinados para su confinamiento final en una poza madre donde se hizo excavaciones de 20m (ancho) x 20m (largo) x 5m (profundidad) (2 000m^3) en la zona NE del tajo norte.

Figura 21. Lodo seco

Fuente: (MACCAFERRI América Latina, pág. 5).

2.2.1.4. Características de los Geo-contenedores MacTube

2.2.1.4.1. Características

La característica de los tubos de geotextil es el tejido que permite la salida del agua por los poros del textil, reteniendo los sólidos en el interior y son de mayor resistencia mecánica, están compuestos por polímeros sintéticos. Son fabricados cosiendo juntos varios paños de geotextil.

Los tubos de geotextil tejido son fabricados en base a fibras de poliéster de alto módulo elástico (polipropileno de alta densidad). En materiales tejidos se disponen de dos direcciones perpendiculares (longitudinal y transversal) con una abertura pequeña, las deformaciones del geotextil tejido son normalmente del orden 10 al 15%. (Tenorio, 2015, págs. 45-46).

En la parte superior del tubo se ubican los puertos por donde ingresa el lodo tratado. Los puertos de llenado son mangas con el mismo geotextil y que están unidos al tubo mediante costuras con diámetros entre 30cm y

50cm, normalmente suelen tener un largo en el entorno de 1m y que se ubican en el centro de uno de los paños. (Pedocchi, Mosquera, Teixeira, & Groposo, 2011, pág. 3).

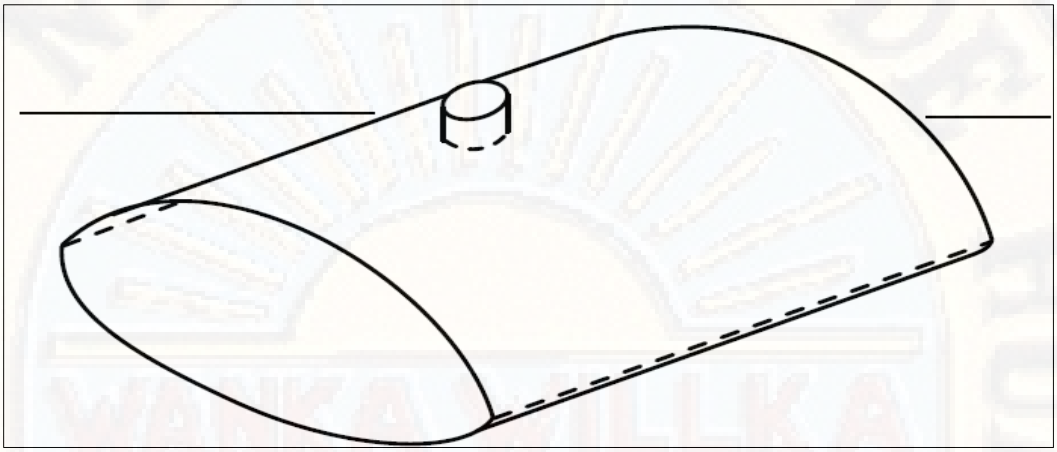


Figura 22. Tubo usado para aplicaciones de deshidratación mostrando las costuras en los lados y entorno al puerto de llenado.

Fuente: Fuente: Adaptado de Pedocchi *et al.* (2011). *Evaluación de la aplicación de los contenedores geotextiles de los materiales de dragado de la Bahía de Montevideo (p. 4).* Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

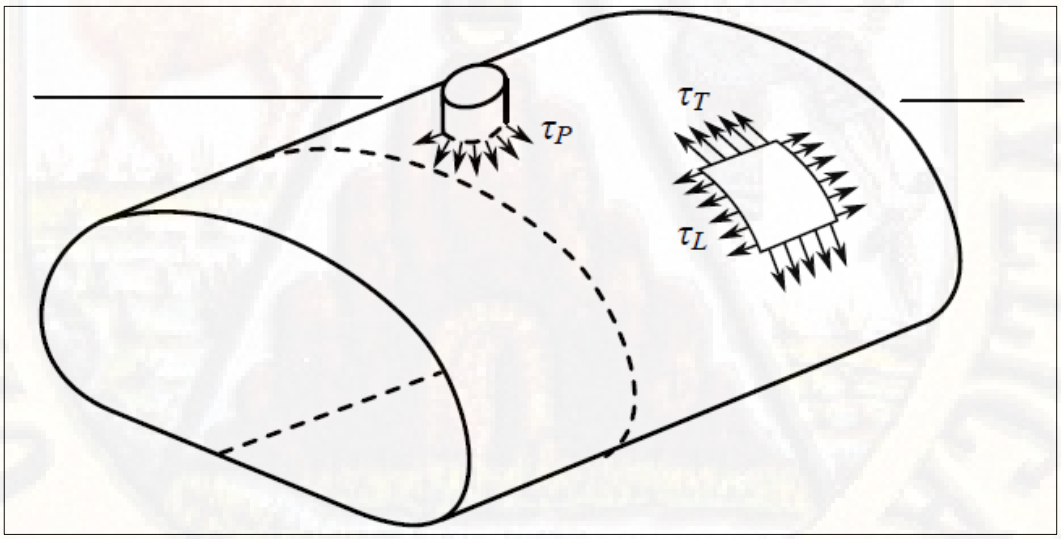


Figura 23. Tensiones longitudinales (τL), las tensiones transversales (τT) y las tensiones en el puerto de llenado (τP)

Fuente: Adaptado de Pedocchi *et al.* (2011). *Evaluación de la aplicación de los contenedores geotextiles de los materiales de dragado de la Bahía de Montevideo (p. 4).* Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

Desde un punto de vista técnico es útil tener aproximaciones de primer orden a las dimensiones que tomará un tubo geotextil de un diámetro determinado cuando está lleno. El ancho *W*, altura *H*, área transversal *A*, el ancho del contacto de la base *b* y las cargas impuestas sobre la base de apoyo ϭ para un tubo lleno sobre una base firme. (Pedocchi, Mosquera, Teixeira, & Groposo, 2011, pág. 5).

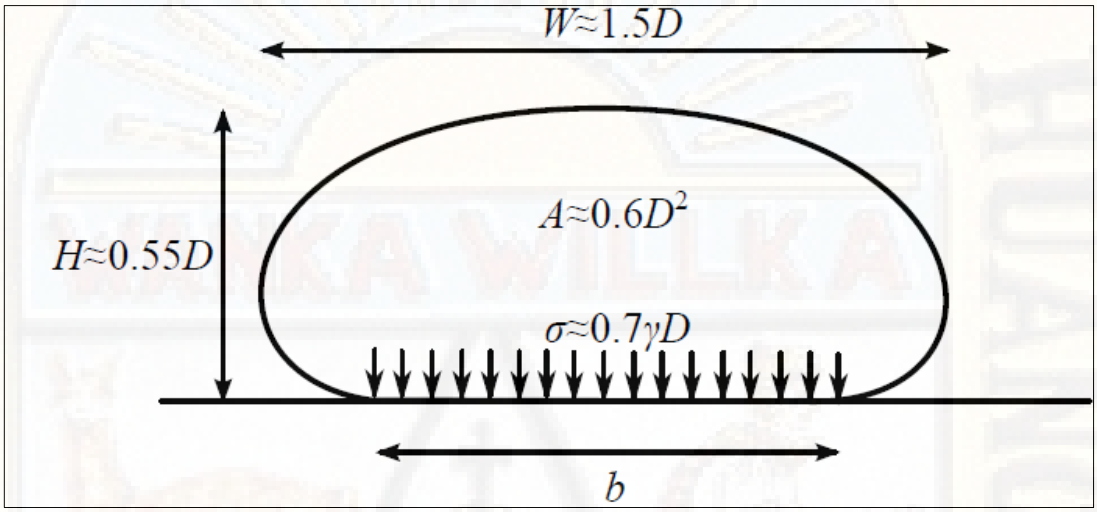


Figura 24. Sección transversal de un tubo geotextil lleno mostrando las dimensiones típicas.

Fuente: Adaptado de Pedocchi *et al.* (2011). *Evaluación de la aplicación de los contenedores geotextiles de los materiales de dragado de la Bahía de Montevideo (p. 5).* Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

2.2.1.4.2. Llenado

La relación entre el volumen inicial V_0 del lodo contenido en el tubo geotextil y el volumen final V_f luego el consolidado, pueden calcularse a partir del contenido de sólidos S_c

El contenido de los sólidos se define como el resultado entre la masa de sólidos y la masa total del barro:

Los contenidos de los sólidos a la salida de la draga y al momento del llenado suelen ser de orden de 10 a 20% y el contenido de los sólidos final obtenible dentro de los tubos después de la consolidación está entre el 35 y 70% en función al contenido de material orgánico. Mientras mayor es el

porcentaje de las partículas de origen orgánico, menor es el contenido final de los sólidos.

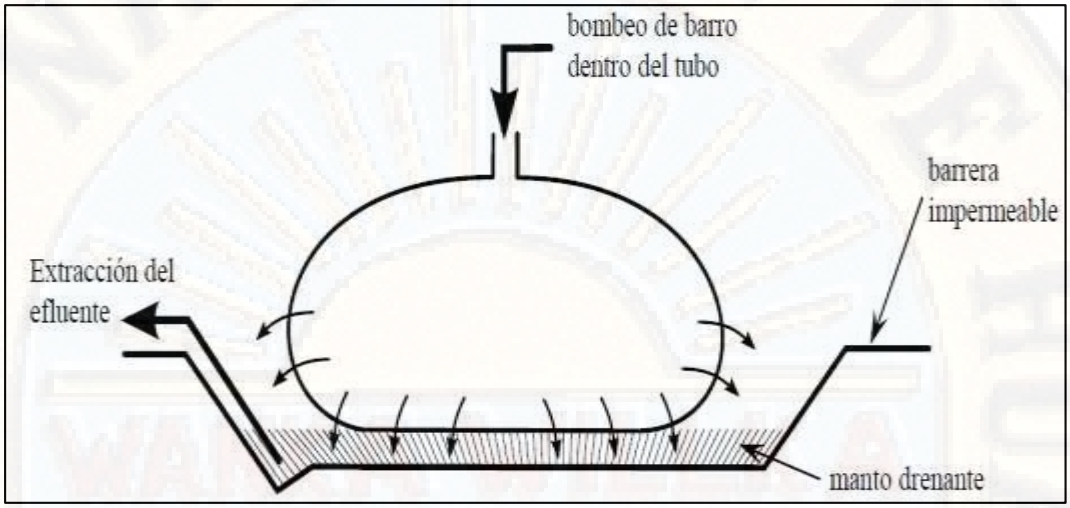


Figura 25. Proporción de diseño para la aplicación de tubos geotextiles para la deshidratación del lodo

Fuente: Adaptado de Pedocchi *et al.* (2011). *Evaluación de la aplicación de los contenedores geotextiles de los materiales de dragado de la Bahía de Montevideo (p. 17).* Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

2.2.2. Calidad del agua

2.2.2.1. Componentes para la Calidad del Agua

2.2.2.1.1. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas D.S. N° 010-2010-MINAM

2.2.2.1.1.1. Definiciones

a) Efluente Líquido de Actividades Minero – Metalúrgicas

Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores que proviene de:

i. Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua, sistema de abastecimiento de energía, talleres,

almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público) y otros.

ii. Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación magnética, separación gravimétrica, reducción, tostación, amalgamación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros.

iii. Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales dentro de las actividades mineras incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros e industriales.

iv. Cualquier depósito de residuos mineros incluyendo depósitos de relaves, desmontes y otros.

v. Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras.

b) Límites Máximos Permisibles (LMP)

Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas y que al ser excedida pueden causar daños a la salud y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente.

c) Límite en Cualquier Momento

Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento.

Son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas.

d) Limite Promedio Anual

Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos 12 meses.

Se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario, las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que estas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas.

e) Monitoreo de Efluentes Líquidos

Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

f) Parámetro

Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad.

g) Programa de Monitoreo

Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero – metalúrgicas.

El Programa de Monitoreo considerará, además de los parámetros indicados en la tabla 6 los parámetros siguientes:

- Caudal (Q)

- Conductividad eléctrica (CE)
- Temperatura del efluente
- Turbiedad

Además, se podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no están regulados en el DS N° 010-2010-MINAM, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente. Para ello se trabajará con ciertos parámetros del Estándar de Calidad Ambiental para Agua DS N° 004-2017-MINAM.

h) Ente Fiscalizador

Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica; para la gran y mediana minería es el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería – OSINERGMIN, hasta que el organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente – OEFA asuma dichas funciones.

Los Límites Máximos Permisibles – LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en la tabla 6. (Ministerio del Ambiente, 2010, págs. 424114-424117).

Cuadro N° 6. *Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS N° 010-2010-MINAM.*

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión (STS)	mg/L	50	25
Aceite 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: Diario El Peruano - MINAM. (*) En muestra no filtrada

2.2.2.1.2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua DS N° 004-2017-MINAM

2.2.2.1.2.1. Objetivo

El DS N° 004-2017-MINAM tiene por objetivo agrupar y generalizar las disposiciones aprobadas con anterioridad: DS N° 002-2008-MINAM, DS N° 023-2009-MINAM y el DS N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. (Ministerio del Ambiente, 2017, págs. 10-19).

2.2.2.1.2.2. Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

a) Categoría 1: Poblacional

i. **Subcategoría A**: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Son aquellas aguas que previo tratamiento, son destinados para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- **A1**. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

  Son aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúne las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección de acuerdo al DS N° 004-2017-MINAM.

Cuadro N° 7. ***Categoría 1**: Poblacional; **Subcategoría A**: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable; **A1***

Parámetros	Unidad de Medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas de pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FISICOS – QUIMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	µS/cm	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0.003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0.1	0.15	0.15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO3) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO2) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco – N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	>=6	>=5	>=4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 - 8.5	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	**UNT**	**5**	100	**

Fuente. Diario El Peruano – Ministerio del Ambiente

b) Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales

i. **Subcategoría D1:** Riego de Vegetales

Son aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- **Agua para riego no restringido (c)**

  Son aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos. (Ej.: plantas frutales de tallos bajos o similares y hortalizas), cultivo de árboles y arbustos frutales con el método de riego por aspersión, donde el fruto entren en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; campos deportivos, parques públicos, áreas verdes, plantas ornamentales y cualquier otro tipo de cultivo.

- **Agua para riego restringido**

  Son aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); los cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); los cultivos a ser procesados, envasados o industrializados (Ej.: arroz, avena, quinua y trigo); los cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón) y los cultivos forestales, forrajes y pastos (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

Cuadro N° 8. ***Categoría 3:*** *Riego de vegetales;* ***D1***

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICOS – QUIMICOS				
Aceites y grasas	**mg/L**	**5**		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	**µS/cm**	**2 500**		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO3-N) + Nitritos (NO2-N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO2-N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	**mg/L**	**>=4**		>=5
Potencial de Hidrógeno (pH)	**Unidad de pH**	**6,5 - 8,5**		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3

Fuente. Diario El Peruano – MINAM

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, solo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Nota: Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales.

2.2.2.2. Frecuencia de muestreo

La frecuencia del muestreo se realizará mensualmente entre los meses de mayo a octubre de 2018. Se ubicaron 2 puntos de muestreo donde se analizará 4 parámetros físicos-químicos de acuerdo al DS N° 004-2017-MINAM (ECA para agua) y 9 parámetros de acuerdo al DS N° 010-2010-MINAM (LMP).

La determinación de la calidad del agua se realizará de acuerdo a los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua DS N° 004-2017-MINAM y en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos en actividades minero – metalúrgicas DS N° 010-2010-MINAM; las cuales se nombran a continuación: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Turbiedad, Sólidos Totales en Suspensión (STS), Aceites y Grasas, Arsénico Total, Cadmio Total, Cobre Total, Hierro (Disuelto), Plomo Total, Mercurio Total y Zinc Total respectivamente.

2.2.2.3. Determinación de los parámetros según DS N° 010-2010-MINAM (LMP)

a) Determinación Sólidos Totales en Suspensión – STS (*):

Para la determinación de los Sólidos Totales en el agua se Pipeteo 50 ml de la muestra y se trasladó al vaso de precipitación, completamente seco y tarado. Se coloca el vaso en la estufa a 105°C y se deja secar completamente.

Posteriormente se coloca el vaso en el desecador y se precede a pesar la muestra.

$$Sílidos\ Totales\ (ppm) = \frac{(Peso\ del\ vaso\ más\ el\ residuo - Peso\ del\ vaso) x 10^6}{Volumen\ de\ la\ muestra}$$

2.2.2.4. Determinación de los parámetros según DS N° 004-2017-MINAM (ECA para agua)

a) Determinación Turbiedad NTU (*):

Es la forma de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido, mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al

paso de la luz en función del número, tamaño y forma de partículas. (Andía, 2000, pág. 19).

b) Determinación Conductividad Eléctrica (CE):

Para la determinación de la Conductividad Eléctrica (CE) se toma una muestra de 100 ml de agua problema en un recipiente y se lleva a la lectura en el conductímetro.

c) Determinación Oxígeno Disuelto (OD):

El método que se utiliza para la determinación del Oxígeno Disuelto (OD) es de Winkler (modificado por Alsterberg) para lo cual se necesita una botella BOD, se toma la muestra real evitando el ingreso de burbujas de aire.

Se tapa la botella desalojando el exceso de agua y se le añade 1 ml de sulfato de manganeso. A continuación, se le agrega 1 ml de azida alcalina, se agita por inversión durante un minuto y se deja en reposo para que precipite el sedimento.

Después de un tiempo determinado cuando el sedimento se precipitó, se añade 2 ml de ácido fosfórico, agitando el contenido por inversión hasta que todo el precipitado se haya disuelto. El agua toma un color ámbar.

Cuando el color ámbar cambió al amarillo, se adiciona 1 ml de solución de almidón (indicador), inmediatamente toma un color azul, se siguió titulando hasta que desaparezca completamente. Se anota el volumen gastado de tiosulfato de sodio.

d) Determinación Potencial de Hidrógeno (pH):

Para la determinación del pH se utilizará un pH-metro el cual se calibró con las soluciones buffer de pH conocido, luego se lava el electrodo con agua destilada. Se transfirió la muestra a estudiar en un recipiente colocando el electrodo dentro de la muestra, seguidamente se anota la lectura registrada

en el pH-metro. Después de la lectura se procede al lavado correspondiente empleando agua destilada.

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad, su valor se expresa por el logaritmo negativo de las concentraciones de cationes o aniones de hidrógeno. Los fluidos de perforación son alcalinos y su pH se halla en un rango de 9 a 11.

2.2.3. Sobre el Proyecto Minero Pukaqaqa (245GE0075A)

2.2.3.1. Generalidades

2.2.3.1.1. Yacimiento Minero

Los yacimientos mineros son depósitos o concentraciones de elementos que se encuentran en la superficie terrestre de forma diseminado. Un yacimiento mineral es una fracción de la corteza terrestre en el que a causa de factores geológicos se originó la acumulación de una sustancia mineral por la cantidad, calidad y condiciones que presenta el yacimiento puede ser explotada para su comercialización. (Tenorio, 2015, pág. 22).

Un yacimiento minero tiene por objetivo definir en cantidad, calidad, profundidad y dimensión el yacimiento para desarrollar la actividad minera de explotación económicamente rentable con las tecnologías actuales.

2.2.3.1.2. Exploración Minera

La exploración minera son actividades realizadas con el objetivo de determinar la localización de una anomalía geológica con propiedades de un depósito mineral con un estudio de investigación detallada para incrementar el área con respecto a su explotación rentable, donde desarrollan métodos rápidos y económicos que pueden abarcar grandes zonas e ir descartando áreas no favorables para llegar gradualmente a sitios específicos rentables y favorables. (Tenorio, 2015, págs. 22-23).

La exploración minera es la fase inicial de la actividad minera, consiste en identificar las zonas por donde se ubican los yacimientos minerales, luego dependiendo de su composición y dimensión será explotados.

Del mismo modo en el Artículo 8 del Texto Único Ordenado (TUO) de la Ley General de Minería DS N° 014-92-EM, define la exploración como actividad minera tendente a demostrar las dimensiones, características mineralógicas, posición, reservas y valores de los yacimientos minerales. (Ministerio de Energía y Minas, 1992).

2.2.3.2. Características del Yacimiento

2.2.3.2.1. Proyecto Pukaqaqa

Es un yacimiento de cobre, oro y plata de tipo *skarn*. Se encuentra ubicado a 11 km noroeste de la ciudad de Huancavelica y presenta elevaciones variables entre los 4 000 a 4 700 msnm.

Al igual que otros proyectos *greenfield*, actualmente se están desarrollando campañas de perforaciones diamantinas para re-categorizar recursos inferidos e indicados con sondajes diamantinos.

Cuadro N° 9. *Inventario de Reservas y Recursos – Pukaqaqa*

Proyecto Pukaqaqa				
Reservas	**TM**	**% Cu**	**Ag gr./TM**	**Au gr./TM**
Total de Rersevas	0	0,00%	0.00	0.00
Recursos*	**TM**	**% Cu**	**Ag gr./TM**	**Au gr./TM**
Recursos Medidos	70,065.76	0.54%	1.18	0.08
Recursos Indicados	139,818.425	0.47%	1.01	0.08
Total de Recursos (a)	**209,884.188**	**0.49%**	**1.07**	**0.08**
Recursos Inferidos (b)	70,659,407	0.43%	1.12	0.07
Total de recursos (a+b)	280,543.595	0.48%	1.08	0.08
Total de Reservas y Recursos	**280,543.595**			

Fuente: (KALLPA Securities Sociedad Agente de Bolsas, 2014, pág. 10)

2.2.3.2.1.1. Concesiones Mineras

El Proyecto Pukaqaqa está conformado por 22 concesiones mineras de propiedad de la Compañía Minera Milpo S.A.A. y la Compañía Minera Cerro Colorado S.A.C. que abarca una superficie de 11,102 hectáreas. (Compañía Minera Milpo S.A.A. y Votorantim Metais, 2012).

Las Concesiones del Proyecto Pukaqaqa establecidas en el Informe Técnico Sustentatorio (ITS) son las siguientes:

Conayca 33, Conayca 35, Conayca 36, Conayca 36A, Conayca 37, Conayca 39, Rifle1, Rifle 1-99, Rifle 3, Rifle 4, Júpiter – I – 1981, Manta 700 2010 M, Pukaqaqa 1M, Acero Ccocha 2 y Nelson 900A.

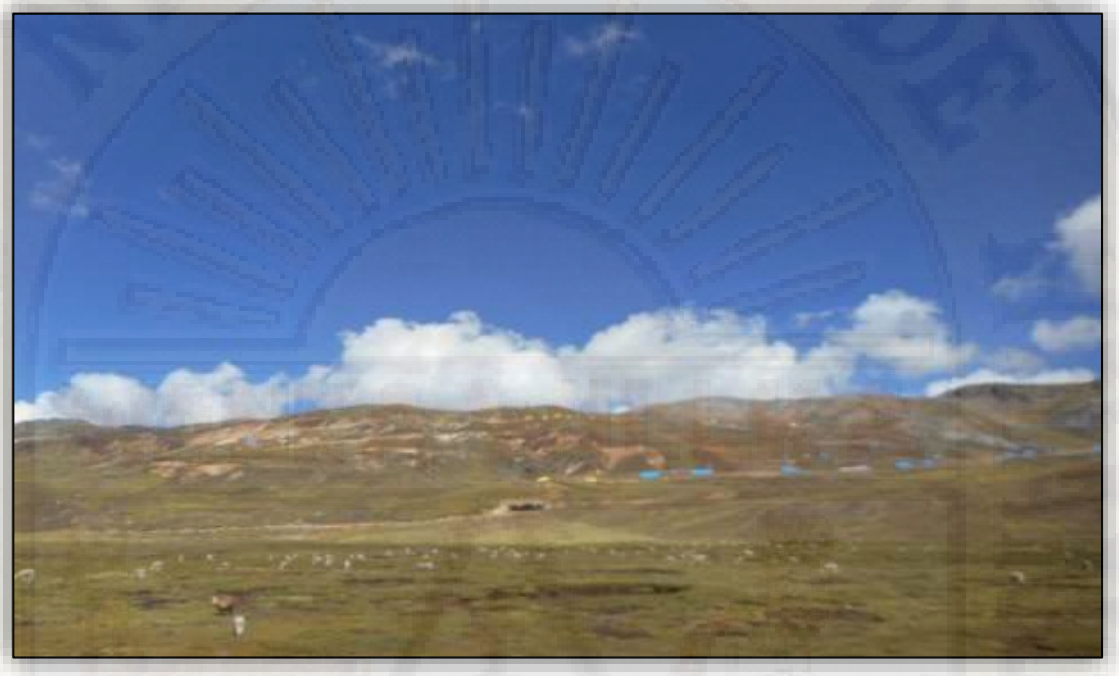


Figura 26. Proyecto Pukaqaqa

Fuente: Nexa Resources Perú S.A.A.

2.2.3.2.2. Geología Regional

El proyecto se encuentra ubicado en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes centrales del Perú, las secuencias litológicas en la región varían desde la edad del mesozoico hasta el cenozoico y recientes.

El "Ciclo Orogénico Andino" en la región se inicia con la sedimentaria en el Triásico Superior, depositándose los sedimentos de las formaciones Cercapuquio y Chunumayo que ambos son pertenecientes a la Formación Pucará. Después de la sedimentación Mesozoica y posteriormente a la tectónica peruana se produjo el pulso orogénico llamado "Inca" con formaciones de pliegues y sobreescurrimiento de fallas. (Compañía Minera Milpo S.A.A. y Votorantim Metais, 2012).

2.2.3.2.3. Geología del Proyecto

En el entorno del proyecto las rocas más antiguas son secuencias carbonatadas del Grupo Pucará compuesta: desde la base hasta la parte superior se tiene a la Formación de Chambará (calizas grisáceas en capas delgadas a medianas intercaladas con areniscas de grano grueso), la Formación Condorsinga (secuencia gruesa de caliza grises a manera de bancos con numerosos fósiles) y la Formación Aramachay (calizas arenosas negruzcas, ocasionalmente bituminosas). Sobreyaciendo al Grupo Pucará se encuentra la secuencia sedimentaria del Cretácico representadas por el Grupo Goyllarisquizga (areniscas cuarzosas), la cual queda expuesta parcialmente en lugares prominentes de los cerros colindantes hacia el Oeste del proyecto. (Compañía Minera Milpo S.A.A. y Votorantim Metais, 2012).

Las unidades geomorfológicas del proyecto están conformadas por planicies y depresiones (pendientes entre 0% y 10%), colinas (pendientes entre 10% y 15%), montañas de moderada pendiente (pendientes entre 15% y 40%) y montañas de fuertes pendientes (pendientes >40%). (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 14).

2.2.3.2.4. Aspecto Estructural

El yacimiento Pukaqaqa muestra un aspecto estructuralmente activo con fallas, pliegues y sobreescurrimientos de rumbo andino NW-SE que permitieron la existencia de un contacto regional entre un gran stock pórfido cuarzo-diorítico Pukaqaqa con las calizas del Grupo Pucará. En este lineamiento se encuentran otros prospectos entre ellos: Pukaqaqa Sur, Pukaqaqa, Tambopata, etc. (Compañía Minera Milpo S.A.A. y Votorantim Metais, 2012).

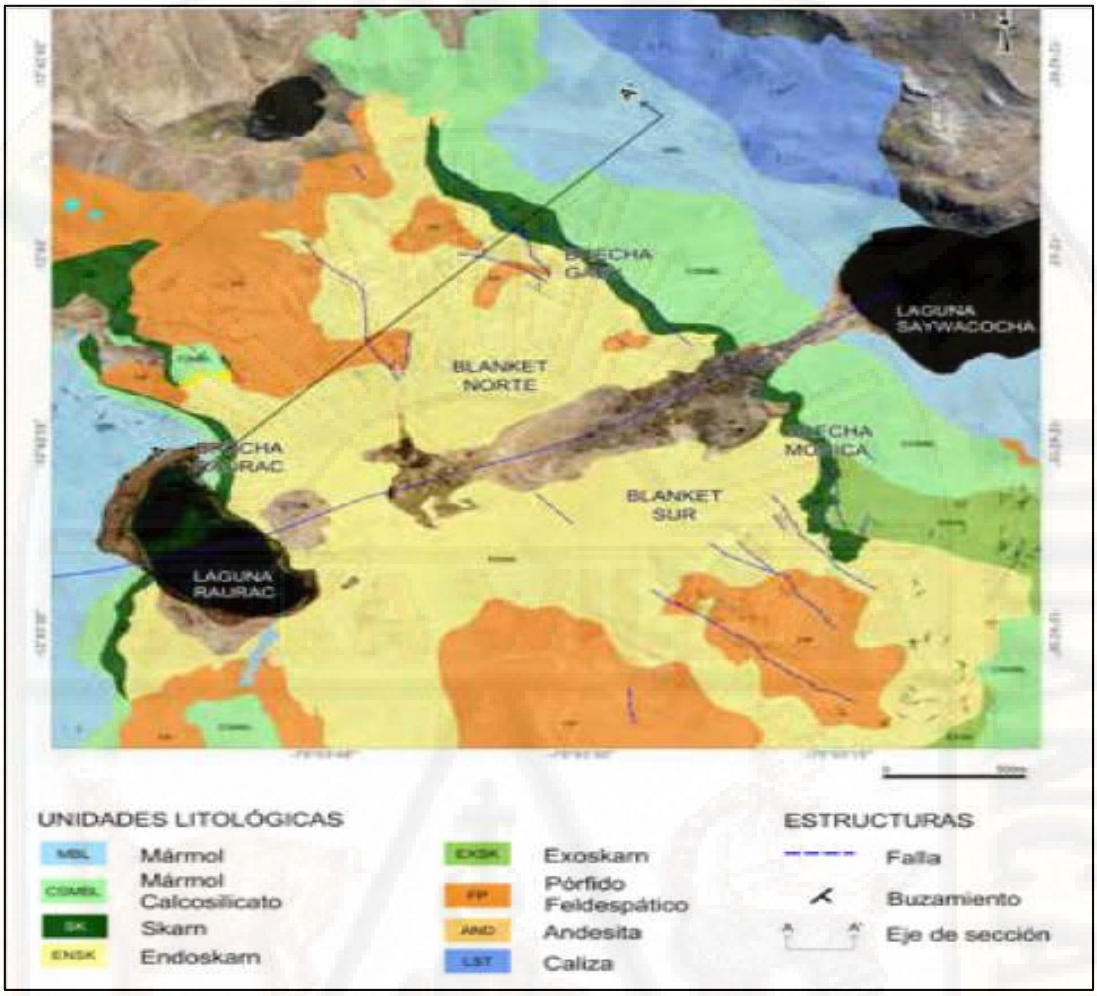


Figura 27. Corte transversal Pukaqaqa (Tajo Norte).

Fuente: Nexa Resources Perú S.A.A.

2.2.3.2.5. Mineralización

El Proyecto Pukaqaqa es un yacimiento tipo skarn de Cu (Au) que se formó en contacto entre una roca intrusiva intermedia (pórfido cuarzo diorítico) y calizas del Grupo Pucará. En la cual en este contacto se determinó 2 tipos de mineralizaciones importantes:

a) **Skarn Brechado.** Emplazado en la zona de contacto intrusivo-caliza, formado por cuerpos brechados (Gaby-Mónica y Raurac) con mineralización semimasiva, compuesto por calcopirita-bornita-pirita con magnetita y asociados a contenido de oro.

b) **Endoskarn Brechado**. Dentro de un cuerpo intrusivo se desarrolló el skarn con mineralización primaria diseminada de calcopirita y

molibdenita (Blanket) desarrollando enriquecimiento secundario parcial cerca de la superficie con presencia de calcosita-covelita, formando una zona mixta.

Lateralmente muestra un zoneamiento caracterizado por la disminución del contenido de Au hacia el intrusivo y aumento de valores de Zn-Ag en el mármol. (Compañía Minera Milpo S.A.A. y Votorantim Metais, 2012).

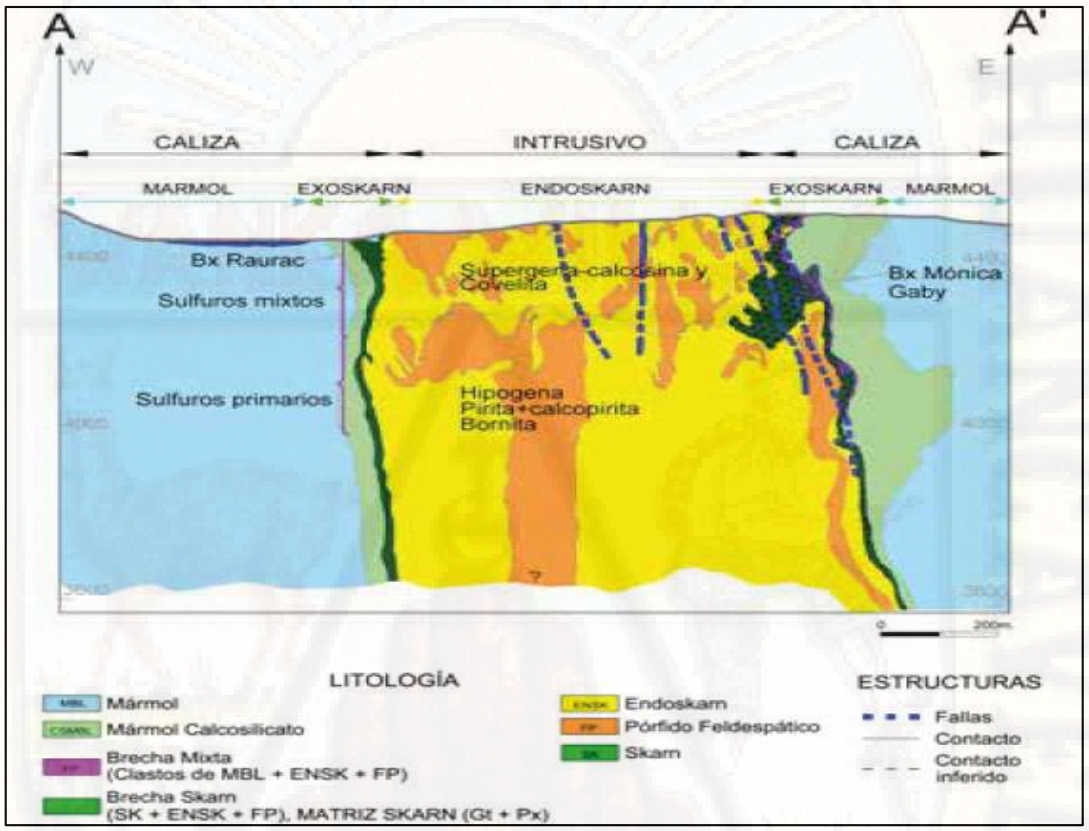


Figura 28. Endoskarn Tajo Norte

Fuente: Nexa Resources Perú S.A.A.

2.2.3.2.6. Alteración

El depósito Pukaqaqa estuvo sujeto a sucesivos eventos de actividad hidrotermal con respecto al emplazamiento de stocks porfiríticos. Se definió 4 estados de alteración:

a) **Alteración Propagada:** Se forma y presenta en el intrusivo y calizas, teniendo minerales calcosilicatos anhidros como: granates (grosularia-andradita) y piroxenos (Becha Gaby-Mónica y Brecha Raurac).

b) **Alteración Retrógrada:** Se forma en el edoskarn y skarn, los ensambles minerales formados en el skarn (Brecha Gaby-Mónica o Raurac) son: epidota + - carbonatos + - clorita + - actinolita.

c) **Alteración Argílica-Sericítica:** Se presenta de forma débil a moderada en los intrusivos de la mismo forma en la brecha intrusiva muestra una alteración sericítica y argílica moderada.

d) **Alteración Propilítica:** Se muestra en los intrusivos con minerales como: epidota + - carbonatados + - clorita, la roca mantiene su textura natural.

2.2.3.2.7. Exploración

La exploración en el Proyecto Pukaqaqa dieron inicio en el año de 1997 y hasta 2012 se perforaron 161,806 metros de perforación diamantina, distribuidos en 681 sondajes. (Compañía Minera Milpo S.A.A. y Votorantim Metais, 2012).

2.2.3.2.8. Recursos Minerales

Los recursos minerales (**cut off 0.3% Cu**) del Proyecto Pukaqaqa a diciembre del 2016 son:

- Recursos Inferidos: 58.27 Mt @ 0.50% Cu – 0.10 g/t Au, 1.48 g/t Ag
- Recursos Medidos + Indicados: 214.03 Mt @ 0.47% Cu - 0.08 g/t Au, 1 g/t Ag
- Recursos Totales: 272.31 Mt @ 0.48% Cu - 0.08 g/t Au, 1.11 g/t Ag

2.2.3.3. Descripción de los Componentes Aprobados para el Proyecto Pukaqaqa

El Titular cuenta con componentes aprobados mediante el Estudio de Impacto Ambiental (EIA Pukaqaqa), aprobado con Resolución Directoral N° 130-2015-MEM-DGAAM. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, págs. 18 - 19).

Cuadro N° 10. *Componente de Mina*

Componente	Detalle	Status
Mina	Tajo abierto	Plano
Planta	Chancador	Plano
	Dos clasificadores y chancadores secundarios	Plano
	Tres chancadores terciarios	Plano
	Sistema de transporte de mineral por fajas	Plano
	Almacén de acopio de finos	Plano
	Sistema de molienda	Plano
	Sistema de flotación colectiva primaria y remolienda	Plano
	Sistema de flotación limpieza concentrado colectivo Cu-Mo	Plano
	Sistema de flotación selectiva de Mo	Plano
	Espesamiento y filtrado de concentrado de Cu	Plano
	Espesamiento y filtrado de concentrado de Mo	Plano
Depósito de relaves	Espesadores de relaves	Plano
	Depósito de relaves	Plano
	Presa de arranque del sólido	Plano
	Depósito de desmonte 1	Plano
	Depósito de desmonte 4	Plano
Tanque de Agua	Pozas colectoras 1A, 1B y 4	Plano
	Sistema de manejo de agua en el proceso	Plano
	Sistema de manejo de agua fresca	Plano
Manejo de productos	Instalaciones de manejo de insumos y residuos	Plano
Instalaciones	Oficinas administrativas de construcción y operación	Plano
	Almacenamiento de insumos de explosivos	Plano
	Almacenamiento de insumos para planta de proceso	Plano
	Taller de mantenimiento del área de procesos	Plano
	Laboratorio químico y metalúrgico	Plano
	Taller de camiones	Plano
	Campamento de construcción y operación	Plano
	Polvorín	Plano
Canteras	Depósito de material de préstamo	Plano
Depósito de material orgánico	Depósito de material orgánico y trasplante de bofedales	Plano
Línea eléctrica	Línea de transmisión eléctrica 220 kV – 18.4 km	Plano
	Línea de distribución interna 22.9 kV	Plano
	Subestación Pukaqaqa y otros	Plano
Accesos al Proyecto	Caminos internos y caminos mineros (haul road)	Plano

Fuente: ITS Pukaqaqa

2.2.3.4. Perforación Diamantina Campaña 2018

En el Proyecto de Exploración Minera Pukaqaqa en la campaña 2018 se realizaron 88 sondajes de perforación diamantina entre ellos los sondajes Geotécnicos, Metalúrgicos e Hidrogeológicos las cuales fueron ejecutadas

por dos empresas contratistas (Explomin y Ecohñan) y una empresa Supervisora (Buenaventura Ingenieros S.A. – BISA), empresas especializadas que prestan sus servicios a la Compañía Minera Nexa Resources Perú S.A.A.

2.2.3.4.1. Componentes de Sondajes Propuestos para Campaña 2018

Los sondajes propuestos para las perforaciones diamantinas de acuerdo al Informe Técnico Sustentatorio (ITS) del Proyecto Pukaqaqa son:

- Ejecución de 32 sondajes Geotécnicos que incluye plataformas de perforación y accesos respectivos.
- Ejecución de 26 sondajes Metalúrgicos que incluye plataformas de perforación y accesos respectivos.
- Ejecución de 30 sondajes Hidrogeológicos que incluye plataformas de perforación y accesos respectivos.

Como parte del desarrollo de la ingeniería de detalle del Proyecto Pukaqaqa, el Titular requirió ejecutar 32 sondajes Geotécnicos, 26 perforaciones Hidrogeológicas y 30 perforaciones para pruebas Metalúrgicas a fin de que dichos trabajos permitan validar los parámetros de diseño de los diversos componentes del proyecto. Cabe mencionar que las perforaciones se realizaron únicamente dentro del área efectiva del proyecto en los sitios en los que se ha proyectado la construcción de los principales componentes mineros aprobado en el IGA vigente. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 19).

Se contempla la habilitación de 80 plataformas para perforación de los tres (3) tipos de sondajes de acuerdo a los componentes y fines de estudio del Proyecto Pukaqaqa de acuerdo a las características del área de estudio.

a) Tipos de Perforaciones

Según la finalidad de las perforaciones se emplearon perforación rotativa diamantina (DDH) con recuperación continua de testigo

(Geotécnico y Metalúrgico) o perforación con aire reverso o circulación inversa (RC) con fines Metalúrgicos y estudios Hidrogeológicos.

La profundidad promedio de las perforaciones es de 150 m pudiendo variar entre los 30 m hasta los 400 m aproximadamente. La profundidad de las perforaciones en la campaña 2018 equivale a un total de 13 355 metros. Para lograr el objetivo se utilizaron 6 máquinas perforadoras trabajando al mismo tiempo. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, págs. 20-24).

Cuadro N° 11. *Ubicación y Características de los **Sondajes Geotécnicos** propuestos*

ÍTEM	PLATAFORMA	SONDAJE	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUT	DIP	LONGITUD (m)	ZONA	TIPO DE SONDAJE
1	PLAT-N20	GEOT-01	494170	8593062	4550	242	-75	155	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
2	PLAT-011	GEOT-02	493985	8592844	4575	306	-70	215	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
3	PLAT-N21	GEOT-03	493626	8592681	4576	44	-70	170	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
4	PLAT-281	GEOT-05	493681	8593081	4488	270	-40	215	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
5	PLAT-380	GEOT-06	493838	8593481	4435	50	-50	280	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
6	PLAT-N23	GEOT-07	493129	8593310	4445	259	-64	280	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
7	PLAT-N24	GEOT-08	493263	8593551	4478	242	-80	190	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
8	PLAT-088	GEOT-09	493653	8593007	4498	220	-45	200	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
9	PLAT-N07	GEOT-10	493754	8594000	4447	191	-90	195	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
10	PLAT-011	GEOT-11	493985	8592844	4575	160	-40	200	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
11	PLAT-113	GEOT-13	492939	8593724	4547	118	-70	250	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
12	PLAT-N05	GEOT-14	493668	8594186	4492	192	-60	185	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
13	PLAT-097	GEOT-15	493482	8594320	4553	171	-60	215	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
14	PLAT-N08	GEOT-16	492757	8593812	4584	97	-55	280	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
15	PLAT-N02	GEOT-17	493193	8594370	4600	180	-60	240	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
16	PLAT-N03	GEOT-18	492939	8594273	4597	140	-60	320	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
17	PLAT-N06	GEOT-19	492796	8594047	4608	112	-55	285	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
18	PLAT-N04	GEOT-20	493310	8594228	4565	155	-60	280	IN-TAJO	GEOTÉCNICO
19	PLAT-N74	GEOT-21	491270	8589909	4291	0	-90	70	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
20	PLAT-N26	GEOT-22	491292	8590221	4358	0	-90	70	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
21	PLAT-N10	GEOT-24	489422	8593762	4716	0	-90	50	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
22	PLAT-N35	GEOT-33	494927	8591315	4465	0	-90	70	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
23	PLAT-N62	GEOT-39	493321	8592161	4586	0	-90	50	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
24	PLAT-N15	GEOT-40	494638	8592889	4632	0	-90	70	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
25	PLAT-N14	GEOT-41	494745	8593693	4565	0	-90	70	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
26	PLAT-N40	GEOT-43	491428	8593354	4738	0	-90	30	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
27	PLAT-N41	GEOT-44	491369	8593488	4718	0	-90	30	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
28	PLAT-N42	GEOT-45	490982	8593631	4640	0	-90	30	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
29	PLAT-N43	GEOT-46	492867	8592561	4566	0	-90	30	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
30	PLAT-N44	GEOT-47	492653	8592569	4517	0	-90	50	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
31	PLAT-N18	GEOT-50	493524	8591795	4614	0	-90	50	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
32	PLAT-N16	GEOT-51	494117	8592226	4591	0	-90	30	OUT-TAJO	GEOTÉCNICO
			TOTAL					**4855**		

Fuente: ITS Pukaqaqa

Cuadro N° 12. *Ubicación y Características de los **Sondajes Hidrogeológicos** propuestos*

ÍTEM	PLATAFORMA	SONDAJE	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUT	DIP	LONGITUD (m)	ZONA	TIPO DE SONDAJE
1	PLAT-N55	SBO-JRI-01	492014	8590922	4573	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
2	PLAT-N56	SBO-JRI-02	491933	8591339	4632	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
3	PLAT-N57	SBO-JRI-03	492248	8592019	4620	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
4	PLAT-N58	SBO-JRI-04	492764	8591075	4557	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
5	PLAT-N59	SBO-JRI-05	493382	8591532	4611	0	-90	80	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
6	PLAT-N60	SBO-JRI-06	494106	8592154	4578	0	-90	80	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
7	PLAT-N61	SBO-JRI-07	492960	8591737	4672	0	-90	95	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
8	PLAT-N62	SBO-JRI-08	493321	8592161	4586	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
9	PLAT-N63	SBO-JRI-09	492440	8593255	4510	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
10	PLAT-N64	SBO-JRI-10	491841	8593347	4627	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
11	PLAT-N52	SLA-JRI-01	493087	8594789	4401	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
12	PLAT-N53	SLA-JRI-02	492988	8594689	4410	0	-90	95	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
13	PLAT-N54	SLA-JRI-03	493104	8594664	4444	0	-90	95	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
14	PLAT-N49	SLT-JRI-01	490273	8594412	4501	0	-90	65	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
15	PLAT-N51	SLT-JRI-03	490259	8594550	4523	0	-90	65	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
16	PLAT-N74	SPA-JRI-01	491269	8589909	4291	0	-90	70	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
17	PLAT-N75	SPA-JRI-02	491135	8589799	4390	0	-90	80	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
18	PLAT-N76	SPA-JRI-03	491496	8590022	4461	0	-90	95	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
19	PLAT-N65	SPC-JRI-01	491199	8593725	4652	0	-90	50	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
20	PLAT-N66	SPC-JRI-02	491391	8593433	4732	0	-90	50	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
21	PLAT-N67	SPC-JRI-03	491643	8592628	4709	0	-90	50	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
22	PLAT-N68	STR-JRI-01	491207	8590907	4404	0	-90	150	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
23	PLAT-N69	STR-JRI-02	490669	8591234	4580	0	-90	150	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
24	PLAT-N70	STR-JRI-03	491601	8591366	4602	0	-90	150	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
25	PLAT-N71	STR-JRI-04	490221	8591425	4651	0	-90	150	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
26	PLAT-N72	STR-JRI-05	491065	8591336	4452	0	-90	100	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
27	PLAT-N73	STR-JRI-06	491069	8591572	4470	0	-90	100	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
28	PLAT-N17	HIDRO-02	493778	8591995	4600	0	-90	60	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
29	PLAT-N01	HIDRO-05	494215	8594567	4535	0	-90	50	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
30	PLAT-N48	HIDRO-10	493520	8588200	4131	0	-90	60	OUT-TAJO	HIDROGEOLÓGICO
			TOTAL					**2500**		

Fuente: ITS Pukaqaqa

Cuadro N° 13. *Ubicación y Características de los **Sondajes Metalúrgicos** propuestos*

ÍTEM	PLATAFORMA	SONDAJE	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUT	DIP	LONGITUD (m)	ZONA	TIPO DE SONDAJE
1	PLAT-281	MET-01	493681	8593088	4486	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
2	PLAT-011	MET-02	493987	8592841	4575	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
3	PLAT-256	MET-03	493988	8592927	4570	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
4	PLAT-214	MET-04	492907	8593854	4596	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
5	PLAT-131	MET-05	493475	8594134	4515	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
6	PLAT-N04	MET-06	493313	8594231	4566	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
7	PLAT-025	MET-07	493125	8593963	4576	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
8	PLAT-253	MET-08	493995	8592884	4573	240	-70	184	IN-TAJO	METALÚRGICO
9	PLAT-203	MET-09	493021	8593710	4529	230	-60	150	IN-TAJO	METALÚRGICO
10	PLAT-N13	MET-10	493650	8593812	4438	221	-65	250	IN-TAJO	METALÚRGICO
11	PLAT-323	MET-11	494122	8593235	4499	213	-56	200	IN-TAJO	METALÚRGICO
12	PLAT-177*	MET-12	493460	8593877	4482	223	-56	400	IN-TAJO	METALÚRGICO
13	PLAT-110	MET-13	493535	8593754	4446	222	-48	250	IN-TAJO	METALÚRGICO
14	PLAT-150	MET-14	493613	8593264	4433	37	-49	200	IN-TAJO	METALÚRGICO
15	PLAT-045	MET-15	493734	8593910	4431	222	-45	350	IN-TAJO	METALÚRGICO
16	PLAT-044	MET-16	493558	8593974	4476	221	-55	330	IN-TAJO	METALÚRGICO
17	PLAT-146	MET-17	493998	8593362	4465	224	-60	250	IN-TAJO	METALÚRGICO
18	PLAT-126	MET-18	493859	8593178	4518	250	-64	200	IN-TAJO	METALÚRGICO
19	PLAT-004	MET-19	493885	8593531	4430	221	-71	250	IN-TAJO	METALÚRGICO
20	PLAT-034	MET-20	493315	8594013	4545	220	-45	400	IN-TAJO	METALÚRGICO
21	PLAT-205	MET-21	493279	8593689	4495	44	-82	300	IN-TAJO	METALÚRGICO
22	PLAT-210	MET-22	493159	8593867	4555	222	-71	270	IN-TAJO	METALÚRGICO
23	PLAT-251	MET-23	493801	8592852	4569	224	-59	200	IN-TAJO	METALÚRGICO
24	PLAT-088	MET-24	493655	8593009	4499	44	-87	150	IN-TAJO	METALÚRGICO
25	PLAT-088	MET-25	493653	8593007	4498	222	-57	150	IN-TAJO	METALÚRGICO
26	PLAT-267	MET-26	493933	8592997	4555	223	-62	230	IN-TAJO	METALÚRGICO
		TOTAL						**6000**		

Fuente: ITS Pukaqaqa

2.2.3.4.2. Áreas y Volúmenes a Disturbar

Las áreas a disturbar por las actividades del programa de perforaciones comprenden: apertura de accesos, habilitación de plataformas y pozas para lodos que corresponde a un total de aproximadamente 150 831 m^2 y el volumen del material a remover en la ejecución de las actividades del programa de perforaciones corresponde a un total de aproximadamente 98 869 m^3. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 30).

2.2.3.4.3. Plataformas de Perforación

El número de plataformas de perforación será 80 abarcando un área aproximada de 11 520 m^2 en donde se realizarán un total de 88 sondajes. Cada plataforma tendrá un área equivalente a 144 m^2 de superficie con dimensiones de 12m x 12m y un área para apilamiento del suelo removido temporalmente (top soil). (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 25).

2.2.3.4.4. Poza de Lodos

Además, se construirá una poza de sedimentación de lodos por cada plataforma con dimensiones de 4m x 2m x 1.5m ($12m^3$) las pozas estarán recubiertas por geomembrana HDPE (1.0mm) la misma que se extenderá sobre un geotextil (270 g/m2) y donde sea necesario se contará con una tina metálica con una capacidad de 500 galones con dimensiones 3m x 1.5m x 1m ($4.5m^3$) para el manejo del lodo. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 25).

Los lodos de perforación serán sedimentados para luego ser retirados por camiones cisternas el cual los transportará hacia la tina de acondicionamiento previo al ingreso al sistema MacTube.

2.2.3.5. Proceso de Perforación Diamantina

2.2.3.5.1. Perforación Diamantina

La perforación diamantina se efectúa utilizando una broca diamantada para perforar las rocas y los cuerpos mineralizados en la cual se obtiene barras compactas de rocas de forma cilíndrica "*testigos*" previamente codificados

en campo y colocados en las cajas porta-testigos para ser trasladado a la sala de logueo (Coreshak).

Figura 29. Testigos registrados y codificados

Fuente. Nexa Resources Perú S.A.A.

La perforación es accionada por un motor diésel generando energía de rotación y la presión de empuje vertical a la tubería de perforación (PQ=47.6mm y HQ=63.5mm) que es de acero diamantado resistente a la abrasión. (Tenorio, 2015, pág. 24).

Figura 30. Máquina de perforación diamantina – Proyecto Pukaqaqa

Fuente: Explomin perforaciones

2.2.3.5.2. Fluidos de Perforación

Los fluidos de perforación son mezclas líquidas y/o gaseosas de sustancias químicas con particularidades específicas que tienen la capacidad de circular desde la superficie hacia la barrera a través de la sarta de perforación y regresar a la superficie por el espacio anular. Para lograr una perforación eficiente se debe diseñar un adecuado fluido de perforación que cuenten con los parámetros físicos y químicos para que puedan cumplir con ciertas funciones requeridas. (Tenorio, 2015, págs. 28-30).

2.2.3.5.2.1. Clasificación de los Sólidos Presentes en los Fluidos de Perforación

Los sólidos presentes en los fluidos de perforación se clasifican en 3:

a) Según su Origen

Los sólidos son añadidos en la preparación del fluido de perforación para darle propiedades que requieren para las operaciones en la construcción del agujero y son considerados como deseables ya que alteran las propiedades del lodo. (Pozo, 2015, pág. 39).

b) Según el Tipo de Sólido

Son considerados:

- Sólidos de Baja Gravedad Específica (LGS) a los que se encuentren comprendidos en el rango de (2.3 a 2.8).

  "Los sólidos perforados, arcillas y demás aditivos comprenden la categoría de LGS".

- Sólidos de Alta Gravedad Específica (HGS) tienen un rango mayor o igual a (4.2).

  "Los materiales densificantes componen la categoría de HGS".

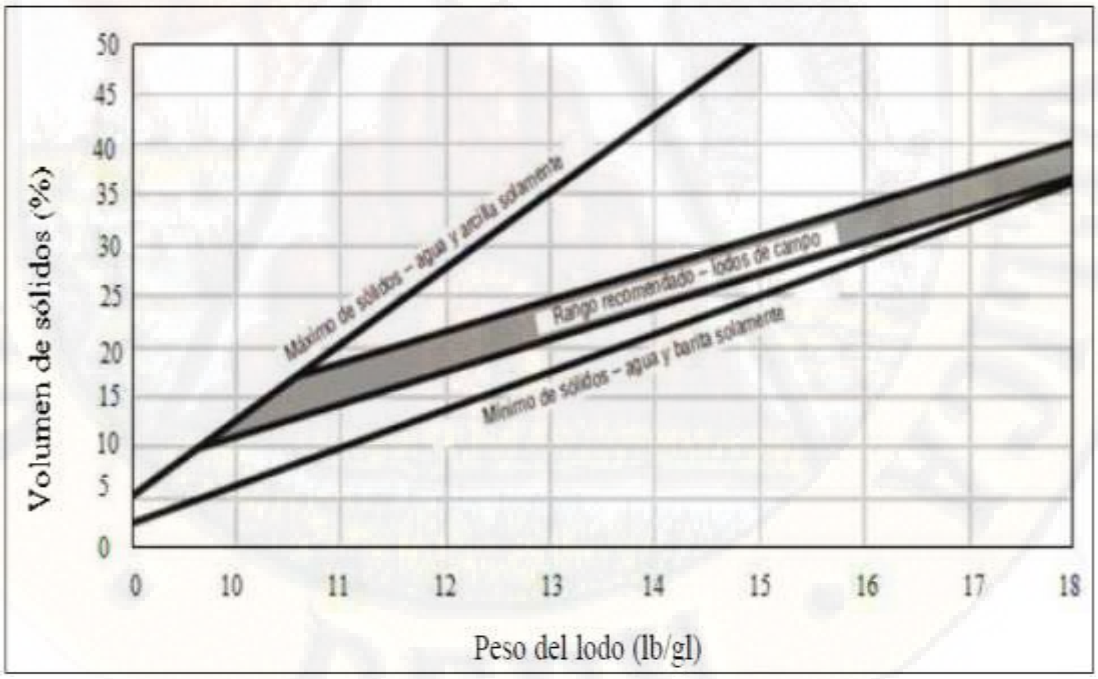


Figura 31. Rango Recomendado de Sólidos en Fluidos Base Agua.

Fuente. Manual de fluidos de Perforación MI (2015, pág. 40).

c) Según el Tamaño de las Partículas

En los contenidos del fluido de perforación los sólidos pueden variar desde tamaños muy pequeños como las arcillas cuyos valores pueden ser hasta un micrón:

$$(1\mu = 1x10^{-6}m = \frac{1}{25400}pulg)$$

Según las normas del American Petroleum Institute (API) los tamaños de los sólidos perforados pueden ser:

Cuadro N° 14. Clasificación API del tamaño de las partículas

N°	Clasificacion API	Tamaño de las Partículas
1	Coloidales	Menor que 2
2	Ultra fino	2 - 6 µ
3	Fino	6 - 44 µ
4	Intermedio	44 - 74 µ
5	Arenas	74 - 250 µ
6	Grueso	250 - 2 000 µ

Fuente: Normas del American Petroleum Institute – API (2008)

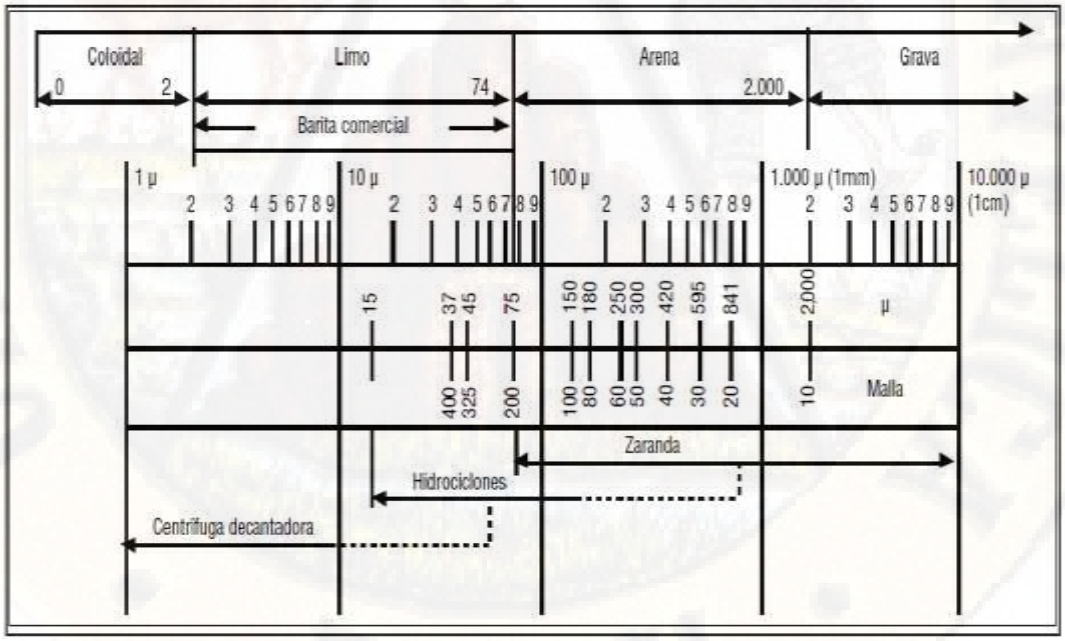


Figura 32. Tamaño de las partículas

Fuente: Tesis Estudio para Mejorar el Proceso de Tratamiento de Aguas y Manejo de Sólidos de los Fluidos de Perforación en Pozos del Oriente Ecuatoriano. (Pozo, 2015, pág. 49).

2.2.3.5.3. Generación del Lodo

Las perforaciones se realizan en diferentes puntos del proyecto de acuerdo al componente de la mina y según al tipo de roca se requiere una cierta cantidad de agua para las perforaciones.

Los sondajes de perforación que se realizan en rocas muy fracturadas no tienen retorno de lodo.

2.2.3.6. Informe Técnico Sustentatorio – ITS

La Dirección de Certificación Ambiental del Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (DCA SENACE) y representantes de la Compañía Minera Milpo S.A.A. (El Titular) presentaron el Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Pukaqaqa (ITS Pukaqaqa) INFORME N° 274-2017-SENACE-J-DCA/UPAS-UGS y que estuvieron acompañados de la consultora ambiental Ecología y Tecnología Ambiental S.A.C. (ECOTEC). (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017).

La evaluación del Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Pukaqaqa (ITS Pukaqaqa) presentada por la Compañía Minera Milpo S.A.A. que fue emitido por la Unidad de Evaluación Ambiental de Proyectos de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales y la Unidad de Gestión Social de la Dirección de Certificación Ambiental del Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) Resolución Directoral N° 321-2017-SENACE/DCA. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 01).

Cuando sea necesario modificar componentes mineros, ampliaciones y mejoras tecnológicas en las unidades mineras de proyectos de exploración y explotación con impactos ambientales no significativos que cuenten con certificación ambiental y la presentación de un Informe Técnico Sustentatorio (ITS) que deberá presentar el titular minero. (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles - SENACE, 2017, pág. 02).

2.2.3.6.1. Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles – SENACE

Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) adscrito al Ministerio del Ambiente como organismo público técnico especializado, con autonomía técnica y personería jurídica de derecho público interno es el encargado de revisar y aprobar los Estudios de Impacto Ambiental detallados (EIA-d) y el Informe Técnico Sustentatorio (ITS). (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles - SENACE, 2017, pág. 01).

2.2.3.7. Estudio de Impacto Ambiental – EIA

Con el Instrumento de Gestión Ambiental que cuenta la Unidad Minera Pukaqaqa es el EIA.

Las actividades propuestas de acuerdo al ITS se encuentran ubicados dentro del área de influencia ambiental directa definida en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Pukaqaqa.

Los impactos ambientales identificados son:

- Se prevé el incremento de material particulado y gases de combustión durante las tres etapas del proyecto, debido a las actividades de apertura de accesos, habilitación de plataformas, almacén temporal de residuos, uso de equipos y otros a ser empleados, además del transporte de materiales e insumos y de vehículos de servicio, sin embargo considerando la cantidad y dimensiones de las plataformas, la longitud de los accesos, el mantenimiento preventivo y el riego de los accesos, los impactos identificados son no significativos. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 32).

- Los impactos no significativos sobre el uso superficial estarían asociados a la habilitación de plataformas en terreno firme, accesos, pozas y almacén temporal de residuos con una remoción temporal total de 20.04 ha (equivalente al 3.05% del área total de suelo

orgánico “Top Soil” a ser removidos en el EIA-d aprobado). Adicionalmente no son considerados impactos significativos para la disposición de lodos deshidratados en las pozas de lodos de las plataformas debido a que los lodos deshidratados no contienen aditivos que pueden alterar el estado natural del suelo y sus volúmenes son bastante limitados. El impacto negativo no significativo del cambio de uso de suelo está asociado a la apertura de accesos y plataformas en áreas no intervenidas (5.3 ha aproximadamente) y representa más del 0.5% del área del proyecto minero. (Compañía Minera Milpo S.A.A., 2017, pág. 32).

2.2.3.8. Plan de cierre progresivo y final

El plan de cierre progresivo comprende los siguientes componentes: calicatas, sondajes, plataformas, accesos, pozas de sedimentación, tinas de lodos, baños químicos portátiles, lodo, corte de perforación secos, bolsas MacTube y zanjas perimetrales.

Las principales actividades asociadas al cierre progresivo son:

- Las calicatas serán cerradas con el material excavado y compactadas, en la parte superior se colocará el suelo orgánico (Top Soil) retirado y se revegetará según corresponda.
- El procedimiento detallado de los sondajes de perforación estará condicionado a la presencia o ausencia de agua subterránea: a) cuando no se encuentra agua, b) cuando se encuentra agua: estática o artesiana.
- Las plataformas de perforación en tierra firme contemplan especialmente el retiro de toda máquina y accesorios de perforación, limpieza de la superficie, sellado de los taladros, perfilado de la superficie y revegetación.
- Los lodos secos (el producto seco obtenido básicamente de bentonita y partículas del suelo y roca local de manera que no presentan

características de toxicidad o peligro para el ambiente), obtenido en el sistema de deshidratación MacTube, serán empleados como material de relleno en el cierre progresivo de sondajes y plataformas. Con dicho fin los tubos de lodos y cortes deshidratados serán retirados del almacén de lodos secos (poza madre).

- El cierre de los accesos en tierra firme será de acuerdo a la topografía del lugar, recubiertas con el material orgánico (Top Soil) y revegetadas.

Las actividades de cierre final comprenden los siguientes componentes: almacén temporal de residuos (incluye al área de tratamiento de lodos), almacén de residuos no peligrosos y peligrosos y el almacén de lodos secos.

Las principales actividades asociadas al cierre final son:

- El área de tratamiento de lodos comprende el cierre final del sistema de deshidratación MacTube, poza de agua clarificada, tinas de acondicionamiento de lodos y almacén temporal de lodos secos. Las principales actividades comprenden el retiro de las geomembranas de las pozas, tinas y tuberías de interconexión; la disposición de materiales de acuerdo al plan de manejo de residuos sólidos, la conformación de las áreas excavadas según la topografía del lugar, conformación del terreno con suelo orgánico retirado y la revegetación.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

El tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube permite obtener la calidad del agua significativamente en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

2.3.2. Hipótesis Específicos

a. La dosis del coagulante y floculante es adecuada para el tratamiento de lodos de perforación diamantina en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

b. Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento son de igual calidad respecto al Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

c. La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube está dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

2.4. Definición de Términos

a) Tratamiento de lodos. El tratamiento de lodos es una combinación de procesos físicos y químicos con una dosis adecuada de coagulante y floculante. Los lodos son compuestos de detritos de perforación que deben tratados adecuadamente para su disposición final.

b) Lodo. Alteración de los efluentes líquidos con detritus y partículas de las rocas presentes en el área durante los procesos de perforación diamantina.

c) Perforación diamantina. Es aquella perforación que se realiza utilizando una broca diamantada para perforar la roca obteniendo un testigo de la misma, el cual es extraído, registrado y colocado en las cajas porta-testigos para su estudio y almacenamiento dentro del almacén de testigos (Coreshak).

d) **Plataforma.** Área destinada para iniciar trabajos de perforación diamantina, el cual debe estar autorizado y aprobado por el Ministerio de Energía y Minas.

e) **Testigos.** Son trozos de muestra que se obtiene a través de la perforación ejercida donde la muestra es para determinar la calidad de la roca y los indicios de mineralización.

f) **Sistema MacTube.** El sistema MacTube es un proceso de tratamiento de lodos eficiente para recuperar el agua que fueron utilizadas en las perforaciones diamantinas.

g) **MacTube.** Es un tubo fabricado con geotextil tejido de alta tenacidad, inerte a la degradación biológica y resistente a los ataques químicos (óxidos y ácidos).

h) **Geo-contenedor.** Los geo-contenedores son tubos de geotextil, que pueden ser rellenados con lodos para su deshidratación.

i) **Coagulación.** Es la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicas.

j) **Floculación.** Es la aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos y después en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

k) **Calidad del Agua.** Se refieren a las características físicas, químicas, biológicas y radiológicas del agua. Se utiliza con mayor referencia a un conjunto de normas contra los cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud del ecosistema.

l) **Límites Máximos Permisibles (LMP).** Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al medio ambiente.

m) **Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.** Son indicadores de calidad ambiental. Miden la concentración de elementos y sustancias en el aire agua o suelo. Tiene como finalidad fijar metas que representan el nivel a partir del cual se puede afectar significativamente el medio ambiente y la salud humana.

n) **Sólitos Totales en Suspensión (STS).** Es un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales, indica la cantidad de sólidos presentes en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos (medidos habitualmente en mg/L). Algunas veces se asocia a la turbidez del agua.

o) **Turbidez.** Es la medida del grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partícula en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbiedad. La turbidez en un parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad. La unidad nefelométrica de turbidez (UNT), expresada en inglés Nephelometric Turbidity Unit (NTU), es una unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido.

p) **Oxígeno Disuelto (OD).** Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es fundamental para los riachuelos y lagos saludables. El nivel del oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal.

q) **Potencial de Hidrógeno (pH).** Es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia.

r) **Informe Técnico Sustentatorio (ITS).** Es el instrumento de gestión ambiental que sirve para realizar modificaciones menores que generen impactos no significativos al ambiente o que involucren mejoras tecnológicas en las operaciones de actividad minera. (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles - SENACE, 2017, pág. 1).

s) **Skarn de Cu.** Estos yacimientos están asociados a pórfidos cupríferos que pueden alcanzar grandes volúmenes (50 a 500 Mt en pórfidos cupríferos epizonales emplazados en rocas carbonatadas).

t) **Impacto ambiental.** Es cualquier cambio en el ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante de una manera parcial o total de las actividades de procesos de la organización. (Compañia Minero Milpo S.A.A., 2015).

2.5. Definición Operativa de Variables e Indicadores

- **Variable Independiente (VI)**

X: Tratamiento de lodos de perforación diamantina con el sistema MacTube.

- **Variable Dependiente (VD)**

Y: Calidad del agua.

2.5.1. Definición de las Variables

- **Variable independiente: "Tratamiento de lodos de perforación diamantina con el sistema MacTube"**

Dentro de los componentes del sistema MacTube se tiene la tina de recepción de lodos con factores característicos y medibles como el flujo del lodo tratar y la densidad del lodo a tratar; para la tina de tratamiento de lodos los factores característicos y medibles son la dosificación adecuada del coagulante y floculante para un tiempo determinado de tratamiento eficiente; para los geocontenedores MacTube los factores característicos y medibles son la capacidad máxima de una bolsa a sedimentar, así como el tiempo de deshidratación después del llenado del lodo tratado y la cantidad de geocontenedores sedimentados durante la campaña de perforación 2018. Que indiquen que los lodos generados durante la perforación de las pozas en el proyecto de exploración minera son controlados y reciben un adecuado tratamiento mediante el sistema MacTube.

- **Variable dependiente: “Calidad del agua”**

  Dentro de los componentes se evaluó y comparó la calidad de los lodos sin tratamiento y la calidad del agua resultante si están dentro o fuera de los LMP y ECA para Agua valores establecidos en el DS N° 010-2010-MINAM y DS N° 004-2017-MINAM, calidad que dependió de adecuado al tratamiento que reciben en el Sistema MacTube a los lodos provenientes de los sondajes de perforación. Los parámetros más importantes a evaluar son los STS y la Turbidez.

2.5.2. Definición de los Indicadores

a) Variable independiente: “Tratamiento de lodos de perforación diamantina con el sistema MacTube”

- Flujo de lodo a tratar.
- Densidad del lodo a tratar.
- Dosificación adecuada del coagulante y floculante para tratar.
- Tiempo de tratamiento del lodo.
- Capacidad de una bolsa del MacTube.
- Tiempo de deshidratación una vez llenado a las bolsas del MacTube.
- Número de bolsas del MacTube sedimentados en la campaña de perforación 2018.

b) Variable dependiente: “Calidad del agua”

- Parámetros del agua resultante STS y Turbidez que estén dentro de los LMP y ECA para Agua.
- Parámetros de los lodos STS y Turbidez.

2.5.3. Operacionalización de las Variables e Indicadores

Cuadro N° 15. *Operacionalización de Variables*

Variable	Definición conceptual	Definicion operacional	Dimensión	Indicador	Unidad/Valor final	Instrumento	Escala/tipo	Tipo de Variable
V.I. Tratamiento de lodos de perforación diamantina con el sistema MacTube	El tratamiento de lodos es una combinación de procesos físicos y químicos con una dosis adecuada de coagulante y floculante mediante el sistema del MacTube se recupera el agua utilizada sedimentando los sólidos.	Para el tratamiento de los lodos de perforación se deben añadir dosis de coagulantes y floculantes hasta que el lodo puedan juntarse en grumos dejando agua clara y enviando a las bolsas del MacTube para la recuperación del agua.	Tina de recepcion de Lodos	Flujo del lodo	m3/día	Documentación	Bajo Elevado	Numérica
				Densidad del lodo	kg/m3		< 5 kg/m3 > 5 kg/m3	
			Tina de Tratamiento de Lodos	Dosis de coagulante	ml	Análisis in situ	mínimo máximo	
				Dosis de floculante	ml			
				Tiempo de tratamiento del lodos	minutos	Registro en campo	< 10 mint > 10 mint	
			Geocontenedor MacTube	Capacidad	m3		< 40 m3 > 40 m3	
				Tiempo de deshidratación	minutos		mínimo máximo	
				Número de Geocontenedores sedimentados	Unidad		< 10 Unidades > 10 Unidades	
V.D. Calidad del agua	Se refieren a las características físicas, químicas, biológicas y radiológicas del agua. Se utiliza con mayor referencia a un conjunto de normas contra los cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud del ecosistema y para el ser humano.	La calidad del lodo sin tratamiento y la calidad del agua recuperada se tomará como muestras para ver si están fuera o dentro de los LMP y los parámetros físicos-químicos de los ECA para agua establecidos en los decretos por monitoreo del agua de acuerdo al tratamiento.	DS N° 010-2010-MINAM "LMP para efluentes"	STS (*)	mg/L	Análisis in situ	Dentro de los LMP	Numérica
				As Total	mg/L	Análisis laboratorio		
				Cd Total	mg/L			
				Cu Total	mg/L			
				Fe (Disuelto)	mg/L			
				Pb Total	mg/L			
				Hg Total	mg/L			
				Zn Ttotal	mg/L			
			DS N° 004-2017-MINAM "ECA para agua"	Turbidez (*)	NTU	Análisis in situ	Dentro de los ECA para agua	
				CE	(µS/cm)			
				OD	mg/L			
				pH	Unidad de pH			

Fuente: Elaboración propia. (*) Es el parámetro más importante donde se busca la retención de los sólidos en el lodo.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

Es **Aplicada**. Según Oseda (2014), "El tipo de estudio de la presente investigación persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar".

La investigación tuvo como finalidad primordial la resolución de la problemática que se tiene sobre el control, tratamiento y disposición final de los lodos de perforación a fin de mejorar todo el proceso.

En la investigación se consideró lo siguiente:

1. Según la intervención del investigador.

    - *Experimental*: Consiste en la manipulación de las variables de estudio.

2. Según la planificación de la toma de datos.

- *Prospectivo*: Se tomarán los datos en in situ.

3. Según el número de ocasiones en que se mide la variable de estudio.

- *Longitudinal:* Consiste en tomar repetidas veces las medidas de las variables.

4. Según el número de variable de interés.

- *Analítico:* Porque tiene más de una variable de estudio.

3.1.2. Nivel de Investigación

Es **Explicativo**. Según Oseda (2014), "El nivel de estudio de la presente investigación se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (*investigación post facto*), como de los efectos (*investigación experimental*), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos".

La investigación estuvo dirigida a responder por las causas de las actividades realizadas. Su objetivo se centra en explicar por qué ocurre un inadecuado tratamiento de lodos y que impacto podría ocasionar al medio ambiente.

Busca la explicación de ambas variables (causa y efecto).

3.2. Método de Investigación

3.2.1. Método General

En el trabajo de investigación se utilizará el **Método Científico** como método general. Según Kerlinger (2002), "El método científico comprende un conjunto de normas que regulan el proceso de cualquier investigación que merezca ser calificada como científica. El método científico es un conjunto de técnicas y

procedimientos que le permiten al investigador realizar los objetivos. Análisis y comparación".

Los efluentes de la actividad de exploración minera del Proyecto Minero Pukaqaqa requirieron un manejo y tratamiento adecuado basados en las normas ambientales vigentes decretadas por el Ministerio del Ambiente para las actividades exploración minera.

Se desarrollaron trabajos en campo para la recolección de los datos, muestras in situ y evaluación del sistema MacTube, todo ello fueron datos de confiabilidad en asesoramiento de la empresa especializada SGS.

Las recolecciones de las muestras se efectuaron de la siguiente manera:

- La primera muestra se tomó en la Tina de Recepción de Lodos (EM1-TRL) antes de su tratamiento.
- La segunda muestra se tomó en la Poza de Agua Recuperada (EM2-PAR) efluente final después del tratamiento.

Ambas muestras obtenidas en las Estaciones de Muestreo fueron analizadas en laboratorio de acuerdo a los parámetros y se comparó con los parámetros que estableció el DS N° 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas) y DS N° 004-2017-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para agua).

3.2.2. Método Específico

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), se utilizó el **Método Mixto**. El Experimental un proceso lógico y sistemático como la observación y la medición. La No Experimental buscó especificar propiedades y características del fenómeno de estudio.

3.3. Diseño de Investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), se utilizó un **Diseño de Investigación Mixto** porque implicó la observación del tratamiento de lodos mediante el sistema MacTube con todas las circunstancias que lo rodean, del mismo modo mediante la experimentación se estudiaron dichos fenómenos, asociándola a una medida de probabilidad y confiabilidad.

Se utilizaron el diseño mixto porque ambos tipos de muestras tomadas al estar juntos proveen un mejor entendimiento del problema de investigación.

La metodología a usarse fue un **Diseño Completamente al Azar (DCA),** donde se realizó una comparación de la calidad de los efluentes en los lodos sin tratamiento y la calidad del agua resultante. Los resultados se presentaron en un cuadro de **Análisis de Varianza (ANOVA)**, una tabla de comparación de medias de tratamiento que indica las diferencias entre dichas medidas y la contrastación múltiple a través de la **Prueba de Tukey (Contraste Post Hoc).**

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

Según Oseda (2014), "La población es el conjunto de individuos que comparten por lo menos una característica, sea una ciudadanía común, la calidad de ser miembros de una asociación voluntaria o de una raza, la matrícula en una misma universidad, o similares"

Para la presente investigación la población lo constituyeron los lodos generados en las actividades de los sondajes de perforación diamantina en el Proyecto Pukaqaqa (245GE0075A) durante la campaña de perforación 2018.

3.4.2. Muestra

El mismo Oseda (2014), menciona que "La muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de esta, que sin embargo posee las principales características de aquella. Esta es la principal propiedad de la muestra (*poseer las principales características de la población*) la que hace posible que el investigador, que trabaja con la muestra, generalice sus resultados a la población".

Para la presente investigación la muestra fue conformada por dos (2) Estaciones de Muestreo en el Sistema MacTube del cual la primera Estación de Muestreo EM1-TRL (Lodo antes del tratamiento) forma parte del flujo de lodo generado en los sondajes de perforación; la segunda Estación de Muestreo EM2-PAR (Agua recuperado después del tratamiento) forma parte del agua clara recuperado después del tratamiento, que brindó información sobre la calidad del agua resultante. Realizándose una muestra mensualmente (junio, julio y agosto) fechas que están dentro del cronograma establecido por el MINEM – OEFA. Para la toma de muestra se seguirá los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero – Metalúrgicas.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Técnicas

Las técnicas empleadas en el presente estudio fue la *observación* mediante planos de ubicación los sondajes de perforación diamantina, el procedimiento de tratamiento de lodos y el aprovechamiento del agua recuperada; la *encuesta* al supervisor del Área de MacTube y a los personales del monitoreo ambiental SGS, la *revisión documental* inherente al tema de estudio y el análisis de muestra en las dos estaciones de monitoreo.

3.5.2. Instrumentos

En la presente investigación se emplearon un cuaderno de campo (incluido Cartas geográficas y Planos cartográficos del proyecto), un cuestionario de preguntas, fichas de recolección de datos (Formato de Registro de Mediciones en Campo – Monitoreo de Agua y el Formato de Reporte de Resultados de Análisis Ambiental), los Estudio de Impacto Ambiental detallado (EIAd), Estudio de Impacto Ambiental semi-detallado (EIA-sd) y el Informe Técnico Sustentatorio (ITS) como instrumento para recolectar la información, los cuales se levantaron en campo con la ayuda de los Equipos de Monitoreo y toma de muestras.

3.6. Procedimiento de Recolección de Datos

Los trabajos se hicieron en gabinete y campo donde se ordenó, comparó y elaboró la información obtenida en el campo y laboratorio. Para este trabajo se hizo diferentes gestiones de coordinación con la Compañía Minera Nexa Resources Perú S.A.A. de la fecha del muestreo, la misma que debió coincidir con el muestreo que realizó mensualmente SGS del Perú S.A.C. y el laboratorio contratado por la Compañía, ya que la empresa debe presentar un informe trimestral al MINEM y OEFA respecto a la calidad de los componentes ambientales que son los LMP de sus efluentes de exploración.

3.6.1. Procedimientos Generales

Los procedimientos para la recolección de datos fueron los siguientes:

- Se Coordinó con el asesor del Proyecto de Tesis
- Se coordinó con la Gerencia de la Compañía Nexa Resources Perú S.A.A., la Empresa Supervisora BISA Ingeniería de Proyectos S.A. y la Empresa Comunal Hatun Ñan (Ecohñan).
- Con el uso de los Instrumentos de medición se obtuvo los valores en ambas estaciones de muestreo.

- Los datos obtenidos con los instrumentos de medición de las dos estaciones de muestreo, se realizaron de acuerdo a los Registros de Mediciones en Campo – Monitoreo de Aguas y Reporte de Resultados de Análisis Ambiental. Tablas que están añadidos en la propuesta de instrumento para la recolección de datos.
- Para la dosificación y tratamiento adecuado del lodo se definió de acuerdo a la densidad que presenta y la cantidad óptima que muestra resultados favorables.
- Los resultados se presentaron en tablas de Análisis Estadístico de los parámetros a evaluar en función a los decretos establecidos por el MINAM.

3.6.2. Procedimientos en Campo

Se realizó una visita al Proyecto de Exploración Minera Pukaqaqa y se observó *In Situ* el funcionamiento del Sistema MacTube, los puntos de perforación instalados en una plataforma con sus pozas de almacenamiento de lodos y todo el proceso de exploración minera. Se identificó el lugar que se desarrolló la toma de muestra, que se definió los parámetros que fueron medidos, número de puntos de muestreo y la frecuencia del muestreo, se elaboró un plan de trabajo para el desarrollo del muestreo.

Las observaciones en campo fueron primordiales para el programa de monitoreo, las informaciones documentadas en el cuaderno de campo fueron relevantes para la interpretación de los datos

3.6.3. Procedimientos de Recolección de las Muestras

La recolección de las muestras se dio de la siguiente manera:

- ✓ Se recolectó una (01) muestra en la tina de recepción de lodos (EM1-TRL), antes de su tratamiento.

- ✓ Asimismo, se tomó una (01) muestra en la poza de agua recuperada (EM2-PAR), efluente final después del tratamiento.

La colecta se realizó entre las 8:00 a 12:00 horas del día. Las muestras se realizaron dos veces en los meses de junio, julio y agosto de 2018.

3.6.4. Metodología para la Toma de Muestras físicos – químicos

3.6.4.1. Toma de Muestra

- El equipo de muestreo del laboratorio y los investigadores tuvieron un objetivo de cerciorar que la muestra pudo colectarse de forma segura.
- El envase se enjuagó tres veces con la muestra antes de tomar la medición de los parámetros.
- Se dio inicio para la recolección de la muestra en la EM2-PAR luego en la EM1-TRL.
- Se limpió todo el equipo de muestreo antes de la colección.
- Para recolectar la muestra se insertó un recipiente debajo de la descarga de la tina de lodos con la abertura del recipiente agua arriba. Donde se tomó las precauciones de seguridad en todo momento.
- Para obtener los datos de los parámetros que se evaluó *pH, CE y STS*. Se utilizó el Multiparámetro WTF Multi 350i debidamente calibrado. Para iniciar se hizo un lavado del electrodo con agua destilada luego se procedió a colocar el electrodo dentro de los recipientes con muestra tomados de las pozas EM1-TRL y EM2-PAR. Las evaluaciones se hicieron In Situ.

  Cuando los parámetros de *pH, CE y STS*. Estuvieron totalmente estables en el Multiparámetro se registraron los datos en el cuaderno de campo.
- Para obtener los datos del parámetro que se evaluó *Turbidez (NTU).* Se utilizó el Turbidímetro Hach 2100Q debidamente calibrado. Para iniciar primero en un frasco de vidrio se tomó la muestra del EM1-TRL

y EM2-PAR, posteriormente en el frasco se insertó el Turbidímetro para medir la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

Cuando el parámetro *Turbidez (NTU).* Estuvo totalmente estable en el Turbidimetro se registraron los datos en el cuaderno de campo.

- Se procedió a rotular las muestras (frasco de vidrio), se registró los números y los requerimientos analíticos en el cuaderno de campo en base de los siguientes caracteres: nombre de la unidad minera, fecha de muestreo, estación de muestreo, número de muestra, preservación y código de análisis.
- El laboratorio del almacén de las muestras fue un cooler portátil con una temperatura entre -5°C a 10°C, lo recomendado es a 4°C para lograrlo se utilizó hielo en bolsa separada, para evitar que las etiquetas de codificación se desprendan.
- Una vez que todas las estaciones hayan sido muestreadas se dio por cumplido la cadena de custodia programada.
- Se tomó unas fotografías en los puntos de muestreo.
- En el cuaderno de campo se registró a detalle todas las observaciones que podrían ocurrir.

3.6.4.2. Preparación

- Se realizó la limpieza y la calibración correspondiente de los equipos a utilizar por parte del laboratorio y los investigadores, del mismo modo como de los preservantes y reactivos. Se verificó que las soluciones buffer estén frescos y completos.
- Previamente se enjuagó tres veces con agua destilada el equipo de muestreo – filtración y el equipo de análisis. Se evitó tocar con las manos el interior de los recipientes, tapas y el equipo de filtración.

3.6.4.3. Validación de Datos

Los datos del laboratorio analítico fueron validados por un especialista en calidad del agua para cerciorarnos que el laboratorio cumpla con los requerimientos específicos del proyecto y que usen métodos analíticos aprobados. Se contó con el apoyo de un especialista de SGS del Perú S.A.C. empresa consultora de fiscalización ambiental en el Proyecto Pukaqaqa.

3.6.5. Selección de los Parámetros a Medir

Para la selección de los parámetros físicos y químicos a medir que se utilizaron en la presente investigación se tomó en consideración los posibles elementos, compuestos y sustancias que puedan estar presentes en el lodo generado y agua resultante. Seleccionando bajo esta premisa los parámetros más principales que podrían causar el deterioro del cuerpo receptor (suelo), después del tratamiento del lodo (el agua resultante como efluente minero).

Por lo tanto, los valores obtenidos en las dos Estaciones de Muestreo fueron comparados con los valores establecidos en el DS N° 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas) y para los siguientes parámetros de estudio serán comparados con los valores establecidos en el DS N° 004-2017-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para agua).

Cuadro N° 16. *Selección de los Parámetros a medir según el DS N° 010-2010-MINAM (LMP) y DS N° 004-2017-MINAM (ECA para agua).*

Parámetro Evaluado	DS N° 010-2010-MINAM		DS N° 004-2017-MINAM			
			ECA para Agua			
			FÍSICOS-QUÍMICOS			
	LMP para efluentes	Unidad	* Cat. 1: Poblacional * A1	Unidad	* Cat. 3: Riego de Vegetales * D1	Unidad
Turbidez (*)	-	-	5	UNT	-	-
Conductividad Eléctrica (CE)	-	-	-	-	2 500	(µS/cm)
Oxígeno Disuelto (OD)	-	-	-	-	>=4	mg/L
Potencial de Hidrógeno (pH)	30-Jun	-	-	-	6.5 - 8.5	Unidad de pH

Sólidos Totales en Suspensión (STS) (*)	50	mg/L	-	-	-	-
Arsénico Total	0,1	mg/L	-	-	-	-
Cadmio Total	0,05	mg/L	-	-	-	-
Cobre Total	0,5	mg/L	-	-	-	-
Hierro (Disuelto)	2	mg/L	-	-	-	-
Plomo Total	0,2	mg/L	-	-	-	-
Mercurio Total	0,002	mg/L	-	-	-	-
Zinc Total	1,5	mg/L	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

(*) Son los parámetros más importantes, por lo que en la presente investigación lo que se busca es la retención de los sólidos en los lodos.

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento de datos se desarrolló de acuerdo a la estructura de los instrumentos de medición. Se aplicó un Diseño Completamente Aleatorio, utilizando en los dos puntos de muestreo, cada uno con dos (2) réplicas (4 lecturas).

La unidad experimental fueron los lodos sin tratamiento EM1-TRL (lodo antes del tratamiento) y la calidad del agua resultante EM2-PAR (agua recuperada después del tratamiento).

Se utilizó el Programa Excel para calcular:

- Volumen de lodo tratado/guardia.
- Dosificación adecuada del (coagulante y floculante) para una eficiente calidad del agua resultante.

Software Aplicativo:

- Procesadores de texto: Microsoft Word.
- Bases de datos.
- Una vez recogida la información se procedió a sistematizarlo en el programa Excel.

- El análisis experimental se realizó con el programa estadístico SPSS versión 22 para comprobar las diferencias significativas entre las muestras de cada uno de los tratamientos, en las cuales se medirán: STS, Turbidez, pH, CE, OD, As total, Cd total, Cu total, Fe disuelto, Pb total, Hg total y Zn total.
- Graficadores: AutoCAD, Excel, etc.

Se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA):

El Diseño Completamente al Azar (DCA) se empleó cuando las condiciones del lugar donde se realizaron el experimento fue homogéneo por lo tanto no hay ninguna restricción al momento de aleatorizar las unidades experimentales en el lugar. Todas las variaciones que puede existir entre las unidades experimentales que pasó a formar parte del error experimental.

La metodología a usarse fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) donde se realizó una comparación de la calidad de los efluentes en los lodos sin tratamiento y la calidad del agua resultante. Los resultados se presentaron en un cuadro de Análisis de Varianza (ANOVA), una tabla de comparación de medias de tratamiento que indica las diferencias entre dichas medidas y la contrastación múltiple a través de la Prueba de Tukey.

El modelo estadístico-matemático asociado a un DCA es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

i = 1, 2, …, tratamientos (k)

j = 1,2, …, repeticiones (n)

$\mathbf{Y_{ij}}$ = número de muestras en la ij-ésima unidad experimental.

μ = media general.

$\mathbf{t_i}$ = efecto del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

Después del Diseño Completamente al Azar (DCA), se evaluaron los resultados mediante el Análisis de la Prueba de Tukey. El diseño del Análisis de Varianza (ANOVA) fue con un nivel de confianza del 95%, datos que se recopilaron mediante el programa Excel y que fue llevado a un Software estadístico SPSS v22.0.0 o Minitab.

- ✓ Diseño: Diseño Completamente al Azar (DCA).
- ✓ Tratamiento: Sistema del MacTube.
- ✓ Unidad experimental: Muestras de lodos sin tratamiento y calidad del agua resultante.
- ✓ Testigo: El testigo son los lodos sin tratamiento (EM1-TRL).

Pruebas Estadísticas que se Aplicaron:

- **Análisis de Varianza (ANOVA)**

  El Análisis de Varianza fue una metodología para analizar la variación entre muestras y la variación al interior de las mismas mediante la determinación de varianzas. Se le conoce como criterio de ANOVA porque analiza un variable independiente. Como tal en un método estadístico propicio para comparar dos o más medias poblacionales.

  El Análisis de Varianza es un proceso aritmético y estadístico que consiste en la descomposición de la variación total que produce la variable respuesta en las fuentes de variación específicas del modelo.

  El objetivo del ANOVA en el DCA es poner a prueba hipótesis tales como:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_k$$

$$H_A : \mu_i \neq \mu_j \ para\ algún\ i \neq j$$

H_0: Todas las medias poblacionales son iguales.

H_A: Al menos dos medias poblacionales son diferentes.

Hipótesis puestas a prueba en el proyecto de investigación tales como:

$$H_0 : \tau = \tau_i$$

$$H_A : \tau \neq \tau_i \ para\ al\ menos\ in\ i; i = 1, 2, \dots \tau$$

H_0: todas las muestras son iguales

H_A: al menos una de las muestras cumple con el parámetro evaluado.

Las condicionales en que se basa la prueba ***t*** de 2 muestras que utilizaron muestras independientes son:

- ✓ Ambas poblaciones son normales.
- ✓ Las varianzas poblacionales son iguales.

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Como el ANOVA de un criterio es una generalización de la prueba ***t*** para 2 muestras, las condicionales para el ANOVA de un criterio son:

- ✓ Todas las poblaciones ***k*** son normales.
- ✓ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \cdots = \sigma_k^2 (= \sigma^2)$

El método del ANOVA con un criterio requiere del cálculo de dos estimaciones independientes para la varianza poblacional común (σ^2).

Estas dos estimaciones se denotan por:

- ✓ S_b^2: se denomina estimación de la varianza entre muestras.
- ✓ S_w^2: se denomina estimación de la varianza al interior de las muestras.

El estadístico tiene una distribución muestral resultando:

$$F = \frac{S_b^2}{S_w^2}$$

El valor crítico para la prueba ***F*** es:

$$F_\alpha(k-1, k(n-1))$$

Donde:

"Tabla A4 Puntos críticos al 5% de la distribución F, P(X>x) = 0.05"

El valor ***F*** va estar en función del nivel de significancia 5% del:

- ✓ Número de **Grados de libertad en el numerador** es ***k-1***
- ✓ Número de **Grados de libertad en el denominador** es ***k(n-1)***
- ✓ Siendo el Nivel de Significancia 5%.
- ✓ k = Número de muestras.

Regla de decisión.

- **Prueba de Tukey (Contrastes Post Hoc)**

La Prueba Tukey se utilizó para diseños balanceados (Todos los tratamientos tienen asignado el mismo número de elementos).

Se utiliza el estadístico **T:**

$$T = q_{\alpha,c,n-c}\sqrt{\frac{CME}{r}}$$

Donde:

- ✓ ***T***: Prueba de Tukey.
- ✓ ***CME***: Cuadrado medio del error.
- ✓ α: Nivel de significancia.
- ✓ r: repeticiones.

Se compara ***T*** vs la **Diferencia en Valor Absoluto** de cada par de medias, y si esta diferencia excede a ***T***, las medias son diferentes o iguales en caso contrario.

La Unidad Experimental es la unidad más pequeña de la cual se obtiene una medida o característica.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de Datos

4.1.1. Calidad de los Parámetros físicos-químicos según el D.S. N° 010-2010–MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgico" y D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua"

Después de haber tomado las muestras en los 2 puntos de muestreo EM1-TRL (Lodo antes del tratamiento) y EM2-PAR (Agua recuperado después del tratamiento), cada una en 2 repeticiones, que dan 4 lecturas. En las siguientes tablas se registran los promedios obtenidos, así como también los *máximos* y *mínimos* valores registrados.

4.1.1.1. Análisis Estadístico de los Parámetros establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua"

4.1.1.1.1. Análisis estadístico de Turbidez Promedio

Cuadro N° 17. *Resultados de la Turbidez Promedio.*

Estadísticos descriptivos						D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA) para Agua **Cat. 1:** Poblacional y Recreacional **Subcat. A:** Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable **A1:** Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	
Turbidez (*)						**(5 UNT)**	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Des. Est.**	**Dentro**	**Excedencia**
EM1-TRL	2	3958	4028	3993	49.49747		x
EM2-PAR	2	1.7	2	1.85	0.21213	x	
TOTAL	0	1.7	4028	1997.4	2304.469	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

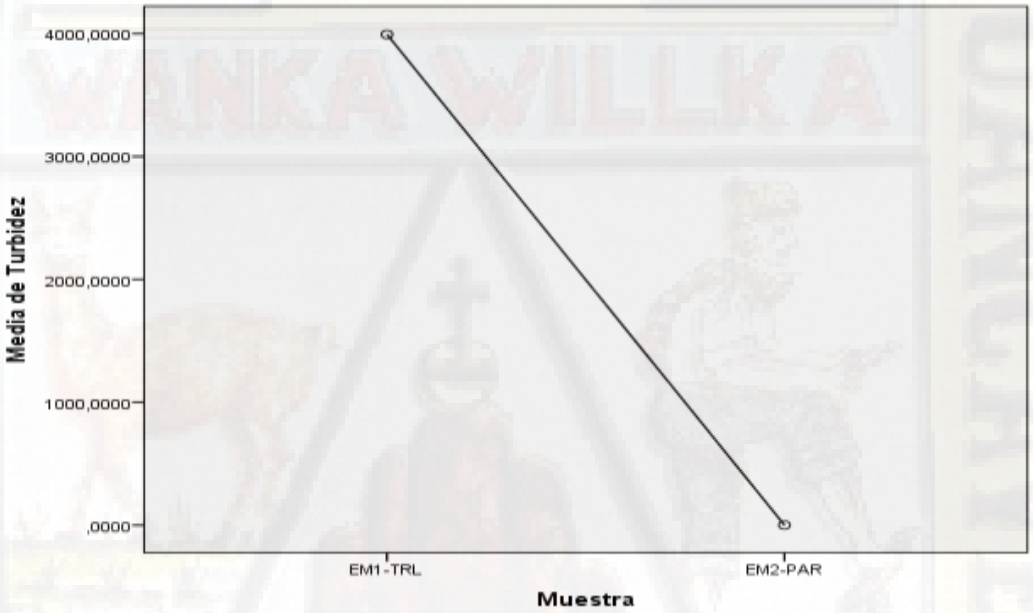


Figura 33. Gráfico de Medias de la Turbidez.

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 17 y su gráfico de medias, muestra que la Turbidez promedio para la EM1-TRL es de 3993 UNT, con una dispersión de 49.497, un valor mínimo de 3958 UNT y un valor máximo de 4028 UNT. En la EM2-PAR se observa que la Turbidez total promedio fue de 1.85 UNT, con una dispersión de 0.2121, con un valor mínimo de 1.7 UNT y un valor máximo de 2.0 UNT.

Asimismo, se cumple con el valor (5 UNT) establecidos en el **D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua" - Cat. 1: "Poblacional y Recreacional" – Subcategoría A: "Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable" - A1: "Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección**"; para la Turbidez en el punto EM2-PAR (1.7 – 2.0), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque los valores de la Turbidez disminuyen en más del 96% con el tratamiento. Más no se cumple en el punto EM1-TRL (3958.0 – 4028.0), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para la Turbidez son muy elevadas si los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.1.1.1.2. Análisis estadístico de Conductividad Eléctrica (CE) Promedio

Cuadro N° 18. *Resultados de la Conductividad Eléctrica (CE) Promedio*

Estadísticos descriptivos						D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA) para Agua	
						Cat. 3: Riego de vegetales y bebida de animales	
						D1: Riego de vegetales: * Agua para riego no restringido (c) * Agua para riego restringido	
Conductividad Eléctrica (CE)						**(2 500 µS/cm)**	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desviación Estandar**	**Dentro**	**Fuera**
EM1-TRL	2	158.9	162.3	160.6	2.40416	x	
EM2-PAR	2	357	362	359.5	3.53553	x	
TOTAL	**4**	**158.9**	**362**	**260.05**	**114.8615**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

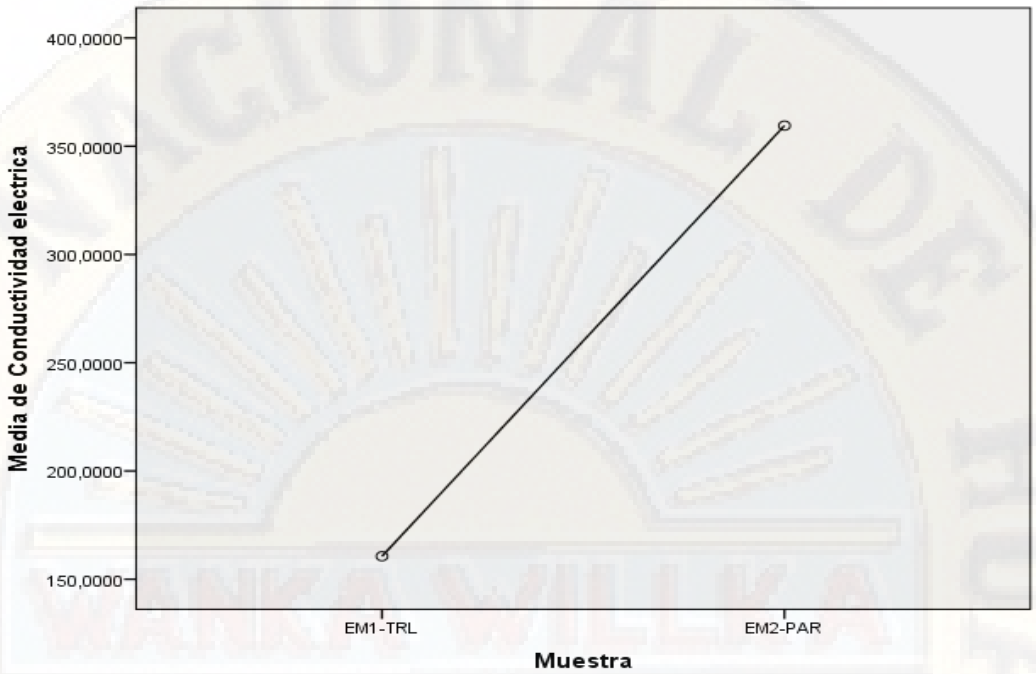


Figura 34. Gráfico de Medias de la Conductividad Eléctrica (CE).

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 18 y su gráfico de medias, muestra que la Conductividad Eléctrica (CE) promedio para la EM1-TRL es de 160.6 µS/cm, con una dispersión de 2.404, un valor mínimo de 158.9 µS/cm y un valor máximo de 162.3 µS/cm. En la EM2-PAR se observa que la CE promedio fue de 359.5 µS/cm, con una dispersión de 3.5355, con un valor mínimo de 357 µS/cm y un valor máximo de 362 µS/cm.

Asimismo, se cumple con el valor (2 500 µS/cm) establecidos en el **D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua" - Cat. 3: "Riego de vegetales y bebida de animales" – D1: "Riego de vegetales: *Agua para riego no restringido (c) y *Agua para riego restringido"**; para Conductividad Eléctrica (CE) en el punto EM2-PAR (357.0 – 362.0), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un ascenso positivo en el punto EM2-PAR, ello porque los valores de la CE se encuentran dentro de los parámetros físico-químicos con el tratamiento. Y también se cumple en el punto EM1-TRL (158.9 – 162.3), ya que no

sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para la CE oscilan dentro de los parámetros físico-químicos si los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.1.1.1.3. Análisis estadístico de Oxígeno Disuelto (OD) Promedio

Cuadro N° 19. *Resultados de Oxígeno Disuelto (OD) Promedio*

Estadísticos descriptivos						D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA) para Agua **Cat. 3:** Riego de vegetales y bebida de animales **D1:** Riego de vegetales: * Agua para riego no restringido (c) * Agua para riego restringido	
Oxigeno Disuelto (OD)						**(> =4 mg/L)**	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desviación Estandar**	**Aceptable**	**Inaceptable**
EM1-TRL	2	3.58	3.61	3.595	0.02121		x
EM2-PAR	2	5.51	5.60	5.555	0.06364	x	
TOTAL	**4**	**3.58**	**5.60**	**4.575**	**1.13227**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

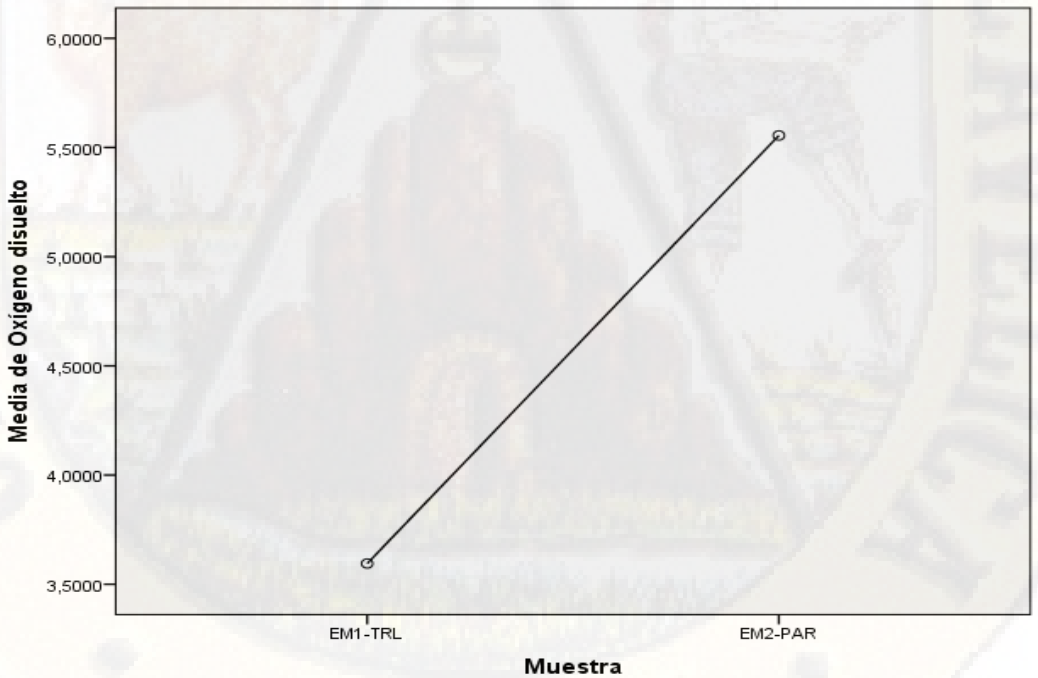


Figura 35. Gráfico de Medias de la Oxígeno Disuelto (OD)

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 19 y su gráfico de medias, muestra que el Oxígeno Disuelto (OD) promedio para la EM1-TRL es de 3.595 mg/L, con una dispersión de 0.02121, un valor mínimo de 3.58 mg/L y un valor máximo de 3.61 mg/L. En la EM2-PAR se observa que el OD total promedio fue de 5.555 mg/L, con una dispersión de 0.06364, con un valor mínimo de 5.51 mg/L y un valor máximo de 5.60 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (>=4 mg/L) establecidos en el **D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua" - Cat. 3: "Riego de vegetales y bebida de animales" – D1: "Riego de vegetales: *Agua para riego no restringido (c) y *Agua para riego restringido"**; para Oxígeno Disuelto (OD) en el punto EM2-PAR (5.51 – 5.60), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un ascenso positivo en el punto EM2-PAR, ello porque los valores de OD aumentan cuando se aplican el tratamiento. Más no se cumple en el punto EM1-TRL (3.58 – 3.61), ya que sus valores son menores a lo establecido en la norma.

4.1.1.1.4. Análisis estadístico de Potencial de Hidrógeno (pH) Promedio

Cuadro N° 20. *Resultados de Potencial de Hidrógeno (pH) Promedio*

Estadísticos descriptivos						D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA) para Agua	
						Cat. 3: Riego de vegetales y bebida de animales	
						D1: Riego de vegetales: * Agua para riego no restringido (c) * Agua para riego restringido	
pH						**(6.5 a 8.5) unidad de pH**	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desviación Estandar**	**Dentro**	**Fuera**
EM1-TRL	2	8.40	8.50	8.45	0.07071	x	
EM2-PAR	2	8.00	8.10	8.05	0.07071	x	
TOTAL	**4**	**8.00**	**8.50**	**8.25**	**0.23805**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

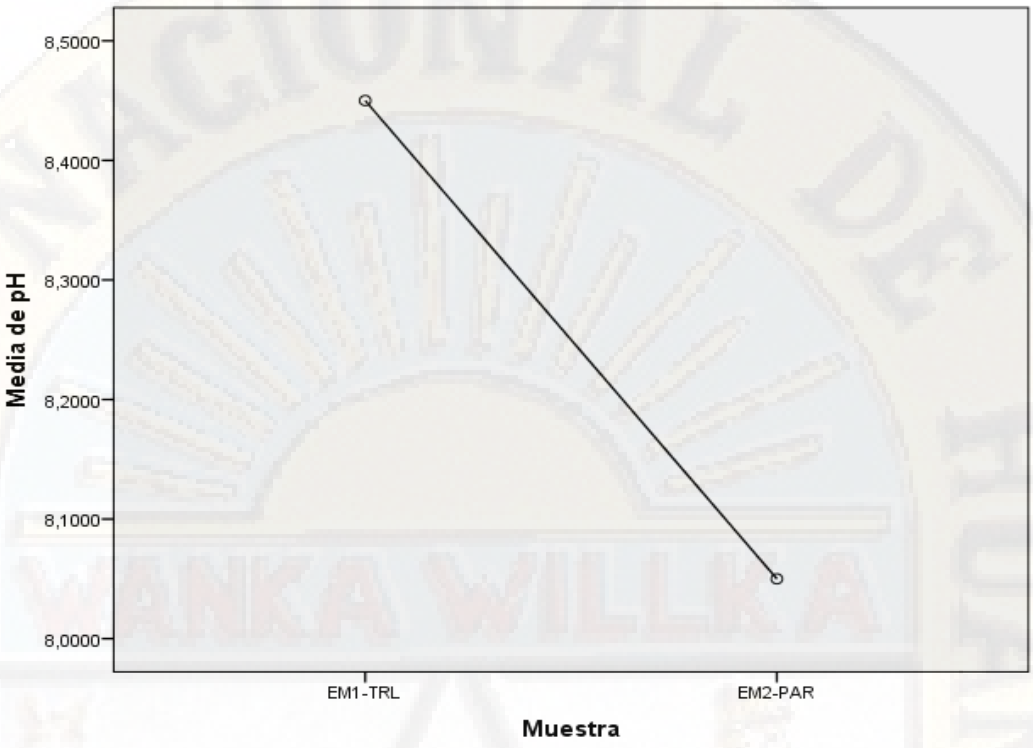


Figura 36. Gráfico de Medias de Potencia de Hidrógeno (pH).

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 20 y su gráfico de medias, muestra que el Potencial de Hidrógeno (pH) promedio para la EM1-TRL es de 8.45 pH, con una dispersión de 0.07071, un valor mínimo de 8.40 pH y un valor máximo de 8.50 pH. En la EM2-PAR se observa que el pH total promedio fue de 8.05 pH, con una dispersión de 0.07071, con un valor mínimo de 8.00 pH y un valor máximo de 8.10 pH.

Asimismo, se cumple con el valor (6.5 – 8.5) unidad de pH, establecidos en el **D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua" - Cat. 3: "Riego de vegetales y bebida de animales" – D1: "Riego de vegetales: *Agua para riego no restringido (c) y *Agua para riego restringido"**; para pH en el punto EM2-PAR (8.00 – 8.10), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque los valores de pH disminuyen con el

tratamiento. Del mismo modo se cumple en el punto EM1-TRL (8.40 – 8.50), ya que no sobrepasa los valores establecidos en la norma.

4.1.1.2. Análisis Estadístico de los Parámetros establecidos en el D.S. N° 010-2010–MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas"

4.1.1.2.1. Análisis estadístico de Sólidos Totales Suspendidos (STS) Promedio

Cuadro N° 21. *Resultados de los Sólidos Totales Suspendidos (STS) Promedio*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas	
						* Límite en cualquier momento	
Sólidos Totales Suspendidos (STS) *						**(50 mg/L)**	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desv. Est.**	**Dentro**	**Excedencia**
EM1-TRL	2	6150	6275	6212.5	88.38835		x
EM2-PAR	2	2.50	2.90	2.70	0.28284	x	
TOTAL	**4**	**2.50**	**6275**	**3107.6**	**3585.593**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

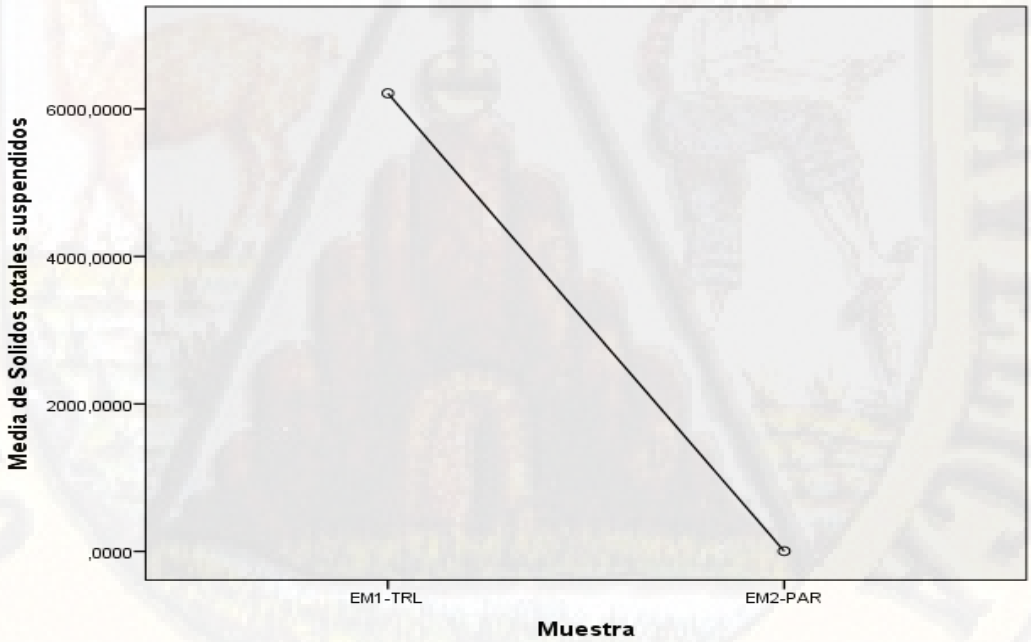


Figura 37. Gráfico de Medias de los Sólidos Totales Suspendidos (STS).

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 21 y su gráfico de medias, muestra que los Sólidos Totales Suspendidos (STS) promedio para la EM1-TRL es de 6212.5 mg/L, con una dispersión de 88.38835, un valor mínimo de 6150 mg/L y un valor máximo de 6275 mg/L. En la EM2-PAR se observa que los STS promedio fue de 2.70 mg/L, con una dispersión de 0.2828, con un valor mínimo de 2.50 mg/L y un valor máximo de 2.90 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (50 mg/L) establecidos en el **D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas"**; para los STS en el punto EM2-PAR (2.50 – 2.90), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque los valores de los STS disminuyen en más del 90% con el tratamiento. Más no se cumple en el punto EM1-TRL (6150 – 6275), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para los STS son muy elevadas si los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.1.1.2.2. Análisis estadístico del Arsénico (As) Total Promedio

Cuadro N° 22. *Resultados del Arsénico (As) total Promedio*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas	
						* Límite en cualquier momento	
Arsénico (As)						(0,1 mg/L)	
Muestras	N°	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Est.	Dentro	Excedencia
EM1-TRL	2	0.7843	0.8032	0.7937	0.013364	x	
EM2-PAR	2	0.0010	0.0016	0.0013	0.000424	x	
TOTAL	**4**	**0.0010**	**0.8032**	**0.3975**	**0.457586**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

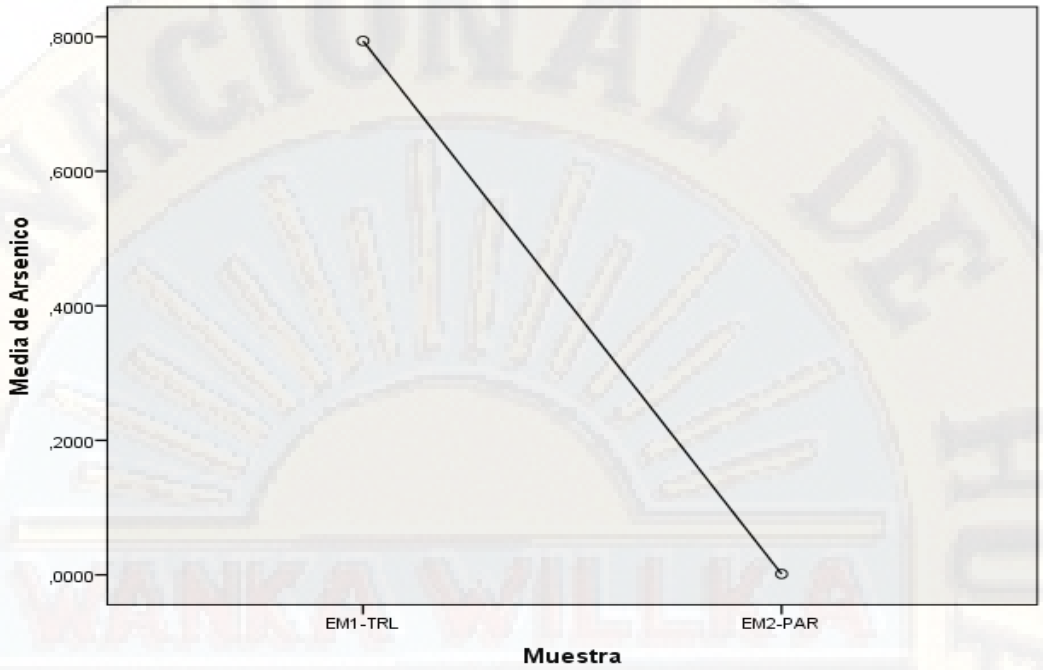


Figura 38. Gráfico de Medias del Arsénico (As) total.

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 22 y su gráfico de medias, muestra que el Arsénico (As) total promedio para la EM1-TRL es de 0.7937 mg/L, con una dispersión de 0.013364, un valor mínimo de 0.7843 mg/L y un valor máximo de 0.8032 mg/L. En la EM2-PAR se observa que el As total promedio fue de 0.0013 mg/L, con una dispersión de 0.000424, con un valor mínimo de 0.0010 mg/L y un valor máximo de 0.0016 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (0,1 mg/L) establecidos en los 2 puntos de muestreo según el **D.S. N° 010-2010-MINAM "LMP"**; para el Arsénico (As) en el punto EM2-PAR (0.0010 – 0.0016), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello es porque los lodos han sido tratados y el *As* ha sido encapsulado, disminuyendo los valores para *As*. Del mismo modo se cumple en el punto EM1-TRL (0.7843 – 0.8032), ya que allí los lodos no han recibido el tratamiento con el Sistema MacTube, como se puede apreciar en el gráfico muestra un valor más alto.

4.1.1.2.3. Análisis estadístico del Cadmio (Cd) Total Promedio

Cuadro N° 23. *Resultados del Cadmio (Cd) total Promedio.*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas * Límite en cualquier momento	
Cadmio (Cd)						(0,05 mg/L)	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desv. Est.**	**Dentro**	**Excedencia**
EM1-TRL	**2**	0.2012	0.2116	0.2064	0.007354		x
EM2-PAR	**2**	0.0001	0.0001	0.0001	0.000000	x	
TOTAL	**4**	**0.0001**	**0.2116**	**0.1033**	**0.119183**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

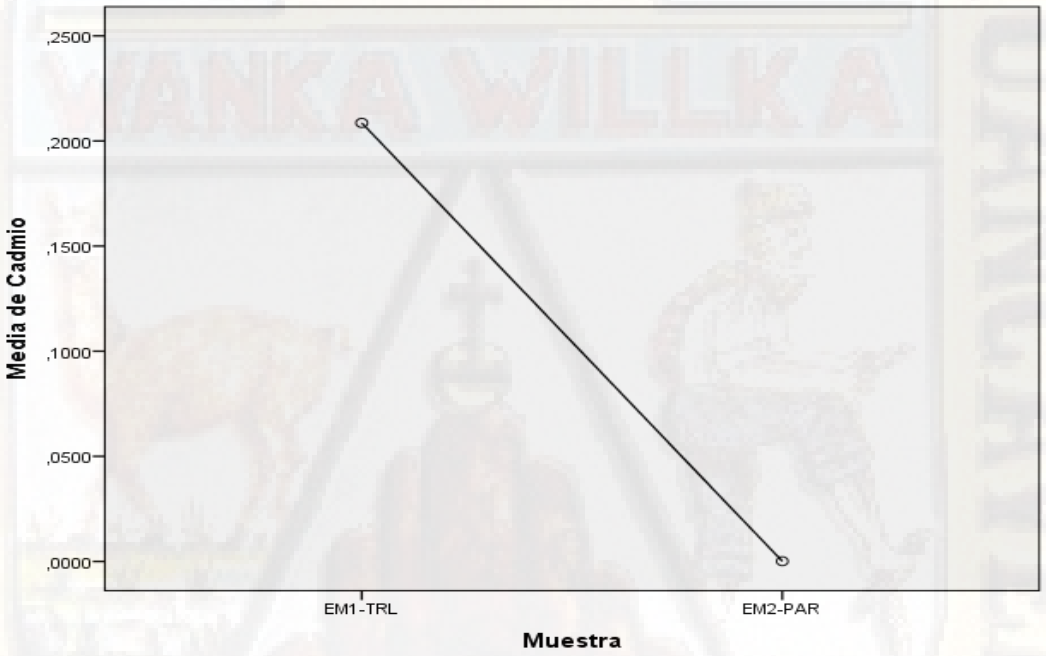


Figura 39. Gráfico de Medias del Cadmio (Cd).

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23.

Análisis e Interpretación

En la tabla 23 y su gráfico de medias, muestra que el Cadmio (Cd) total promedio para la EM1-TRL es de 0.2064 mg/L, con una dispersión de 0.007354, un valor mínimo de 0.2012 mg/L y un valor máximo de 0.2116 mg/L. En la EM2-PAR se observa que el Cd total promedio fue de 0.0001 mg/L, con una dispersión de 0.00, con un valor mínimo de 0.0001 mg/L y un valor máximo de 0.0001 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (0,05 mg/L) establecidos en el **D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas"**; para el Cd total en el punto EM2-PAR (0.0001 – 0.0001), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque el lodo ha sido tratado y los tubos del MacTube encapsularon el Cd total presente en el lodo. Más no se cumple en el punto EM1-TRL (0.2012 – 0.2116), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para Cd total son muy elevadas si los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.1.1.2.4. Análisis estadístico del Cobre (Cu) Total Promedio

Cuadro N° 24. *Resultados del Cobre (Cu) total Promedio.*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas	
						* Límite en cualquier momento	
Cobre (Cu)						(0,5 mg/L)	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desv. Est.**	**Dentro**	**Excedencia**
EM1-TRL	**2**	2.2567	2.3171	2.2869	0.0427092		x
EM2-PAR	**2**	0.0038	0.0047	0.0043	0.0006364	x	
TOTAL	**4**	**0.0038**	**2.3171**	**1.1456**	**1.3181193**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

Figura 40. Gráfico de Medias del Cu.

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 24 y su gráfico de medias, muestra que el Cobre (Cu) total promedio para la EM1-TRL es de 2.2869 mg/L, con una dispersión de 0.0427092, un valor mínimo de 2.2567 mg/L y un valor máximo de 2.3171 mg/L. En la EM2-PAR se observa que el Cu total promedio fue de 0.0043 mg/L, con una dispersión de 0.0006364, con un valor mínimo de 0.0038 mg/L y un valor máximo de 0.0047 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (0,5 mg/L) establecidos en el **D.S. N° 010-2010-MINAM "LMP"**; para el Cu total en el punto EM2-PAR (0.0038 – 0.0047), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque el lodo ha sido tratado y las bolsas del MacTube encapsularon el Cu total presente en el lodo. Más no se cumple en el punto EM1-TRL (2.2567 – 2.3171), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para el Cu total son muy elevadas porque los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.1.1.2.5. Análisis estadístico del Hierro (Fe) Disuelto Promedio

Cuadro N° 25. *Resultados del Hierro (Fe) disuelto Promedio.*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas	
						* Límite en cualquier momento	
Hierro (Fe) Disuelto						(2 mg/L)	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desv. Est.**	**Dentro**	**Excedencia**
EM1-TRL	**2**	0.0157	0.0242	0.0199	0.0060104	x	
EM2-PAR	**2**	0.0030	0.0034	0.0032	0.0002828	x	
TOTAL	**4**	**0.0030**	**0.0242**	**0.0116**	**0.0102757**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

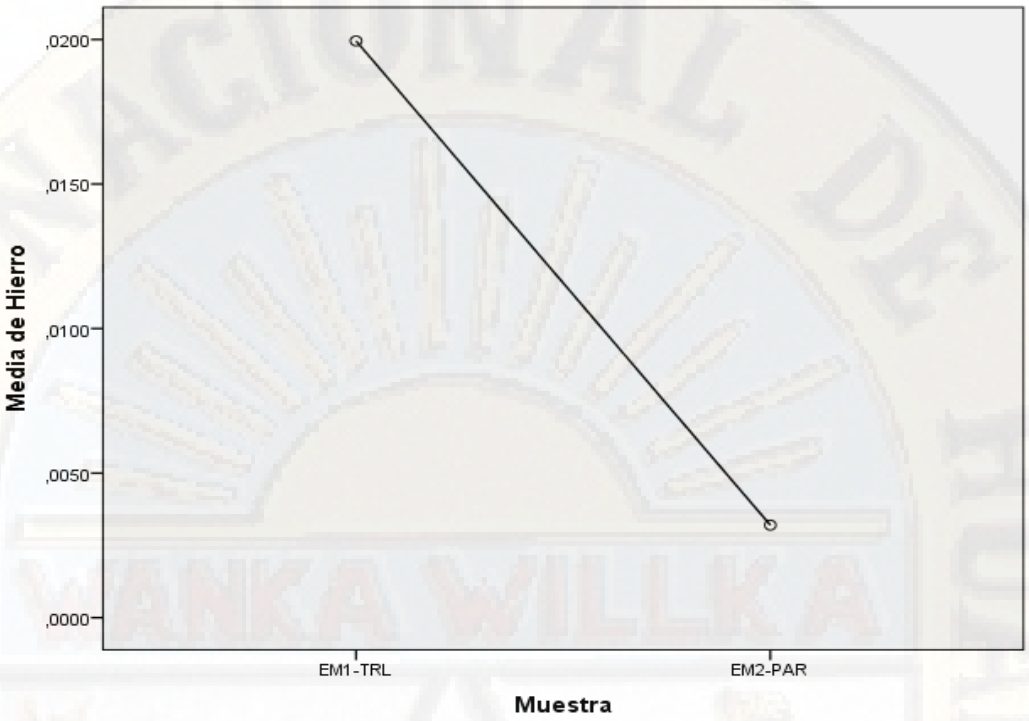


Figura 41. Gráfico de Medias del Hierro disuelto.

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 25 y su gráfico de medias, muestran que el *Fe* disuelto promedio para la EM1-TRL es de 0.0199 mg/L, con una dispersión de 0.0060104, un valor mínimo de 0.0157 mg/L y un valor máximo de 0.0242 mg/L. En la EM2-PAR se observa que el *Fe* disuelto promedio fue de 0.0032 mg/L, con una dispersión de 0.0002828, con un valor mínimo de 0.0030 mg/L y un valor máximo de 0.0034 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (2 mg/L) establecidos en los 2 puntos de muestreo según el **D.S. N° 010-2010-MINAM "LMP"**; para el Fe disuelto en el punto EM2-PAR (0.0030 – 0.0034), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello es porque los lodos han sido tratados y el Fe ha sido encapsulado, disminuyendo los valores para *Fe*. Del mismo modo se cumple en el punto EM1-TRL (0.0157 – 0.0242), ya que allí los lodos no han recibido el

tratamiento con el Sistema MacTube, como se puede apreciar en el gráfico muestra un valor más alto.

4.1.1.2.6. Análisis estadístico del Plomo (Pb) Total Promedio

Cuadro N° 26. *Resultados del Plomo (Pb) total Promedio*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas	
						* Límite en cualquier momento	
Plomo (Pb)						(0,2 mg/L)	
Muestras	N°	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Est.	Dentro	Excedencia
EM1-TRL	2	7.4458	8.6722	8.0590	0.8671958		x
EM2-PAR	2	0.0095	0.0097	0.0096	0.0001414	x	
TOTAL	4	0.0095	8.6722	4.0343	4.6742154	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

Figura 42. Gráfico de Medias del Pb.

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 26 y su gráfico de medias, muestra que el Plomo (Pb) total promedio para la EM1-TRL es de 8.0590 mg/L, con una dispersión de 0.8671958, un valor mínimo de 7,4458 mg/L y un valor máximo de 8,6722 mg/L. En la EM2-PAR se observa que el *Pb* total promedio fue de 0.0096

mg/L, con una dispersión de 0.0001414, con un valor mínimo de 0.0095 mg/L y un valor máximo de 0.0097 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (0,2 mg/L) establecidos en el **D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas"**; para Pb total en el punto EM2-PAR (0.0095 – 0.0097), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque el lodo ha sido tratado y las bolsas del MacTube encapsularon el Pb total presente en el lodo.

Más no se cumple en el punto EM1-TRL (7.4458 – 8.6722), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para Pb total son elevados porque los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.1.1.2.7. Análisis estadístico del Mercurio (Hg) Total Promedio

Cuadro N° 27. *Resultados del Mercurio (Hg) total Promedio*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas	
						* Límite en cualquier momento	
Mercurio (Hg)						(0,002 mg/L)	
Muestras	**N°**	**Mínimo**	**Máximo**	**Media**	**Desv. Est.**	**Dentro**	**Excedencia**
EM1-TRL	**2**	0.0178	0.0202	0.0190	0.0016971		x
EM2-PAR	**2**	0.0008	0.0010	0.0009	0.0001414	x	
TOTAL	**4**	**0.0008**	**0.0202**	**0.0099**	**0.0104962**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

Figura 43. Gráfico de Medias del Hg.

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 27 y su gráfico de medias, muestra que el *Hg* total promedio para la EM1-TRL es de 0.0190 mg/L, con una dispersión de 0.0016971, un valor mínimo de 0.0178 mg/L y un valor máximo de 0.0202 mg/L. En la EM2-PAR se observa que el *Hg* total promedio fue de 0.0009 mg/L, con una dispersión de 0.0001414, con un valor mínimo de 0.0008 mg/L y un valor máximo de 0.0010 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (0,002 mg/L) establecidos en el **D.S. N° 010-2010-MINAM "LMP"**; para *Hg* total en el punto EM2-PAR (0.0008 – 0.0010), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque el lodo ha sido tratado y las bolsas del MacTube encapsularon el *Hg* total presente en el lodo. Más no se cumple en el punto EM1-TRL (0.0178 – 0.0202), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para *Hg* total son elevados si los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.1.1.2.8. Análisis estadístico del Zinc (Zn) Total Promedio

Cuadro N° 28. *Resultados del Zinc (Zn) total Promedio*

Estadistico descriptivo						D.S. N° 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas	
						* Límite en cualquier momento	
Zinc (Zn)						(1,5 mg/L)	
Muestras	N°	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Est.	Dentro	Excedencia
EM1-TRL	2	29.9832	30.8123	30.398	0.5862622		x
EM2-PAR	2	0.0466	0.0480	0.0473	0.0009899	x	
TOTAL	**4**	**0.0466**	**30.8123**	**15.223**	**17.5261093**	x	

Fuente: Elaboración propia – Recolectado de los resultados de ensayo de Laboratorio.

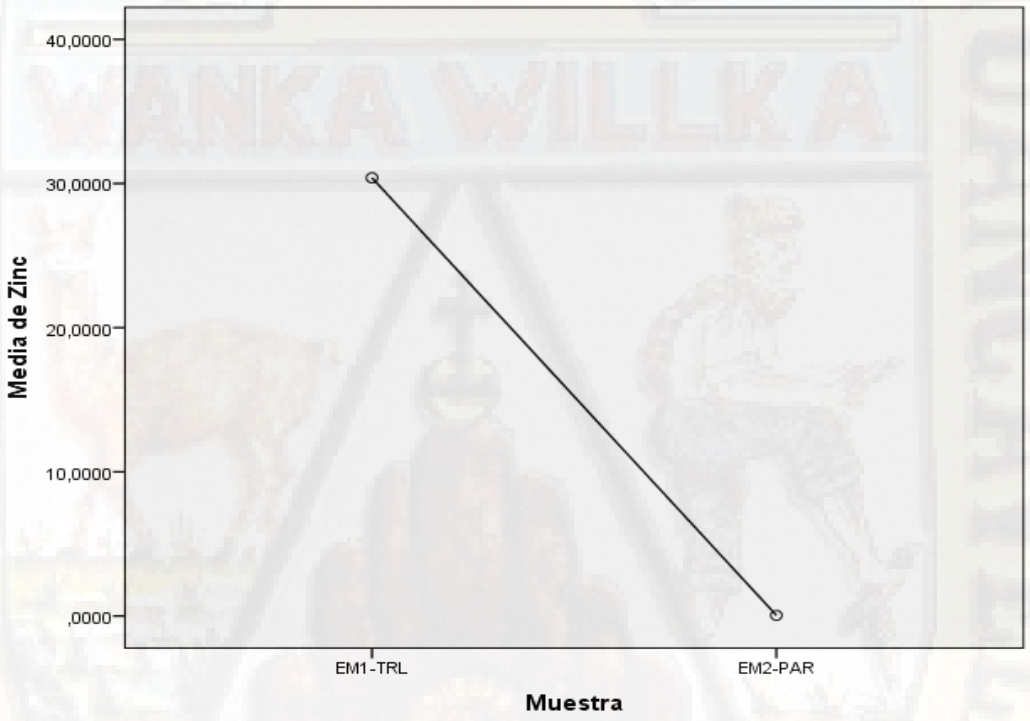


Figura 44. Gráfico de Medias del Zn.

Fuente: Elaboración propia. – Procesada en el SPSS v. 23

Análisis e Interpretación

En la tabla 28 y su gráfico de medias, muestra que *Zn* total promedio para la EM1-TRL es de 30.398 mg/L, con una dispersión de 0.5862622, un valor mínimo de 29.9832 mg/L y un valor máximo de 30.8123 mg/L. En la EM2-PAR se observa que *Zn* total promedio fue de 0.0473 mg/L, con una

dispersión de 0.0009899, con un valor mínimo de 0.0466 mg/L y un valor máximo de 0.0480 mg/L.

Asimismo, se cumple con el valor (1,5 mg/L) establecidos en el **D.S. N° 010-2010-MINAM "LMP"**; para *Zn* total en el punto EM2-PAR (0.0466 – 0.0480), y se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en el punto EM2-PAR, ello porque el lodo ha sido tratado y las bolsas del MacTube encapsularon el *Zn* total presente en el lodo. Más no se cumple en el punto EM1-TRL (29.9832 – 30.8123), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir los valores para *Zn* total son elevados por que los lodos no reciben tratamiento con el Sistema MacTube.

4.2. Análisis de Datos

4.2.1. Contrastación de la Hipótesis

4.2.1.1. Hipótesis Específicas

4.2.1.1.1. Prueba de la Hipótesis para la Turbidez (*)

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Turbidez* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Turbidez* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 29. *Prueba de ANOVA para la Turbidez.*

		Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Turbidez	Entre Grupos	15929278.323	1	15929278.323	13003.25	0.000
	Dentro de grupos	2450.045	2	1225.023		
	Total	**15931728.368**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 29, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.000, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Turbidez* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físico-químico, en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 30. *Prueba HSD Tukey para Turbidez*

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Turbidez	EM1-TRL	2	3993	A	
	EM2-PAR	2	1.850		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 30, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.2. Prueba de la Hipótesis para la Conductividad Eléctrica (CE)

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Conductividad Eléctrica* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Conductividad Eléctrica* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 31. Prueba de ANOVA para la Conductividad Eléctrica

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Conductividad eléctrica	Entre grupos	39561.21	1	39561.21	4328.36	0.000
	Dentro de grupos	18.28	2	9.14		
	Total	**39579.49**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 31, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.000, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Conductividad Eléctrica* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físico-químico, en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 32. Prueba HSD Tukey para Conductividad Eléctrica

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Conductividad Eléctrica	EM2-PAR	2	359.5	A	
	EM1-TRL	2	160.6		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Lo que se mostró en la tabla 32, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.3. Prueba de la Hipótesis para Oxígeno Disuelto (OD)

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Oxígeno Disuelto* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Oxígeno Disuelto* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 33. Prueba de ANOVA para Oxígeno Disuelto

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Oxígeno disuelto	Entre grupos	3.842	1	3.842	1707.378	0.001
	Dentro de grupos	0.004	2	0.002		
	Total	**3.846**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

  En la Tabla 33, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.001, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de O*xígeno Disuelto* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físico-químico, en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

  Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 34. Prueba HSD Tukey para Oxígeno Disuelto

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Oxígeno Disuelto	EM2-PAR	2	5.555	A	
	EM1-TRL	2	3.595		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 34, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.4. Prueba de la Hipótesis para Potencial de Hidrógeno (pH)

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *pH* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *pH* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM en el proyecto

minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 35. Prueba de ANOVA para pH

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	0.16	1	0.16	32	0.03
	Dentro de grupos	0.01	2	0.005		
	Total	**0.17**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 35, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.03, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *pH* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros físico-químico, en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 36. Prueba HSD Tukey para pH

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
pH	EM1-TRL	2	8.45	A	
	EM2-PAR	2	8.05		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 36, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.5. Prueba de la Hipótesis para Sólidos Totales Suspendidos (STS) (*)

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *STS* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *STS* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 37. Prueba de ANOVA para Sólidos Totales Suspendidos (*)

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Solidos totales suspendidos	Entre grupos	38561616.04	1	38561616.04	9871.673	0.000
	Dentro de grupos	7812.58	2	3906.29		
	Total	**38569428.62**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 37, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.000, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *STS* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 38. Prueba HSD Tukey para Sólidos Totales Suspendidos

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Sólidos Totales Suspendidos	EM1-TRL	2	6212.5	A	
	EM2-PAR	2	2.7		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 38, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.6. Prueba de la Hipótesis para Arsénico (As) total

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Arsénico total* del agua es de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a:

La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Arsénico total* del agua con tratamiento está dentro de los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 39. Prueba de ANOVA para Arsénico (As) total

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Arsénico total	Entre grupos	0.628	1	0.628	7024.941	0.000
	Dentro de grupos	0.000	2	0.000		

Total	**0.628**	**3**

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

  En la Tabla 39, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.000, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Arsénico total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

  Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 40. Prueba HSD Tukey para Arsénico (As) total

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Arsénico total	EM1-TRL	2	0.79375	A	
	EM2-PAR	2	0.0013		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 40, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.7. Prueba de la Hipótesis para Cadmio (Cd) total

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Cadmio total* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Cadmio total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 41. Prueba de ANOVA para Cadmio (Cd) total

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cadmio total	Entre grupos	0.043	1	0.043	793.869	0.001
	Dentro de grupos	0	2	0		
	Total	**0.044**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 41, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.001, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Cadmio total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 42. Prueba HSD Tukey para Cadmio (Cd) total

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Cadmio total	EM1-TRL	2	0.2064	A	
	EM2-PAR	2	0.0001		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 42, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.8. Prueba de la Hipótesis para Cobre (Cu) total

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Cobre total* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Cobre total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 43. Prueba de ANOVA para Cobre total

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cobre total	Entre grupos	5.21	1	5.21	5711.739	0.000
	Dentro de grupos	0.002	2	0.001		
	Total	**5.212**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 43, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.000, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Cobre total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 44. Prueba HSD Tukey para Cobre total

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Cobre total	EM1-TRL	2	2.2869	A	
	EM2-PAR	2	0.00425		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 44, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.9. Prueba de la Hipótesis para Hierro (Fe) Disuelto

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Hierro disuelto* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Perú 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Hierro disuelto* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 45. Prueba de ANOVA para Hierro disuelto

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Hierro disuelto	Entre grupos	0.000	1	0.000	15.499	0.059
	Dentro de grupos	0.000	2	0.000		
	Total	**0.000**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

  En la Tabla 45, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.059, como este dato fue mayor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Hierro disuelto* del agua con tratamiento, no mejora la calidad del agua de acuerdo a los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

  Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 46. Prueba HSD Tukey para Hierro disuelto

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación
Hierro disuelto	EM1-TRL	2	0.01995	A
	EM2-PAR	2	0.0032	A

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 46, el análisis posterior indica que no existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL y EM2-PAR, debido a que se encuentran en la misma columna.

4.2.1.1.10. Prueba de la Hipótesis para Plomo (Pb) total

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Plomo total* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Plomo total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del

LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 47. Prueba de ANOVA para Plomo total

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Plomo total	Entre grupos	64.793	1	64.793	172.315	0.006
	Dentro de grupos	0.752	2	0.376		
	Total	**65.545**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 47, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.006, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Plomo total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 48. Prueba HSD Tukey para Plomo total

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Plomo total	EM1-TRL	2	8.059	A	
	EM2-PAR	2	0.0096		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 48, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.11. Prueba de la Hipótesis para Mercurio (Hg) total

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Mercurio total* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Mercurio total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 49. Prueba de ANOVA para Mercurio total

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Mercurio total	Entre grupos	0.000	1	0.000	225.938	0.004
	Dentro de grupos	0.000	2	0.000		
	Total	**0.000**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 49, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.004, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Mercurio total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 50. Prueba HSD Tukey para Mercurio total

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Mercurio total	EM1-TRL	2	0.019	A	
	EM2-PAR	2	0.0009		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 50, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.2.1.1.12. Prueba de la Hipótesis para Zinc (Zn) total

H_0: Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento con el sistema MacTube, el parámetro *Zinc total* del agua son de igual calidad respecto a los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica 2018.

H_a: La calidad del agua resultante utilizando el Sistema MacTube, el parámetro *Zinc total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del LMP para efluentes D.S. N° 010-2010-MINAM, en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.

- **Estadístico de Prueba**

Cuadro N° 51. Prueba de ANOVA para Zinc total

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Zinc total	Entre grupos	921.15	1	921.15	5360.128	0.000
	Dentro de grupos	0.344	2	0.172		
	Total	**921.494**	**3**			

Fuente: Elaboración propia – Procesado en el SPSS v.23.

- **Decisión Estadística**

En la Tabla 51, se observó que el p-valor o el valor Sig. (bilateral) fue de 0.000, como este dato fue menor al nivel de significancia = 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis planteada por el investigador. Lo que indicó que el tratamiento de lodos de perforación diamantina a través del Sistema MacTube, en el parámetro de *Zinc total* del agua con tratamiento están dentro de los parámetros del Límite Máximo Permisible (LMP), en comparación con los parámetros del agua antes del tratamiento.

Por lo cual, presentamos los resultados del análisis de Post Hoc (Prueba de HSD Tukey)

- **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Cuadro N° 52. Prueba HSD Tukey para Zinc total

	Estaciones de Monitoreo	N°	Media	Agrupación	
Zinc total	EM1-TRL	2	30.398	A	
	EM2-PAR	2	0.0473		B

Fuente: Elaboración propia – Procesado en Minitab v.19 - Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneas.

Lo que se mostró en la tabla 52, el análisis posterior indica que existen diferencias entre los resultados, la muestra EM1-TRL es significativamente diferente al tratamiento EM2-PAR, debido a que se encuentran en columnas diferentes.

4.3. Dosificación Adecuada para el Tratamiento de Lodos

4.3.1. Dosis del Coagulante

La dosificación adecuada con el Coagulante, desestabiliza las partículas en suspensión (facilita la aglomeración) durante el proceso de desestabilización de las partículas en suspensión coloidales presentes en el lodo, eliminando las materias en suspensión estables, turbidez, materias orgánicas y los microorganismos.

La dosificación optima del coagulante produce efectos significativos para obtener la calidad del agua que estén dentro de los parámetros requeridos.

Cuadro N° 53. Dosificación con el Coagulante

Dosificación con el Coagulante		
	Volumen del Agua	**Coagulante (ml)**
	1 Litro Agua	0.04 ml Coagulante
Total	**3 000 Litros Agua**	**120 ml Coagulante**

Fuente: (BISA Ingeniería de Proyectos S.A., 2018)

4.3.2. Dosis del Floculante

La dosificación adecuada con el Floculante, separa y aglutina formando un floc (grumos de lodos) todas las partículas sólidas, por lo cual minimiza el escape de la fracción más fina de sedimentos facilitando la deshidratación de los lodos.

La dosificación optima del floculante produce efectos significativos para obtener la calidad del agua que estén dentro de los parámetros requeridos.

Cuadro N° 54. Dosificación con el Floculante

Dosificación con el Floculante		
	Volumen del Agua	**Floculante (ml)**
	60 Gal. Agua (1 cilindro)	500 ml Floculante
Total	**3 000 Litros Agua**	**16 L Floculante preparado**

Fuente: (BISA Ingeniería de Proyectos S.A., 2018)

CONCLUSIONES

1. En la evaluación del tratamiento que reciben los lodos de perforación diamantina para su adecuada disposición final, mediante el uso del sistema MacTube, se determinó que es un sistema de tratamiento eficiente, por retener los sólidos y obtener una buena calidad del agua recuperado libre de sólidos. Asimismo, se demostró que el sistema MacTube cumple eficientemente con los parámetros de Sólidos Totales Suspendidos y Turbidez, disminuyendo sus valores en más del 95% y 98%, además de encapsular y disminuir los valores en metales pesados como: Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo, Mercurio y Zinc.
2. Se determinó la dosificación adecuada del coagulante y floculante para tratar los 3m3 de volumen de lodo por ciclo de tratamiento.
3. Se evaluó los lodos de perforación diamantina antes del tratamiento *in situ* y se comparó los datos obtenidos con los parámetros en base a las normas establecidas por el Ministerio del Ambiente, mostraron valores que sobrepasan el rango en los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos, por lo que se requirió un adecuado tratamiento de los lodos para su disposición final.
4. Se efectuó en tratamiento adecuado de los lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube y se comparó los resultados de laboratorio con los parámetros establecidos en el agua resultante, mostraron valores que están por debajo de los rangos según los parámetros establecidos en los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Es importante mencionar que la Conductividad Eléctrica y pH, no sobrepasan en las muestras de lodos con valores establecidos, por lo que con el tratamiento muestra una disminución en sus valores, lo que significa que el tratamiento mediante el sistema MacTube retiene los sólidos y mejora la calidad del agua resultante.

RECOMENDACIONES

1. El Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Energía y Minas, deben de promover a que las Empresas Mineras que desarrollan actividades de Exploración Minera, apliquen nuevos procesos tecnológicos para el tratamiento de los residuos de perforación diamantina, el sistema MacTube debe ser propuesto en todos los proyectos de exploración minera en el Perú, más aún en proyecto mineros que tengan deficiencias en la disposición del recurso hídrico utilizado para sus actividades de perforación.
2. Las empresas mineras que desarrollan actividades de exploración de nuevos yacimientos mineros y desarrollen tratamiento mediante el uso de aditivos como el coagulante y floculante hagan uso de una dosificación adecuada en base al volumen de lodo a tratar, determinado en el presente proyecto de investigación.
3. El Ministerio del Ambiente bajo las supervisiones que desarrolla durante las actividades de exploración minera tiene la certeza de que los lodos generados durante las perforaciones muestran datos superiores en función a los rangos de los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental para Agua, por lo que se requiere un tratamiento adecuado por parte de la Empresa Minera ejecutora de la actividad de Exploración Minera.
4. El Titular de la actividad de exploración minera debe de promover en todas sus operaciones de exploración el tratamiento de lodos mediante el uso del sistema MacTube para obtener una calidad del agua resultante eficiente, que estén dentro de los rangos de los parámetros establecidos en el DS N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles y DS N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altamirano, M. (2013). *Estudio Hidroquímico y de Calidad del Agua Superficial en la Cuenca del Rio Mira.* Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador .

Andía, Y. (2000). *Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación.* Lima: SEDAPAL.

BISA Ingeniería de Proyectos S.A. (Mayo-Octubre de 2018). Supervisión del Proyecto de Exploración Minera Pukaqaqa - Campaña 2018. Huancavelica, Perú: Buenaventura Ingenieros S.A.

Bocanegra, S. (2015). *Calidad de Agua para Uso Agrícola y Conservación de Recursos en la Cuenca Baja del Rio Moche, Julio-Diciembre 2014. La Libertad.* Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo.

Compañía Minera Milpo S.A.A. (2017). *INFORME N° 274-2017-SENACE-J-DCA/UPAS-UGS.* Lima - Perú: Dirección de Certificación Ambiental del Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (DCA SENACE).

Compañía Minera Milpo S.A.A. (2017). *Informe Técnico Sustentario de la Unidad Minera Pukaqaqa (ITS Pukaqaqa).* Lima - Perú: Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE).

Compañía Minera Milpo S.A.A. y Votorantim Metais. (2012). Proyecto Pukaqaqa. *Revista Minera*.

Compañia Minero Milpo S.A.A. (10 de Octubre de 2015). Construcción de Plataformas de Perforación y Accesos. Lima.

Empresa Comunal Hatun Ñan - Ecohñan. (Abril-Octubre de 2018). Área del MacTube. Huancaveica, Huando-Ascensión, Perú: Empresa Comunal Hatun Ñan - Ecohñan (Pueblo Libre).

Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F., & Gave, J. (2014). *¿Cómo aprender y enseñar Investigación Científica?* Huancayo: Soluciones Gráficas S.A.C.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* México: Edamsa Impresiones S.A.

Huiza, W. (8 de Junio de 2018). Entrevista al Encargado del Sistema MacTube. (J. L. Quinto, Entrevistador)

KALLPA Securities Sociedad Agente de Bolsas. (2014). Compañía Minera Milpo S.A.A. *KALLPA Securities Sociedad Agente de Bolsas*, 10.

Kerlinger, F. (2002). *Metodología de la Investigación Científica.*

MACCAFERRI América Latina. (s.f.). Sistema de Deshidratación de Lodos y Sedimentos MacTube. *Corporate Member International Geosyntheties Society*, 3.

Mayer, J. (2005). *Metodología de la Investigación Científica.*

Mendoza, H. (2004). *Sistema de Control de Sólidos y Manejo de Desechos en la Perforación de Pozos de Petróleo para la Preservación del Medio Ambiente.* Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Ministerio de Energía y Minas. (1992). Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería DS N° 014-92-EM. *El Peruano*.

Ministerio del Ambiente. (21 de Agosto de 2010). Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas DS N° 010-2010-MINAM. *El Peruano*, págs. 424114-424117.

Ministerio del Ambiente. (7 de Junio de 2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua DS N° 004-2017-MINAM. *El Peruano*, págs. 10-19.

Molina, M. (2009). *Técnicas Desarrolladas de los Sistemas de Control de Sólidos de los Fluidos de Perforación.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Nihon Kasetsu. (29 de Enero de 2019). *El Mecanismo de Coagulación y Floculación*. Obtenido de http://nihonkasetsu.com/es/el-mecanismo-de-coagulacion-y-floculacion/

Pedocchi, F., Mosquera, R., Teixeira, L., & Groposo, V. (2011). *Evaluación de la Aplicación de Contenedores Geotextiles a los Materiales de Dragado de la Bahía de Montevideo.* Montevideo: IMFIA para la Administración Nacional de Puertos - Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

Pozo, B. (2015). *Estudio para Mejorar el Proceso de Tratamiento de Aguas y Manejo de Sólidos de los Fluidos de Perforación en Pozos del Oriente Ecuatoriano.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles - SENACE. (2017). *Resolución Directoral N° 321-2017-SENACE/DCA.* Lima: Ministerio del Ambiente.

Tenorio, F. (2015). *Tratamiento de Lodos de Perforación Mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, Distrito de Huallanca, Región Ancash 2015.* Moquegua - Perú: Universidad José Carlos Mariátegui.

Vigo, W. (2016). *Tecnologías Limpias en el Proceso de Perforación Diamantina en la Etapa de Exploración Geológica en Minería, Cajamarca, 2016.* Cajamarca - Perú: Universidad César Vallejo.

APÉNDICE

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: TRATAMIENTO DE LODOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA UTILIZANDO EL SISTEMA MACTUBE PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PROYECTO MINERO PUKAQAQA NEXA RESOURCES PERÚ S.A.A. HUANCAVELICA – 2018

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INTRUMENTOS
Problema General: ¿En qué medida el tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube permite obtener la calidad del agua en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018? **Problemas Específicos:** a. ¿Cuál es la dosis adecuada del coagulante y floculante para el tratamiento de lodos de perforación diamantina en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018? b. ¿Cuál es la calidad de los lodos de perforación diamantina sin tratamiento respecto al LMP DS N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para Agua DS N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018? c. ¿Cuál es la calidad del agua resultante utilizando el sistema MacTube respecto al LMP DS N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para agua DS N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Perú S.A.A. Huancavelica – 2018?	**Objetivo General:** Determinar el tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube para obtener la calidad del agua en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018. **Objetivos Específicos:** a. Determinar la dosis adecuada del coagulante y floculante para el tratamiento de lodos de perforación diamantina en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018. b. Determinar la calidad de los lodos de perforación diamantina sin tratamiento respecto al LMP DS N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para agua DS N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018. c. Determinar la calidad del agua resultante utilizando el sistema MacTube respecto al LMP DS N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para agua DS N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Perú S.A.A. 2018.	**Hipótesis General:** El tratamiento de lodos de perforación diamantina utilizando el sistema MacTube permite obtener la calidad del agua significativamente en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018. **Hipótesis Específicas:** a. La dosis del coagulante y floculante es adecuada para el tratamiento de lodos de perforación diamantina en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018. b. Los lodos de perforación diamantina sin tratamiento son de igual calidad respecto al LMP DS N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para agua DS N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018. c. La calidad del agua resultante utilizando el sistema MacTube está dentro de los LMP DS N° 010-2010-MINAM y los parámetros físicos-químicos (ECA) para agua DS N° 004-2017-MINAM en el proyecto minero Pukaqaqa Compañía Nexa Resources Perú S.A.A. Huancavelica – 2018.	**Variable Independiente (VI):** **X**: Tratamiento de lodos de perforación diamantina con el sistema MacTube. **Variable Dependiente (VD):** **Y**: Calidad del agua	**Tipo de Investigación:** Aplicada. **Nivel de Investigación:** Explicativo **Método General:** Método Científico **Diseño:** Diseño Múltiple Diseño Completamente al Azar (DCA): Análisis de Varianza (ANOVA) Prueba de Tukey	**Población:** La población lo constituyeron los lodos generados en las actividades de los sondajes de perforación diamantina en el Proyecto Pukaqaqa (245GE0075A) durante la campaña 2018. **Muestra:** EM1-TRL (Lodo antes del tratamiento) EM2-PAR (Agua recuperado después del tratamiento)	**Técnicas:** ✓ Observación ✓ Encuesta ✓ Revisión Documental ✓ Análisis de muestra. **Instrumentos:** ✓ Formato de Registro de Mediciones en Campo - Monitoreo de Aguas y ✓ Formato de Reporte de Resultados ✓ Cuestionario ✓ EIAd ✓ EIAsd ✓ ITS ✓ Equipos de Medición y Toma de Muestra en Campo

Fuente: Elaboración propia

Cronograma de Actividades de la Tesis

Cuadro N° 55. Cronograma.

ACTIVIDAD	Jul. 2019	Ago. 2019	Sep. 2019	Oct. 2019	Nov. 2019	Dic. 2019	Ene. 2020	Feb. 2020	Mar. 2020	Abr. 2020	Ene. 2021
Revisión del Reglamento de Grados y Títulos - Esquema del Plan de Tesis	X										
Elaboración del plan de tesis	X	X									
Presentación del plan de tesis			X								
Designación de docente asesor y miembros del jurado para el proyecto de investigación				X							
Opinión del proyecto de investigación por los miembros del jurado y asesor					X						
Revisión y Aprobación del plan de tesis						X					
Ampliación del marco teórico						X	X				
Elaboración de encuesta y recolección de datos								X			
Procesamiento de la información e interpretación de los resultados								X	X		
Presentación del informe de tesis y aprobación por los miembros del jurado										X	
Sustentación de la tesis											X

Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto y Financiamiento

Cuadro N° 56. Presupuesto.

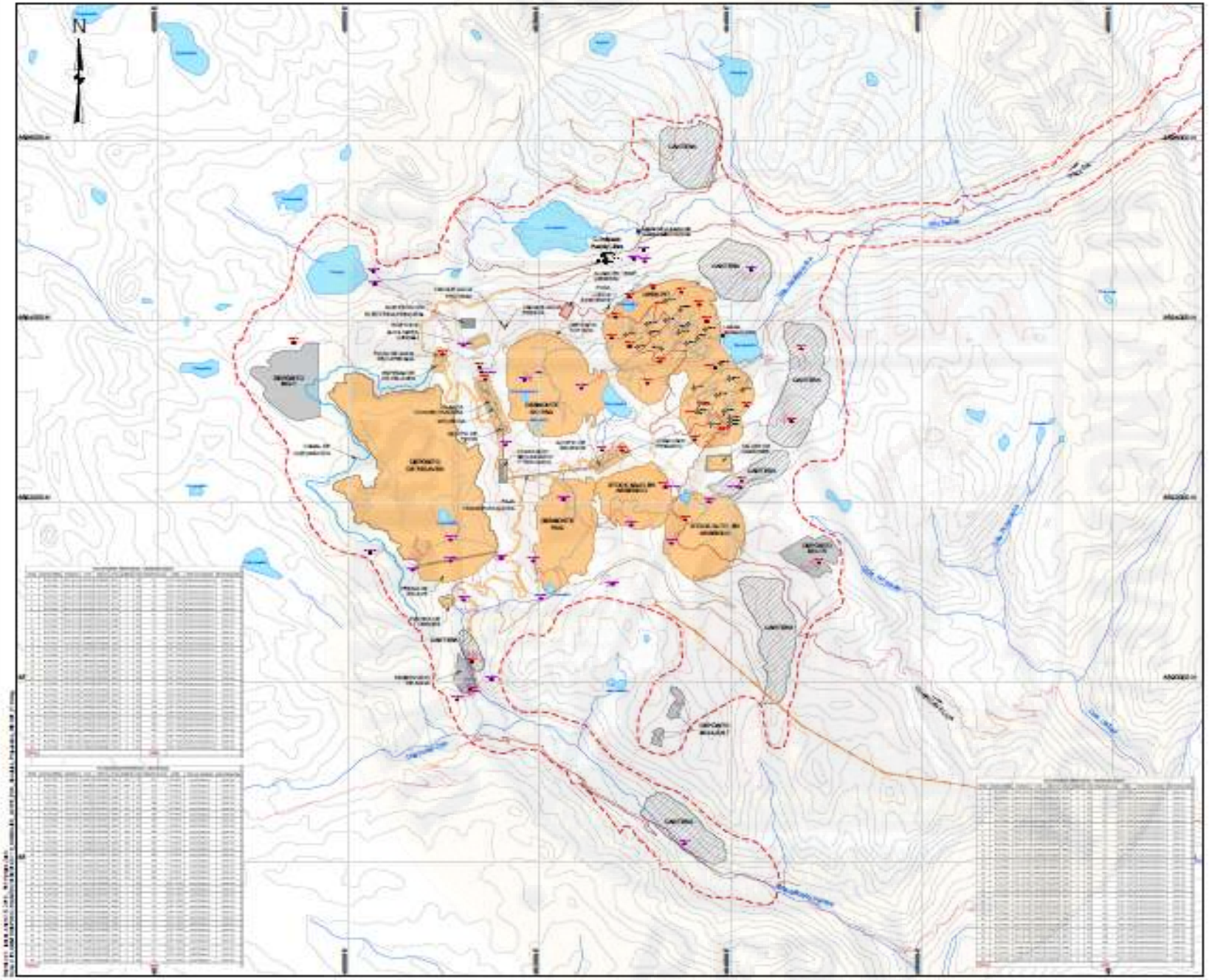
DETALLE	CANT.	Unidad Medida	PREC. UNIT. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
BIENES					**1305**
Textos de Consulta	6	U	120	720	
Papel Bond 80 g	5	Millar	25	125	
Lapiceros	5	U	4	20	
Lápices	5	U	2	10	
Resaltador	2	U	5	10	
Memoria USB	2	U	40	80	
Tablero	2	U	10	20	
Fólder	10	U	1	10	
Tinta de impresora	2	U	70	140	
Engrampadora	2	U	10	20	
Otros				150	
EQUIPOS (Alquiler)					**510**
GPS GARMIN 62S	1	U	40	40	
Brújula Brunton	1	U	20	20	
Multiparámetro WTW MULTI 350i	1	U	200	200	
Turbidimetro HACH 2100Q	1	U	200	200	
Cámara Fotográfica SONY	1	U	50	50	
SERVICIOS					**3435**
Alquiler de Internet		GLB	-	40	
Copias fotostáticas e impresiones		GLB	-	100	
Impresión de Planos		GLB	-	10	
Viáticos, pasajes y llamadas telefónicas		GLB	-	500	
Anillados de borradores	3	GLB	20	60	
Encuadernado y empastado	3	GLB	25	75	
Costos de oportunidad (honorarios)			2500	2500	
Otros				150	
PRESUPUESTO TOTAL					**5250**

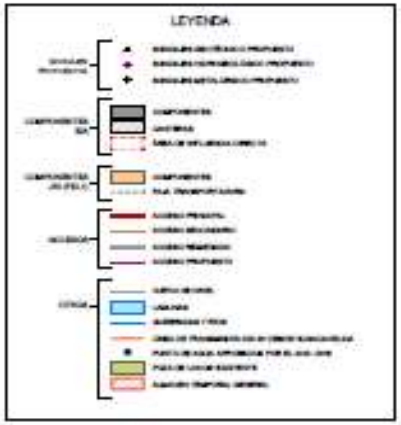
FINANCIAMIENTO: La presente investigación fue autofinanciado.

Es decir que los costos fueron asumidos en su totalidad por los investigadores.

PLANO DEL PROYECTO MINERO PUKAQAQA

(Perforaciones Diamantinas – Campaña 2018)





nexa

MINERÍA

PROYECTO PUKAQAQA
FEL 2
UBICACIÓN DE SONDAJES PROPUESTOS

10