

**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**“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”**

**Tesis presentada por:**

Bach. Fabiana Lucero Tenorio Munaylla

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Ambiental

Moquegua, 06 de Noviembre del 2015

**PÁGINA DE JURADO**

.....  
DR. EDGAR VIRGILIO BEDOYA JUSTO  
PRESIDENTE

.....  
ING. CARLOS MANCHEGO CENTTY  
SECRETARIO

.....  
ING. JOSE LUIS CRUZ MAMANI  
MIEMBRO

.....  
ING. KENT J. CHICALLA RIOS  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A Dios, por escucharme, llenarme de fe, esperanza y darme el coraje suficiente para enfrentar todas las pruebas por las que tuve que pasar.

A mi amada madre, por creer en mí siempre, por esa confianza que me motivo a vencer todos los obstáculos que me imponían, es y será mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo tiene su recompensa. La quiero mucho y este logro se lo dedico a ella.

A mi abuelo, Francisco porque sé que donde este, él siempre me acompañará y guiará.

A mi mamita María por sus consejos y regaños con los que a su modo me dice que me quiere.

A mi familia, porque siempre confiaron en mí.

*Fabiana Tenorio Munaylla*

## **AGRADECIMIENTO**

Mi sincero agradecimiento a la Universidad José Carlos Mariátegui y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por dotarme de conocimientos e instrucciones que me han permitido alcanzar muchas de mis metas trazadas.

Agradezco a todos los excelentes profesionales de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, quienes me han ayudado en fortalecer mis conocimientos profesionales, sirviéndome de guía para poder seguir el camino del éxito, a los cuales llegue a considerarlos mis amigos.

Agradezco a Compañía Minero Milpo S.A.A., por apoyar mi investigación, brindándome la información necesaria y por acceder realizar mi visita de campo al Proyecto de Exploración Minera Hilarión, y por emplear nuevos procesos tecnológicos que contribuyen al cuidado del medio ambiente, promoviendo la inversión en nuestro país.

Agradezco a mi asesor el Ing. Kent Chicalla, por su predisposición y compromiso en lograr los objetivos de mi investigación.

Agradezco al Ing. José Armando de la Flor Cam, por ayudarme a sacar este proyecto importante, por su orientación, sus palabras de motivación fueron claves para continuar.

Finalmente, agradezco a mi familia, por ser parte de mis triunfos y fracasos, a quienes me han acompañado siempre.

## CONTENIDO

Carátula .....	i
Jurado Calificador .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos .....	iv
Resumen .....	xvi
Introducción .....	xvii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	01
1.1. Descripción del Problema .....	01
1.1.1. Problemática de la Investigación .....	01
1.2. Formulación del Problema .....	03
1.2.1. Problema Principal .....	03
1.2.2. Problemas Específicos .....	03
1.3. Justificación .....	03
1.4. Alcances y limitaciones .....	05
1.5. Objetivos .....	07
1.5.1. Objetivo General .....	07
1.5.2. Objetivos Específicos .....	07
1.6. Hipótesis .....	08

1.6.1.	Hipótesis Global .....	08
1.6.2.	Subhipótesis.....	08
1.7.	Variables .....	09
1.7.1.	Identificación de las variables .....	09
1.7.2.	Definición de las variables .....	09
1.7.3.	Operacionalización de las variables .....	10
1.7.4.	Indicadores .....	10
1.8.	Diseño de las Investigación .....	11
1.8.1.	Diseño experimental o no experimental .....	11
1.8.2.	Población y muestra .....	13
1.8.3.	Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.....	13
1.8.4.	Análisis de datos.....	15
1.8.5.	Selección de Pruebas Estadísticas .....	17
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....		21
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	21
2.2.	Fundamentos Teóricos.....	22
2.2.1.	Yacimiento Minero .....	22
2.2.2.	Exploración Minera.....	22
2.2.3.	Perforación Diamantina.....	23
2.2.4.	Etapas de la Perforación Diamantina .....	24

2.2.5.	Fluidos de Perforación.....	28
2.2.6.	Clasificación de los sólidos de los fluidos de perforación .....	41
2.2.7.	Control y tratamiento de los lodos de perforación .....	44
2.2.8.	Características generales de los Tubos de Geotextil .....	45
CAPITULO III: DESARROLLO .....		72
3.1.	Descripción de la Zona de Estudio .....	72
3.2.	Descripción de las Actividades de Perforación en el Proyecto Hilarión .....	88
3.3.	Descripción del Tratamiento y Disposición final de los lodos generados .....	95
3.3.1.	Generalidades.....	95
3.3.2.	Etapa de Construcción.....	107
3.3.3.	Etapa de Operación .....	41
3.3.4.	Disposición Final del Recurso Hídrico Recuperado .....	113
3.3.5.	Disposición Final de los Sólidos en Cochapata .....	114
3.4.	Determinación del Balance Hídrico en el Proyecto Hilarión .....	118
3.5.	Evaluación de la reutilización del agua resultante en el riego de accesos .....	119
3.6.	Metodología para la toma de muestras y análisis de los parámetros Físico - Químicos.....	120
3.6.1.	Fase de estudio y reconocimiento.....	41
3.6.2.	Metodología de estudio: Fase de campo .....	41
3.6.3.	Selección de los puntos de muestreo .....	41

3.6.4. Observaciones de campo .....	125
3.6.5. Muestra del lodo sin tratamiento y con tratamiento .....	41
CAPITULO IV: RESULTADOS .....	131
CAPITULO V: DISCUSIONES .....	184
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	186
BIBLIOGRAFÍA .....	190

## Índice de Tablas

		<b>Página</b>
Tabla 1	Composición de las variables Independiente y Dependiente	10
Tabla 2	Parámetros a comparar según el D.S. N°010-2010-MINAM y D.S. N°002-2008-MINAM	15
Tabla 3	Clasificación API del tamaño de las partículas	43
Tabla 4	Intervalos de PZ para Coagulación	69
Tabla 5	Capacidad de uso mayor – Unidades y Asociaciones	86
Tabla 6	Uso Actual de la Tierra – Área y extensión	87
Tabla 7	Insumos – Perforaciones	92
Tabla 8	Longitud de Perforación total (m) por Plataforma de Exploración	93
Tabla 9	Características Técnicas del Tubo de Geotextil Tejido	95
Tabla 10	Medidas del Tubo de Geotextil a emplear en el Proyecto Hilarión	96
Tabla 11	Dosis del coagulante	111
Tabla 12	Parámetros físicos y químicos según el D.S. N°002-2008-MINAM	122
Tabla 13	Ubicación de los puntos de muestreo	122
Tabla 12	Análisis estadístico de STS	131
Tabla 13	Análisis estadístico de Turbidez	133
Tabla 14	Análisis estadístico de pH	135
Tabla 15	Análisis estadístico de Temperatura	137
Tabla 16	Análisis estadístico de Conductividad Eléctrica	138
Tabla 17	Análisis estadístico de Oxígeno Disuelto	140
Tabla 18	Análisis estadístico de Arsénico total	138
Tabla 19	Análisis estadístico de Cadmio total	143
Tabla 20	Análisis estadístico de Cobre total	145
Tabla 21	Análisis estadístico de Hierro Disuelto	147
Tabla 22	Análisis estadístico de Plomo total	149
Tabla 23	Análisis estadístico de Mercurio total	151
Tabla 24	Análisis estadístico de Zinc total	153
Tabla 25	Estadístico de Prueba ANOVA para STS	156
Tabla 26	HSD Tukey para STS	157
Tabla 27	Estadístico de Prueba ANOVA para Turbidez	158
Tabla 28	HSD Tukey para Turbidez	158
Tabla 29	Estadístico de Prueba ANOVA para pH	159
Tabla 30	HSD Tukey para pH	160
Tabla 31	Estadístico de Prueba ANOVA para CE	159

Tabla 32	HSD Tukey para CE	160
Tabla 33	Estadístico de Prueba ANOVA para OD	163
Tabla 34	HSD Tukey para OD	163
Tabla 35	Estadístico de Prueba ANOVA para Arsénico	164
Tabla 36	HSD Tukey para Arsénico	165
Tabla 37	Estadístico de Prueba ANOVA para Cadmio	166
Tabla 38	HSD Tukey para Cadmio	167
Tabla 39	Estadístico de Prueba ANOVA para Cobre total	168
Tabla 40	HSD Tukey para Cobre total	168
Tabla 41	Estadístico de Prueba ANOVA para Hierro total	169
Tabla 42	HSD Tukey para Hierro total	170
Tabla 43	Estadístico de Prueba ANOVA para Plomo total	171
Tabla 44	HSD Tukey para Plomo total	172
Tabla 45	Estadístico de Prueba ANOVA para Mercurio total	173
Tabla 46	HSD Tukey para Mercurio total	174
Tabla 47	Estadístico de Prueba ANOVA para Zinc total	174
Tabla 48	HSD Tukey para Zinc total	175
Tabla 49	Flujo de agua a generarse	176
Tabla 50	Criterios de Evaluación de los Resultados del Conteo Ácido-Base	178
Tabla 51	Ubicación de los puntos de muestreo para Caracterización Ácido - Base	179
Tabla 52	Caracterización del Potencial de Generación de Ácido - Base	179
Tabla 53	Material de Desmante – Composición Mineralógica	182
Tabla 54	Resultados del tratamiento con el sistema de tubos de geotextil	183

## Índice de Figuras

		<b>Página</b>
Figura 1	Testigos Registrados y Codificados	19
Figura 2	Etapas del proceso de perforación diamantina	19
Figura 3	Diseño de la Plataforma de Perforación	20
Figura 4	Máquina de Perforación Diamantina	21
Figura 5	Circuito del Fluido de Perforación	25
Figura 6	Clasificación de los fluidos de perforación	34
Figura 7	Tamaños de las Partículas	39

Figura 8	Tubo utilizado para aplicaciones de deshidratación	45
Figura 9	Tubo utilizado para aplicaciones estructurales	45
Figura 10	Sección transversal de un tubo de geotextil con arena	47
Figura 11	Sección transversal de un tubo de geotextil	50
Figura 12	Principales modos de falla de los Tubos de Geotextil	56
Figura 13	Sección transversal de un apilamiento de tubos de geotextil mostrando la deformación que experimenta el tubo superior.	57
Figura 14	Evolución de la altura y forma del tubo de geotextil luego de finalizado el llenado final.	61
Figura 15	Configuración típica para la aplicación de tubos de geotextil para la deshidratación de barros	64
Figura 16	Coagulación por Precipitación y Atrapamiento	67
Figura 17	Remoción de color y turbiedad	68
Figura 18	Floculación con Polímeros	69
Figura 19	Kit de Pruebas de Jarras	70
Figura 20	Ubicación del Proyecto Minero Hilarión	73
Figura 21	Ubicación del Proyecto Minero Hilarión	73
Figura 22	Ubicación del Proyecto Minero Hilarión	73
Figura 23	Rosa de vientos en el área del Proyecto	77
Figura 24	Geomorfología del área del proyecto	79
Figura 25	Sección Hidrogeológica	82
Figura 26	Esquema de distribución de la plataforma de perforación del Proyecto de Exploración Minera Hilarión	91
Figura 27	Geotextil Tejido de Polipropileno	95
Figura 28	Geotextil No Tejido de Polipropileno	96
Figura 29	Geomembrana de Polietileno	97
Figura 30	Grava de drenaje	97
Figura 31	Tuberías de HDPE y PVC	98
Figura 32	Tanques para el almacenamiento de lodos de perforación	99
Figura 33	Tanque IBC para almacenamiento de agua pura	100
Figura 34	Zona de Preparación del Floculante	101
Figura 35	Determinación de la dosis del Coagulante	102
Figura 36	Instalación del Geotextil No Tejido de 270 gr/m <sup>2</sup>	103
Figura 37	Instalación de la Geomembrana de Polietileno de 0,75 mm	103
Figura 38	Instalación de la Grava para el Drenaje	104
Figura 39	Instalación de la red de tuberías	104
Figura 40	Instalación de los Tubos de Geotextil Tejido	105
Figura 41	Sección transversal de una célula de deshidratación	106
Figura 42	Esquema del Tratamiento de lodos de perforación en el	107

	Proyecto Hilarión	
Figura 43	Transporte de los lodos a las pozas de almacenamiento	109
Figura 44	Tanques de almacenamiento de lodos en movimiento	109
Figura 45	Oil Absorbent Booms en el tanque de mezcla	112
Figura 46	Dimensiones de la Poza de Confinamiento en Cochapata	115
Figura 47	Vista de la vía de acceso y poza de lodos secos en Cochapata	116
Figura 48	Poza de lodos secos en Cochapata - Revegetado	117
Figura 49	Balance Integral del Manejo del Recurso Hídrico en el Proyecto Hilarión	118
Figura 50	Ubicación de los puntos de muestreo en el tratamiento de lodos	123
Figura 51	Ubicación satelital de los puntos de muestreo	124

## Índice de Gráficos

		<b>Página</b>
Gráfico 1	Rango recomendado de Sólidos en Fluidos Base Agua	42
Gráfico 2	Evolución de la altura del tubo de geotextil durante cuatro ciclos sucesivos de llenado, drenaje y consolidación final	63
Gráfico 3	Temperatura Mensual Media Máxima y Mínima Multianual	74
Gráfico 4	Precipitación Total Mensual Multianual	75
Gráfico 5	Humedad Relativa Media Mensual Multianual	76
Gráfico 6	Evaporación Media Mensual Multianual	76
Gráfico 7	Gráfico de Medias de STS	132
Gráfico 8	Gráfico de Medias de Turbidez	134
Gráfico 9	Gráfico de Medias de pH	136
Gráfico 10	Gráfico de Medias de Temperatura	137
Gráfico 11	Gráfico de Medias de Conductividad Eléctrica	139
Gráfico 12	Gráfico de Medias de Oxígeno Disuelto	139
Gráfico 13	Gráfico de Medias de Arsénico total	142
Gráfico 14	Gráfico de Medias de Cadmio total	139
Gráfico 15	Gráfico de Medias de Cobre total	146
Gráfico 16	Gráfico de Medias de Hierro Disuelto	148
Gráfico 17	Gráfico de Medias de Plomo total	150
Gráfico 18	Gráfico de Medias de Mercurio total	152
Gráfico 19	Gráfico de Medias de Zinc total	154

Gráfico 20	Material de desmonte – Potencial de Generación de Drenaje Ácido	180
Gráfico 21	Material de desmonte – Capacidad de Generación Ácida, NP/NA vs %S	181

## **Anexos**

		<b>Página</b>
Anexo 1	Análisis de los parámetros	194
Anexo 2	Acreditación de Indecopi al Laboratorio Inspectorate	198
Anexo 3	Equipos y Materiales para el muestreo de campo	199
Anexo 4	Viaje al Proyecto de Exploración Hilarión	200
Anexo 5	Actividades de Perforación	201
Anexo 6	Actividades Preliminares	203
Anexo 7	Toma de muestras en Campo	204
Anexo 8	Sistema de tubos de Geotextil Tejido de Polipropileno	207
Anexo 9	Almacenamiento de los testigos de perforación en el Proyecto de Exploración Hilarión	211
Anexo 10	Autorización de Uso de Información	212
Anexo 11	Acta con la Comunidad de Chiuruco -Cochapata	214
Anexo 12	Imagen Satelital del Área del Proyecto Hilarión	216

## **ABREVIATURAS**

AAA	Autoridad Administrativa del Agua
ANA	Autoridad Nacional del Agua
API	American Petroleum Institute
DGAAM	Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros
EPS	Empresa Prestadoras de Servicios
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
TUO	Texto Único Ordenado

## SIMBOLOGÍA

W	Ancho
H	Altura
A	Área transversal
b	Ancho de contacto de la base con el lecho
$\sigma$	Cargas impuestas sobre la base de apoyo
Q	Caudal
cm	Centímetro
Sc	Contenido de Sólidos
Sc0	Contenido Inicial de Sólidos
Scf	Contenido Final de Sólidos
d	Día
D	Diámetro
$\gamma$	Densidad del material de relleno
MW	Densidad o peso del fluido de perforación (lb/gal)
FF	Factor de flotación
°C	Grados Celsius
SG	Gravedad Específica
h	Hora
l	Litro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro Cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro Cubico
m <sup>3</sup>	Metro Cubico por día
mg/l	Miligramos por litro
ml	Mililitro
ml/l	Mililitro por litro
OD	Oxígeno Disuelto
ppm	Partes por millón
WTP	Peso de la tubería dentro del hoyo [lb]
WTA	Peso de la tubería en el aire [lb]
pH	Potencial de Hidrógeno
Ph	Presión Hidrostática
TVD	Profundidad vertical total (pies)
s	Segundo
SST	Sólidos Suspendidos Totales
LGS	Sólidos de baja gravedad específica
HGS	Sólidos de alta gravedad específica
t	Tonelada

V	Volumen
V <sub>0</sub>	Volumen Inicial
V <sub>F</sub>	Volumen Final
kg	Kilogramo

## **RESUMEN**

El objetivo de este proyecto de investigación, es evaluar el tratamiento que se da a los lodos de perforación con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, a fin de lograr un mayor conocimiento de la tecnología utilizada, y proponer mejoras en los procedimientos.

Los lodos generados en las perforaciones con diamantina, necesitan una disposición ambientalmente segura, por ello, es importante conocer su composición (aguas, sólidos perforados “detritus” y bentonita) para su adecuado tratamiento, una forma de ayudar al adecuado tratamiento de los lodos generados, consiste en adicionar de manera preliminar coagulante antes de ser derivados a los tubos de geotextil, los cuales tienen por función retener los sólidos, mantenerlos encapsulados y drenar el agua por sus paredes, obteniendo lodos secos y agua que podrá ser reutilizada en el Proyecto.

## **INTRODUCCIÓN**

La actividad minera es el sector productivo más gravitante en el desarrollo económico del Perú, constituyendo una fuente de desarrollo y progreso; el éxito de esta actividad depende directamente de los resultados que se logran en la etapa de exploración minera, la cual tiene por objetivo delimitar los cuerpos mineralizados y cuantificar los recursos minerales medidos, indicados e inferidos. Los proyectos de exploración minera deben atender el control y mitigación de los impactos generados como consecuencia de dicha actividad, por ello, es necesario identificar los desechos asociados a las actividades de perforación diamantina, siendo el más importante los lodos de perforación, los mismos que deben recibir el tratamiento adecuado, para controlar los sólidos y los altos volúmenes de agua presentes en los mismos, evitando con ello el impacto negativo en el entorno ambiental.

Las empresas mineras deben de tener una gestión ambiental responsable, promoviendo en sus diferentes actividades de exploración las mejores prácticas de manejo ambiental, por ello, la presente investigación propone el tratamiento de los lodos de perforación, mediante el uso de los tubos de geotextil de polipropileno, los cuales en forma eficiente deshidratarán (Dewatering) dichos lodos, con ello, se podrá controlar y manejar ambientalmente los sólidos presentes y los altos volúmenes de agua, propiciando un desarrollo minero - ambiental responsable.

## **CAPITULO I:**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción del Problema**

##### **1.1.1. Problemática de la Investigación**

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM), registra en sus archivos que la mayoría de los proyectos de exploración minera optan por el método de sondaje tipo diamantino para sus actividades de perforación, el cual comprende de un proceso convencional de sondeo con recuperación de testigos, mediante el uso de coronas de diamante para la perforación en roca y la circulación de agua como elemento de enfriamiento. El presente método de perforación, genera una serie de residuos, siendo el más importante los “lodos de perforación” que contienen un alto porcentaje de agua, materiales extraídos del subsuelo (sólidos) y aditivos biodegradables (bentonita).

Actualmente, una parte de las empresas generadoras, entregan los lodos de perforación a una Empresa Prestadora de Servicios (EPS) para su disposición final según la normativa ambiental, pero las mismas, no realizan el seguimiento a las EPS respecto a la disposición final de los lodos, encontrándose muchas veces sancionadas por la autoridad competente al verificar las inadecuadas prácticas de manejo ambiental por parte de las EPS.

Asimismo, otra parte de las empresas generadoras, por diversas condiciones, eligen enterrar los lodos de perforación en las pozas de sedimentación donde fueron almacenados, para lo cual son encapsulados en saquillos, plásticos de PVC, geomembranas, entre otros; sin tratamiento alguno y control preliminar que sea ambientalmente seguro, quedando en superficie los llamados “pasivos de perforación” (lodos de perforación), que por las condiciones meteorológicas, deslizamientos, erosión, actividades antropogénicas, quedan al descubierto, alterando la calidad del suelo, sub-suelo, agua superficial, agua subterránea, flora y vegetación del área de exploración. En ambas alternativas, no existe un óptimo manejo del recurso hídrico, el mismo que es el insumo principal para las actividades de perforación.

Según el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hilarión, las actividades de perforación se realizaron mediante sondajes tipo diamantino, empleando cantidades significativas de agua, ello para la obtención de los testigos y, como subproducto los lodos de perforación, los cuales son tratados y controlados, mediante el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, el cual tiene por función separar el agua y encapsular los sólidos.

Por lo expuesto, es importante demostrar que los lodos de perforación, son el residuo más representativo de las actividades de exploración, por lo cual deben

recibir el tratamiento adecuado para controlar y minimizar sus impactos negativos, logrando la optimización del consumo de agua y la adecuada disposición final de los sólidos encapsulados en el proyecto de exploración Hilarión.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema Principal**

- ¿El sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno permitirá el adecuado tratamiento de los lodos de perforación en el proyecto Hilarión?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Qué volumen de agua se recuperará en el tratamiento de los lodos de perforación mediante el sistema de tubos de geotextil?
- ¿Cuál es la calidad de los lodos sin tratamiento y agua resultante, respecto a los parámetros físicos y químicos establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM?
- ¿El agua resultante puede ser utilizada en el riego de accesos?

## **1.3. Justificación**

La presente investigación evaluará si los lodos de perforación generados en el proyecto Hilarión, reciben un adecuado tratamiento mediante el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, los cuales encapsulan los sólidos presentes en el lodo y permiten drenar por sus paredes el agua clarificada, la misma que será

reutilizada, optimizando el consumo del recurso hídrico utilizado en las actividades de perforación; los sólidos encapsulados serán dispuestos en una cancha de confinamiento, logrando con ello, la adecuada disposición final de los lodos de perforación. Para ello, se realizará la comparación del agua clarificada (tratada) con los valores 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) y el D.S. N°002-2008-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para Agua), siendo los parámetros más representativos los Sólidos Totales Suspendidos (STS) y la Turbidez, los valores para el primero es de 50 mg/l (D.S. N° 010-2010-MINAM) y para el segundo 5 NTU ( D.S. N° 002-2008-MINAM).

Cabe resaltar que esta es la primera investigación respecto al uso de tubos de geotextil en proyectos de exploración minera a nivel nacional, el cual demostrará que si se puede cumplir con lo especificado en las normas ambientales, permitiendo la adecuada disposición de los lodos generados, mediante el manejo ambiental de los líquidos y sólidos resultantes, alcanzando con ello una mejora del nivel de la calidad ambiental en el entorno donde se desarrolla el proyecto, por lo tanto, no solo dará lugar a mejoras en el medio ambiente, sino que también puede tener efectos económicos muy favorables, ya que no existirá motivo de sanciones por infracciones ambientales, puesto que hay un manejo ambiental, objetivamente concordante con la

normatividad ambiental, lo cual tendrá una repercusión económica tangible al evitarse multas y sanciones.

#### **1.4. Alcances y limitaciones**

##### **1.4.1. Alcances**

La presente investigación tiene carácter exploratorio, ya que se desarrollará en el proyecto de exploración minera Hilarión, el cual es el primer proyecto que emplea el sistema de tubos de geotextil, para el tratamiento de los lodos generados en las actividades de perforación, sustenta lo expuesto, la revisión de los Estudios de Impacto Ambiental Semidetallados (EIA sd), presentados a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Ministerio de Energía y Minas, no habiéndose encontrado registros y/o evidencias de proyectos de exploración minera en el Perú que utilicen tubos de geotextil, para el tratamiento de los lodos de perforación.

Se detallará las características y condiciones del tratamiento que reciben los lodos de perforación mediante el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, ello con la finalidad de lograr una adecuada disposición final de los mismos.

Los tubos tienen por función, recibir en su interior el lodo generado, permitiendo el flujo del líquido a través de los poros del geotextil tejido, reteniendo las partículas sólidas y reduciendo la humedad, posteriormente, después del completo llenado,

finalizado el proceso de deshidratación y consolidación del lodo en su interior, se obtendrá agua clarificada y como subproducto lodos secos los cuales son enviados a las pozas de confinamiento en el sector de Cochapata.

El agua clarificada es utilizada en las actividades de riego de accesos, optimizando su consumo, para ello, se determinará el volumen del recurso hídrico utilizado en los sondajes con diamantina y el volumen recuperado producto de la deshidratación de los lodos, asimismo, se realizará ensayos estáticos (ABA), análisis mineralógicos y análisis de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecido en el D.S. N° 010-2010-MINAM para efluentes Minero Metalúrgicos y el D.S. N°002-2008-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para Agua) para los parámetros que no tienen un valor establecido en la tabla del Anexo N°01 del D.S. N°010-2010-MINAM.

Se comparará las características físico químicas del lodo sin tratamiento y agua resultante, mediante el análisis de calidad 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) y el D.S. N°002-2008-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para Agua), siendo los parámetros más representativos los Sólidos Totales Suspendidos (STS) y la Turbidez, los valores para el primero es de 50 mg/l (D.S. N° 010-2010) y para el segundo 5 NTU ( D.S. N° 002-2008-MINAM).

#### **1.4.2. Limitaciones**

- Escasa información sobre investigaciones que emplean tubos de geotextil para la deshidratación de lodos de perforación en proyectos de exploración minera a nivel nacional.
- Dificil accesibilidad y desfavorables condiciones climáticas que afectan al adecuado recojo de información en el Proyecto de Exploración Hilarión.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

- Evaluar el tratamiento de los lodos de perforación mediante el sistema de tubos de geotextil tejido (polipropileno) en el proyecto Hilarión.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- 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.
- Evaluar las características físico – químicas de los lodos sin tratamiento y agua resultante, respecto a los parámetros físico - químicos establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM.
- Determinar si el agua resultante puede ser utilizada en el riego de accesos.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis Global**

- El tratamiento de los lodos de perforación, se realiza adecuadamente mediante el sistema de tubos de geotextil en el proyecto de exploración minera Hilarión.

### **1.6.2. Subhipótesis**

- Mediante el uso de los tubos de geotextil se optimizará el recurso hídrico utilizado en el proyecto Hilarión.
- Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido (polipropileno), los parámetros físico – químicos respecto al D.S N°010-2010-MINAM, del agua con tratamiento, son de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.
- El agua resultante puede ser utilizada en el riego de accesos del proyecto Hilarión.

## **1.7. Variables**

### **1.7.1. Identificación de variables**

- **Variable Independiente (V.I):** Tratamiento con tubos de geotextil tejido de polipropileno
- **Variable dependiente 1 (V.D):** Calidad del agua resultante
- **Variable dependiente 2 (V.D):** Volumen de agua recuperada

### **1.7.2. Definición de las variables**

- Variable Independiente.- Factores característicos y medibles (Flujo del lodo a tratar, tiempo de residencia del lodo con el floculante, densidad del lodo a ingresar a los tubos, número de pozas de sedimentación) que indiquen que los lodos generados en las actividades de perforación, reciben un adecuado tratamiento con tubos de geotextil tejido de polipropileno.
- Variable Dependiente 1.- La calidad del agua resultante (dentro o fuera de los valores establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM), dependerá del adecuado tratamiento que reciban los lodos generados en las actividades de perforación. Los parámetros más importantes son los STS y la turbidez.
- Variable dependiente 2.- El volumen de agua recuperada, es el agua que producto de la deshidratación de los lodos de perforación, se recuperará.

### 1.7.3. Operacionalización de las Variables

Variable	Indicadores	Clasificación	Unidad	Instrumento	Escala/tipo
V.I.- Tratamiento con tubos de geotextil tejido de polipropileno	Flujo del lodo	Cuantitativo	m <sup>3</sup> /día	Documentación	Bajo Elevado
	Tiempo de residencia del lodo con el floculante	Cuantitativo	min	Registro de campo	5 min 30 min
	Densidad del lodo	Cuantitativo	kg/m <sup>3</sup>	Documentación	< 5 kg/m <sup>3</sup> >5 kg/m <sup>3</sup>
	Número de pozas de sedimentación	Cuantitativo	Unidad	Registro de campo	< 1 > 1
V.D.1.- Calidad del agua resultante	STS	Cuantitativo	mg/l	Análisis In situ	Dentro de los LMP
	Turbidez	Cuantitativo	NTU		
V.D.2.- Volumen del agua resultante	Volumen del agua utilizada	Cuantitativo	m <sup>3</sup>	Documentación	Bajo
		Cuantitativo			Elevado
	Volumen del agua recuperada	Cuantitativo	m <sup>3</sup>		Bajo
		Cuantitativo			Elevado

Tabla N°01. Composición de las variables Independiente y Dependiente. Fuente: Elaboración Propia, 2015.

### 1.7.4. Indicadores

- a. **Variable Independiente:** Tratamiento con tubos de geotextil
  - Flujo del lodo a tratar.
  - Tiempo de residencia del lodo con el floculante.
  - Densidad del lodo a ingresar a los tubos.
  - Número de pozas de sedimentación
  
- b. **Variable Dependiente 01:** Calidad de agua tratada
  - Parámetros del lodo: STS y Turbidez.
  - Parámetros del agua resultante: STS y Turbidez.

- Volumen del recurso hídrico utilizado y recuperado.
- c. **Variable Dependiente 02:** Volumen del agua resultante
- Volumen del recurso hídrico utilizado
  - Volumen del recurso hídrico recuperado.

## **1.8. Diseño de la Investigación**

### **1.8.1. Diseño Experimental o no Experimental**

El presente estudio utilizará un diseño de investigación mixto, porque implicará la observación del sistema de tratamiento de tubos e geotextil tejido de polipropileno con todas las circunstancias que lo rodean, asimismo, mediante la experimentación se estudiara dichos fenómenos, asociándola a una medida de probabilidad y confiabilidad, la metodología usada será un arreglo factorial el cual será llevado a un Diseño Completamente al Azar (DCA), ya que se realizará una comparación de la calidad de los efluentes en los lodos sin tratamiento y lodos con tratamiento , los resultados se presentaran en un cuadro de Análisis de Varianza (ANOVA), una tabla de comparación de medias de tratamientos que indica las diferencias entre dichas medidas y la contrastación múltiple a través de la prueba de Tukey (Contrastes Post Hoc).

El modelo aditivo lineal para un DCA es el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, \dots, p \quad j = 1, \dots, q \quad k = 1, \dots, r$$

**Dónde:**

- $Y_{ij}$ : es el valor o rendimiento observado en el i-ésimo factor A y, j-ésimo factor B
- $\mu$ : es el efecto de la media general.
- $\tau_i$ : es el efecto del i-ésimo factor A
- $\beta_j$ : es el efecto del j-ésimo factor B
- $e_{ij}$ : es el efecto del error experimental en el i-ésimo factor A, j-ésimo factor B.

Después del DCA, se evaluará los resultados mediante el análisis de la Prueba de Tukey. El diseño del ANOVA será con un nivel de confianza del 95%, mediante el programa Excel 2010 se recopilarán los datos y posteriormente llevados a un software estadístico como SPSS Statistics v22.0.0.

- Diseño: Diseño Completamente al Azar (DCA)
- Tratamiento: Sistema de tubos de geotextil tejido de Polipropileno
- Unidad Experimental: Muestras de lodos sin tratamiento y agua resultante
- Testigo: El testigo son los lodos sin tratamiento (Punto PAL1)

### **1.8.2. Población y Muestra**

- a. Población.-** La población lo constituyen los lodos generados en las actividades de perforación minera en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión.
  
- b. Muestra.-** La muestra la constituyen los lodos obtenidos en 03 puntos de muestreo PS1 (Antes del tratamiento), PAL1 y PCL1 (Después del tratamiento), realizándose 02 muestreos cada 03 meses (Mayo y Agosto). Para la toma de muestra se siguió los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero – Metalúrgicas, Informe final del Proyecto PERCAN, 2011, documento validado por el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Energía y Minas.

### **1.8.3. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de datos**

#### **1.8.3.1. Técnicas de recolección de datos**

##### **a. Técnicas Cuantitativas**

##### **- Muestreo de lodos sin tratamiento y con tratamiento**

La metodología de muestreo se realizó en base a los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero – Metalúrgicas, para 03 puntos de muestreo, PAL1 (Lodos sin tratamiento), PS1 y PCL1 (Lodos con tratamiento), el primer muestreo se realizó en mayo y el segundo en agosto del 2015, cabe resaltar que el muestreo realizado solo

pudo hacerse en esas 02 fechas por estar dentro del cronograma establecido por el MINEM – OEFA (trimestral) y la fecha límite que la universidad le otorgo a la investigadora , así como la accesibilidad al proyecto, el cual dependía del clima, distancia, tiempo y geomorfología de la zona, ello conllevaba una inversión económica elevada. Los valores obtenidos en los 02 muestreos, fueron comparados con los valores establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas) y para los parámetros que no tienen un valor comparativo en el mencionado decreto, serán comparados de manera referencial con el D.S. N°002-2008-MINAM, ECA para Agua.

Parámetro Evaluado	D.S. N°010-2010-MINAM	D.S. N°002-2008-MINAM	
	LMP para efluentes	ECA Cat. 03 –Riego de Vegetales	ECA Cat. A1
Temperatura	-	-	-
pH	06-sep	6,5 – 8.5	
CE	-	<2000 uS/cm	-
OD	-	>= 4	-
STS (*)	50 mg/l	-	-
Aceites y grasas	20 mg/l	1 mg/l	-
As total	0,1 mg/l	-	-
Cd total	0,05 mg/l	-	-
Cu total	0,5 mg/l	-	-
Fe total	2 mg/l	-	-
Pb total	0,2 mg/l	-	-
Hg total	0,002 mg/l	-	-

Parámetro Evaluado	D.S. N°010-2010-MINAM	D.S. N°002-2008-MINAM	
	LMP para efluentes	ECA Cat. 03 –Riego de Vegetales	ECA Cat. A1
Zn total	1,5 mg/l	-	-
Turbidez (*)	-	-	5 NTU

(\*) Es el parámetro más importante, ya que en la presente investigación lo que se busca es la retención de sólidos en el lodo.

Tabla N°02. Parámetros a comparar según el D.S. N°010-2010-MINAM y D.S. N°002-2008-MINAM. Fuente: Elaboración propia, (2015).

#### **b. Técnicas Cualitativas**

Para obtener un mejor panorama de la investigación, se buscó información de los Estudios de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto de Exploración Minera Hilarión, asimismo, en las visitas de campo se observó el funcionamiento del sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno.

#### **c. Instrumentos para la recolección de datos**

##### **Equipos de Campo**

- GPS GARMIN 62S
- Multiparámetro WTW MULTI 350i (pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno disuelto, Sólidos Totales Suspendidos)
- Turbidímetro HACH 2100Q
- Cámara Fotográfica CANON
- Laptop Marca HP
- Tablet Lenovo

## **Materiales de Campo**

- Cartas geográficas y mapas de la localidad
- Planos Satelitales y cartográficos del Proyecto
- Cuaderno de campo
- Hojas Bond tamaño A-4
- Software Informático: Google Earth 2013
- 03 Frascos de vidrio de boca ancha de 1,25 l
- Cinta métrica
- Cubetas de plástico
- Agua destilada
- Ácido Clorhídrico
- Hielo
- Pissetas

### **1.8.4. Análisis de datos**

Se aplicó un diseño experimental completamente aleatorio, utilizando 03 puntos de muestreo, cada uno con 02 réplicas (06 lecturas).

La unidad experimental fueron los lodos sin tratamiento y agua resultante en los 03 puntos de muestreo, PAL1 (antes del tratamiento), PS1 y PCL1 (después del tratamiento). El diseño completamente al azar fue escogido debido a que el material experimental utilizado era homogéneo y fue distribuido en 03 puntos de muestreo. El punto PAL1 no recibió tratamiento y los puntos PS1 y PCL1 si recibieron tratamiento y por las condiciones de factores medioambientales, fisicoquímicos pueda

favorecer a cierta variación. Toda variación que pudo existir entre las unidades experimentales pasó a formar parte del error experimental (COCHRAN & COX 1997, STEEL & TORRIE 1995).

Una vez recogida la información, se procedió a sistematizarla en el programa Excel 2010. El análisis experimental se realizó con el programa estadístico SPSS-22 para comprobar las diferencias significativas entre las muestras de cada uno de los tratamientos, en las cuales se medirán los Sólidos Totales en Suspensión (STS), Conductividad Eléctrica (CE), Temperatura (°C), Turbiedad (NTU), pH, Aceites y grasas, Arsénico total (As), Cadmio total (Cd), Cromo Hexavalente (Cr), Cobre total (Cu), Hierro Disuelto (Fe), Plomo total (Pb), Mercurio total (Hg), Zinc Total (Zn) y Oxígeno disuelto (OD).

Se aplicará el análisis de varianza ANOVA, tablas de comparación de medias de tratamientos que indica las diferencias entre dichas medidas y la contrastación múltiple a través de la prueba de Tukey (Contrastes Post Hoc).

#### **1.8.5. Selección de las Pruebas Estadísticas**

La Estadística como aporte de la ciencia probabilística es fundamental en el trabajo de investigación por lo siguiente:

- Sirve para la caracterización y determinación de la muestra.

- Sirve para la descripción matemática y/o gráfica de la población de datos reunidos.

### 1.8.5.1. Pruebas estadísticas que se aplicarán

#### Análisis de Varianza ANOVA

El análisis de la varianza de un criterio (ANOVA) es una metodología para analizar la variación entre muestras y la variación al interior de las mismas mediante la determinación de varianzas. Es llamado de un criterio porque analiza un variable independiente o Factor. Como tal es un método estadístico útil para comparar dos o más medias poblacionales.

El ANOVA de un criterio nos permite poner a prueba hipótesis tales como:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

*H<sub>1</sub>: Al menos dos medias poblacionales son diferentes.*

Los supuestos en que se basa la prueba *t* de 02 muestras que utiliza muestras independientes son:

- Ambas poblaciones son normales.
- Las varianzas poblacionales son iguales, esto es,  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ .

Como el ANOVA de un criterio es una generalización de la prueba de t para dos muestras, los supuestos para el ANOVA de un criterio son:

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

El método de ANOVA con un criterio requiere del cálculo de dos estimaciones independientes para  $\sigma^2$  la varianza poblacional común. Estas dos estimaciones se denotan por  $s_b^2$  y  $s_w^2$ ,  $s_b^2$  se denomina estimación de la varianza entre muestras y  $s_w^2$  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 el número de grados de libertad para el numerador es k-1 y para el denominador es k(n-1), siendo el nivel de significancia.

k = número de muestras.

### **Prueba de TUCKEY**

Se utiliza para diseños balanceados (todos los tratamientos tienen asignado el mismo número de elementos). Se utiliza el estadístico T

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

Se compara T vs la diferencia en valor absoluto de cada par de medias, si esta diferencia excede a T, las medias son diferentes o iguales en caso contrario.

### **Unidad Experimental**

Es la unidad más pequeña de la cual se obtiene una medida o característica. Por ejemplo a un investigador le puede interesar: las familias, las personas, las empresas de un cierto tipo, etc.

## **CAPITULO II:**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

De la revisión efectuada a los estudios de Impacto Ambiental Semidetallados presentados a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas (periodo 2009 - marzo 2015), no se ha encontrado registros y/o evidencias de proyectos de exploración minera que utilicen los tubos de geotextil para el tratamiento de los lodos de perforación.

Actualmente, una parte de las empresas generadoras, entregan los lodos de perforación a las Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) para su disposición final según la normativa ambiental, las mismas que no realizan el seguimiento a las EPS, respecto a la disposición final de los lodos, encontrándose muchas veces sancionadas por la autoridad competente al verificar las inadecuadas prácticas de manejo ambiental por parte de las EPS.

Asimismo, otra parte de las empresas generadoras, por diversas condiciones, eligen enterrar los lodos en la poza de sedimentación donde fueron almacenados, los cuales son encapsulados en saquillos, plásticos de PVC, geomembranas, y otros, sin algún tratamiento y control preliminar que sea ambientalmente seguro, quedando los llamados “pasivos de perforación” (lodos de perforación), que por las condiciones

meteorológicas, deslizamientos, erosión, actividades antropogénicas, quedan al descubierto, alterando la calidad del suelo, sub - suelo, agua superficial, agua subterránea, flora y vegetación del área de exploración.

Por lo expuesto, el proyecto de exploración minera Hilarión, en el cual se está desarrollando la presente investigación, resulta pionero en el uso de tubos de geotextil.

## **2.2. Fundamentos Teóricos**

### **2.2.1. Yacimiento Minero**

Según Bateman (1951), los Yacimientos Mineros son acumulaciones o concentraciones de elementos que estén presentes en la corteza terrestre de forma diseminada y, según Smirnov (1976), yacimiento mineral es un sector de la corteza terrestre en el que a raíz de los procesos geológicos, se produjo la acumulación de una sustancia mineral, que puede ser utilizada industrialmente dadas su cantidad, calidad y condiciones del yacimiento para su explotación comercial.

### **2.2.2. Exploración Minera**

#### **2.2.2.1. Definición**

La exploración minera, es el conjunto de actividades que tienen por objetivo determinar la localización de una anomalía geológica con propiedades de un depósito mineral, reduciendo el área de investigación, asimismo, aumentar las ventajas del

área prometedora con respecto a su explotación rentable, para ello, se aplican métodos rápidos y económicos, capaces de abarcar grandes zonas, descartando áreas no favorables para llegar gradualmente a sitios específicos, según Bailly (1966), un programa de exploración puede ser muy exitoso cuando logra un claro aumento de las perspectivas de un sitio estudiado, anticipando la decisión final en una (01) o dos (02) etapas, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

Asimismo, el artículo 8 del Texto Único Ordenado (TUO) de la Ley General de Minería (LGM), define la exploración como la actividad minera tendente a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos minerales.

### **2.2.3. Perforación Diamantina**

En el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, se realizan actividades de perforación diamantina las cuales son ejecutadas por Empresas Contratistas especializadas que prestan sus servicios a la Compañía Minera Milpo S.A.A.

La perforación diamantina es aquella perforación, que se hace utilizando una broca diamantada para perforar la roca y estructuras mineralizadas, obteniendo barras compactas de roca de forma cilíndrica, llamados “testigos”. La perforadora es accionada por un motor diesel, generando energía de rotación y la presión de empuje

vertical (hacia abajo) a la barra de perforación, esta barra es un tubo de acero diamantado altamente resistente a la abrasión.

Con la perforación diamantina se generan dos tipos de productos, los “testigos” o material de información geológica, que se traslada al almacén de testigos (Coreshak), previamente registrados y colocados en cajas porta-testigos para la debida protección; y otros productos constituidos por las lamas que contienen agua, material fino y residuos de aditivos.



Figura N°01.- Testigos Registrados y Codificados. Fuente: Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., (2013).

#### **2.2.4. Etapas de la Perforación Diamantina**

Las muestras de roca obtenida de la perforación, permitirán cuantificar las reservas minerales de la zona explorada y consta de las siguientes etapas:

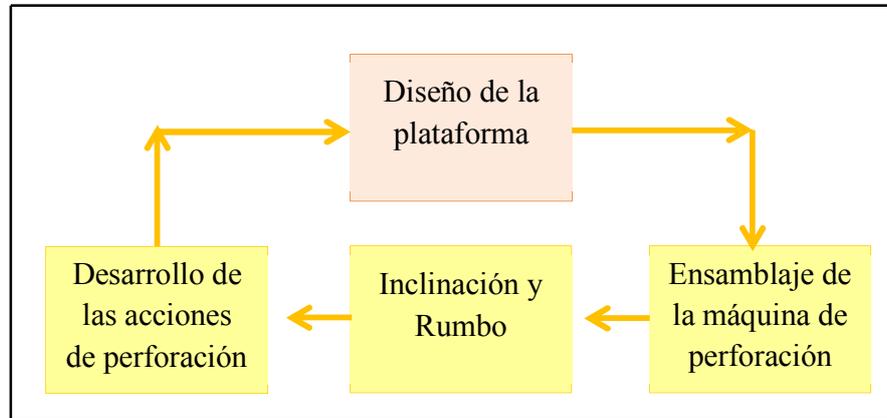


Figura N°02.- Etapas del proceso de perforación diamantina. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

#### 2.2.4.1. Diseño de la Plataforma

En forma previa al proceso de perforación, se debe construir una plataforma con un área de 144 m<sup>2</sup> (12 x 12m), esta área se limpia, se nivela y se adecua con herramientas manuales para evitar impactos mayores a los componentes paisajísticos, suelo y flora, posteriormente, se dispone el equipo de perforación tres (03) pozas de lodos ubicadas fuera de la plataforma y recubiertas con geomembrana, que cubrirán una extensión adicional de 8 m x 12 m. En esa área se almacenarán los desechos o descartes (que serán almacenados en cilindros debidamente identificados), se almacenará el material de cobertura que fue retirado, se dispondrá de un baño portátil y se dispondrá del sector donde se trabajarán los reactivos.



Figura N°03.- Diseño de la Plataforma de Perforación. Fuente: Compañía Minera CVS Exploración Ltda, (2008).

#### **2.2.4.2. Ensamblaje de la Máquina de perforación**

Una vez se adecuada el área requerida para la instalación del taladro, se lleva a cabo el proceso de montaje de la maquinaria, el cual comprende las siguientes fases:

- Diseño de las bases de la máquina
- Montaje del taladro y adecuación de la máquina
- Nivelación de la maquina
- Levantamiento de la torre, con la inclinación en grados
- Encarpado y encerramiento del área (adecuación)
- Se diseña la trampa de combustible y aceites, el tanque de descarga de retorno (lodos, sedimentos de perforación).



Figura N°04.- Máquina de Perforación Diamantina. Fuente: Huanghaijixie S.A.A., (2015).

#### 2.2.4.3. Desarrollo de las acciones de perforación

Desarrolladas las fases de diseño de la plataforma y ensamblaje de la máquina de perforación, se procede a ejecutar las siguientes etapas (Pozo, 2015):

- Se posiciona el comensador (abre espacio a la barrena), la barrena es un instrumento que rompe y dentro de esta va el interno; el cual es el encargado de recoger la muestra de roca. Esta consta de broca, rima, kuky, cupling y encareador.
- Elección de la tubería para la recolección de la muestra, en este punto se escoge el diámetro de tubería con el que se desea perforar. Esta puede ser NQ 47,6mm, HQ 63,5mm y NTW 56mm.
- Descenso de la tubería, hasta los parámetros de profundidad a los que se desea obtener la muestra de roca.

- Adición de polímeros. Se hace la mezcla de Polyplus y Bentonita disueltos en agua en dosis que pueden variar en función del tipo de roca que se esté perforando.
- Descenso del pescante, instrumento encargado de recoger el interno en todo momento para la extracción de las muestras a diferentes profundidades.
- Se recoge el núcleo (muestras de roca) en cajas, se codifican las muestras para luego ser llevadas al laboratorio.

La presión que ejerce la tubería sobre las paredes del subsuelo, es lo que produce el ascenso de los lodos de perforación, o en otras palabras “retorno”, los cuales son conducidos a los tanques de recolección, a través de redes de conducción y transportados a las piscinas de sedimentación, posteriormente se realiza el tratamiento de los lodos en el sistema de tubos de geotextil para su disposición final.

## **2.2.5. Fluidos de Perforación**

### **2.2.5.1. Definición**

Los fluidos de perforación, son mezclas líquidas o gaseosas de sustancias químicas con características definidas, capaces de circular desde la superficie hacia la barrena, a través de la sarta de perforación y, retornar a la superficie a través del espacio anular. El éxito del programa de perforación dependerá en gran medida del diseño adecuado del fluido de perforación, por lo que este debe contar con

propiedades físicas y químicas que le permitan cumplir con ciertas funciones requeridas para un ambiente de perforación específico. (Pozo, 2015).

#### **2.2.5.2. Circuito del Fluido de Perforación**

La preparación del fluido de perforación se realiza en el tanque activo, utilizando un embudo se incorporan los químicos para el mezclado, la bomba succiona el fluido desde el tanque activo y lo descarga por el espacio interior del tubo vertical, luego por la manguera flexible, seguidamente el lodo pasa por la sarta de perforación, siendo expulsado por las toberas de la mecha, retorna a superficie por el anular, transportando consigo los ripios de perforación, pasa por la línea de retorno hacia los equipos de control de sólidos y hacia el tanque de sedimentación, finalmente hacia el tanque activo para iniciar un nuevo ciclo (Pozo, 2015).

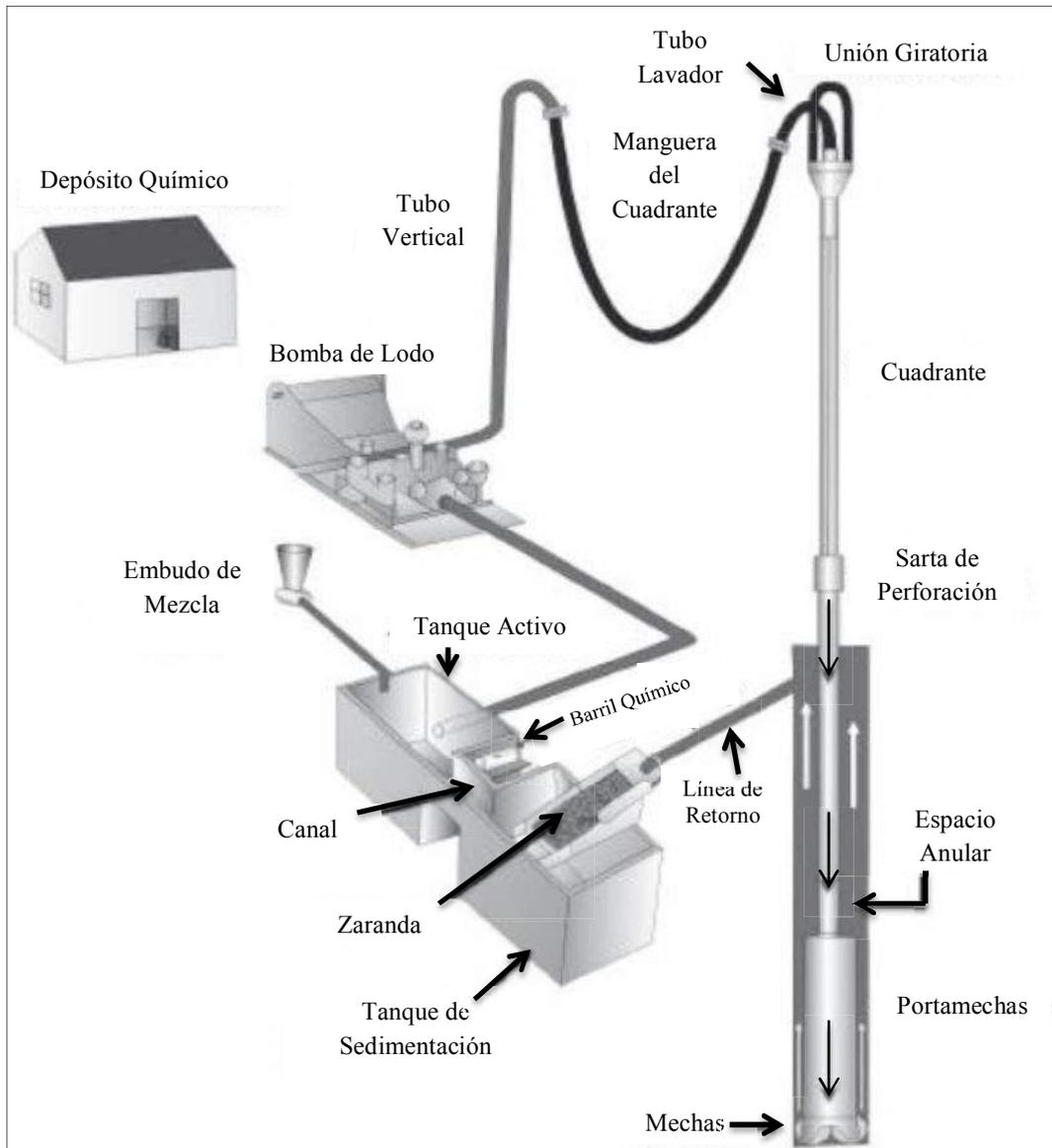


Figura N°05.- Circuito del Fluido de Perforación. Fuente: Manual de Fluidos de Perforación PDVSA, (2002).

#### **2.2.4.1. Funciones de los Fluidos de Perforación**

Las funciones del fluido de perforación describen las tareas que deben realizar para alcanzar el cumplimiento de los objetivos previamente establecidos. Las funciones más importantes son (Manual de Fluidos de Perforación PDVSA, 2002):

##### **a. Remover los recortes del Pozo**

Los recortes producidos por la broca y el material que se derrumba en las paredes del hoyo deben ser retirados del pozo. El fluido de perforación actúa como un medio de transporte de las partículas sólidas, a través del espacio anular hacia los equipos de control de sólidos en superficie. La remoción de los recortes o limpieza del agujero depende del tamaño, forma y densidad de los recortes, velocidad de penetración, tiempo de circulación, viscosidad, densidad, punto cedente y velocidad del fluido en el anular.

##### **b. Controlar las presiones de las formaciones**

El fluido de perforación debe ser capaz de evitar el “influjo”, que es el ingreso de los fluidos de las formaciones hacia el agujero, la presión hidrostática de la columna de lodo debe ser la adecuada para **mantener “controlado el pozo”**.

La siguiente ecuación permite el cálculo de la presión hidrostática de la columna del fluido de perforación en el pozo.

$$P_h = 0,052 \times TVD \times MW$$

Dónde:

$P_h$  : Presión hidrostática (psi)

$TVD$  : Profundidad vertical total (pies)

$MW$  : Densidad o peso del fluido de perforación (lb/gal)

0,052 es un factor de conversión de unidades [psi/ (pies x lb/gal)]

La presión hidrostática deberá ser ligeramente mayor a la presión de formación, pero menor a la de fracturamiento. La presión de formación es la que ejercen los fluidos propios de las formaciones, sobre las paredes del agujero. La siguiente ecuación, permite el cálculo de la presión de la formación.

$$P_f = 0,465 \times TVD$$

$P_f$  : Presión de formación (psi)

$TVD$  : Profundidad vertical total (pies)

0,465 es la presión ejercida por cada pie de profundidad del agua salada de gravedad específica 1,074; siendo 0,433 para el agua dulce (psi/pies).

### **c. Mantener la Estabilidad del Agujero**

La estabilidad del agujero está relacionada directamente con las propiedades químicas y físicas del fluido de perforación. El fluido de perforación deberá ser

compatible con la formación, por ejemplo, las lutitas reactivas tienden a hincharse aumentando varias veces su volumen provocando arrastres y resistencia en las herramientas en movimiento, la presencia de sales, polímeros, materiales asfálticos, glicoles, aceites, agentes tensioactivos y otros inhibidores de lutita, pueden ser utilizados en los fluidos de perforación base agua para inhibir el hinchamiento de las lutitas e impedir el derrumbe<sup>1</sup>.

Una excesiva fuerza de impacto y velocidad de salida del fluido en las toberas de la barrena, causa un ensanchamiento del agujero, generando múltiples problemas técnicos y económicos.

Formaciones con grandes gargantas de poros generan pérdidas de filtrado, por lo que el fluido de perforación debe contener agentes puenteantes y de control de filtrado, etc.

**d. Mantener en suspensión las partículas sólidas cuando se detiene la circulación**

Por su calidad de ser un fluido no newtoniano, es decir, su viscosidad varía con la temperatura y tensión cortante aplicadas, al parar la circulación aumenta su viscosidad hasta convertirse en un gel, esta propiedad tixotrópica permite mantener

---

<sup>1</sup>MI. Manual de Fluidos de Perforación, (2001). Houston. Capítulo 2, página 2.6.

en suspensión los sólidos al detener la circulación del fluido, mientras se realizan viajes o tomas de registros de pozos, evitando que se precipiten.

Al reiniciar la circulación la viscosidad del fluido baja, aumentando su fluidez, entonces los sólidos que fueron suspendidos son arrastrados desde su posición retenida por el gel en el pozo hacia los equipos de control de sólidos ubicados en la superficie, los lodos que no cumplen con esta función, generan grandes problemas durante la perforación como atascamiento de la broca, aumento de arrastre y torque, etc., ya que los sólidos se precipitan al fondo formando una masa de difícil remoción.

**e. Soportar parte del peso de la sarta de perforación o tubería de revestimiento**

El fluido de perforación debe generar una fuerza flotante adecuada que ayude a soportar parte del peso de la sarta de perforación o del casing, al equipo en superficie (torre). El peso de la tubería dentro del agujero está dado por las siguientes ecuaciones, permitiendo el cálculo del factor de flotación:

$$WTP = WTA \times FF^2$$

$$FF = \frac{64,5 - MW}{64,5}$$

---

<sup>2</sup>MI. Manual de Fluidos de Perforación, (2001). Houston. Capítulo 2, página 2.5.

Dónde:

WTP : Peso de la tubería dentro del hoyo [lb]

WTA : Peso de la tubería en el aire [lb]

FF : Factor de flotación

MW : Densidad del fluido de perforación [lb/gal]

64,5 es la densidad del acero [lb/gal]

#### **f. Obturar las formaciones permeables**

El fluido de perforación deberá formar un delgado y flexible revoque de baja permeabilidad en las paredes del pozo. Sin la presencia de esta película, el lodo o su filtrado invadirán las formaciones permeables debido a la presión diferencial, entre la presión hidrostática y la presión de formación, la presión diferencial puede causar problemas como pega de tubería. Los posibles problemas relacionados con un grueso revoque y la filtración excesiva incluyen las condiciones de pozo “reducido”, registros de mala calidad, mayor torque y arrastre, tuberías atascadas, pérdida de circulación y daños a la formación<sup>3</sup>.

#### **g. Maximizar los daños al Yacimiento**

La reducción de la porosidad y permeabilidad natural de una formación productiva se conoce como daño<sup>4</sup>, el cual se produce por migración de finos de

---

<sup>3</sup> MI. Manual de Fluidos de Perforación, (2001). Houston. Capítulo 2, página 2.5.

<sup>4</sup> MI. Manual de Fluidos de Perforación, (2001). Houston. Capítulo 2, página 2.6.

formación, invasión de sólidos y alteraciones de humectabilidad. El daño causado por el lodo, se conoce como daño por invasión de sólidos y, se da por una sobre presión o por la incompatibilidad química del lodo con la formación productora, por lo que el fluido de perforación deberá ser diseñado para minimizarlo. Las zonas productoras, conocidas como zonas de pago, son los objetivos geológicos de la perforación del pozo, un daño debido a la perforación repercutirá en la vida productiva del pozo.

#### **h. Enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación**

La temperatura de la formación dado por la suma de la temperatura de superficie con el producto de la profundidad y el gradiente geotérmico, generalmente (15°F/1000 pies), y principalmente la fricción ejercida tanto por la rotación como por el deslizamiento de la broca y sarta de perforación con las formaciones y la tubería de revestimiento, generan una considerable cantidad de calor. Las altas temperaturas generan agrietamiento en las matrices e insertos de la broca y cambios en las propiedades del acero. El lodo retorna a superficie a mayor temperatura que la de ingreso, el calor es liberado a la atmósfera, es decir, el lodo, el pozo y la atmósfera funcionan como un intercambiador de calor.

Para disminuir la fricción, es importante la formación de una película lubricante que evite el contacto directo entre el metal con la roca y, metal con metal; el fluido de perforación debe cumplir esta función para lo cual se añaden lubricantes, refrigerantes y productos especiales.

**i. Transmitir la Energía Hidráulica a las herramientas y la barrena**

El fluido de perforación, es el medio por el cual se transmite la potencia hidráulica generada en las bombas de lodo, necesaria para remover los ripios y activar las herramientas de fondo que requieren de esta energía para su funcionamiento. Las propiedades del lodo ejercen una considerable influencia sobre la hidráulica por lo que deben ser manejados a niveles óptimos.

**j. Evaluación adecuada de la formación en proceso de perforación**

El fluido de perforación es un medio por el cual se transmite información útil para reconocer las condiciones de la formación geológica, el personal de geología (Mud Loggers) toman muestras en las zarandas para reconocer la formación que se está perforando y determinar la existencia de mineral; especialistas extraen núcleos (cores) para determinar la capacidad productora de la zona de interés; el personal de control de sólidos, fluidos de perforación y geología controla las arremetidas al notar aumento en el volumen del fluido en los tanques; los ingenieros direccionales obtienen información sobre la distribución de los minerales, el personal de registros, requiere que el fluido de perforación no interfiera con la toma de datos; por ello, el lodo debe ser el adecuado para el alcance de estos objetivos.

**k. Controlar la corrosión en las herramientas de Perforación y Casing**

El fluido de perforación debe minimizar la corrosión. El proceso de corrosión (degradación continua del metal al tratar de alcanzar su estado natural) aumentará con

la disminución del pH, por lo que se debe preparar un lodo alcalino para compensar los agentes propios de las formaciones que pueden disminuir el pH del fluido mientras retorna a superficie. La corrosión produce ruptura en las tuberías, daño en las bombas de lodo o fugas en las líneas de superficie<sup>5</sup>.

#### **l. Facilitar la cementación y la completación**

Previo a la corrida de casing se bajan raspadores para remover el revoque formado en las paredes del agujero, este enjarre debe ser fácil de destruir para que el cemento se adhiera eficientemente a las paredes del agujero, además, al desplazar el cemento este debe sustituir al lodo que está adherido a la superficie exterior de casing, de no ser así se produce un espacio entre el casing y cemento o entre la pared de la formación con el cemento, por estos espacios se ponen en contacto las zonas productoras, siendo esto una condición indeseable<sup>6</sup>.

#### **m. Minimizar el Impacto al Ambiente**

Luego de cumplir con las actividades de perforación, el lodo debe ser separado en sus componentes sólidos y agua residual tratada, los componentes del fluido de perforación deben facilitar esta separación, para minimizar el daño al medio ambiente. Los profesionales a cargo de control de sólidos y tratamiento de aguas,

---

<sup>5</sup> B.P. Estudio para mejorar el Proceso de Tratamiento de aguas y manejo de sólidos de los fluidos de perforación en pozos del Oriente Ecuatoriano, (2015). Quito. Capítulo 1, página 30.

<sup>6</sup> B.P. Estudio para mejorar el Proceso de Tratamiento de aguas y manejo de sólidos de los fluidos de perforación en pozos del Oriente Ecuatoriano, (2015). Quito. Capítulo 1, página 31.

desarrollan procesos para mantener estos desechos dentro de parámetros adecuados exigidos por las operadoras, leyes y reglamentos ambientales de cada país.

La disposición de los desechos de los procesos de separación del lodo se hará de acuerdo a las más estrictas normas ambientales<sup>7</sup>.

#### 2.2.4.2. Clasificación de los Fluidos de Perforación

Los fluidos de perforación se clasifican según muestra la figura N°06.

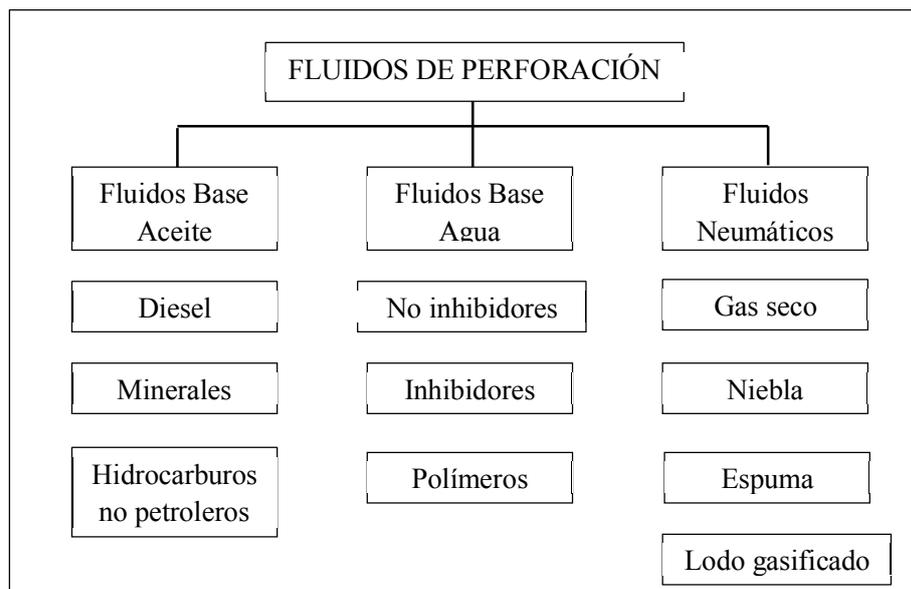


Figura N°06.- Clasificación de los fluidos de perforación. Fuente: Amoco Mud Manual, (1996).

<sup>7</sup> B.P. Estudio para mejorar el Proceso de Tratamiento de aguas y manejo de sólidos de los fluidos de perforación en pozos del Oriente Ecuatoriano, (2015). Quito. Capítulo 1, página 31.

#### **a. Fluidos de perforación base agua**

Según la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, en la mayoría de los proyectos de exploración minera, las perforaciones con diamantina, utilizan fluidos base agua, porque estos son fáciles de fabricar, su mantenimiento es relativamente barato, se pueden ir reformulando de acuerdo a los problemas de perforación y luego de su uso, se pueden separar los sólidos y el agua para disponerlos de acuerdo a los reglamentos ambientales. La figura N°06, muestra la clasificación de los fluidos de perforación base agua.

#### **2.2.4.3. Composición de los Fluidos de Perforación base agua**

Los fluidos de perforación base agua se componen fundamentalmente por el agua que es la fase continua y los sólidos suspendidos. Las fases de un sistema base agua son las siguientes:

#### **a. Fase líquida**

Se llama agua “dulce” cuando la concentración de cloruro de sodio está por debajo de los 1000 ppm, caso contrario es agua “salada”. El agua “dura” es aquella que contiene grandes cantidades de iones de calcio y potasio. En el Proyecto Hilarión, se utiliza el fluido de perforación base agua dulce.

**b. La fracción coloidal (porción reactiva)**

La arcilla es el compuesto que da cuerpo al fluido de perforación y se utiliza la bentonita (montmorillonita), en fluidos de perforación base agua dulce (Proyecto Hilarión), mientras que para los fluidos base agua salada se usa una arcilla especial a base de atapulgita.

**c. La fracción inerte (material pasante y arena)**

Esta fase constituye el material densificante como la barita o el carbonato de calcio, y los sólidos indeseables como la arena y ripios de perforación. La barita no reacciona con el agua, simplemente queda suspendida.

**d. La fase química**

Está constituido por iones y sustancias en solución que se encargan de dar al fluido de perforación las propiedades para cumplir con las funciones exigidas por la perforación.

**2.2.6. Clasificación de los sólidos presentes en los fluidos de perforación**

Los sólidos presentes en los fluidos de perforación pueden clasificarse:

**2.2.5.1. Según su origen**

Los sólidos pueden ser adicionados en la preparación del fluido de perforación para darle propiedades que le permitan el cumplimiento de las funciones requeridas por las operaciones, o, pueden ser integrados al sistema de fluido de perforación

durante las operaciones, provenientes de las formaciones que se atraviesan al construir el agujero. Los primeros se consideran como deseables, mientras que los segundos como indeseables, ya que alteran las propiedades del lodo.

### 2.2.5.2. Según el tipo de sólido

Se consideran sólidos de baja gravedad específica (LGS) a aquellos que se encuentren comprendidos en el rango de 2,3 a 2,8. Los sólidos de alta gravedad específica (HGS) tienen un rango mayor o igual a 4,2.

Los materiales densificantes componen la categoría de HGS, mientras que los sólidos perforados, arcillas y demás aditivos están en la categoría de LGS<sup>8</sup>.

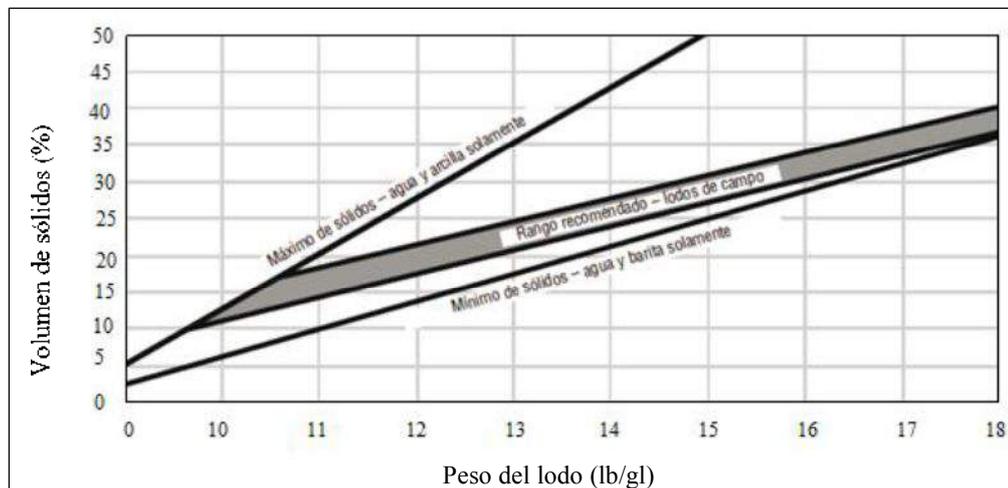


Gráfico N°01.- Rango Recomendado de Sólidos en Fluidos Base Agua. Fuente: Manual de fluidos de Perforación MI, (2001).

<sup>8</sup> MI. Manual de Fluidos de Perforación, (2001). Houston. Capítulo 8, página 8.1.

### 2.2.5.3. Según el tamaño de las partículas

#### a. Clasificación API del tamaño de los sólidos

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

N°	Clasificación API	Tamaño de las Partículas
1	Coloidales	Menor que 2
2	Ultra fino	2 – 6 $\mu$
3	Fino	6 – 44 $\mu$
4	Intermedio	44 – 74 $\mu$
5	Arenas	74 – 250 $\mu$
6	Grueso	250 – 2000 $\mu$

Tabla N°03. Clasificación API del tamaño de partículas. Fuente: Normas del American Petroleum Institute (API), (2008).



Figura N°07. Tamaño de las Partículas. Fuente.- Tesis de Investigación “Técnicas desarrolladas de los Sistemas de control de sólidos de los fluidos de perforación” Universidad Nacional de Ingeniería, (2010).

### **2.2.7. Control y tratamiento de los lodos de perforación**

Según Aponte (2013), una vez terminados los trabajos de perforación, se debe dar una disposición ambientalmente segura a los lodos de perforación generados, ya que contienen sustancias que podrían contaminar el medio ambiente. Cabe resaltar que durante las operaciones de perforación, el manejo adecuado del agua, se traduce en un ahorro significativo, por la disposición de los lodos resultantes, el mismo que debe satisfacer las normas ambientales.

Una alternativa efectiva es minimizar el desecho en el origen utilizando las 4Rs, las cuales reducen o eliminan la cantidad de residuos finales:

#### **a. Reducir**

La reducción es la opción preferida, resulta mejor producir la menor cantidad de desperdicios posibles. La reducción en la fuente, generalmente, es el enfoque más efectivo en la reducción de desechos.

#### **b. Reutilizar**

Si se produce un desecho, se debe realizar todo esfuerzo para reutilizarlo si resulta práctico. Una compañía puede lograr ahorros significativos, instalando sistemas de circuitos cerrados, de tal manera que se pueda volver a utilizar los materiales.

**c. Reciclar**

Resulta importante recordar que a pesar de que el reciclado ayuda a conservar recursos y reducir desechos, existen costos económicos y ambientales asociados con los procesos de recolección y reciclado, por ello, solo se debe considerar el reciclado para el caso de desechos que no pueden ser reducidos ni vueltos a utilizar.

**d. Recuperación**

Se puede recuperar materiales o energía de desechos que no puedan reducirse, reutilizarse ni reciclarse.

**2.2.8. Características generales de los Tubos de Geotextil**

Según el Manual de Carreteras – “Especificaciones técnicas Generales de Construcción EG-2013” del MTC, los Geotextiles están compuestos por polímeros sintéticos, tejidos o no tejidos, que de acuerdo con el suelo a drenar (suelo retenido) deberán tener capacidad para dejar pasar el agua al tiempo que evitan el movimiento del suelo retenido.

Según el Informe de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de España, (1999), las tejidos de geotextil estas fabricados en base a fibras de poliéster de alto módulo elástico o de materiales poliolefínicos (polipropileno de alta densidad). La disposición de las fibras variarán según se traten de materiales tejidos o no tejidos, esto será:

- En Materiales Tejidos se dispondrán en dos (02) direcciones perpendiculares (longitudinal y transversal), con una cierta apertura según se trate de geotextiles tejidos (apertura pequeña) o geomallas (superior a los dos centímetros). Las deformaciones de estos materiales tejidos son normalmente del orden de 10 al 15%.
- En Materiales no Tejidos, se disponen aleatoriamente mediante agujas (geotextil punzonado) o mediante calor (geotextil termosoldado). Las deformaciones en rotura de los materiales no tejidos se encuentran entre el 50 y 80%.

#### **2.2.4.1. Construcción, materiales y dimensiones**

Según el Informe final del Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental de Montevideo, (2011), la principal característica de los tubos de geotextil, es que el tejido con que son fabricados permite el pasaje del agua a través de los poros del textil, reteniendo los sólidos en el interior del tubo.

Los tubos de geotextil son fabricados cosiendo juntos varios paños de geotextil para formar un tubo. Las costuras pueden realizarse tanto en dirección longitudinal como transversal respecto a la mayor dimensión del tubo (Ver Figuras N°06 y 07). El tubo es cerrado en sus extremos también mediante costuras. Las dimensiones típicas de los tubos suelen estar entre 1 m y 10 m de circunferencia y largos de hasta 100 m, aunque se han utilizado otras dimensiones (Howard et al. 2009). Tubos con

longitudes mayores a los 100 metros pueden ser difíciles de manejar durante el llenado, mientras que los tubos más cortos requieren más mano de obra durante su colocación (Jones et al. 2006). Dependiendo del caso los tubos pueden ser dispuestos individualmente sobre el terreno o apilados unos encima de otros.

Los tubos de geotextil utilizados son en general geotextiles tejidos de aspecto similar a una arpillera plástica, de unos pocos milímetros de espesor. Se prefieren los Geotextiles tejidos ya que estos ofrecen mayor resistencia mecánica que los Geotextiles no tejidos.

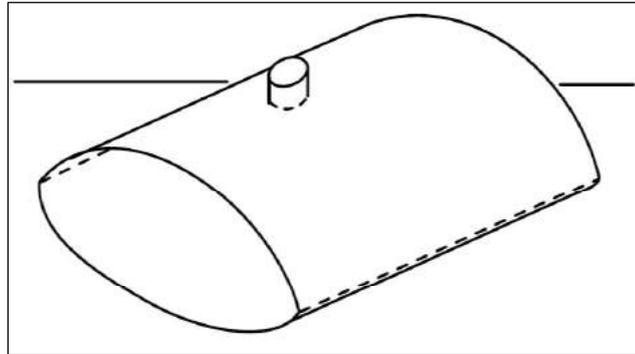
Tanto el material textil utilizado para la construcción como las costuras que unen los diferentes paños de tela, deben ser capaces de resistir los esfuerzos a los que se someten durante el llenado. Como los tubos de geotextil son construidos con tejidos de mediana y alta resistencia las costuras pasan a ser los puntos más débiles de la estructura textil.

En la fabricación del tubo pueden unirse dos (02) piezas largas de geotextil con dos (02) costuras longitudinales y cerrando las puntas formando un almohadón alargado. La circunferencia del tubo es aproximadamente dos (02) veces el ancho de los paños unidos (Figura N°06).

Otra forma de fabricación consiste en unir varias piezas de geotextil con un largo un poco mayor que la circunferencia del tubo y luego cerrar la manta a lo largo con una única costura longitudinal (Figura N°08).

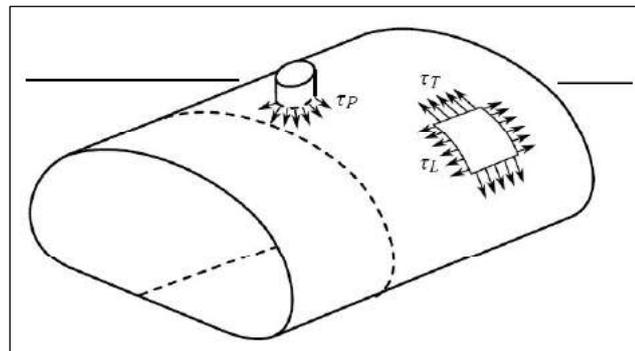
En este caso el tubo presenta una única costura longitudinal y varias costuras transversales a lo largo de su circunferencia, esta última forma permite la fabricación de tubos de mayor circunferencia, ya que el ancho de la tela no es un limitante.

El llenado de los tubos se realiza a través de puertos de llenado, que se ubican en la parte superior del tubo, los puertos de llenado son en general mangas construidas con el mismo geotextil y unidas al tubo mediante costuras, el diámetro de estas mangas típicamente está entre 30 cm y 50 cm, un poco mayor que el diámetro de las tuberías a usar para el llenado, las mangas de llenado suelen tener 1m de largo en el entorno; una cuerda corrediza enhebrada en la manga se utiliza para ajustar la manga al tubo y cerrarla luego del llenado, otra opción utilizada son los puertos de llenado con bridas plásticas que son fijadas formando un sándwich con el geotextil mediante juntas de goma y bulones, los puertos para el llenado del tubo se ubican en el centro de uno de los paños en el caso de la unión longitudinal, en el caso de los tubos mayores con costuras transversales, los puertos se ubican a lo largo de la generatriz opuesta a la costura longitudinal.



\*El presente tubo es usado para aplicaciones de deshidratación mostrando las costuras longitudinales en los lados y la costura en torno al puerto de llenado.

Figura N°08. Tubo utilizado para aplicaciones de deshidratación. Fuente.- Informe final del Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental de Montevideo, (2011).



\*El Tubo generalmente es usado para aplicaciones estructurales mostrando la costura longitudinal en la parte inferior, la costura transversal a lo largo de la circunferencia y la costura en torno al puerto de llenado. Se esquematizan también las tensiones longitudinales  $\tau_L$ , las tensiones transversales  $\tau_T$  y las tensiones en el puerto de llenado.

Figura N°09.- Tubo utilizado para aplicaciones estructurales. Fuente: Informe final del Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental de Montevideo, (2011).

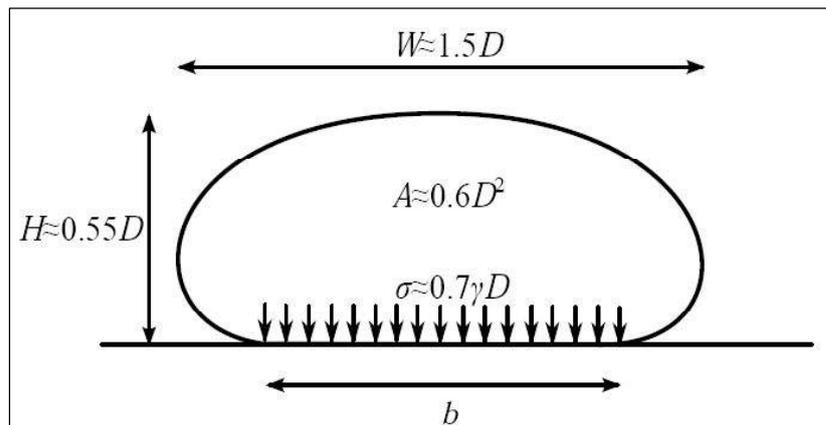
El tamaño del tubo y el material que será utilizado para el llenado, define el espaciamiento entre los puertos de llenado, cuando el material de llenado es de tipo arenoso, tiende a acumularse en la cercanía del puerto de llenado, esto requiere puertos de llenado más cercanos; cuando el material que es bombeado dentro del tubo

geotextil es un barro líquido (lodo de perforación), el mismo fluye fácilmente dentro del contenedor y un menor número de bocas de llenado es suficiente, también pueden incluirse puertos de alivio similares a los de llenado para asegurar que las presiones dentro del tubo no resulten excesivas.

Los tubos de mayor diámetro serían más económicos ya que al duplicarse el diámetro, el volumen contenido en el tubo se cuadruplica, mientras que la superficie externa del tubo solamente se duplica. Por tanto, los tubos de mayor diámetro pueden contener más metros cúbicos de sedimento por metro cuadrado de geotextil que los tubos de menor diámetro, sin embargo, los tubos de gran diámetro presentan algunos inconvenientes, entre ellos; la distancia entre el centro del tubo y su perímetro es mayor por lo que el agua debe recorrer un camino más largo para poder drenar, los esfuerzos que debe resistir el geotextil son mayores y las fallas son más probables, en caso de rotura los costos asociados a la sustitución del tubo y a la limpieza en el caso que el tubo contenga material contaminado hacen poco conveniente trabajar con grandes unidades.

Es útil tener aproximaciones de primer orden a las dimensiones que tomará un tubo de un diámetro determinado una vez lleno. El ancho  $W$ , altura  $H$ , el área transversal  $A$ , el ancho de contacto de la base con el lecho  $b$  y cargas impuestas sobre la base de apoyo  $\sigma$ , para un tubo lleno de sólidos apoyado sobre una base firme (Ver Figura N°10), pueden ser estimados en función del diámetro  $D$  del tubo (Lawson,

2008):  $H \approx 0.55D$ ,  $W \approx 1.5D$ ,  $b \approx D$ ,  $A \approx 0.6D^2$ ,  $\sigma \approx 0.7\gamma D$ , con  $\gamma$  la densidad del material de relleno.



\*Sección transversal de un tubo geotextil lleno de arena mostrando las dimensiones típicas en función del diámetro  $D$  del tubo y la carga sobre el lecho, con  $\gamma$  la densidad del material de relleno.

Figura N°10. Sección transversal de un tubo de geotextil con arena. Fuente: Lawson, (2008).

#### 2.2.4.2. Generalidades sobre el llenado y estabilidad de los Tubos de Geotextil

El llenado es uno de los puntos críticos para el éxito de las aplicaciones que incluyen tubos de geotextil, en esta etapa el geotextil puede ser expuesto a presiones mayores a las que será sometido durante el resto de su vida útil, además, es cuando pueden suceder accidentes por desplazamiento del tubo o roturas del geotextil durante la manipulación; previo al llenado, los tubos deben estar completamente desenrollados, evitando desviaciones laterales mayores de 0,5 m (Jones et al, 2006).

Cuando el material de llenado es arenoso, se necesita un mayor número de puertos para lograr distribuir el material uniformemente dentro del tubo. Es necesario además utilizar concentraciones bajas de sedimento (gran cantidad de agua) durante el llenado, para lograr distribuir el material, en estos casos gran cantidad de agua es filtrada por el geotextil y se debe tener especial cuidado para evitar la socavación del suelo debajo del contenedor.

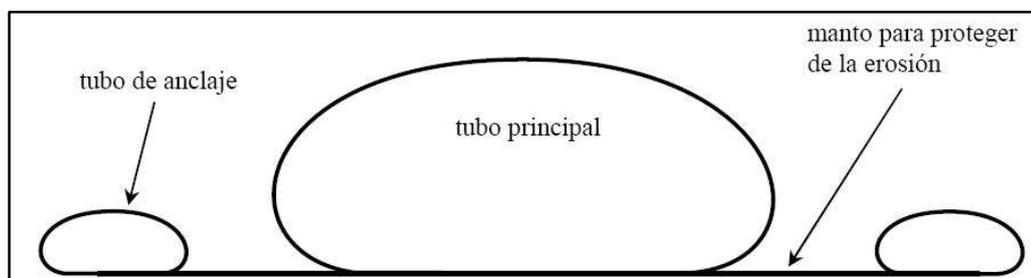
Cuando el material de llenado es similar a un lodo, las tasas de filtración son mucho más bajas y es más difícil que la socavación de la base del tubo ocurra, en este último caso la colmatación del geotextil puede llevar a que aumente la presión dentro del tubo y en muchos casos será necesario hacer acondicionamiento químico del material de relleno.

Cuando el tubo es llenado con arena es difícil lograr que la generatriz superior esté perfectamente nivelada y variaciones del orden de los 0,1 m – 0,2 m son inevitables, tanto a causa del llenado no uniforme, como por variaciones en el terreno de apoyo que son copiadas por el tubo. Por otra parte, alturas mayores al 1,5 m son difíciles de lograr con materiales granulares, independientemente del tamaño del tubo (Davis y Landin 1998, Jones et al. 2006). Finalmente, durante el proceso de llenado es importante que los puertos de llenado se cierren luego de ser utilizados para evitar la fuga de material por los mismos.

Otro aspecto importante es la estabilidad del tubo durante el llenado, sobre un lecho de baja pendiente, los tubos una vez llenos, son bastante estables ya que la forma que adoptan naturalmente, hace que la base de contacto sea siempre mayor que la altura del tubo ( $H/b \approx 1.5$ ), sin embargo, en caso de encontrarse en terrenos con pendientes más pronunciadas se debe tener especial cuidado para evitar el rodado durante el llenado, especialmente si los tubos son de pequeño diámetro, el rodado del tubo geotextil se puede evitar utilizando cuerdas y tensores para anclarlo.

En otras ocasiones se puede excavar una zanja poco profunda para que el tubo se asiente dentro de ella, en las aplicaciones de deshidratación esta zanja se utiliza para recolectar el efluente del filtrado, o utilizar pequeños tubos de geotextil que se llenan y colocan a los lados del tubo mayor antes de su llenado.

En general tubos secundarios de anclaje y mantos de geotextil pueden ser utilizados para proteger el pie del tubo principal (Ver Figura N°11), los tubos secundarios suelen tener diámetros cercanos a los 0,6 m, los mantos tienen un ancho de unos 10 m.



\*El Sección transversal de un tubo geotextil mostrando el manto para evitar la erosión del terreno al pie del tubo y los tubos secundarios que fijan el manto (figura fuera de escala).

Figura N°11. Sección transversal de un tubo de geotextil. Fuente: Informe final del Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental de Montevideo, (2011).

La estabilidad del terreno donde se colocarán los tubos es otro aspecto a considerar, fallas o asentamientos excesivos del terreno una vez cargado con los tubos de geotextil, pueden comprometer la estabilidad e integridad de los tubos, en muchos casos puede ser necesaria la construcción de una fundación adecuada que distribuya el peso de los tubos de geotextil sobre el terreno.

En las aplicaciones de deshidratación, especialmente si se trabaja con materiales contaminados, debe cuidarse que la zona donde se instalen los tubos de geotextil esté cerrada por una barrera impermeable de forma que en caso que haya una descarga accidental de material esta pueda ser contenida y se limpie fácilmente, esto puede lograrse colocando los tubos dentro de una pileta llana excavada en el terreno, cubierta por una capa de material impermeable, sobre la cual se ubica una capa

drenante y sobre la que se colocan los tubos de forma de facilitar el drenaje por su base (Lawson, 2008).

Se recomienda hacer un control cuidadoso de la altura de llenado del tubo para evitar presiones excesivas y la rotura del geotextil o de las costuras, una regla práctica de seguridad es que la altura de llenado no supere el 40 % de diámetro del tubo (Davis y Landin, 1998), para los lodos, otra regla práctica es que la relación altura-ancho sea menor que 0,5 (Gaffney, 2002); la justificación de estas reglas empíricas puede encontrarse calculando los esfuerzos que debe resistir el geotextil para distintos niveles de llenado, estos cálculos muestran que los esfuerzos aumentan rápidamente para alturas superiores a 0,4 m de diámetro.

Los esfuerzos a lo largo de la circunferencia del geotextil no son constantes como prevee los modelos que consideran el material de relleno como un fluido, experimentos y cálculos con modelos que toman en cuenta la fricción interna del material de relleno, indican que la tensión máxima transversal se ubica sobre los lados del tubo de geotextil; las tensiones en la parte superior del tubo son del orden del 50 a 70 % de la tensión máxima, y las tensiones en la base son del orden del 10 a 15 % de la tensión máxima, asimismo, el esfuerzo máximo en sentido longitudinal es del orden del 60 % del esfuerzo máximo en el sentido transversal (Lawson, 2008). Por este motivo en los tubos de mayor tamaño la costura longitudinal se ubica a lo largo de la base, trabajando las restantes costuras en el sentido longitudinal, las

tensiones tienden a concentrarse durante el llenado en torno a los puertos de llenado y pueden ser hasta dos (02) a tres (03) veces mayores que las tensiones transversales en la parte superior del tubo.

Un control sencillo de los esfuerzos a los que está siendo sometido el geotextil puede realizarse in-situ midiendo la longitud de una marca de largo inicial conocido, dado que la relación entre las tensiones y deformaciones del geotextil es conocida, midiendo el estiramiento puede estimarse los esfuerzos a los que está siendo sometido el geotextil en ese momento (Gaffney, 2002).

#### **2.2.4.3. Limitaciones a causa del entorno ambiental**

Las principales limitaciones para la estabilidad de los tubos de geotextil, están asociados a factores del entorno ambiental tales como la radiación UV, la actividad biológica, resistencia a la abrasión y perforación (Davis y Landin 1998).

Los geotextiles resisten sin problema el contacto con superficies redondeadas, pero son fácilmente perforados con objetos cortantes, cuando los cortes en el geotextil son pequeños la pérdida de material se limita a la zona cercana al corte y eventualmente éste puede ser reparado cociendo trozos del mismo geotextil sobre la zona dañada dejando una amplia superposición y alineación a la orientación del tejido del parche con la del tubo (Jones et al. 2006).

#### **2.2.4.4. Estabilidad Interna**

Para el cálculo de la estabilidad, esfuerzos y predicción de la geometría final de los tubos de geotextil luego del llenado, la mayoría de las herramientas de cálculo disponibles tratan al tubo como una membrana, empleándose para ello softwares comerciales.

Estos métodos de cálculo determinan la forma final del tubo con buen grado de aproximación, sin embargo, las estimaciones de las tensiones transversales no son muy confiables, especialmente cuando el material de relleno es arenoso, ya que estos materiales tienden a perder el agua rápidamente; debido a esta incertidumbre en la determinación de los esfuerzos sobre el geotextil y la resistencia de las costuras, se utilizan factores de seguridad de 3,5 a 5,0 durante el diseño (Lawson, 2008).

En los casos de aplicaciones de deshidratación en los que los tubos se llenan con lodos, los cuales presentan grandes variaciones de volumen al perder agua, es usual que existan varias etapas de llenado, para aprovechar mejor el volumen disponible dentro del tubo. Los esfuerzos a los que es sometido el geotextil durante las etapas de relleno no se asemejan a los calculados considerando que el tubo es llenado en una única etapa con material uniforme, y las estimaciones obtenidas con los programas de cálculo pueden considerarse solamente como una primera aproximación (Gaffney 2002, Lawson 2008).

#### **2.2.4.5. Estabilidad Externa**

##### *Cargas estáticas;*

El cálculo y modelación de la respuesta de los tubos de geotextil o estructuras creadas con ellos a los esfuerzos externos, presentan aspectos complejos y no existen procedimientos de diseño bien desarrollados (Howard et al. 2010, Howard 2011). Algunos de los mecanismos de falla se presentan en la Figura N°12.

Davis y Landin (1997), reportan que el ángulo de fricción entre tubos apilados llenos de arena es cercano a los 18°, mientras que el ángulo de fricción entre el tubo y un lecho de arena es cercano a los 25°. Resultando más fácil que los tubos se deslicen si se encuentran apoyados uno sobre otro que si se encuentran apoyados directamente sobre el lecho.

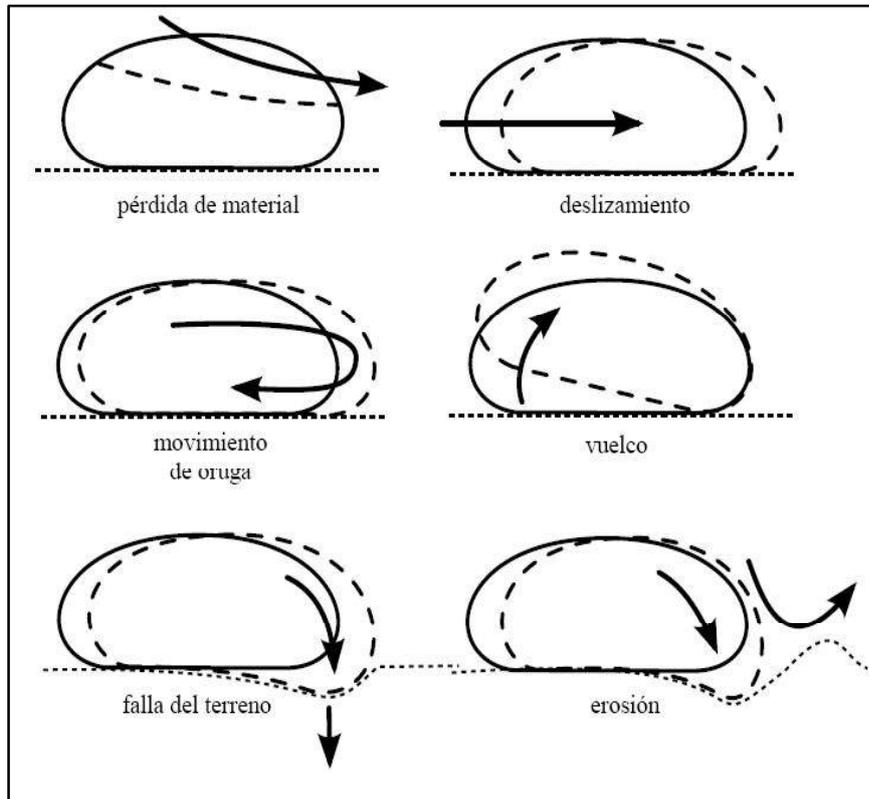


Figura N°12. Principales modos de falla de los Tubos de Geotextil.  
Fuente.- Cantre, (2002).

Cantre (2002), utilizó un modelo de elementos finitos, estudiando la estabilidad de un apilamiento simétrico de seis (06) tubos, en una configuración 3-2-1, utilizando un modelo de Mohr-Coulomb para modelar el material dentro de los tubos, utilizó el modelo de distribución lineal de cargas, para representar las cargas transferidas por los tubos superiores sobre los inferiores, no considerando la transferencia por fricción.

Es importante destacar que cuando los tubos son apilados para formar una estructura, el peso de los tubos superiores generan tensiones adicionales sobre los tubos inferiores, pero las deformaciones que sufre el tubo superior al apoyarse sobre la superficie de los tubos inferiores, también generan tensiones adicionales en el tubo superior que deben ser consideradas (Figura N°13).

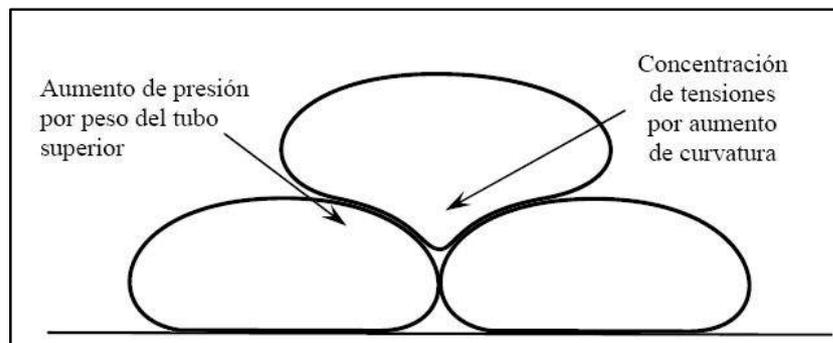


Figura N°13. Sección transversal de un apilamiento de tubos de geotextil mostrando la deformación que experimenta el tubo superior. Fuente.- Saathoff, (2007).

Saathoff et al. (2007), destaca que la deformación de los geocontenedores y el movimiento interno de la arena afectan fuertemente la estabilidad de los revestimientos.

#### 2.2.4.6. Deshidratación de lodos

Una aplicación de los tejidos de geotextil, está asociado a la reducción del contenido de agua en lodos, en esta aplicación los lodos son bombeados dentro de los tubos de geotextil, el tejido retiene los sedimentos (sólidos) dejando salir el agua a

través de los poros del tejido, el efluente que drena de los tubos se colecta y puede ser descargado o reutilizado con o sin tratamiento, dependiendo de sus características; **este proceso de deshidratación conocido en inglés como “Dewatering” logra separar** la cantidad de agua contenida en el lodo, reduciendo significativamente el volumen total del material, eventualmente se puede utilizar floclulantes poliméricos para acelerar el proceso de deshidratación del lodo.

Aplicaciones de esta técnica pueden encontrarse asociadas a la deshidratación y desecado de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales que serán dispuestos posteriormente en un relleno sanitario; otra área de actividad donde se encuentra esta aplicación de los tubos de geotextil es la actividad minera; en este caso los tubos de geotextil se utilizan para retener los residuos generados durante la operación de la mina; los residuos de minería en general contienen gran cantidad de sedimentos finos, un alto contenido de agua y muchas veces concentraciones importantes de metales pesados, los minerales pesados tienden a concentrarse sobre las partículas de sedimento por lo que al retener los sedimentos y filtrar el agua se reduce considerablemente la concentración de metales en el agua que se descarga a través del geotextil, reduciéndose considerablemente el volumen de material contaminado a disponer.

Esta aplicación es también relevante para el manejo ambiental de los lodos de dragado, por ejemplo, cuando los materiales dragados se encuentran contaminados y se desea hacer un acondicionamiento de los mismos previo a su disposición final.

#### *Acondicionamiento químico*

En el caso de lodos con alto contenido de sedimentos cohesivos o materia orgánica, la retención de los sedimentos dentro del tubo de geotextil no está directamente asociada al tamaño de los poros del geotextil, debiéndose considerar además el efecto que tiene la tensión superficial entre el lodo y el geotextil, así como, el efecto de la viscosidad del lodo en la formación de la torta de filtrado (filter cake), se denomina torta de filtrado a la capa de sólidos que se forma contra el geotextil, el agua debe pasar a través de ella para salir de tubo de geotextil, los lodos con altos contenidos de materia orgánica tienden a producir tortas de filtrado de muy baja permeabilidad resultando en bajas tasas de deshidratación; durante las etapas iniciales del llenado, cuando la torta de filtrado todavía no se ha formado, puede haber escape de partículas finas a través del geotextil, sin embargo, si la aplicación fue correctamente diseñada esta pérdida debe cesar en las primeras horas del llenado al formarse la torta de filtrado y, permanecer de esta forma durante el tiempo restante.

La adición de pequeñas cantidades de floculantes poliméricos puede mejorar la eficiencia del proceso de deshidratación de los 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.

Con la adición de polímeros la permeabilidad de torta de filtrado es ajustada a la forma de lograr un equilibrio entre la tasa de filtrado y la claridad del efluente, en el caso de lodos con alto contenido orgánico la adición de polímeros es imprescindible para que el uso de los tubos de geotextil sea viable<sup>9</sup>.

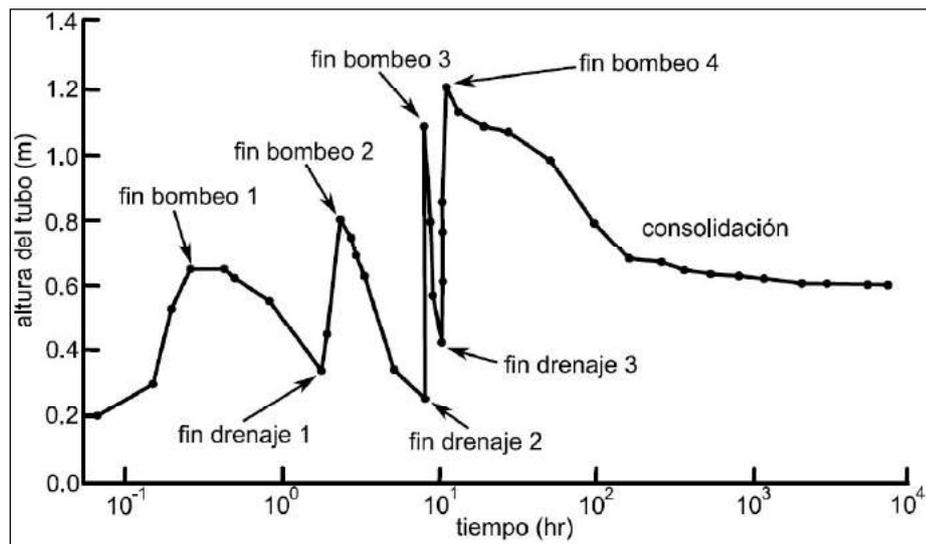


Gráfico N°02.- Evolución de la altura del tubo de geotextil durante cuatro ciclos sucesivos de llenado, drenaje y consolidación final. Fuente.- Shin et al, (2012).

<sup>9</sup> F.P. Informe Final de Asesoramiento realizado por el IMFIA para la Administración Nacional de Puertos (2011). Montevideo. Ítem 3.3, página 15.

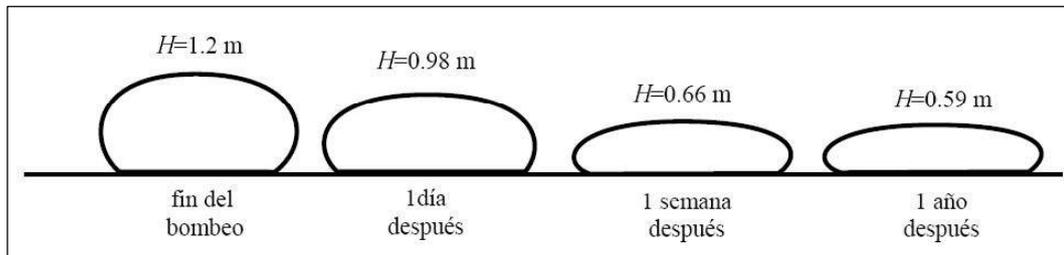


Figura N°14. Evolución de la altura y forma del tubo de geotextil luego de finalizado el llenado final. Fuente.- Shin et al, (2012).

Existe un gran número de polímeros solubles en agua que pueden ser utilizados como aditivos para la deshidratación de lodos, el tipo de polímero y la dosis óptima deben ser analizados en cada caso con ensayos de laboratorio, los polímeros se clasifican según su carga iónica en catiónicos, aniónicos o neutros; los polímeros catiónicos son adecuados para aguas con alto pH, mientras que los polímeros aniónicos se recomiendan para aguas con bajo pH.

### *Llenado*

El llenado de los tubos de geotextil, se realiza en varias etapas durante las cuales el material se deja drenar hasta llegar a cierto nivel de humedad, para luego proceder a rellenar el tubo y lograr un mejor aprovechamiento de la capacidad del tubo, es usual repetir el proceso de llenado tres (03) o cuatro (04) veces antes de dejar que el material en reposo llegue al estado de consolidación final.

Durante el drenado, el agua libre contenida en los lodos escapa “rápidamente”, a través, de los poros del geotextil, observándose grandes reducciones en el volumen del material contenido en el tubo. Durante la consolidación, el agua drena “lentamente”, a través, de los sedimentos contenidos en el tubo. A medida que el material se consolida, la conductividad hidráulica se reduce y el drenado del agua del poro se vuelve cada vez más lento (Gráfico N°01 y Figura N°11). Las etapas de drenado duran semanas, mientras que la consolidación final dura en el orden de meses (Lawson, 2008).

La relación entre el volumen inicial  $V_0$  del lodo contenido en el tubo de geotextil y el volumen final  $V_f$  luego del consolidado, puede calcularse a partir del contenido de sólidos  $Sc$ . Ver Ecuación N°01.

$$\frac{V_f}{V_0} = \left\{ \frac{1}{Sc_f} + \frac{\rho_w}{\rho_s} - 1 \right\} / \left\{ \frac{1}{Sc_0} + \frac{\rho_w}{\rho_s} - 1 \right\}$$

El contenido de sólidos se define como el cociente entre la masa de sólidos y la masa total de lodo, en la Ecuación (1)  $Sc_0$  y  $Sc_f$  corresponden al contenido inicial y final de sólidos, respectivamente, y  $\rho_w$  y  $\rho_s$  la densidad del agua y de los sólidos, respectivamente, esta ecuación, puede ser usada sucesivamente cuando el llenado se da en múltiples etapas.

El contenido de sólidos a la salida de la draga en el momento de llenado suele ser del orden de 10 a 20 %, mientras que el contenido de sólidos final obtenible dentro de los tubos luego de la consolidación se encuentra entre el 35 y el 70 %, dependiendo del contenido de material orgánico. A mayor porcentaje de partículas de origen orgánico, menor el contenido final de sólidos (Lawson 2008).

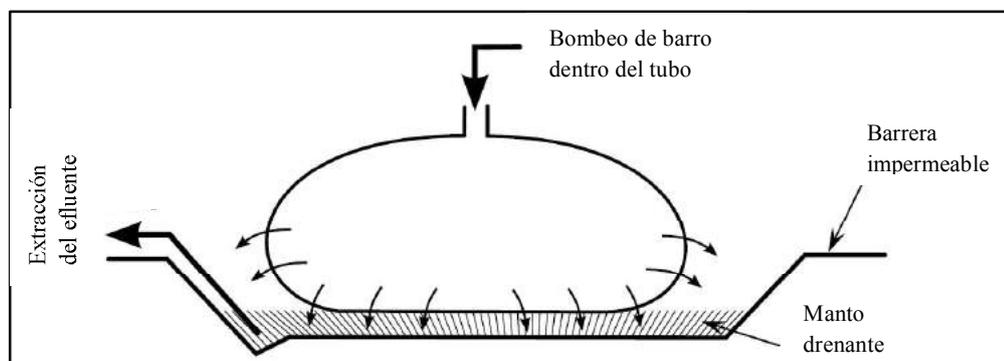


Figura N°15. Configuración típica para la aplicación de tubos de geotextil para la deshidratación de barros. Fuente.- Lawson, (2008).

La configuración usual utilizada durante el llenado de tubos con material a deshidratar puede verse en la Figura N°15. Primeramente, la zona donde se colocarán los tubos debe estar aislada de forma que ante una fuga de material por la rotura de un tubo, o errores en la operación del llenado, el material quede contenido y no se disperse. Esto se logra creando una barrera en el entorno donde se colocarán los tubos y cubriendo con material impermeable (geosintético) la zona donde se puede verter accidentalmente el lodo, sobre esta capa impermeable se coloca un lecho drenante de forma que los tubos puedan drenar por su base y el efluente que sale de los tubos

puede ser recogido en uno o varios puntos dentro de la zona cercada para ser descargada directamente o ser acondicionada dependiendo de los requisitos ambientales y las características del efluente.

#### **2.2.4.7. Coagulación y Floculación**

Los lodos contienen dos (02) tipos de sólidos:

- Sedimentables (partículas con diámetro mayor de 10 micras) y,
- No sedimentables. Estos últimos 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 una milésima de micra. Sólidos con tamaños menores entran en el dominio de moléculas disueltas en el agua (calcio, alcalinidad, sulfatos, cloruros nitratos, etc.) estos son los llamados sólidos disueltos. Los procesos de coagulación y floculación se emplean para remover los sólidos suspendidos y los coloides de los lodos.

##### **a. Coagulación**

(Koshland, 2014), los procesos de coagulación química pueden definirse como el proceso por el cual se reducen las fuerzas de repulsión existentes entre las partículas coloidales, mediante aplicación de sustancias químicas (coagulantes) al agua y su

distribución uniforme en ella (agitación); estos productos neutralizan las cargas eléctricas, por lo general negativas, sobre la superficie del coloide, este proceso permite la aglutinación de las mismas. La coagulación comienza en el instante en que se agregan los químicos coagulantes y dura una fracción de segundo.

#### **b. Floculación**

(Koshland, 2014), 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 llamados flóculos, es favorecido por la 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.

#### **c. Mecanismos de Coagulación y Floculación**

- **Por Adsorción y Neutralización**

Los iones que poseen cargas opuestas a la de los iones del coagulante/floculante sufren una absorción y neutralización, determinado por el Potencial Zeta (Potencial existente entre la capa formada por los iones positivos alrededor de la partícula negativa en movimiento). En este caso la dosis del coagulante es función de la carga que tenga el ión aplicado. El potencial Zeta (PZ) es usado en grandes plantas de

tratamiento que cuentan con un equipo de laboratorio adecuado para su determinación.

N°	PZ Promedio	Coagulación
1	+3 a 0	Máxima
2	-1 a -4	Excelente
3	-5 a -10	Regular
4	-11 a -20	Pobre
5	-21 a -30	Mala o nula

Tabla N°04. Intervalos de PZ para Coagulación. Fuente.- Manual de Tratamiento de Aguas Brandt, (2001).

- **Por Precipitación y Atrapamiento**

En este método se promueve la precipitación de hidróxidos metálicos cuya solubilidad es baja. La siguiente figura muestra el proceso de coagulación por atrapamiento.

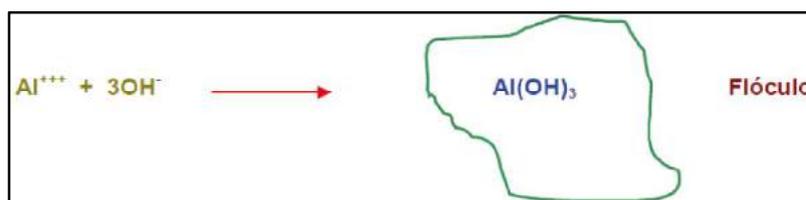


Figura N°16. Coagulación por Precipitación y Atrapamiento. Fuente: Manual de tratamiento de Aguas Brandt, (2001).

Mediante este mecanismo las partículas coloidales quedan atrapadas y ocluidas en el precipitado, a medida que se forman. La remoción de color y turbiedad en aguas sigue este mecanismo que se muestra en la figura N°17.

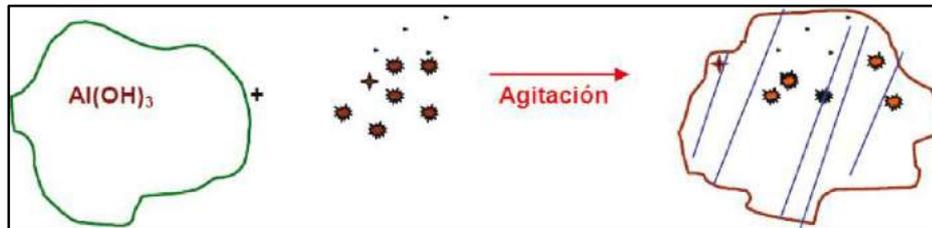


Figura N°17. Remoción de color y turbiedad. Fuente: Manual de tratamiento de Aguas Brandt, (2001).

- **Puente Químico (desestabilización con polímeros)**

En este mecanismo parte de los grupos funcionales de la molécula de polímero se adsorben en la superficie de una partícula, dejando otra parte de la molécula extendida en la solución. Una segunda partícula con polímero adsorbido y superficie vacante se une al segmento libre de otra, formando un puente “floc” de mayor tamaño y peso. La figura N° 18, muestra el proceso de floculación con la adición de polímeros.

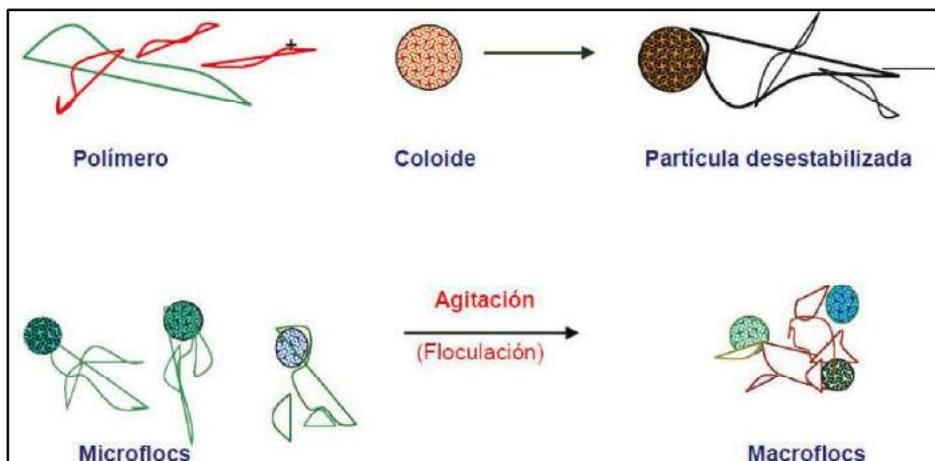


Figura N°18. Floculación con Polímeros. Fuente: Manual de tratamiento de Aguas Brandt, (2001).

#### **d. Prueba de Jarras**

La prueba de jarras es un método muy sencillo para determinar las dosis óptimas de coagulantes, floculantes y otros químicos, así como el procedimiento a seguir en el tratamiento de aguas. Con este ensayo se trata de simular el proceso de coagulación y floculación que ocurre en los tanques verticales. No existe un patrón o procedimientos estandarizados para su realización debido a que el agua residual a tratar varía dependiendo de su procedencia; tipo de fluido de perforación del cual se originó, tipo y concentraciones de químicos usados en la deshidratación, sólidos coloidales presentes, los cuales se integraron al fluido, etc.

Estas pruebas se realizan generalmente en vasos de precipitación de 500ml, generalmente tres (03), donde se coloca el agua a tratar, se añade la solución de coagulante en diferentes dosis agitando vigorosamente hasta obtener la coagulación en diferentes dosis agitando vigorosamente hasta obtener la coagulación, luego, añadiendo floculante en diferentes dosis, con una agitación lenta hasta obtener la floculación deseada. La figura N° 19, muestra el Kit de prueba de jarras.



Figura N°19. Kit de Pruebas de Jarras. Fuente: Manual de tratamiento de Aguas Brandt, (2001).

## **CAPITULO III:**

### **DESARROLLO**

#### **3.1. Descripción ambiental del área de Estudio**

##### **3.1.1. Ubicación**

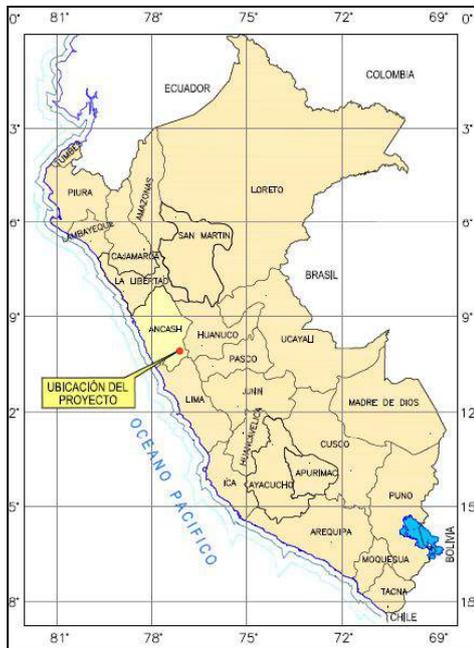
###### **3.1.1.1. Ubicación del Proyecto de Exploración Hilarión**

El proyecto de investigación de desarrollará en el Proyecto de exploración “Hilarión”, el cual se encuentra ubicado en la Comunidad Campesina Chiuruco, Distrito de Huallanca, Provincia de Bolognesi, Región Ancash.

Geográficamente se ubica en las laderas de la Cordillera Chaupijanca y Cerro Mina Punta, en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S 8'894,940 Norte y 280,319 Este, entre los 4200 y 4932 metros de altura.

###### **3.1.1.2. Ubicación del Sistema de Tubos de Geotextil Tejido**

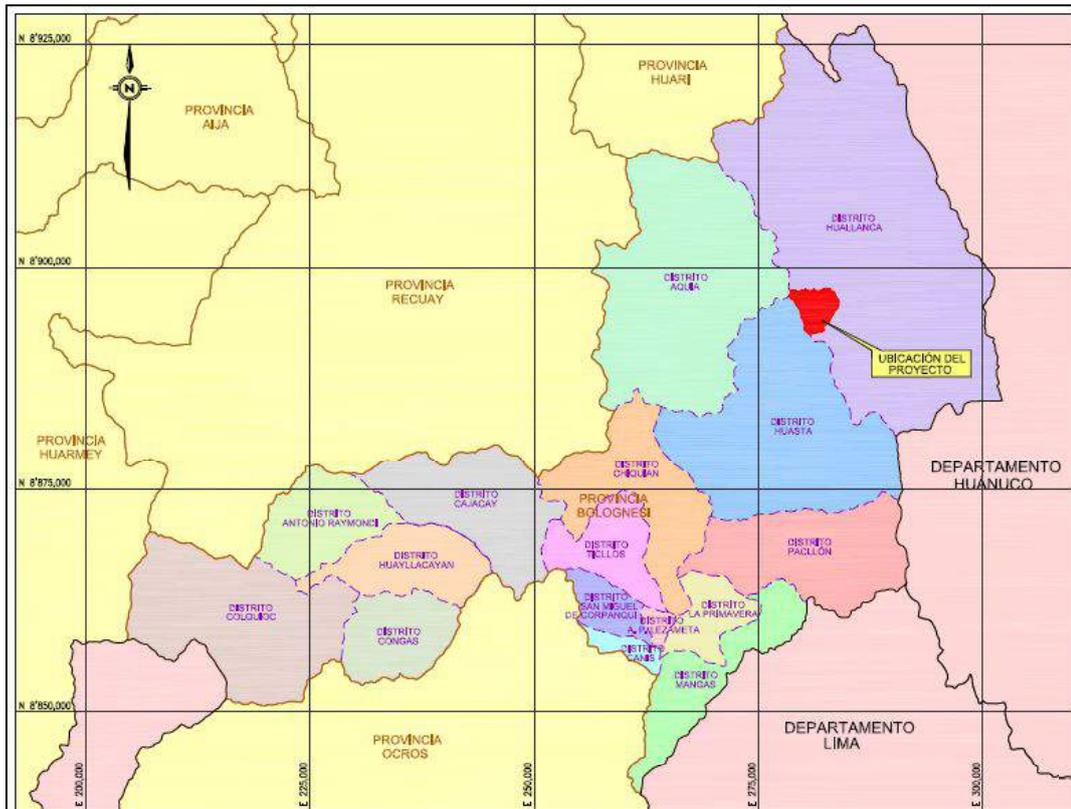
El sistema de tubos de geotextil, abarca una extensión de 600 m<sup>2</sup>, ubicándose en la coordenadas UTM WGS 84, 8 895 368 N y 279 844 E. Ver Anexo N°02.- Ubicación Satelital del Sistema de Tubos de Geotextil Tejido de Polipropileno.



(20)



(21)



(22)

Figura N°20, 21, 22. Ubicación del Proyecto de Exploración. Fuente: EIAsd Hilarión, (2013).

### 3.1.2. Clima y Meteorología

El clima en el área del Proyecto “Hilarión” es frío y seco, por encontrarse en la Región Puna, las temperaturas mínimas se producen entre diciembre y mayo.

En el área de estudio se presentan dos (02) tipos de climas, el Frío Nival y el Húmedo Lluvioso, se ha realizado el análisis de las variables meteorológicas, climatológicas y pluviométricas con data histórica de las estaciones más representativas para la zona de estudio: Chuiquián, Milpo e Hilarión<sup>10</sup>.

#### a. Temperatura

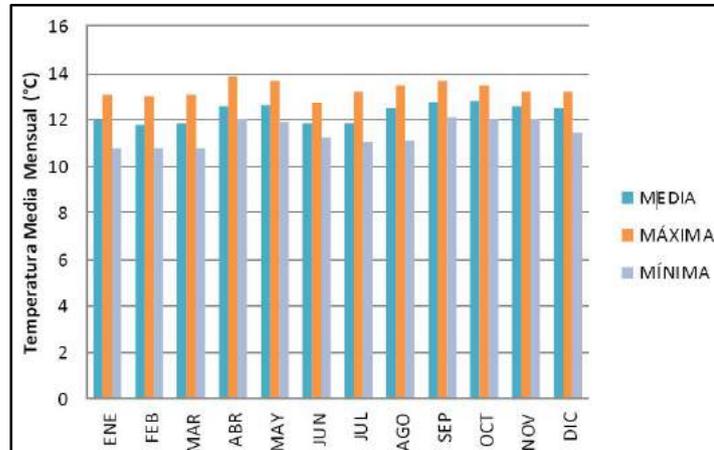


Gráfico N°03. Temperatura Mensual Media Máxima y Mínima Multianual Fuente: Registro histórico de la Estación Chuiquián, (1995-2004).

<sup>10</sup> Cuarta Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto de Exploración Minera Hilarión, (2013).

Para la estación Chiquían, periodo 1995 – 2004, la temperatura promedio mensual multianual tiene un valor de 12,29°C, la temperatura mínima se da entre los meses de Diciembre a Mayo.

### b. Precipitación

Para la estación pluviométrica Milpo, periodo 1970 – 2007, se presenta una precipitación anual media de 1002,2 mm, precipitación media mensual multianual de 83,51mm, precipitación mínima mensual 0,0 mm y precipitación máxima mensual multianual de 491,20 mm.

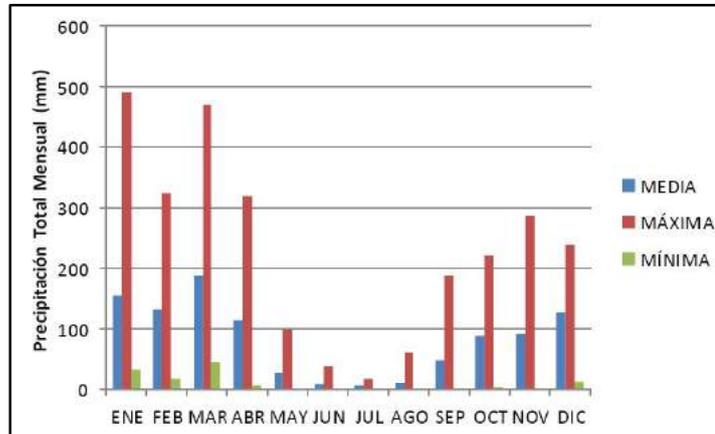


Gráfico N°04. Precipitación Total Mensual Multianual. Fuente: Registro histórico de la Estación Milpo, (1970-2007).

**c. Humedad Relativa (%)**

Para la estación Chiquían, periodo 1995-2004, el valor de la humedad relativa mensual promedio multianual es de 69,5%, humedad relativa mensual mínimo y máximo de 58% y 84% respectivamente.

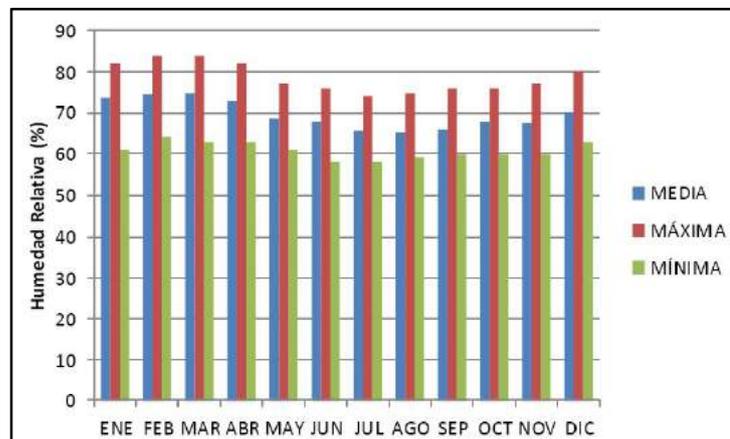


Gráfico N°05.- Humedad Relativa Media Mensual Multianual. Fuente: Registro histórico de la Estación Chiquían, (1995-2004).

**d. Evaporación (mm)**

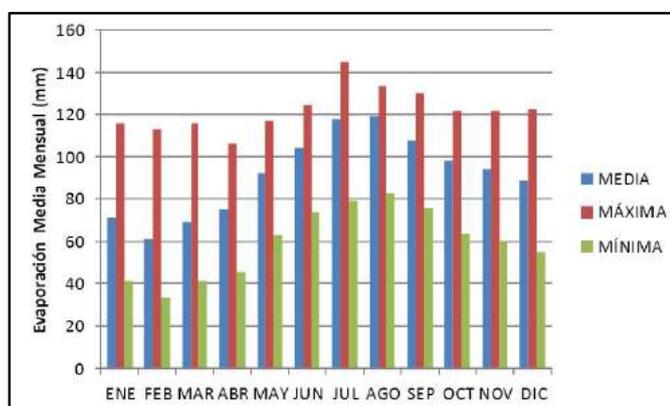


Gráfico N°06. Evaporación Media Mensual Multianual. Fuente: Registro histórico de la Estación Chiquían, (1995-2004).

Para la estación Chiquián, periodo 1995-2004, la evaporación media multianual total es de 992,9 mm y la evaporación media mensual multianual mínima y máxima es de 33,1 mm y 145,4 mm respectivamente.

**e. Velocidad y Dirección del Viento**

La velocidad del viento varía de calma (0 a 0,2 m/s) a brisa fresca (8,0 a 10,7 m/s) y se registraron 23,96% de calmas, la velocidad promedio es de 0,86 m/s; la dirección predominante del viento en el área del Proyecto de Exploración Hilarión es de Este (E), lo que significa que los vientos provienen del E (Este) y se dirigen al O (Oeste).

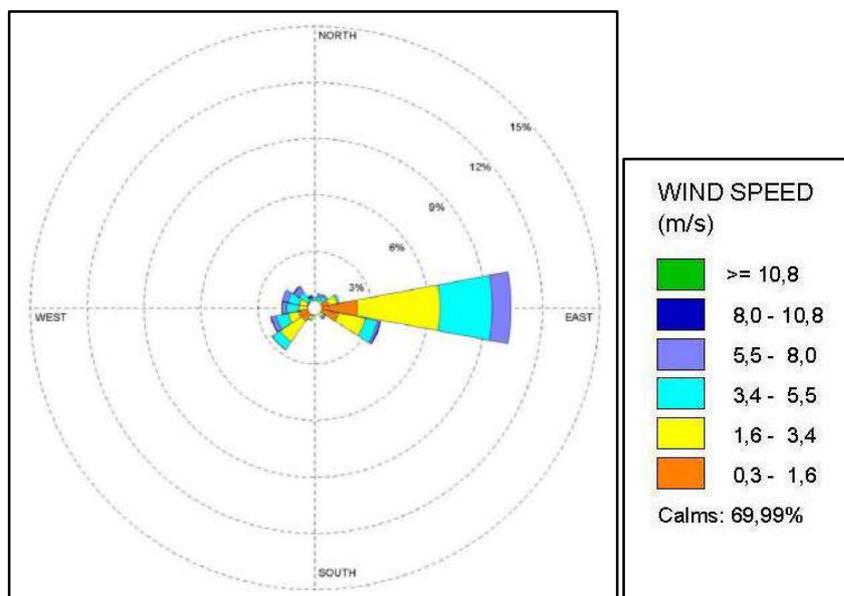


Figura N°23.- Rosa de vientos en el área del Proyecto. Fuente: Registro histórico de la Estación Hilarión, (2011).

### **3.1.3. Geología**

El área de estudio se encuentra dentro de la secuencia de rocas calcáreas cretácicas, stocks y diques de pórfidos dioríticos, relacionadas a la mineralización sobre los que aparece un intrusivo porfídico monzonítico tardío, que intersecta a las formaciones anteriores, la mineralización está constituida por un skarn polimetálico de zinc con menores contenidos de plata y plomo, asimismo, los depósitos recientes del Cuaternario yacen al pie de las laderas y en el fondo de las quebradas.

Entre las principales unidades litoestratigráficas que yacen en el área de estudio, desde la más antigua a la más reciente son: Formación Carhuaz (Ki-c), Formación Pariahuanca (Ki-ph), Formación Pariatambo (Ki-pt), Formación Jumasha (Ks-j), Depósitos Morrenicos (Q-mo), Depósitos Fluvioglaciares (Q-fgl), Depósitos Coluviales (Q-cl), Depósitos Aluviales (Q-al)<sup>11</sup>.

### **3.1.4. Geomorfología**

El área se caracteriza por tener una configuración topográfica montañosa, típicamente glacial compuesta por laderas y colinas de relieve ondulado a accidentado, con cerros escarpados de relieve semi accidentado con pendientes que sobrepasan los 40°.

---

<sup>11</sup> Cuarta Modificación del EIA del Proyecto de Exploración Hilarión, (2013). Capítulo 3, página 62.

El área del proyecto se encuentra en el flanco oriental de la unidad morfoestructural identificada como Cordillera Occidental y muy cerca de la divisoria de aguas interoceánicas, la cadena montañosa del nevado Chaupijanca es la principal unidad geomorfológica, cuya altitud alcanza los 5 200 metros de altura<sup>12</sup>.



Figura N°24. Geomorfología del área del proyecto. Fuente: Visita Proyecto Hilarión, (2015).

### **3.1.5. Fisiografía**

Las unidades fisiográficas identificadas son: Montañas Anticlinales (MA-2), Circo Glaciar colgado (CGC), Cascada de inclinación (CI), Ladera de Inclinación (LI) y una Llanura Aluvial (LLA)<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Cuarta Modificación del EIASd del Proyecto de Exploración Hilarión, (2013). Capítulo 3, página 46.

<sup>13</sup> Cuarta Modificación del EIASd del Proyecto de Exploración Hilarión, (2013). Capítulo 3, página 48

### **3.1.6. Hidrología**

Los componentes del Proyecto de Exploración se encuentran dentro de la Microcuenca Aguascocha, perteneciente a la Subcuenca Chiuruc. La Microcuenca Aguascocha cubre un área de drenaje de 4,73 km<sup>2</sup>, con una longitud de 9,4 km, de acuerdo al análisis de la curva hipsométrica, la altitud media es del orden de 4 815 msnm, mientras que la altitud varía entre 4 485 msnm y 5 287 msnm, los caudales más altos se presentan entre los meses de diciembre y marzo, mientras, los valores más bajos se muestran entre los meses de mayo y setiembre, el caudal promedio anual es de 98 l/s, el caudal máximo es de 429 l/s y el caudal mínimo es de 17 l/s.

### **3.1.7. Hidrogeología**

En el área del proyecto, se identificó cuatro (04) unidades hidrogeológicas:

- Unidad hidrogeológica sedimentaria de permeabilidad media, está conformada por las unidades sedimentarias crétacicas de tipo calizo, areniscas o cuarcitas, que incluyen la formación Jumasha, consisten en rocas duras, donde la matriz de la roca a pequeña escala no es muy permeable en primera instancia, pero donde los planos de estratificación y la fracturación aumentan de forma importante la permeabilidad efectiva a escala de macizo.
- La unidad hidrogeológica sedimentaria de baja permeabilidad, lo conforman las formaciones Pariatambo con mayor proporción de intercalaciones margosas o lutíticas.

- La unidad hidrogeológica intrusiva, está conformado por rocas que a priori son poco permeables, el agua circula principalmente por fracturas y diaclasas, en el caso de diques porfídicos que corten otras formaciones, estos podrán aumentar la anisotropía del macizo favoreciendo el flujo paralelo al dique y dificultando el flujo en la dirección perpendicular al dique.
- La unidad hidrogeológica cuaternaria, se restringe a los materiales las cuales están situados en el fondo de los valles, materiales aluviales, lacustres y morrénicos. Se trata de acumulaciones de material de algunas decenas de metros de espesor máximo que se comportarán como un acuífero propiamente dicho, favoreciendo el flujo horizontal a través de las capas sedimentarias de permeabilidad diferencial que los conforman.

### **3.1.8. Hidrodinámica**

El régimen de flujo subterráneo en el área de estudio sigue un patrón similar al observado en otros ambientes alto andinos del Perú, se manifiesta en la mayoría de rocas con una baja permeabilidad, debido a la fracturación asociada, así como de los planos de estratificación por dónde discurre los principales flujos de agua subterráneos. En la siguiente figura, se muestran secciones hidrogeológicas, ilustrando el comportamiento de los flujos en el sistema rocoso y cuaternario para el proyecto Hilarión.

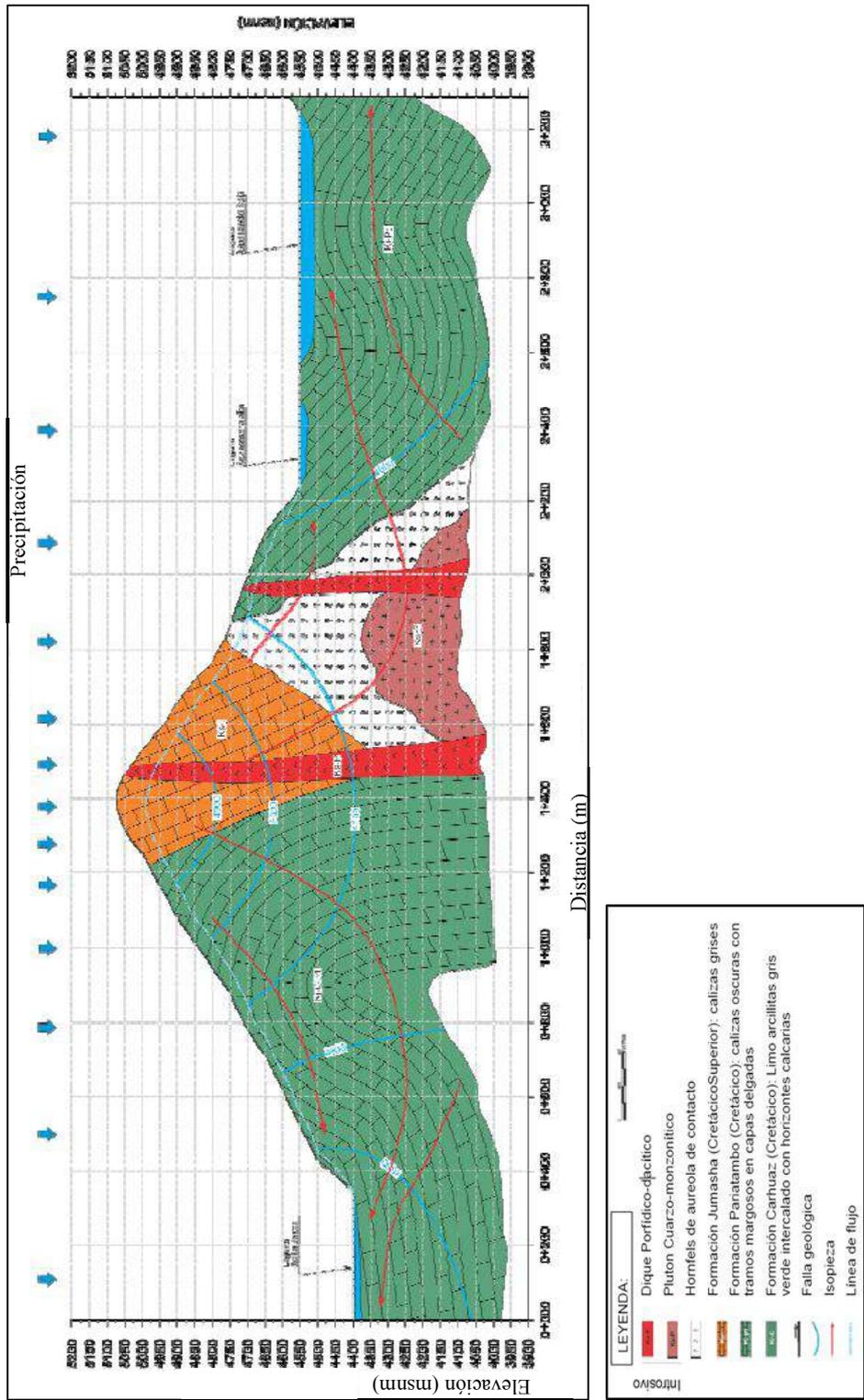


Figura N°25: Sección Hidrogeológica. Fuente: Amphos 21, (2013).

### **3.1.9. Suelo**

Los suelos de la zona de estudio, pertenecen al tipo mineral y los materiales parentales son de dos (02) subtipos: residual y transportado, el primero es generado a partir de la meteorización In Situ, derivado de rocas sedimentarias como calizas y areniscas cuarzosas, se reconoce en las laderas; el transportado, es el material depositado por diversos agentes de transporte reconociéndose los subtipos: Coluvial (depositado por acción de la gravedad en los pie de montes, sobre material residual), Aluvial (depositado por las aguas que discurren por valles intermontañosos) y Coluvio - aluvial (depositado por la acción conjunta de aguas locales y gravedad).

El desarrollo genético de los suelos es escaso a incipiente, mostrando secuencia de capas A-Cr, A-Ck-Ckr, A-C-O y A-Cr-R; según la clasificación natural de suelos de los Estados Unidos de América del 2010, pertenecen a los órdenes Entisols, que se encuentra constituido por suelos poco desarrollados y como suborden a Orthents, el cual muestra evidencia de meteorización y erosión recientes; a los Inceptisols, suelos incipientes, y como subórdenes a Cryepts, presente en climas fríos; al orden Mollisols, suelos con una alta saturación de bases en el perfil y epipedón móllico, encontrándose los subórdenes Aquolls, con régimen ácuico, Cryolls, característico de climas fríos y Rendolls, que presenta carbonato de calcio pero no es cálcico.

La región edáfica a la que pertenece el área es Andosólica, comprende las punas o regiones de páramo, entre los 4 000 y 5 000 metros de altitud, clima marcadamente frío y con precipitaciones superiores a los 250 mm.

En el área de proyecto se reconocen diversas clases texturales, predominando las clases de arena franca y franco arenosa, asimismo, la franca, franco arcillosa y arenosa. La tonalidad general del relieve presenta colores oscuros y opacos, donde se pueden distinguir los suelos desnudos, morreras y diferentes tipos de rocas<sup>14</sup>.

**a. Capacidad de Uso Mayor de Suelos**

Se ha identificado cinco (05) grupos de capacidad de uso mayor de tierras:

- Tierras para cultivos en limpio (A), clase A1, A2 y A3.
- Tierras para cultivos permanentes (C), clase C1, C2 y C3.
- Tierras para pastos (P), clase P1, P2 y P3.
- Tierras para forestales de Producción (F), clase F1, F2 y F3.
- Tierras de Protección (X).

---

<sup>14</sup> Cuarta Modificación del EIASd del Proyecto de Exploración Hilarión, (2013). Capítulo 3, página 72.

N°	Símbolo	Descripción	Superficie	
			ha	%
<b>Consociación</b>				
1	P2swc	Tierras aptas para Pastos (P) de calidad agrológica media con limitaciones por suelo (profundidad efectiva, gravosidad y fertilidad media), drenaje imperfecto y clima	27,78	1,50
2	P3sc	Tierras aptas para Pastos (P) de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo (profundidad efectiva, gravosidad, pedregosidad superficial y fertilidad baja) y clima	11,26	0,61
3	P3sec	Tierras aptas para Pastos (P) de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo (fertilidad baja), erosión – pendiente y clima	42,28	2,28
4	Xse	Tierras de Protección (X) con limitaciones por suelo y erosión – pendiente	104,43	5,63
5	X1	Tierras de Protección (X) por afloramientos líticos	66,73	3,60
6	X2	Tierras de Protección (X) por afloramientos líticos y derrubios	232,20	12,52
7	X3	Tierras de Protección (X) por nevados	286,07	15,42
<b>Asociaciones</b>				
8	P2swc – P3sc	Asociación de Tierras aptas para Pastos (P) de calidad agrológica media con limitaciones por suelo (profundidad efectiva y fertilidad baja), drenaje imperfecto y clima y Tierras aptas para Pastos (P) de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo (profundidad efectiva, gravosidad, textura gruesa y fertilidad baja) y clima.	28,29	1,53
9	P3sec – X1	Asociación de Tierras aptas para Pastos (P) de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo (fertilidad baja), erosión – pendiente y clima y Tierras de Protección (X) por afloramientos líticos	50,45	2,72
10	Xe – X1	Asociación de Tierras de Protección (X) con limitación por erosión – pendiente y Tierras de Protección (X) por afloramientos líticos	252,42	13,61
11	Xse – X1	Asociación de Tierras de Protección (X) con limitaciones por suelo y erosión – pendiente y Tierras de Protección (X) por afloramientos	707,94	38,17

N°	Símbolo	Descripción	Superficie	
			ha	%
<b>Consociación</b>				
		líticos		
<b>Otras Áreas</b>				
12	X*	Instalaciones, infraestructura vial, depósito de desmonte, etc.	0,38	0,02
13	X**	Lagunas	44,57	2,40
<b>Total</b>			1,854.81	100,00

Tabla N°05. Capacidad de uso mayor – Unidades y Asociaciones. Fuente: Cuarta Modificación del EIA del Proyecto Hilarión, (2013).

#### b. Uso Actual de la Tierra

El uso actual expresa el uso que se le da a la tierra al momento que ésta es evaluada, para ello, se utiliza la escala propuesta por la Unión Geográfica Internacional (UGI), la cual contiene nueve (09) clases, reconociéndose en el área del proyecto las siguientes clases: 1, Áreas Urbanas y/o instalaciones gubernamentales y privadas; 6, Áreas de praderas naturales; 8, Terrenos pantanosos y/o cenagosos; y 9, Terrenos sin uso y/o improductivos. En la siguiente Tabla, se presentan las unidades de mapeo de Uso Actual.

N°	Nombre	Símbolo	Ha	%
1	Instalaciones	In	0,38	0,02
2	Pastos de porte pequeño	Pp	47,93	2,58
3	Pastos de porte pequeño y arbustos	Ppa	110,04	5,93
4	Afloramientos líticos	Al	66,73	3,60
5	Afloramientos líticos - Derrubios	Al –De	232,20	12,52
6	Nevados	Ne	286,07	15,42
7	Lagunas	Lg	44,57	2,40
8	Pastos de porte pequeño – Afloramientos	Pp-Al	960,36	51,78

N°	Nombre	Símbolo	Ha	%
	líticos			
9	Pastos de porte pequeño y arbustos – Afloramientos líticos	Ppa-Al	50,45	2,72
10	Praderas naturales – Terrenos hidromórficos	Pp-Th	56,07	3,02
Total			1 854,81	100

Tabla N°06. Uso Actual de la Tierra – Área y extensión. Fuente: Cuarta Modificación del EIA del Proyecto Hilarión, (2013).

En el área del proyecto predominan los pastos de porte pequeño – Afloramientos Líticos con 960,36 ha, lo cual representa el 51,78%, luego se tiene los nevados con 286,07 ha, representando el 15,42%

El área donde se encuentra instalado el sistema de tubos de geotextil, tiene las siguientes características:

- Según la Clasificación Natural de Suelos de los Estados Unidos de América del 2010, pertenece a las ordenes Entisols, que se encuentra constituido por suelos poco desarrollados
- Según su Capacidad de Uso Mayor, pertenece a la Consociación Tierra de Protección (X2) por afloramientos líticos y derrubios.

- Según la propuesta de la Unión Geográfica Internacional (UGI), el Uso Actual de la tierra en donde está ubicado el sistema de tubos de geotextil, comprende a la clase N°01. Instalaciones.
- La región edáfica a la que pertenece es Andosólica.
- La tonalidad general del relieve presenta colores oscuros y opacos.

### **3.2. Descripción de las actividades de Perforación en el Proyecto Hilarión**

El presente trabajo de investigación, evaluará la información presentada en la Cuarta Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto Hilarión, estudio que fue aprobado por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Ministerio de Energía y Minas con Resolución Directoral N°157-2014-MEM/DGAAM, donde Compañía Minera Milpo S.A.A., propone dentro de los componentes del proyecto, la instalación y operación del sistema de tubos de Geotextil tejido de polipropileno, para el tratamiento de los lodos generados en los sondeos realizados; de manera complementaria en la Tercera Modificación del EIASd del Proyecto Hilarión, estudio aprobado con Resolución Directoral N° 338-2012-MEM/AMM, se aprobó la instalación de un circuito de siete (07) pozas de confinamiento de lodos, ubicado en la Comunidad de Cochapata, componente donde actualmente se disponen los lodos secos encapsulados en los tubos de geotextil.

El Proyecto Hilarión, abarca un área total 251,84 ha, la cual ha sido aprobada en los EIASd presentados a la DGAAM, mediante la Resolución Directoral N° 005-2008-MEM-AAM, R.D. N° 166-2008-MEM/AAM, R.D. N° 226-2010-MEM/AAM y sus modificaciones R.D. N° 100-2011/MEM/AAM, R.D. N° 040-2012-MEM/AAM, R.D. N° 338-2012-MEM/AMM y R. D. N° 157-2014-MEM/DGAAM.

### **3.2.1. Sondajes y Plataformas**

#### **3.2.1.1. Plataforma de Perforación**

La Cuarta Modificación del EIASd, incluye la construcción de 19 plataformas de perforación, distribuidas en seis (06) zonas, con dimensiones de 12 m x 12 m, formadas por tres (03) pozas de lodos ubicadas fuera de la plataforma y recubiertas con geomembrana, cubriendo una extensión adicional de 8 m x 12 m, el área de seguridad en la plataforma de perforación consiste de una base de geomembrana (hecho de micro fibras sintéticas, polietileno de baja densidad de 6-8 micras de espesor).

Las plataformas comprenden de un área total de 0,46 ha, correspondiente al 7,8 % del total. Ver Figura N°23.- Esquema de distribución de la plataforma de perforación del Proyecto de Exploración Minera Hilarión.

**a. Componentes que conforman la Plataforma de Perforación**

- Zona de ubicación de la máquina de perforación
- Caballete de tubería
- Área para las tuberías de revestimiento y testigos, ubicada a un costado de la plataforma.
- Compresor auxiliar
- Zona de herramientas de trabajo (llaves, palas, picos, etc)
- Pozas para lodos (serán 03 pozas de lodos para manejo de lodos de la perforación)
- Zona de ubicación de tinas para la preparación de lodos (01 tina para preparación de lodos)
- Zona de almacenamiento de aditivos, aceites y grasas
- Zona de segregación para residuos sólidos
- Zona de Almacenamiento de suelo removido
- Letreros de Seguridad (5 unidades)
- Baño portátil

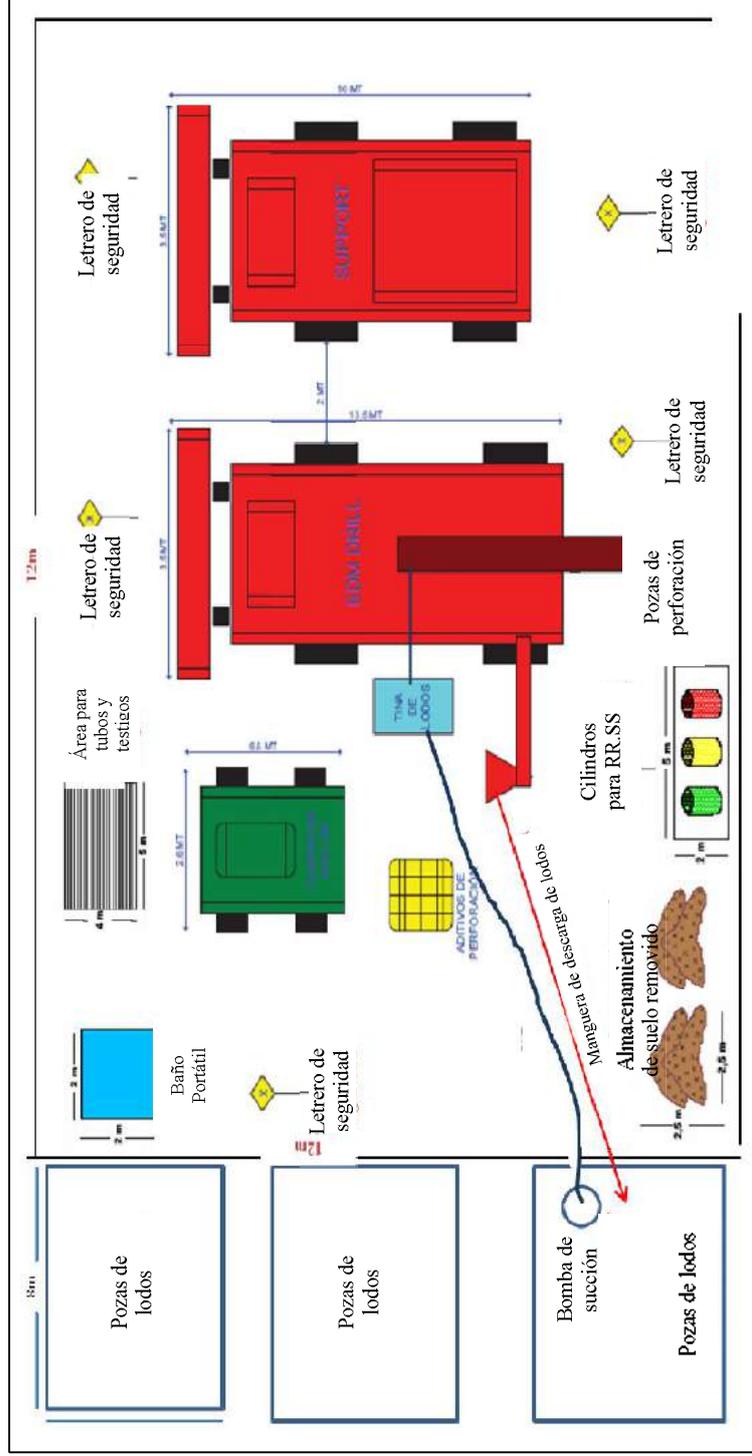


Figura N°26. Esquema de distribución de la plataforma de perforación del Proyecto de Exploración Minera Hilarión. Fuente: Compañía Minera Milpo S. A. A., (2013)

### 3.2.1.2. Programa de Exploración Superficial

El tipo de perforación es la rotación con recuperación de testigos continuo (perforación diamantina DDH), comprendiendo 180 perforaciones, empleándose entre cinco (05) y seis (06) equipos DDH. El tiempo estimado de permanencia por cada plataforma en la zona de perforación, se calcula en base a lo que deberá perforar, siendo 900 m de perforación por mes (30 m por dos turnos día).

### 3.2.1.3. Insumos y Materiales Requeridos

Los insumos y/o aditivos de perforación que se utilizarán en las operaciones de perforación en el Proyecto Hilarión, se describen en el siguiente cuadro:

N°	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Bentonita (Maxgel)	sacos	9 240
2	Borotex*	sacos	1 100
3	Liquid PAC	gl	400
4	Poly Plus RD	sacos	3 000

Tabla N°07. Insumos – Perforaciones. Fuente: Compañía Minera Milpo S.A.A., (2013).

Los insumos son transportados en camionetas hasta la zona del Proyecto y almacenados en las plataformas, cuya cantidad no excede el consumo promedio en el turno de trabajo.

N°	Plataformas de Exploración	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud	Longitud total perforada (m)	N° de puntos de perforación	N° de Pozas	Tiempo Estimado	
		Norte	Este					Días	Meses
1	P-122	8 895 744	281 657	4 325	6 000	12	3	200	6,67
2	P-123	8 895 604	281 207	4 410	7 500	15	3	250	8,33
3	P-124	8 895 763	281 175	4 350	4 500	9	3	150	5,00
4	P-125	8 895 834	279 232	4 760	2 700	9	3	90	3,00
5	P-126	8 895 872	281 850	4 200	4 500	9	3	150	5,00
6	P-127	8 895 633	279 766	4 575	4 500	9	3	150	5,00
7	P-128	8 895 563	279 890	4 600	4 500	9	3	150	5,00
8	P-129	8 895 482	279 476	4 750	2 700	9	3	90	3,00
9	P-130	8 895 441	279 517	4 750	2 700	9	3	90	3,00
10	P-131	8 895 399	279 545	4 765	2 700	9	3	90	3,00
11	P-132	8 895 340	279 620	4 760	2 700	9	3	90	3,00
12	P-133	8 894 976	280 255	4 932	2 700	9	3	90	3,00
13	P-134	8 894 943	280 478	4 930	2 700	9	3	90	3,00
14	P-135	8 894 920	280 507	4 960	2 700	9	3	90	3,00
15	P-136	8 894 601	280 519	4 895	2 700	9	3	90	3,00
16	P-137	8 894 340	280 617	4 800	2 700	9	3	90	3,00
17	P-138	8 895 612	281 435	4 425	4 500	9	3	150	5,00
18	P-139	8 894 518	280 534	4 880	2 700	9	3	90	3,00
19	P-140	8 894 428	280 561	4 860	2 700	9	3	90	3,00
Total					68 400	180	57	2 280	76,00

Tabla N°08. Longitud de Perforación total (m) por Plataforma de Exploración. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **3.3. Descripción del Tratamiento y Disposición final de los lodos generados mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido de Polipropileno**

#### **3.3.1. Generalidades**

El tratamiento y los procesos de estabilización de lodos, generan un material con alto contenido de humedad, por ello, es necesaria su deshidratación, mediante la instalación y operación de un sistema compuesto de tanques de floculación, tuberías de conducción y tubos de geotextil tejido de polipropileno, el cual tiene es inerte a la degradación biológica y resistente a ataques químicos (álcalis y ácidos), permitirá la filtración del agua, a través, de los poros del geotextil tejido y la retención de la fracción sólida del efluente, con su consecuente desecación; el material sólido confinado en el interior del tubo de geotextil, después de alcanzar el contenido de humedad aceptable, es reubicado en el Sector de Cochapata, reduciendo así el riesgo de contaminación ambiental.

#### **3.3.2. Etapa de Construcción: Sistema de Tratamiento de los Lodos Generados**

##### **a. Materiales e insumos**

- Tubos de Geotextil Tejido de Polipropileno, material producido a través del entrelazamiento de filamentos de polipropileno de alta tenacidad, en ángulos

rectos, además es inerte a la degradación biológica y resistente a los ataques químicos (álcalis y ácidos).

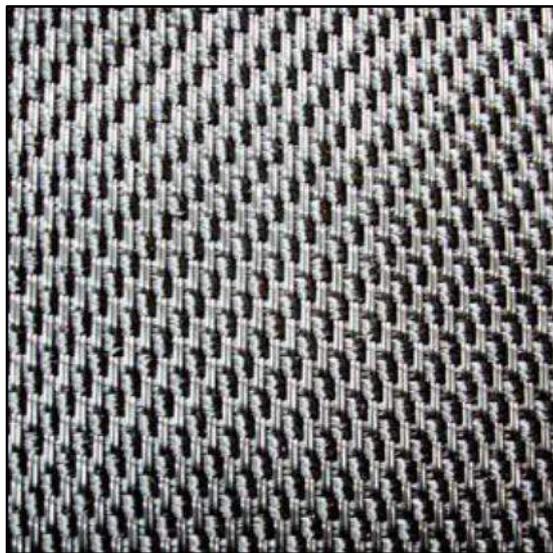


Figura N°27. Geotextil Tejido de Polipropileno. Fuente: Catalog Mac Tube Dewatering System - Maccaferri, (2012).

<b>Propiedades Mecánicas</b>			
Resistencia longitudinal a la tracción	kN/m	ASTM D 4595	75
Elongación longitudinal a la tracción	%	ASTM D 4595	20
Resistencia transversal a la tracción	kN/m	ASTM D 4595	110
Elongación transversal a la tracción	%	ASTM D 4595	20
Resistencia en la costura	kN/m	ASTM D 4884	75,1
Resistencia al punzamiento estático	kN	ASTM D 6241	9
<b>Propiedades Hidráulicas</b>			
Tasa de Flujo	l/m/m2	ASTM D 4491	900
Apertura aparente de filtración	mm	ASTM D 4751	0,35
Permisividad	s-1		0,35

<b>Propiedades Físicas</b>			
Resistencia a los rayos UV (% de resistencia retenida después de 500 horas)	%	ASTM D 4355	80
Gramaje	g/m <sup>2</sup>	ASTM D 5261	500
Polímero			Polipropileno

Tabla N°09. Características Técnicas del Tubo de Geotextil Tejido. Fuente: Maccaferri, 2010.

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

Tabla N°10. Medidas del Tubo de Geotextil a emplear en el Proyecto Hilarión. Fuente: Compañía Minera Milpo S.A.A., 2013.

- Geotextil no tejido de polipropileno de 270 gr/m<sup>2</sup>



Figura N°28. Geotextil No Tejido de Polipropileno. Fuente: Catalog Mac Tube Dewatering System - Maccaferri, (2012).

- Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad Lisa de 0,75 mm

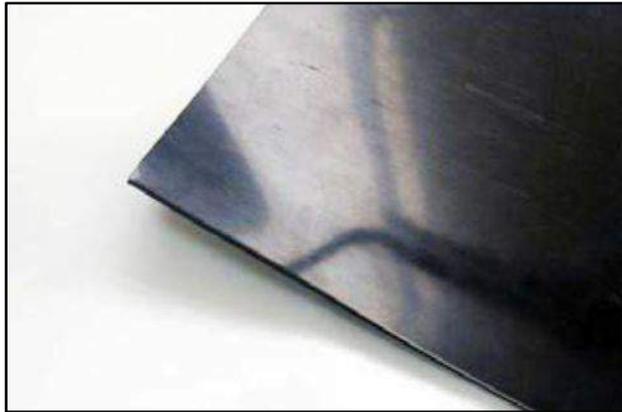


Figura N°29. Geomembrana de Polietileno. Fuente: Catalog Mac Tube Dewatering System - Maccaferri, (2012).

- Grava para Drenaje



Figura N°30. Grava de drenaje. Fuente: Proyecto de Exploración Minera Hilarión, (2015).

- Tuberías de conducción de agua y lodo



Figura N°31. Tuberías de HDPE y PVC. Fuente: Proyecto de Exploración Minera Hilarión, (2015).

**b. Materiales Complementarios para el tratamiento de lodos**

- *04 Tanques de almacenamiento de lodo generado*

Se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S Norte 8 895 524 y Este 279 538, sobre los 4 711 metros de altura. Para el almacenamiento temporal de los lodos generados en las perforaciones, se construyó cuatro (04) pozas de sedimentación de 9,2m<sup>3</sup> cada una; las cuales tienen por función recibir y almacenar los lodos provenientes de las plataformas de exploración mediante camiones cisterna o tuberías, según la ubicación de la plataforma de exploración, antes de conducirlos mediante mangueras a la zona de mezcla.



Figura N°32. Tanques para el almacenamiento de lodos de perforación. Fuente: Compañía Minera Milpo S.A.A, (2015)

- *01 Tanque IBC de 1m<sup>3</sup> (1000 l) para el almacenamiento de agua pura*

Se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S Norte 8 895 535 y Este 279 624, sobre los 4 687 metros de altura.

El tanque de agua pura posee una capacidad máxima de 1m<sup>3</sup> (1000 l), tiene por función almacenar agua producto de la deshidratación de los lodos, para luego ser utilizada en la dilución del floculante MT – 8834 en la zona de mezcla.



Figura N°33. Tanque IBC para almacenamiento de agua pura. Fuente: Proyecto de Exploración Minera Hilarión, (2015).

- *01 Tanque de mezclado y almacenamiento de floculante*

Se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S Norte 8 895 535 y Este 279 636, sobre los 4 679 metros de altura. El tanque de mezclado posee una capacidad máxima de  $3\text{m}^3$  (3000 l), tiene por función recibir el lodo proveniente de los tanques de almacenamiento, mediante tuberías de PVC, el cual será mezclado con el coagulante MT-8834 de Poliamidas catiónicas, previamente diluido en agua, con un valor de 4gl de coagulante por 51gl de agua. En la Figura N°34, se observa un cilindro (55 l) de color azul, el cual contiene el coagulante MT- 8834 puro, tres (03) cilindros de color rojo contienen el coagulante diluido en agua, un tanque de color

amarillo de 3m<sup>3</sup>, el cual se encuentra soterrado, asimismo, se puede observar las tuberías conectadas a una llave general.



Figura N°34. Zona de Preparación del Floculante. Fuente: Proyecto de Exploración Minera Hilarión, (2015).

- Mangueras flexibles de 3” de diámetro
- Tuberías de 4” de PVC
- Conexiones
- Coagulante MT-8834, almacenado en un (01) cilindro (55 gl.)

### c. Actividades Preliminares

#### *Ensayos de Laboratorio*

- Primeramente, Compañía Minera Milpo S.A.A., recolecto una muestra del lodo de perforación generado.
- Posteriormente se realizó una prueba de jarras en los laboratorios de Mercantil S.A., para la elección del Coagulante y su dosis, el cual es el MT-8834 en porcentajes de 12 a 15%.



Figura N°35. Determinación de la dosis del Coagulante. Fuente: Mercantil S.A., (2013).

### **3.3.2.1. Instalación del Sistema de Tubos de Geotextil**

Preliminarmente se realizó la preparación de una plataforma de 16 m de largo por 10m de ancho, con una inclinación de 1% lo cual durante el llenado les dará una buena estabilidad; alrededor de la plataforma, se construyó cunetas (zanjas) de derivación de agua, para la colectar el agua resultante de la deshidratación. El tubo tiene un puerto de llenado que se ubica en la parte superior del mismo, que es una

manga construida con el mismo geotextil, el cual tiene un diámetro de 30cm y 1 m de largo. En las siguientes figuras se observa las fases de instalación:



Figura N°36. Instalación del Geotextil No Tejido de 270 gr/m<sup>2</sup>. Fuente: Informe Maccaferri Proyecto de Exploración Hilarión, (2013).



Figura N°37. Instalación de la Geomembrana de Polietileno de 0,75 mm. Fuente: Informe Maccaferri Proyecto de Exploración Hilarión, (2013).



Figura N°38. Instalación de la Grava para el Drenaje. Fuente: Informe Maccaferri Proyecto de Exploración Hilarión, (2013).



Figura N°39. Instalación de la red de tuberías. Fuente: Informe Maccaferri Proyecto de Exploración Hilarión, (2013).



Figura N°40. Instalación de los Tubos de Geotextil Tejido. Fuente: Informe Maccaferri Proyecto de Exploración Hilarión, (2013).

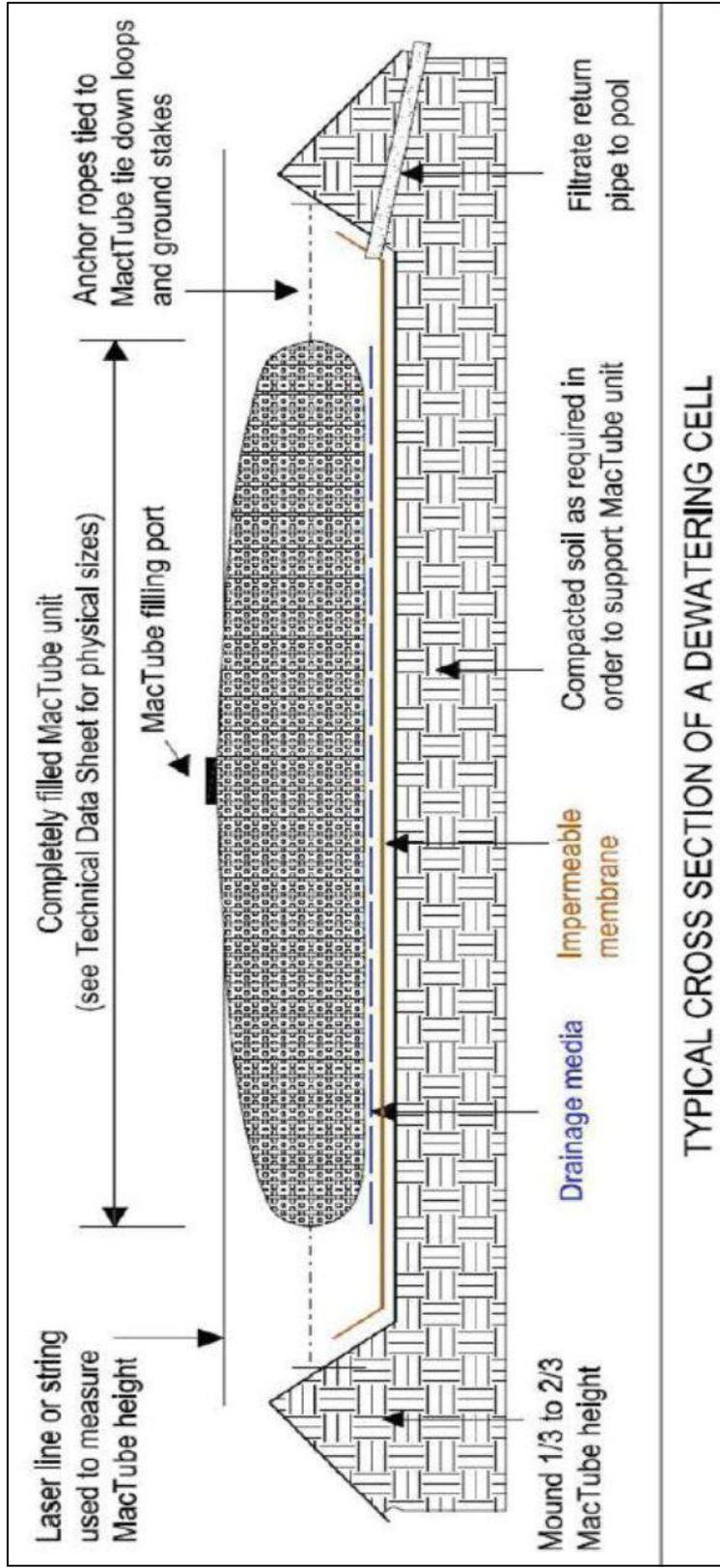


Figura N°41. Sección transversal de una célula de deshidratación. Fuente: Maccaferri, Installation Guide of Dewatering System, (2012).

### 3.3.3. Etapa de Operación: Sistema de Tratamiento de los Lodos Generados

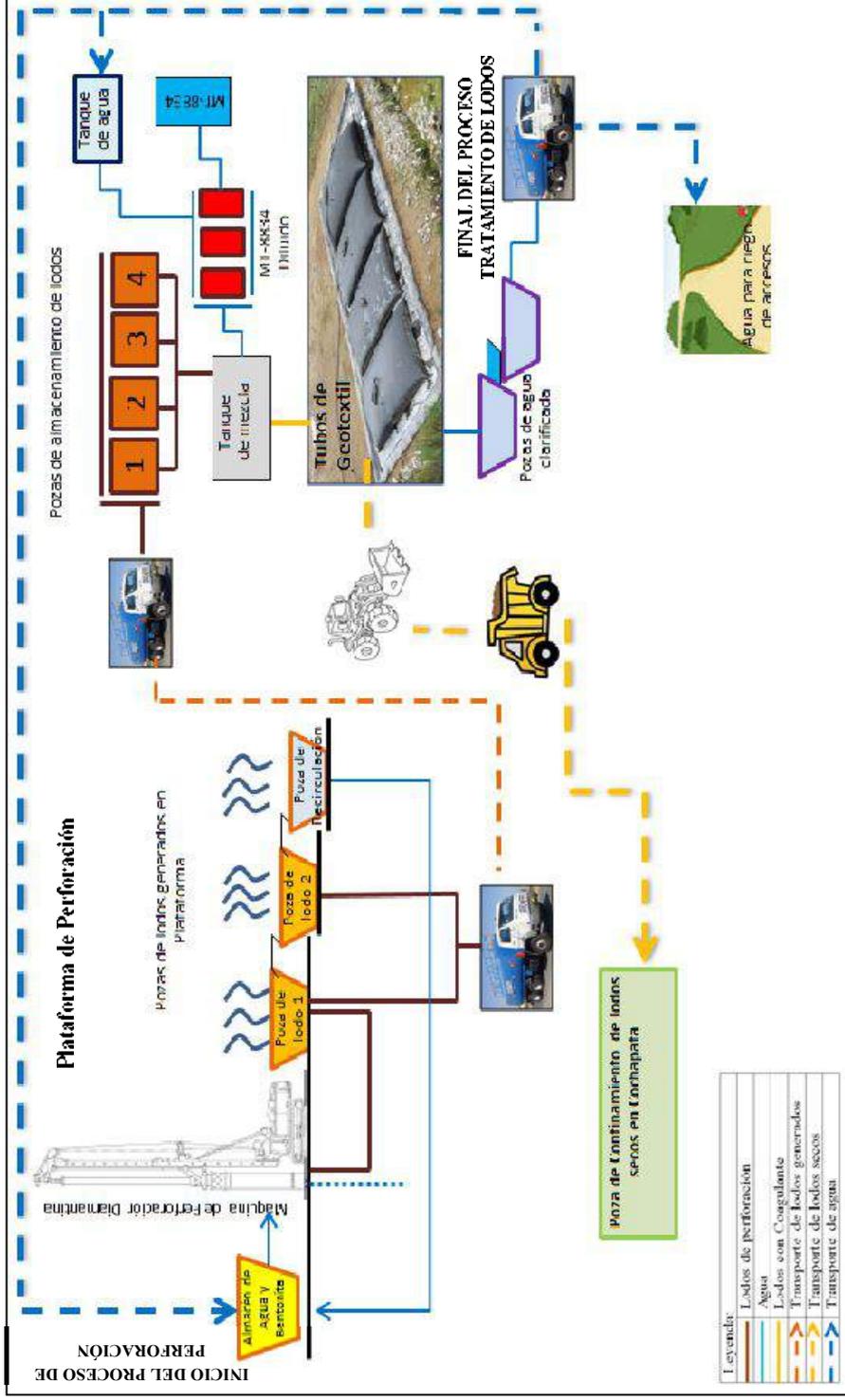


Figura N°42. Esquema del Tratamiento de lodos de perforación en el Proyecto Hilarion. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **3.3.3.1. Generación y almacenamiento de lodos en Plataforma**

En la plataforma de perforación se dispone de 03 pozas de almacenamiento, las 02 primeras son para almacenar los lodos que se generan por los sondajes realizados y que son conducidos por tuberías para su almacenamiento y sedimentación; la tercera poza se utiliza para almacenar el agua que llega por rebose (gravedad), producto del llenado de las 02 pozas anteriores, el agua que se almacena en la tercera poza, es recirculada al proceso de perforación in situ, es decir, por tubería se conduce el agua de la tercera poza a la poza de preparación de agua y bentonita para volver a ser utilizada<sup>15</sup>.

### **3.3.3.2. Transporte y almacenamiento de lodos**

Los lodos generados en plataforma son almacenados en 02 pozas, las cuales sedimentan los lodos, cuando los lodos van hacer retirados, son dispuestos en un camión cisterna de 15m<sup>3</sup> (15 000 l) para su transporte y tratamiento. El camión cisterna descarga los lodos en las 04 pozas de almacenamiento de manera alterna, para ello se requiere entre 02 o 03 operarios, los cuales moverán con palas el lodo almacenado, para evitar que los sólidos sedimenten, asimismo, se colocaron salchichas absorbentes de grasas y aceites para que no afecte la eficiencia del tratamiento.

---

<sup>15</sup> Visita de Campo al Proyecto de Exploración Minera Hilarión, (2015).



Figura N°43. Transporte de los lodos a las pozas de almacenamiento. Fuente: Proyecto de Exploración Hilarión, (2015).



Figura N°44. Tanques de almacenamiento de lodos en movimiento. Fuente: Proyecto de Exploración Hilarión, (2015).

### **3.3.3.3. Zona de mezcla**

Es muy importante que se use flocculante en el tratamiento de los lodos de perforación, ya que si no se adiciona estos químicos poliméricos, se obtendrá como resultado bajas tasas de filtración, lo que conlleva a que aumente la presión dentro del tubo, causando accidentes por desplazamiento, roturas del geotextil o costuras, asimismo, el flocculante ayudara a reducir el tiempo de desagüe y contribuirá a la separación entre el agua y los sólidos, minimizando el escape de la fracción más fina de los sedimentos, por ende mejorará la eficiencia del tratamiento. Preliminarmente, se realizó una prueba de jarras para determinar el valor más eficiente de volumen del flocculante MT-8834 a usarse, estos valores permitirán la eficiencia del polímero en función al dosaje.

Primeramente, se diluyo el flocculante MT-8834 con agua, en cantidades de 51gl de agua por 4gl de flocculante, cantidad que puede variar según la densidad del lodo. Para lograr ello, se tiene un tanque de 1m<sup>3</sup> (1000 litros) de agua pura, obtenida como producto de la deshidratación de los lodos en los tubos de geotextil; asimismo, se dispone de un cilindro azul de 55gl con flocculante MT-8834 puro, ambos elementos se mezclan para obtener la solución deseada, la misma que se almacena en cilindros de 55gl de color rojo.

Coagulante	Descripción	Dosis Diluida		% de Coagulante
		Coagulante (gl)	Agua (gl)	
MT - 8834	Mezcla de Poliamidas Catiónicas	4gl	51 gl	12 a 15

Tabla N°11. Dosis del Coagulante. Fuente: Informe Maccaferri Proyecto de Exploración Hilarión, 2013.

Los lodos almacenados en las 04 pozas, fueron conducidos por tuberías hacia el tanque de mezcla de 3m<sup>3</sup> (3 000 l), allí fueron dispuestos para que en forma paralela se agregue el floculante MT-8834 diluido en agua, en una proporción de 60% lodo y 40% floculante diluido; para la eficiencia del proceso es necesario que un operario este constantemente moviendo la solución por un periodo de residencia de 3 a 5 minutos, hasta que se formen los flóculos y se precipiten al fondo, caso contrario, se deberá dejar un tiempo de residencia mayor entre 30 minutos a 60 minutos, ello, dependerá de la densidad de los lodos, a mas densidad de los lodos mayor será el tiempo de residencia de los lodos en la solución.



Figura N°45. Oil Absorbent Booms en el tanque de mezcla. Fuente: Proyecto de Exploración Hilarión, (2015).

#### **3.3.3.4. Tratamiento con tubos de geotextil tejido de polipropileno**

Los lodos con floculante provenientes de la zona de mezcla tienen un caudal de 1,25 l/s durante 8 horas al día con un volumen de 36 m<sup>3</sup> (36000 litros) aproximadamente, los cuales son conducidos mediante tuberías y por acción de la gravedad llenan los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el cual retiene 0,9m<sup>3</sup> /día de sólidos, dejando salir el agua a través de los poros del tejido, el efluente que drena de los tubos es de 0,4 l/s, se colecta en las cunetas que se encuentran alrededor de los tubos y mediante una red de tuberías se descarga el agua clarificada a una poza de almacenamiento, que por rebose (gravedad), llena otra poza que se encuentra debajo de la primera poza de agua clarificada.

Asimismo, el ingeniero responsable del tratamiento, realiza el control de la altura de llenado del tubo para evitar presiones excesivas, lo cual puede producir la rotura del geotextil o de las costuras, teniendo como regla de seguridad que la altura de llenado no exceda el 40% del diámetro del tubo, otra regla es que la relación altura – ancho sea menor que 0,5.

#### **3.3.3.5. Almacenamiento del agua clarificada después del tratamiento**

El agua colectada en las cunetas de derivación, es descargada mediante tuberías a la primera poza de almacenamiento de agua clarificada, con un caudal de 0,4 l/s, el cual representa un volumen de 34, 560 m<sup>3</sup>, asimismo, por rebose (gravedad) de la primera poza, se llena otra poza, la misma que se encuentra debajo de la primera, con la finalidad de tener agua de mejor calidad y libre de sólidos.

#### **3.3.4. Disposición del recurso hídrico recuperado**

Producto del tratamiento de los lodos de perforación en los tubos de geotextil, obtenemos 02 productos finales, una de ellos, es el agua libre de sólidos, agua que será dispuesta en camiones cisterna de 15m<sup>3</sup>, para su reutilización o regado de vías.

El recurso hídrico recolectado tiene un volumen de 40,2624m<sup>3</sup> con un caudal de 0,466 l/s, el cual será utilizado para regado de vías, reutilización en el proceso de

perforación y para el llenado del tanque de agua pura ( $1\text{m}^3$ ) que será utilizado para la dilución del floculante.

Para el regado de vías y para el llenado del tanque de agua pura, se dispone de un volumen de  $32,2272\text{ m}^3$  de agua con un caudal de  $0,373\text{ l/s}$ , el cual es transportado en camiones cisterna de  $15\text{m}^3$ , realizando un promedio de 03 a 04 viajes diarios.

Para la reutilización del agua en el proceso, se dispone de  $8,03521\text{ m}^3$  ( $8035,21$  litros), la misma que el cual es transportada en camiones cisterna de  $15\text{m}^3$ , realizando un promedio de 03 a 04 viajes diarios.

### **3.3.5. Disposición final de los sólidos en Cochapata**

El lugar autorizado para la disposición final de los sólidos encapsulados (lodos secos) en los tubos de geotextil tejido de polipropileno, es Cochapata, realizándose previamente un convenio con la comunidad y aprobándose en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto Hilarión mediante Resolución Directoral N° 338-2012-MEM-AAM.

La poza presenta una forma interna igual a una pirámide trunca invertida, con una capacidad de almacenamiento de  $565\text{ m}^3$ , el área en la parte superior de la poza es de  $312,50\text{ m}^2$ , compuesto por un rectángulo cuya longitud es de  $25\text{ m}$ , ancho  $12,50\text{ m}$ , el

área en la parte inferior es de 150,00 m<sup>2</sup>, compuesto por un rectángulo cuya longitud es de 20 m, ancho 7,50 m, la poza tiene una profundidad de 2,50 m.

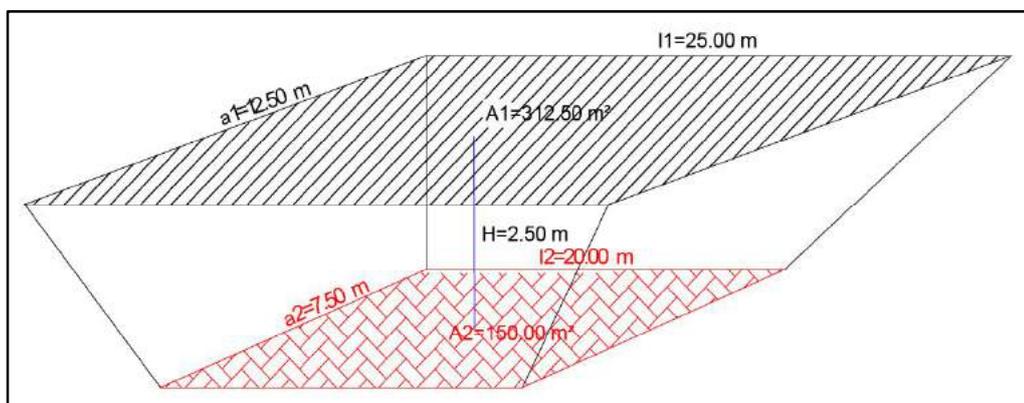


Figura N°43. Dimensiones de la Poza de Confinamiento en Cochapata. Fuente: Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto de Exploración Minera Hilarión, (2012).

Para la estimación del volumen de las pozas de Cochapata, se empleó la siguiente fórmula:

$$V_{\text{poza}} = (A1 + A2 + \sqrt{A1 \times A2}) \times \left(\frac{H}{3}\right) =$$

$$\left(312,50 + 150 + \sqrt{312,50 \times 150}\right) \times \left(\frac{2,50}{3}\right) = 565,84\text{m}^3$$

La construcción de la poza se ha ejecutado en corte, el área inferior se emplazó al 100% sobre terreno natural y no en relleno, la excavación se perfilo, se compacto la base y paredes de la poza, luego se procedió al revestimiento con malla arpillera y

geomembrana PVC de 1,50 mm, los excedentes provenientes de las excavaciones se conformaron en el depósito autorizado por la comunidad, los lodos encapsulados, serán enterrados en la poza, posteriormente ésta será cerrada con geomembrana, para luego proceder a su revegetación.

La distancia donde se ubica Cochapata es de 7,36km del área donde está instalado el sistema de tratamiento de lodos, la frecuencia de traslado es anual para un volumen de  $216\text{m}^3$ , un año ayudará a estar completamente seco el lodo, su traslado es mediante un camión volquete de  $15\text{m}^3$  haciendo un total de 16 viajes por año, el lodo es cargado en una retroexcavadora, el cual llegará a Cochapata y por volteo dispondrá los lodos secos encapsulados en la poza ya construida para este fin.



Figura N°47. Vista de la vía de acceso y poza de lodos secos en Cochapata. Fuente: Proyecto de Exploración Hilarión, (2015).



Figura N°48. Poza de lodos secos en Cochapata - Revegetado. Fuente: Proyecto de Exploración Hilarión, (2015).

### 3.4. Determinar el balance hídrico del Proyecto Hilarión

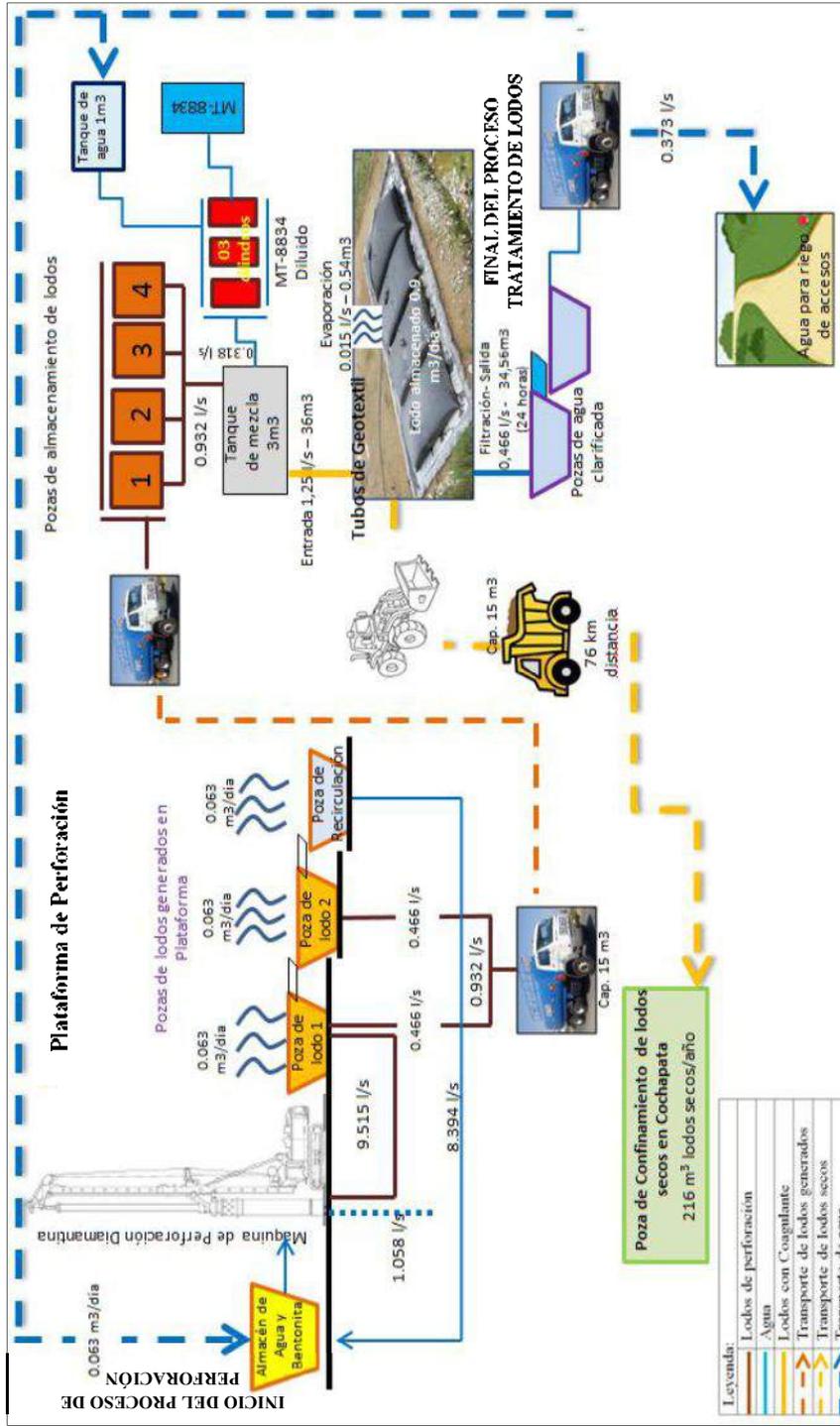


Figura N°49. Balance Integral del Manejo del Recurso Hídrico en el Proyecto Hilarión. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **3.5. Evaluación de la reutilización del agua resultante en el riego de accesos**

En la Cuarta Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto Hilarión, se señala que el agua obtenida después del tratamiento de lodos en los tubos de geotextil, será conducida a una poza desde donde se hará el control de los sólidos y de cumplir con la normatividad ambiental, serán reusados en el riego de vías.

Para verificar si el agua resultante del proceso de tratamiento de lodos de perforación es apto para el riego de accesos, se recopiló y evaluó información que sustenta ambientalmente su aprovechamiento, primeramente, si el riego generará aguas ácidas en las zonas a regar, por ello, se evaluó los estudios presentados respecto al Potencial de Generación de Aguas Ácidas y su análisis mineralógico.

Se evaluó si los valores de los parámetros que se analizaron cumplen con los rangos establecidos en los Límites Máximos Permisibles para efluentes Minero Metalúrgicos del D.S. N°010-2010-MINAM, ya que si cumple con ello, las efluentes (aguas resultantes) del proceso de tratamiento de lodos, podrán ser descargados al cuerpo receptor, en este caso para el riego, el cuerpo receptor será el suelo.

Asimismo, se evaluará si los valores de los parámetros se encuentran dentro del rango de los Límites Máximos Permisibles para efluentes Minero Metalúrgicos, establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM.

### **3.6. Metodología para la toma de muestras y análisis de los parámetros físicos – químicos**

#### **3.6.1. Fase de Estudio y Reconocimiento**

Se realizó una visita preliminar al Proyecto de Exploración Minera Hilarión, para observar In Situ el funcionamiento de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, las plataformas de perforación, pozas de almacenamiento de lodos y otros componentes complementarios, ello para conocer el lugar en donde se desarrollara la toma de muestra, para definir los parámetros que serán medidos, el número de puntos de muestreo, la frecuencia de muestreo, todo ello con la finalidad de elaborar un plan de trabajo efectivo para el desarrollo del muestreo.

Asimismo, se coordinó con la Compañía Minera Milpo S.A.A., la fecha de muestreo, la misma que debía de coincidir con el muestreo que realiza trimestralmente Inspectorate Services Perú S.A.A., 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, así como los Límites Máximos Permisibles (LMP) de sus efluentes de exploración.

### **3.6.2. Metodología de estudio: Fase de Campo**

#### **3.6.2.1. Selección de los parámetros a medir**

Para la selección de los parámetros físicos y químicos que fueron utilizados en la presente investigación, se consideró los posibles elementos, compuestos y sustancias que pudieran estar presentes en el lodo generado y agua resultante (efluente); seleccionando bajo esta premisa los parámetros más relevantes que podrían causar el deterioro del cuerpo receptor (suelo), cuando se termine el tratamiento y se reutilice el agua.

Como estamos tratando con lodos de perforación y agua resultante de un proceso de tratamiento, son considerados como efluentes mineros y para su evaluación de calidad, se compararon con algunos de los parámetros dispuestos en el Reglamento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes Minero Metalúrgicos establecido en el D.S. N° 010-2010- MINAM, con los siguientes parámetros regulados para este sector: pH, SST, MEH, CN total, As, Cd, Cr+6, Cu, Fe, Pb, Hg y Zn., asimismo, según el artículo N°3.10., del mencionado Decreto, establece que también deben ser considerados los siguientes parámetros: Flujo, Conductividad Eléctrica, Temperatura y Turbidez. De todos los parámetros físicos y químicos mencionados, para la presente investigación se seleccionó: SST y Turbidez.

De los parámetros seleccionados, no hay valores comparativos para la Conductividad Eléctrica y Turbidez presentes en el lodo y agua resultante, por ello se optó, por compararlos con los Estándares de Calidad Ambiental Agua establecidos en el D.S. N° 002-2008-MINAM, valores más exigentes que los LMP; en la tabla N°10 se detalla los valores que se emplearon para la respectiva comparación de CE y Turbidez.

Parámetros		Turbidez	CE	OD
ECA Agua	ECA Cat. 3 Riego de vegetales	-	*<2000 $\mu$ S/cm	>=4
	ECA Cat. A1	5 NTU**	-	

Tabla N°12.- Parámetros físicos y químicos según el D.S. N°002-2008-MINAM Fuente: Ministerio del Ambiente, (2008, 2010).

### 3.6.3. Selección de los puntos de Muestreo

Para la toma de muestras de los siguientes parámetros físicos y químicos establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, se seleccionó 03 puntos de muestreo, los cuales se detallan en la tabla N°11.

N°	Estación de Muestreo	Tipo de Muestra	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84	
				Norte	Este
01	PAL 1	Lodo	Poza de almacenamiento de lodos, antes de su tratamiento.	8 895 535	279 623
02	PS1	Agua 1	Poza de sedimentación, después del sistema de tubos de geotextil.	8 895 505	279 720
03	PCL1	Agua 2	Poza de clarificación, después del tratamiento.	8 895 513	279 708

Tabla N°13.- Ubicación de los puntos de muestreo. Fuente.- Elaboración propia, (2015).

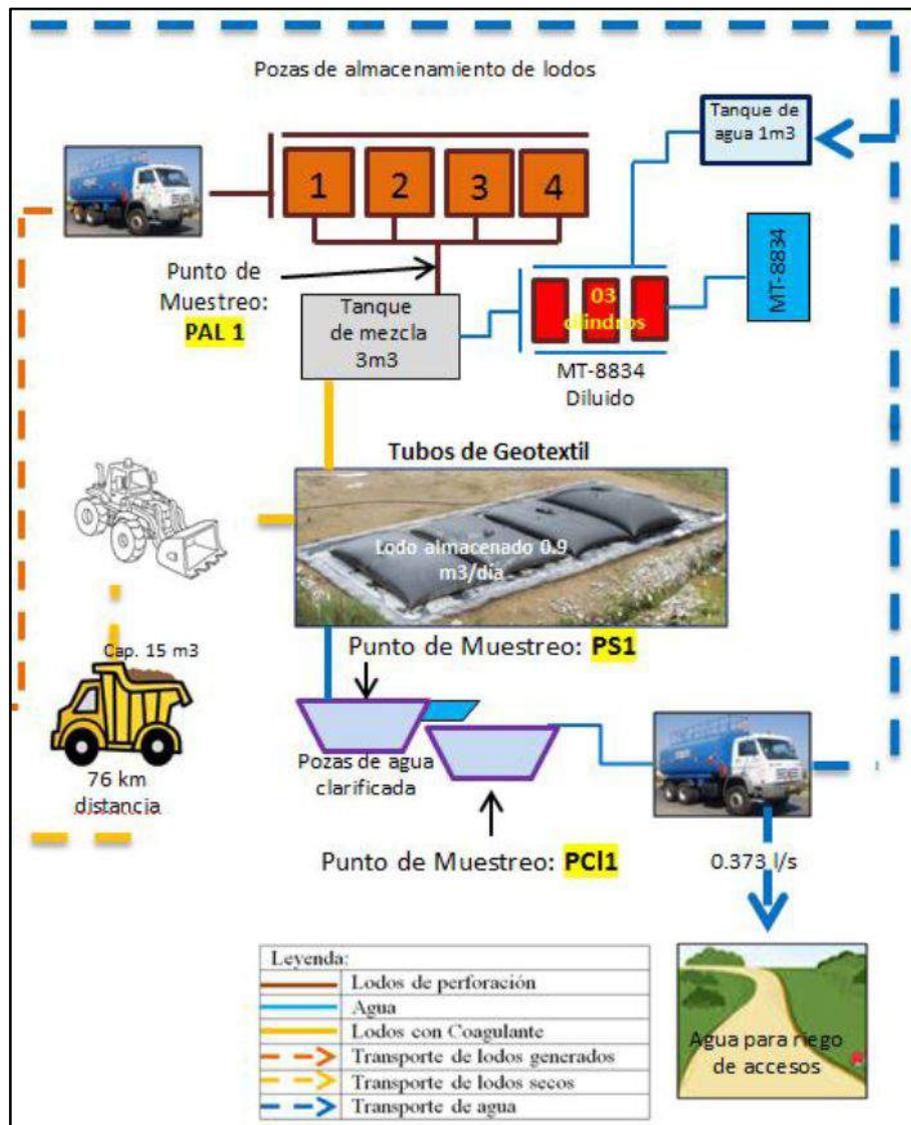


Figura N°50. Ubicación de los puntos de muestreo en el tratamiento de lodos. Fuente: Elaboración Propia, (2015).



Figura N°51. Ubicación satelital de los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

#### **3.6.4. Observaciones de campo**

Las observaciones de campo son parte integral del programa de monitoreo, la información documentada en el cuaderno de campo son muy relevantes para la interpretación de los datos. Se registró la siguiente información durante el muestreo:

- Nombre de la estación
- Ubicación de la muestra en Coordenadas UTM WGS 84
- Nombre del muestreador
- Hora/Fecha
- Descripción de la estación
- Datos climáticos (estado del tiempo y temperatura)
- Flujo
- Mediciones de parámetros de campo

#### **3.6.5. Muestra del lodo sin tratamiento y lodo con tratamiento (agua resultante)**

Para la toma de muestras de los lodos generados y agua resultante se siguió el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero Metalúrgicas elaborado por el Proyecto PERCAN (2011), en coordinación con el MINAM y MINEM, este documento proporciona directrices sobre la aplicación de los protocolos de monitoreo de calidad de agua aplicables a la industria minera en el Perú para la evaluación de la calidad de los efluentes y cuerpos de agua receptores superficiales, según el artículo 3.11 de la D.S. 010-2010-MINAM,

sólo las muestras que son colectadas en conformidad con el siguiente protocolo de monitoreo de calidad de agua serán consideradas como válidas (PERCAN, 2011).

**a. Recolección de los lodos generados antes del tratamiento**

Se recolecto las muestras en la poza de almacenamiento de lodos, antes de su tratamiento, la misma que se ubica en las coordenadas UTM WGS 84, Norte 8 895 535 y Este 279 623.

**b. Recolección del agua resultante después del tratamiento punto PS1 y PCL1**

Se recolecto una (01) muestra de agua en la poza de sedimentación (PS1), poza que recolecta el agua resultante después del tratamiento, la misma que se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Norte 8 895 505 y Este 279 720.

Asimismo, se tomó una (01) muestra de agua resultante en la poza de clarificación (PCL1) la misma que es llenada por rebose de la poza de sedimentación, se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Norte 8 895 513 y Este 279 708.

- La colecta se realizó entre las 08 horas a 12 horas del día.
- La muestra se realizó 02 veces, en los meses de mayo y agosto del 2015.

### **c. Metodología para la toma de muestras físicas y químicas**

#### **• Preparación**

- Se realizó la limpieza y calibración de los equipos a utilizar por parte del laboratorio y la investigadora, así como de los preservantes y reactivos, se verificó que las soluciones buffer estén frescos y completos.
- Previamente se enjuago tres (03) veces con agua destilada el equipo de muestreo - filtración y, equipo de análisis. Asimismo, se evitó tocar con las manos el interior de los recipientes, tapas y equipo de filtración.

#### **• Toma de muestras**

- El equipo de muestreo del laboratorio y la investigadora nos aseguramos que la muestra pueda colectarse de forma segura.
- El envase se enjuago 03 veces con la muestra antes de tomar la medición de los parámetros, menos para sólidos suspendidos, grasas y aceites.
- Se empezó recolectando en la estación de muestreo que este a menor altitud, posteriormente se continuó hacia arriba.
- Para recolectar la muestra se insertó un recipiente corriente abajo de la descarga de la poza de lodos con la abertura del recipiente aguas arriba. En todo momento se tomó precauciones de seguridad.

- *pH (unidades estándar), CE (s/l) y STS (mg/l) - D.S. N°010-2010-MINAM*

El equipo utilizado fue un Multiparámetro WTF Multi 350i, debidamente calibrado en el Laboratorio de Temperatura y Humedad de METROIL S.A.C. Se lavó el electrodo con agua destilada, posteriormente se colocó el electrodo del Multiparámetro dentro de la poza PAL1, PS1 y PCL1.

Cuando los parámetros (pH, CE, STS) estuvieron totalmente estables en el Multiparámetro, se registraron los datos en el cuaderno de campo. La muestra de medición de campo fue descartada, ya que se tomó los datos en el cuaderno de campo

- *Turbidez (NTU)- D.S. N°002-2008-MINAM*

El instrumento utilizado fue un Turbidímetro Hach 2100Q, debidamente calibrado en el Laboratorio de Aguas de Green Group Perú. Mediante 01 frasco de vidrio, se tomó la muestra de los lodos generados y agua resultante, posteriormente el frasco fue insertado en el Turbidímetro para medir la turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). La muestra de medición de campo fue descartada, ya que se tomó los datos en el cuaderno de campo

- Se rotulo las muestras y se registró los números de estas y los requerimientos analíticos en el cuaderno de campo, los datos registrados serán: nombre de la unidad minera, fecha de muestreo, estación de muestreo, número de muestra, preservación y código de análisis.
- El laboratorio almaceno las muestras en un cooler a una temperatura entre  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$ , ser recomienda a  $4^{\circ}\text{C}$ , para ello se utilizó hielo en una bolsa separada para evitar que las etiquetas se desprendan.
- Se limpió todo el equipo de muestreo antes de su colección.
- Se completó las cadenas de custodia una vez que todas las estaciones hayan sido muestreadas
- Se tomó una fotografía del punto de muestreo.
- Se registró a detalle todas las observaciones que puedan ocurrir.

- **Validación de los datos**

Los datos recibidos del laboratorio analítico deben ser validados por un especialista en calidad de agua para asegurar que el laboratorio haya cumplido los requerimientos específicos del proyecto y haya usado métodos analíticos aprobados.

## CAPITULO IV:

### RESULTADO

#### 4.1. Calidad de los Parámetros físicos – químicos según el D.S. N°010-2010-MINAM

Después de haber tomado las muestras en los 03 puntos de muestreo (PAL1, PS1 y PCL1) cada una en 02 repeticiones, dan 06 lecturas. En la siguiente Tabla, se registran los promedios obtenidos así como también los máximos y mínimos valores registrados.

##### 4.1.1. Análisis Estadístico de los Parámetros establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM.

##### 4.1.1.1. Análisis estadístico de Solidos Totales Suspendidos Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (50 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	6219.000000	83.4386002	6160.0000	6278.0000		x
PS1	2	3.950000	1.2020815	3.1000	4.8000	x	
PCL1	2	2.800000	0.2828427	2.6000	3.0000	x	
Total	6	2075.250000	3209.9519320	2.6000	6278.0000		

Tabla N°12. STS disuelto Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

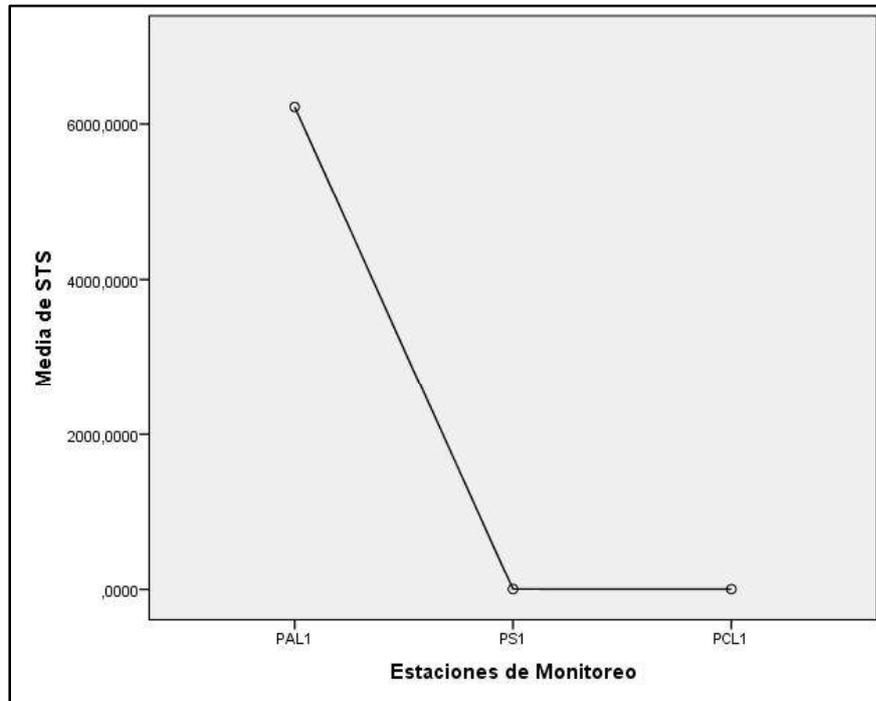


Gráfico N°07. Gráfico de medias de STS. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 12 y su gráfico de medias, se visualiza que los STS promedio para el PAL1 es de 6219 mg/l, con una dispersión de 83.43, un valor mínimo de 6160 mg/l y un valor máximo de 6278 mg/l. Para el PS1 el STS promedio fue de 3.95 mg/l, con una dispersión de 1.20, un valor mínimo de 3.10 mg/l y máximo de 4.80 mg/l. En el PCL1 se observa que el STS promedio fue de 2.80 mg/l, con una dispersión de 0.28, con valor mínimo de 2.60 mg/l y un valor máximo de 3 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (50 mg/l) establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM para STS en los puntos PS1 (3.1 – 4.8) y PCL1 (2.6 – 3.0), mas no se cumple en el punto PAL1 (6160 – 6278), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir, los STS son elevados si los lodos no reciben tratamiento con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal, ello es porque los valores de los STS disminuyen en más del 90% si son tratados.

#### 4.1.1.2. Análisis estadístico de Turbidez Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	ECA A1 (5 NTU)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	3994.500000	48.7903679	3960.0000	4029.0000		x
PS1	2	4.100000	0.5656854	3.7000	4.5000	x	
PCL1	2	1.950000	0.2121320	1.8000	2.1000	x	
Total	6	1333.516667	2061.304557	1.8000	4029.0000		

Tabla N°13. Turbidez Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

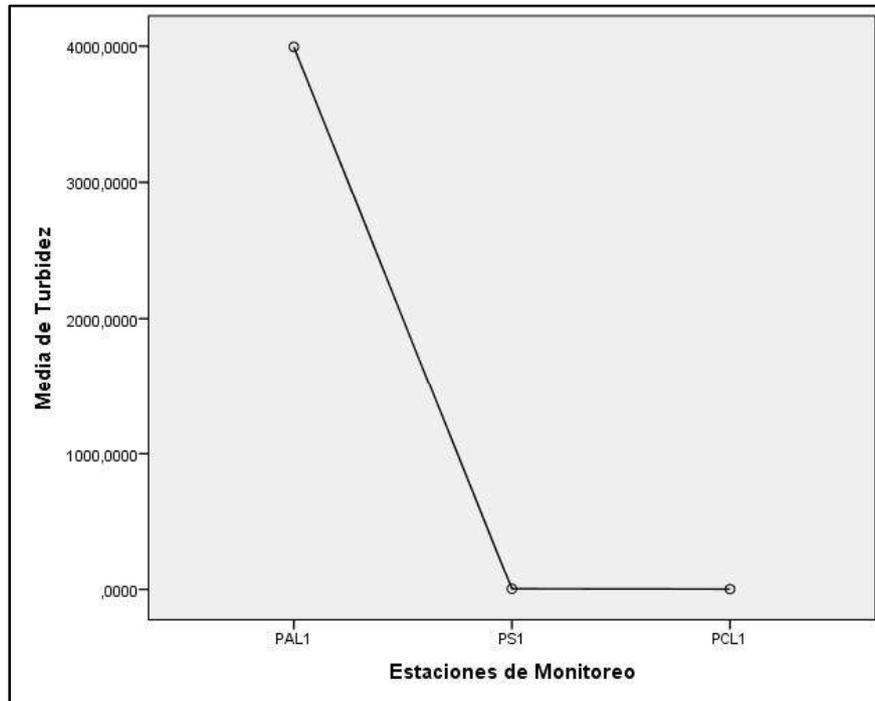


Gráfico N°08. Gráfico de medias de Turbidez. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 13 y su grafico de medias, muestra que la Turbidez promedio para el PAL1 es de 3994.5 NTU, con una dispersión de 48.79, un valor mínimo de 3960 NTU y un valor máximo de 4029 NTU. Para el PS1 la Turbidez promedio fue de 4.1 NTU, con una dispersión de 0.5656, un valor mínimo de 3.7 NTU y máximo de 4.5 NTU. En el PCL1 se observa que la Turbidez total promedio fue de 1.95 NTU, con una dispersión de 0.2121, con valor mínimo de 1.8 NTU y un valor máximo de 2.10 NTU.

Asimismo, se cumple con los valores (5 NTU) establecidos en el D.S. N°002-2008-MINAM, ECA Agua Cat. 1A , para la Turbidez en los puntos PS1 (3.7 – 4.5) y PCL1 (1.8 – 2.1), mas no se cumple en el punto PAL1 (3960 – 4029), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma; es decir, los valores para Turbidez son muy elevados si los lodos no reciben tratamiento con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en los puntos PS1 y PCL1, ello porque los valores de la Turbidez disminuyen en más del 96% con el tratamiento.

#### 4.1.1.3. Análisis estadístico del pH Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (6 -9)	
						Dentro	Fuera
PAL 1	2	8.550000	0.0707107	8.5000	8.6000	x	
PS1	2	8.250000	0.0707107	8.2000	8.3000	x	
PCL1	2	8.150000	0.0707107	8.1000	8.2000	x	
Total	6	8.316667	0.1940790	8.1000	8.6000		

Tabla N°14. pH Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

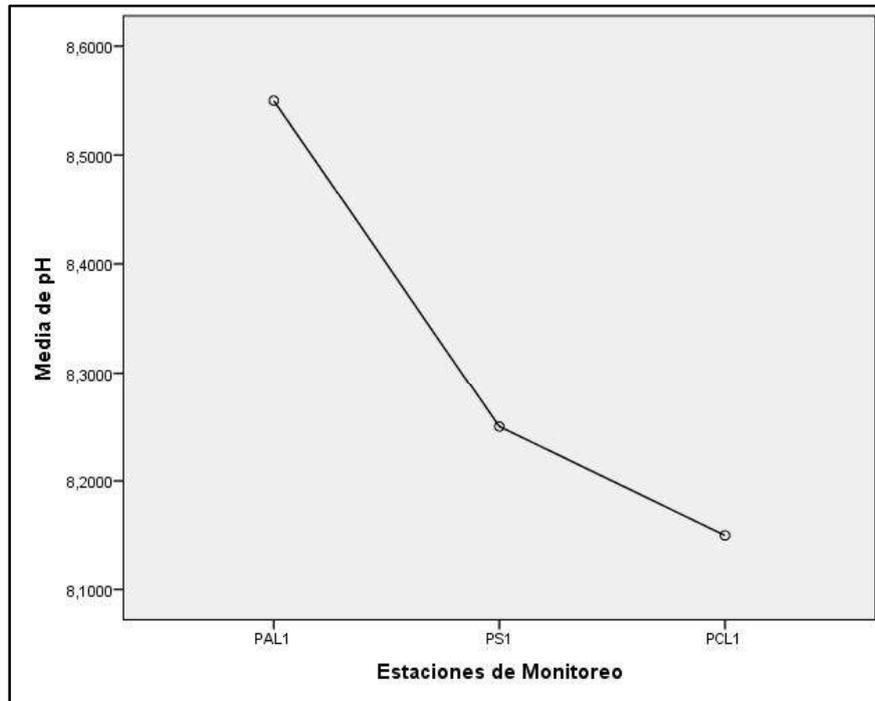


Gráfico N°09. Gráfico de medias del pH. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 14 y el grafico de medias, se observa que el pH promedio para el PAL1 es de 8.55, con una dispersión de 0.07, un valor mínimo de 8.50 y un valor máximo de 8.6. Para el PS1 el pH promedio fue de 8.25, con una dispersión de 0.07, un valor mínimo de 8.20 y máximo de 8.30. En el PCL1 se observa que el pH promedio fue de 8.15, con una dispersión de 0.07, con valor mínimo de 8.10 y un valor máximo de 8.20. En los 03 puntos de muestreo, los valores para pH según el D.S. N°010-2010-MINAM, no están por debajo de 6 y no están por encima de 9 pH.

#### 4.1.1.4. Análisis estadístico de la Temperatura Promedio

Muestras	Nº	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
PAL 1	2	13.550000	0.2121320	13.4000	13.7000
PS1	2	13.900000	0.2828427	13.7000	14.1000
PCL1	2	14.950000	1.2020815	14.1000	15.8000
Total	6	14.133333	0.8594572	13.4000	15.8000

Tabla N°15. Temperatura Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

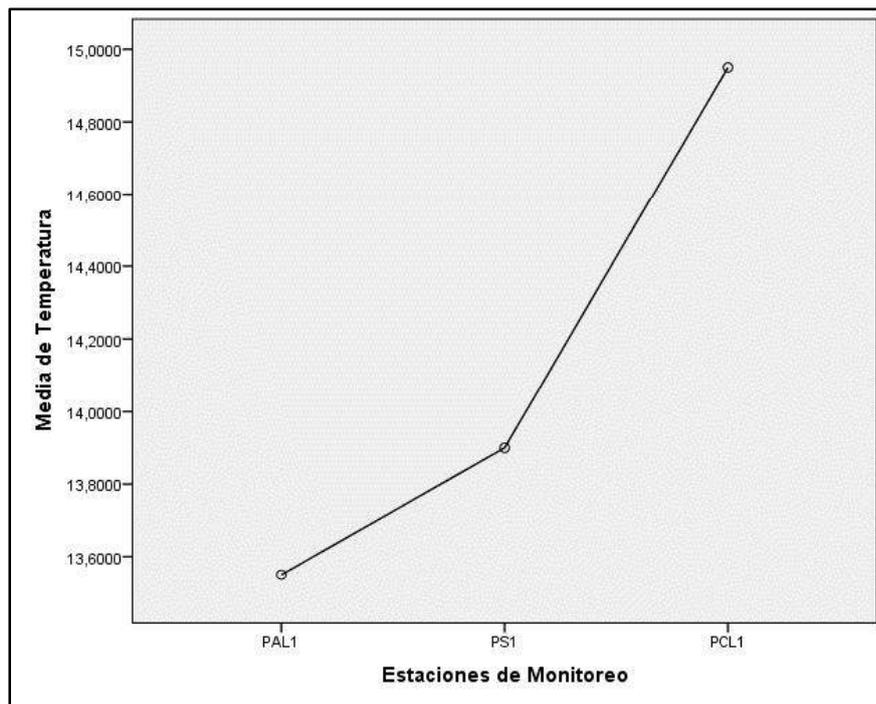


Gráfico N°10. Gráfico de medias de la Temperatura. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

La temperatura promedio para el punto PAL1 es de 13.55°C, con una dispersión de 0.21, un valor mínimo de 13.40°C y un valor máximo de 13.70°C. Para el PS1 la temperatura promedio fue de 13.90°C, con una dispersión de 0.28, con valor mínimo de 13.70°C y un valor máximo de 14.10°C. En el PCL1 se observa que la temperatura promedio fue de 14.95°C, con una dispersión de 1.20, con valor mínimo de 14.10°C y un valor máximo de 15.80°C.

#### **4.1.1.5. Análisis estadístico de Conductividad Eléctrica Promedio**

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	ECA (<2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	
						Dentro	Fuera
PAL 1	2	161.600000	2.4041631	159.9000	163.3000	x	
PS1	2	356.500000	3.5355339	354.0000	359.0000	x	
PCL1	2	360.500000	3.5355339	358.0000	363.0000	x	
Total	6	292.866667	101.7247200	159.9000	363.0000	x	

Tabla N°16. Conductividad Eléctrica Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

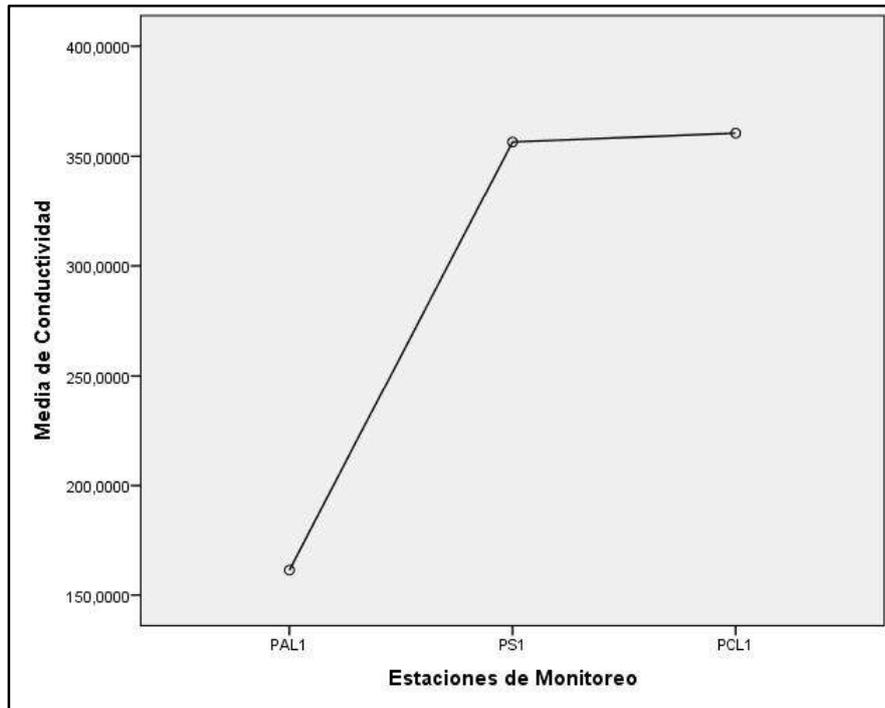


Gráfico N°11. Gráfico de medias de la CE. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### Análisis e Interpretación

En la tabla N° 16 y su gráfico de medias, se observa que la conductibilidad promedio para el PAL1 es de 161.60  $\mu\text{S/cm}$ , con una dispersión de 2.40, un valor mínimo de 159.90  $\mu\text{S/cm}$  y un valor máximo de 163.30  $\mu\text{S/cm}$ . Para el PS1 la conductibilidad promedio fue de 356.50  $\mu\text{S/cm}$ , con una dispersión de 3.53, un valor mínimo de 354  $\mu\text{S/cm}$  y máximo de 359  $\mu\text{S/cm}$ . En el PCL1 se observa que la conductibilidad promedio fue de 360.5  $\mu\text{S/cm}$ , con una dispersión de 3.53, con valor mínimo de 358  $\mu\text{S/cm}$  y un valor máximo de 363  $\mu\text{S/cm}$ . Asimismo, se cumple con

los valores ( $* < 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) establecidos en el D.S. N°002-2008-MINAM, ECA Agua Catg. 3, para Conductividad Eléctrica.

#### 4.1.1.6. Análisis estadístico del Oxígeno Disuelto Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	ECA (>4 mg/l)	
						Aceptable	Inaceptable
PAL 1	2	3.605000	0.0212132	3.5900	3.6200		x
PS1	2	5.085000	0.4030509	4.8000	5.3700	x	
PCL1	2	5.565000	0.0636396	5.5200	5.6100	x	
Total	6	4.751667	0.9318673	3.5900	5.6100	x	

Tabla N°17. Oxígeno disuelto Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

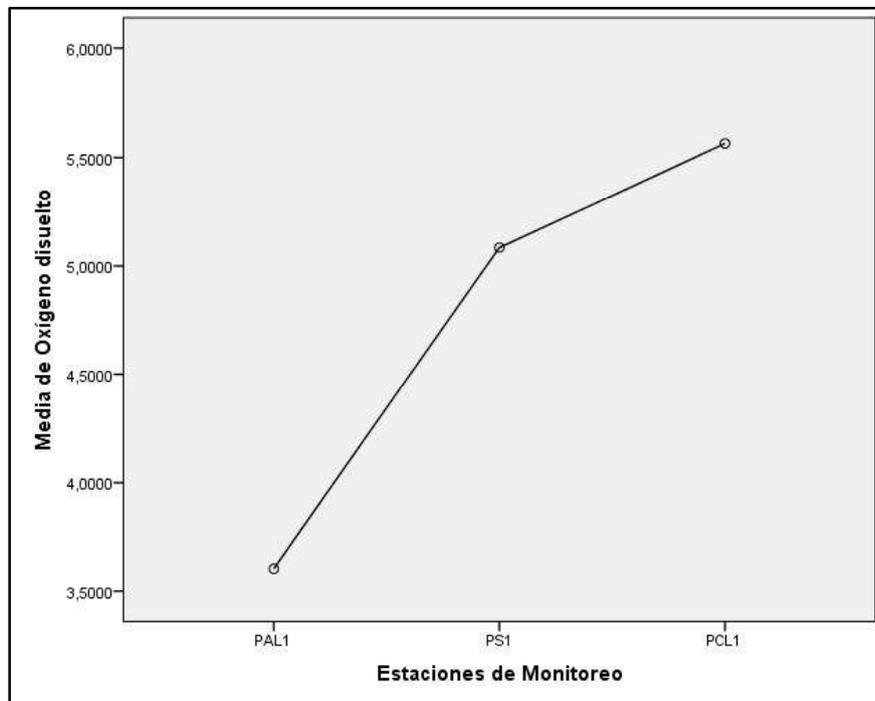


Gráfico N°12. Gráfico de medias del Oxígeno Disuelto. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 17 y su gráfico de medias, se observa que el oxígeno disuelto promedio para el PAL1 es de 3.60 mg/l, con una dispersión de 0.02, un valor mínimo de 3.59 mg/l y un valor máximo de 3.62 mg/l. Para el PS1 el oxígeno disuelto promedio fue de 5.08 mg/l, con una dispersión de 0.40, un valor mínimo de 4.80 mg/l y máximo de 5.37 mg/l. En el PCL1 se observa que el oxígeno disuelto promedio fue de 5.56 mg/l, con una dispersión de 0.93, con valor mínimo de 5.52 mg/l y un valor máximo de 5.61 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores ( $\geq 4$  mg/l) establecidos en el D.S. N°002-2008-MINAM, ECA Agua (Cat. 03) para Oxígeno Disuelto en los puntos PS1 (4.8 – 5.37) y PCL1 (5.52 – 5.61), mas no se cumple en el punto PAL1 (3.59 – 3.62), ya que sus valores son menores a lo establecido en la norma; ello explica que el OD aumenta cuando se aplica el tratamiento.

#### **4.1.1.7. Análisis estadístico del Arsénico total Promedio**

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (0.1 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	0.804850	0.0133643	0.7954	0.8143	x	
PS1	2	0.001700	0.0002828	0.0015	0.0019	x	
PCL1	2	0.002400	0.0004243	0.0021	0.0027	x	
Total	6	0.269650	0.4146074	0.0015	0.8143	x	

Tabla N°18. Arsénico total Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

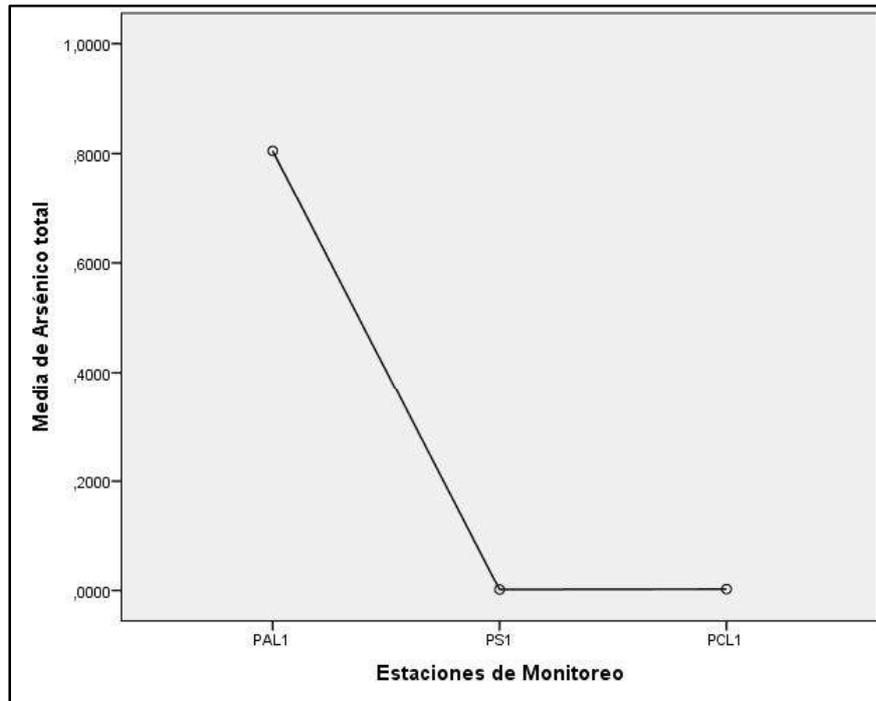


Gráfico N°00. Gráfico de medias del Arsénico total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### Análisis e Interpretación

En la tabla N° 18 y su gráfico de medias, muestran que el Arsénico total promedio para el PAL1 es de 0.80 mg/l, con una dispersión de 0.013, un valor mínimo de 0,79 mg/l y un valor máximo de 0.81 mg/l. Para el PS1 el Arsénico total promedio fue de 0.0017 mg/l, con una dispersión de 0.0002, un valor mínimo de 0.0015 mg/l y máximo de 0.0019 mg/l. En el PCL1 se observa que el Arsénico total promedio fue de 0.0024 mg/l, con una dispersión de 0.0004, con valor mínimo de 0.0021 mg/l y un valor máximo de 0.0027 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (0.1 mg/l) establecidos en los 03 puntos de muestreo según el D.S. N°010-2010-MINAM, para la Arsénico en los puntos PS1 (0.0015 – 0.0019), PCL1 (0.0021 – 0.0027) y PAL1 (0.7954 – 0.8143). Como se puede apreciar en el gráfico, el valor más alto se encuentra en el punto PAL1, ya que allí los lodos no han recibido el tratamiento con tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en los puntos PS1 y PCL1, ello es porque los lodos han sido tratados y el arsénico ha sido encapsulado, disminuyendo los valores para arsénico.

#### 4.1.1.8. Análisis estadístico del Cadmio total Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (0.05 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	0.206500	0.0073539	0.2013	0.2117		x
PS1	2	0.000250	0.0000707	0.0002	0.0003	x	
PCL1	2	0.000200	0.0000000	0.0002	0.0002	x	
Total	6	0.068983	0.1065707	0.0002	0.2117		

Tabla N°19. Cadmio Total Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

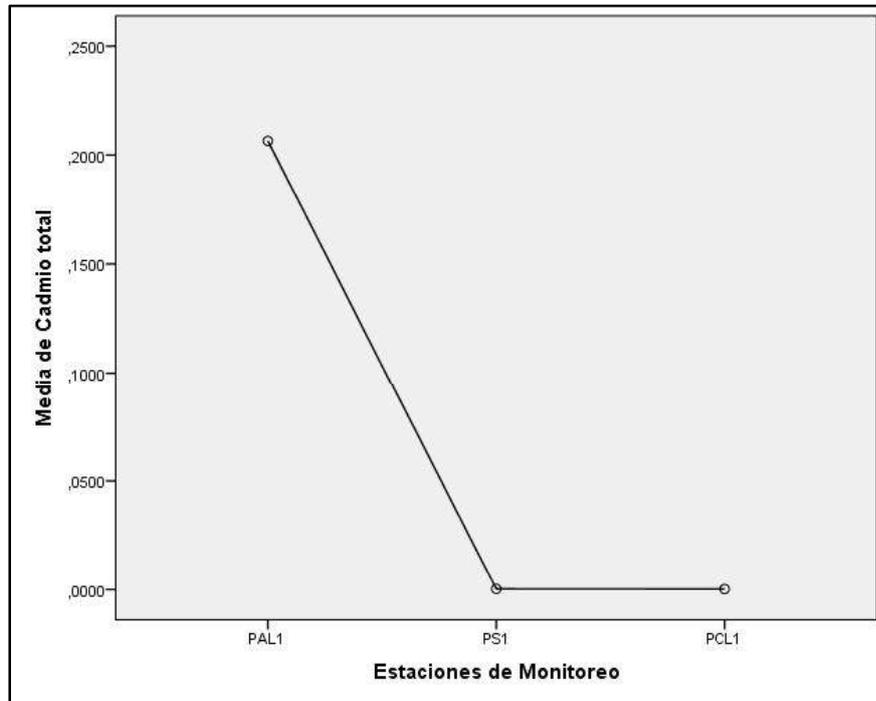


Gráfico N°14. Gráfico de medias del Cadmio Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### Análisis e Interpretación

En la tabla N° 19 y su gráfico de medias, muestran que el Cadmio total promedio para el PAL1 es de 0.20 mg/l, con una dispersión de 0.007, un valor mínimo de 0,2013 mg/l y un valor máximo de 0.2117 mg/l. Para el PS1 el Cadmio total promedio fue de 0.00025 mg/l, con una dispersión de 0.00007, un valor mínimo de 0.0002 mg/l y máximo de 0.0003 mg/l. En el PCL1 se observa que el Cadmio total promedio fue de 0.0002 mg/l, con una dispersión de 0.0000, con valor mínimo de 0.0002 mg/l y un valor máximo de 0.0002 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (0.05 mg/l) establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, para Cadmio Total, en los puntos PS1 (0.0002 – 0.0003) y PCL1 (0.0002 – 0.0002), mas no se cumple en el punto PAL1 (0.2013 – 0.2117), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma. Los valores para Cadmio total son muy elevados por que los lodos no reciben tratamiento con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en los puntos PS1 y PCL1, ello porque el lodo ha sido tratado y los tubos de geotextil encapsularon el cadmio total presente en el lodo.

#### 4.1.1.9. Análisis estadístico del Cobre total Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (0.5 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	2.287000	0.0427092	2.2568	2.3172		x
PS1	2	0.006100	0.0009899	0.0054	0.0068	x	
PCL1	2	0.004350	0.0006364	0.0039	0.0048	x	
Total	6	0.765817	1.1784587	0.0039	2.3172		

Tabla N°20. Cobre total Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

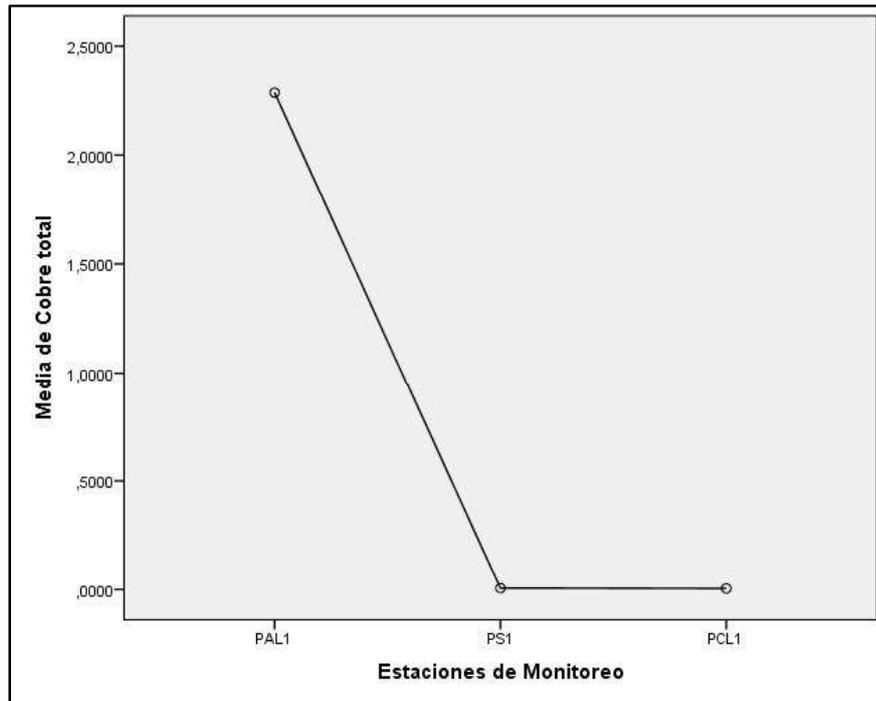


Gráfico N°15. Gráfico de medias del Cobre total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 20 y su grafico de medias, muestran que el Cobre total promedio para el PAL1 es de 2.287 mg/l, con una dispersión de 0.042, un valor mínimo de 2,2568 mg/l y un valor máximo de 2.3172 mg/l. Para el PS1 el Cobre total promedio fue de 0.0061 mg/l, con una dispersión de 0.00098, un valor mínimo de 0.0054 mg/l y máximo de 0.0068 mg/l. En el PCL1 se observa que el Cobre total promedio fue de 0.0043 mg/l, con una dispersión de 0.0006, con valor mínimo de 0.0039 mg/l y un valor máximo de 0.0048 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (0.5 mg/l) establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, para Cobre Total, en los puntos PS1 (0.0054 – 0.0068) y PCL1 (0.0039 – 0.0048), mas no se cumple en el punto PAL1 (2.2568 – 2.3172), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma.

Los valores para Cobre total son muy elevados por que los lodos no reciben tratamiento con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en los puntos PS1 y PCL1, ello porque el lodo ha sido tratado y los tubos de geotextil encapsularon el cobre total presente en el lodo.

#### 4.1.1.10. Análisis estadístico de Hierro Disuelto Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (2 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	0.020050	0.0060104	0.0158	0.0243	x	
PS1	2	0.024950	0.0051619	0.0213	0.0286	x	
PCL1	2	0.003300	0.0002828	0.0031	0.0035	x	
Total	6	0.016100	0.0107553	0.0031	0.0286		

Tabla N° 21. Hierro disuelto Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

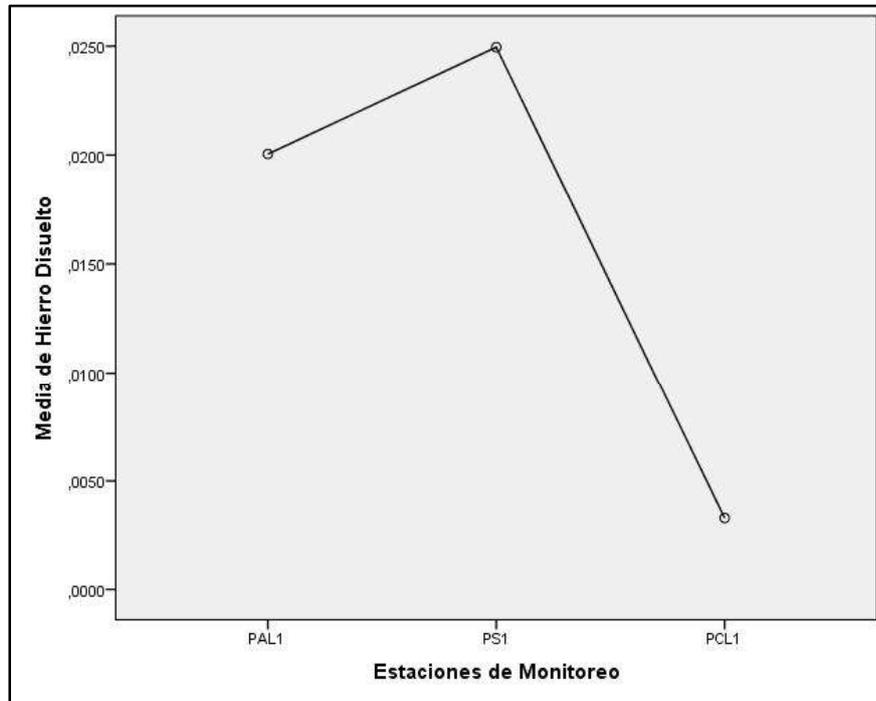


Gráfico N°16. Gráfico de medias del Hierro Disuelto. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 21 y su gráfico de medias, muestran que el Hierro disuelto promedio para el PAL1 es de 0.20 mg/l, con una dispersión de 0.006, un valor mínimo de 0.0158 mg/l y un valor máximo de 0.0243 mg/l. Para el PS1 el Hierro disuelto promedio fue de 0.02495 mg/l, con una dispersión de 0.0051, un valor mínimo de 0.0213 mg/l y máximo de 0.0286 mg/l. En el PCL1 se observa que el Hierro disuelto promedio fue de 0.0033 mg/l, con una dispersión de 0.00028 mg/l, con valor mínimo de 0.0031 mg/l y un valor máximo de 0.0286 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (2 mg/l) establecidos en los 03 puntos de muestreo según el D.S. N°010-2010-MINAM, para la Hierro Disuelto en los puntos PS1, PCL1 y PAL1. Como se puede apreciar en el gráfico, el valor más alto se encuentra en el punto PS1, la misma que tiene un descenso abismal en el punto PCL1.

#### 4.1.1.11. Análisis estadístico del Plomo Total Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (0.2 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	8.059100	0.8671958	7.4459	8.6723		x
PS1	2	0.008650	0.0006364	0.0082	0.0091	x	
PCL1	2	0.009700	0.0001414	0.0096	0.0098	x	
Total	6	2.692483	4.1750151	0.0082	8.6723		

Tabla N°22. Plomo total Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

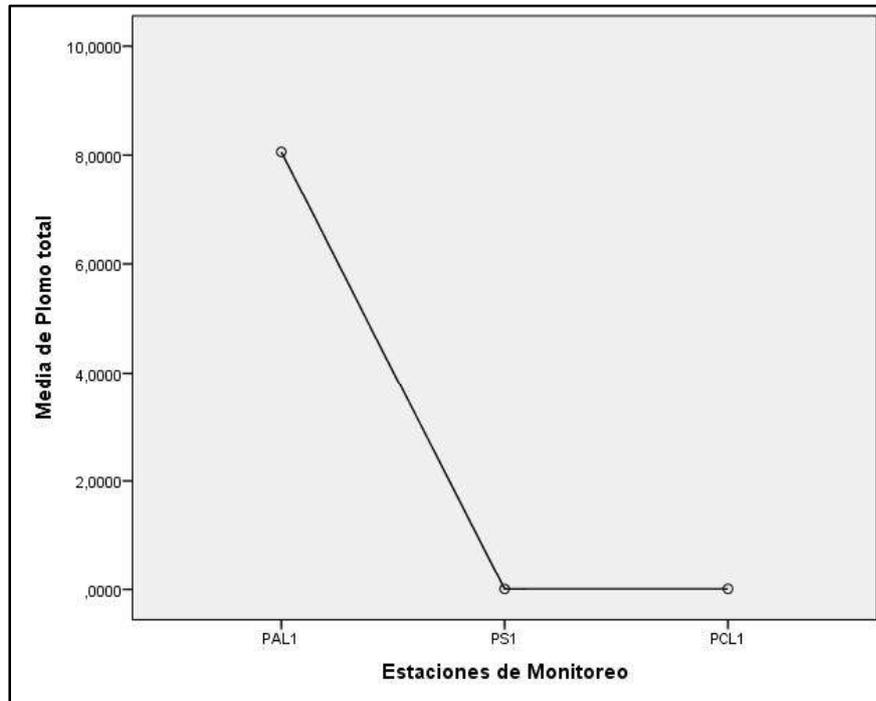


Gráfico N°17. Gráfico de medias del Plomo Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 22 y su gráfico de medias, muestran que el Plomo total promedio para el PAL1 es de 8.059 mg/l, con una dispersión de 0.8671, un valor mínimo de 7.4459 mg/l y un valor máximo de 8.6723 mg/l. Para el PS1 el Plomo total promedio fue de 0.00865 mg/l, con una dispersión de 0.0006364, un valor mínimo de 0.0082 mg/l y máximo de 0.0091 mg/l. En el PCL1 se observa que el Plomo total promedio fue de 0.0097 mg/l, con una dispersión de 0.00014, con valor mínimo de 0.0096 mg/l y un valor máximo de 0.0098 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (0.2 mg/l) establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, para Plomo Total, en los puntos PS1 (0.0082 – 0.0091) y PCL1 (0.0096 – 0.0098), mas no se cumple en el punto PAL1 (7.4459 – 8.6723), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma.

Los valores para Plomo total son elevados por que los lodos no reciben tratamiento con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en los puntos PS1 y PCL1, ello porque el lodo ha sido tratado y los tubos de geotextil encapsularon el Plomo total presente en el lodo.

#### 4.1.1.12. Análisis estadístico del Mercurio Total Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (0.002 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	0.019100	0.0016971	0.0179	0.0203		x
PS1	2	0.001350	0.0002121	0.0012	0.0015	x	
PCL1	2	0.001000	0.0001414	0.0009	0.0011	x	
Total	6	0.007150	0.0092895	0.0009	0.0203		

Tabla N°23. Mercurio total Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

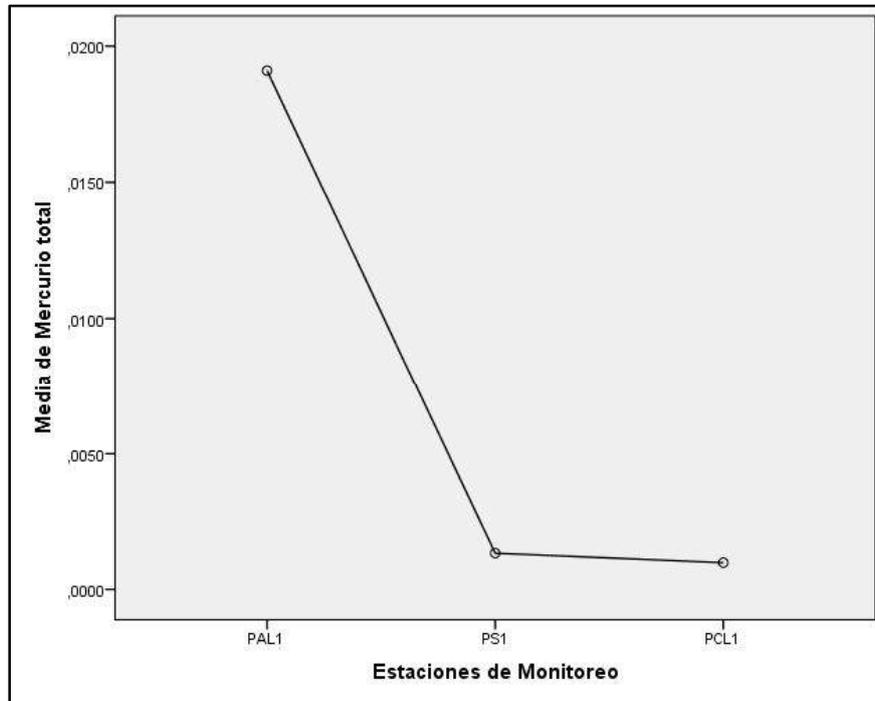


Gráfico N°18. Gráfico de medias del Mercurio Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### Análisis e Interpretación

En el cuadro N°23 y en su gráfico de medias, se observa que el Mercurio total promedio para el PAL1 es de 0.0191 mg/l, con una dispersión de 0.0016971, un valor mínimo de 0.0179 mg/l y un valor máximo de 0.0203 mg/l. Para el PS1 el Mercurio total promedio fue de 0.001535 mg/l, con una dispersión de 0.0002121, un valor mínimo de 0.0012 mg/l y máximo de 0.0015 mg/l. En el PCL1 se observa que el Mercurio total promedio fue de 0.001 mg/l, con una dispersión de 0.00014, con valor mínimo de 0.0009 mg/l y un valor máximo de 0.0011 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (0.002 mg/l) establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, para Mercurio Total, en los puntos PS1 (0.0012 – 0.0015) y PCL1 (0.0009 – 0.0011), mas no se cumple en el punto PAL1 (0.0179 – 0.0203), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma.

Los valores para Mercurio total son elevados por que los lodos no reciben tratamiento con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en los puntos PS1 y PCL1, ello porque el lodo ha sido tratado y los tubos de geotextil encapsularon el Mercurio total presente en el lodo.

#### 4.1.1.13. Análisis estadístico del Zinc Total Promedio

Muestras	N°	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	LMP (1.5 mg/l)	
						Dentro	Excedencia
PAL 1	2	30.397850	0.5862622	29.9833	30.8124		x
PS1	2	0.076250	0.0028991	0.0742	0.0783	x	
PCL1	2	0.047400	0.0009899	0.0467	0.0481	x	
Total	6	10.173833	15.6676552	0.0467	30.8124		

Tabla N°24. Zinc total Promedio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

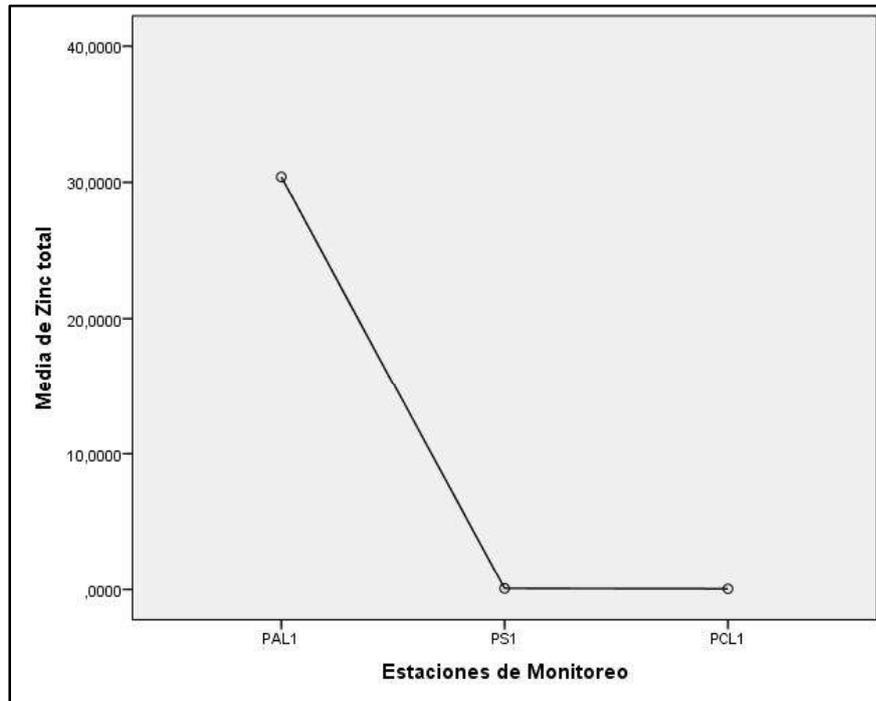


Gráfico N°19. Gráfico de medias del Zinc Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

### **Análisis e Interpretación**

En la tabla N° 24 y en su gráfico de medias, se observa que el Zinc total promedio para el PAL1 es de 30.3978 mg/l, con una dispersión de 0.5862, un valor mínimo de 29.9833 mg/l y un valor máximo de 30.8124 mg/l. Para el PS1 el Zinc total promedio fue de 0.07625 mg/l, con una dispersión de 0.0028, un valor mínimo de 0.0742 mg/l y máximo de 0.0743 mg/l. En el PCL1 se observa que el Zinc total promedio fue de 0.0474 mg/l, con una dispersión de 0.00098, con valor mínimo de 0.0467 mg/l y un valor máximo de 0.0481 mg/l.

Asimismo, se cumple con los valores (1.5 mg/l) establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, para Zinc Total, en los puntos PS1 (0.0742 – 0.0783) y PCL1 (0.0467 – 0.0481), mas no se cumple en el punto PAL1 (29.9833 – 30.8124), ya que sobrepasa los valores establecidos en la norma.

Los valores para Zinc total son elevados por que los lodos no reciben tratamiento con el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, en cambio se puede apreciar en el gráfico que la línea tiene un descenso abismal en los puntos PS1 y PCL1, ello porque el lodo ha sido tratado y los tubos de geotextil encapsularon el Zinc total presente en el lodo.

#### **4.1.2. Contrastación de Hipótesis**

##### **4.1.2.1. Formulación de la Hipótesis**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido (polipropileno), los parámetros físico – químicos respecto al D.S N°010-2010-MINAM, del agua con tratamiento, son de igual calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido (polipropileno), los parámetros físico – químicos respecto al D.S N°010-2010-MINAM, del agua con tratamiento, son de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

#### 4.1.2.2. Sub hipótesis

##### a. Sub hipótesis N°01

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro STS del agua con tratamiento es de igual calidad que los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro STS del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación a los lodos generados sin tratamiento.

##### ▪ Estadístico de Prueba

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	51511993.51	2	25755996.76	11096.103	0.000
Dentro de grupos	6963.525	3	2321.175		
Total	51518957.04	5			

Tabla N°25. Prueba de ANOVA para STS. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

##### ▪ Decisión Estadística

Como p-valor = 0.000 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro STS del agua con tratamiento es de mejor

calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	2.800000	
PS1	2	3.950000	
PAL1	2		6219.000000
Sig.		1.000	1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°26. HSD Tukey para STS. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento del punto PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**b. Sub hipótesis N°02**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Turbidez del agua con tratamiento es de igual calidad que los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido (polipropileno), el parámetro STS del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación a los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	21242501.52	2	10621250.76	13383.267	0.000
Dentro de grupos	2380.865	3	793.622		
Total	21244882.39	5			

Tabla N°27. Prueba de ANOVA para Turbidez. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.000 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Turbidez del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto, mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	1.950000	
PS1	2	4.100000	
PAL1	2		3994.500000
Sig.		0.997	1.000

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

b. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°28. HSD Tukey para Turbidez. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**c. Sub hipótesis N°03**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro pH del agua con tratamiento es de igual calidad que los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido (polipropileno), el parámetro pH del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación a los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	0.173	2	0.087	17.333	0.022
Dentro de grupos	0.015	3	0.005		
Total	0.188	5			

Tabla N°29. Prueba de ANOVA para pH. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.022 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil

tejido de polipropileno, el parámetro pH del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	8.150000	
PS1	2	8.250000	
PAL1	2		8.550000
Sig.		0.439	1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°30. HSD Tukey para pH. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**d. Sub hipótesis N°04**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Conductividad Eléctrica del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Conductividad Eléctrica del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	51708.813	2	25854.407	2519.923	0.000
Dentro de grupos	30.780	3	10.260		
Total	51739.593	5			

Tabla N°31. Prueba de ANOVA para CE. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.000 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Conductividad Eléctrica del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Prueba Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PAL1	2	161.600000	
PS1	2		356.500000
PCL1	2		360.500000
Sig.		1.000	0.508

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°32. HSD Tukey para CE. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**e. Sub hipótesis N°05**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Oxígeno Disuelto del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Oxígeno Disuelto del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	4.175	2	2.087	37.511	0.008
Dentro de grupos	0.167	3	0.056		
Total	4.342	5			

Tabla N°33. Prueba de ANOVA para OD. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.008 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Oxígeno Disuelto del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PAL1	2	3.605000	
PS1	2		5.085000
PCL1	2		5.565000
Sig.		1.000	0.251

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°34. HSD Tukey para OD. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**f. Sub hipótesis N°06**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Arsénico total del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Arsénico total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	0.859	2	0.430	7206.421	0.000
Dentro de grupos	0.000	3	0.000		
Total	0.859	5			

Tabla N°35. Prueba de ANOVA para Arsénico. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.000 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil

tejido de polipropileno, el parámetro Arsénico total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PS1	2	0.001700	
PCL1	2	0.002400	
PAL1	2		0.804850
Sig.		0.995	1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°36. HSD Tukey para Arsénico Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**g. Sub hipótesis N°07**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Cadmio total del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Cadmio total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	0.057	2	0.028	1573.426	0.000
Dentro de grupos	0.000	3	0.000		
Total	0.057	5			

Tabla N°37. Prueba de ANOVA para Cadmio Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.000 (Sig. Bilateral) es menor a 0,05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Cadmio total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	0.000200	
PS1	2	0.000250	
PAL1	2		0.206500
Sig.		1.000	1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°38. HSD Tukey para Cadmio Total. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**h. Sub hipótesis N°08**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Cobre total del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Cobre total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	6.942	2	3.471	5704.299	0.000
Dentro de grupos	0.002	3	0.001		
Total	6.944	5			

Tabla N°39. Prueba de ANOVA para Cobre Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.000 (Sig. Bilateral) es menor a 0,05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Cobre total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	0.004350	
PS1	2	0.006100	
PAL1	2		2.287000
Sig.			1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°40. HSD Tukey para Cobre Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**i. Sub hipótesis N°09**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Hierro total del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Hierro total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	0.001	2	0.000	12.304	0.036
Dentro de grupos	0.000	3	0.000		
Total	0.001	5			

Tabla N°41. Prueba de ANOVA para Hierro Total. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.036 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Hierro total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	0.003300	
PAL1	2	0.020050	0.020050
PS1	2		0.024950
Sig.		0.070	0.591

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°42. HSD Tukey para Hierro Total. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**j. Sub hipótesis N°10**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Plomo total del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Plomo total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	86.402	2	43.201	172.337	0.001
Dentro de grupos	0.752	3	0.251		
Total	87.154	5			

Tabla N°43. Prueba de ANOVA para Plomo. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como  $p\text{-valor} = 0.001$  (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Plomo total del agua con tratamiento es de

mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PS1	2	0.008650	
PCL1	2	0.009700	
PAL1	2		8.059100
Sig.		1.000	1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°44. HSD Tukey para Plomo Total. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

**k. Sub hipótesis N°11**

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Mercurio total del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Mercurio total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

▪ **Estadístico de Prueba**

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	0.000	2	0.000	218.267	0.001
Dentro de grupos	0.000	3	0.000		
Total	0.000	5			

Tabla N°45. Prueba de ANOVA para Mercurio. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.001 (Sig. Bilateral) es menor a 0,05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Mercurio total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	0.001000	
PS1	2	0.001350	
PAL1	2		0.019100

Estaciones de Monitoreo	N°	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
Sig.		0.935	1.000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°46. HSD Tukey para Mercurio Total. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

#### I. Sub hipótesis N°12

$H_0$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Zinc total del agua con tratamiento es de igual calidad que con los lodos generados sin tratamiento.

$H_a$ : Mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Zinc total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento.

#### ▪ Estadístico de Prueba

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre Grupos	1227.033	2	613.517	5354.907	0.000
Dentro de grupos	0.344	3	0.115		
Total	1227.377	5			

Tabla N°47. Prueba de ANOVA para Zinc. Fuente: Elaboración Propia, (2015)

▪ **Decisión Estadística**

Como p-valor = 0.000 (Sig. Bilateral) es menor a 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Se concluye que existen evidencias estadísticas significativas para afirmar que mediante el uso de los tubos de geotextil tejido de polipropileno, el parámetro Zinc total del agua con tratamiento es de mejor calidad en comparación con los lodos generados sin tratamiento. Por lo tanto mostramos los resultados del análisis Post hoc (Prueba de HSD Tukey).

▪ **Pruebas Post Hoc – HSD Tukey**

Estaciones de Monitoreo	Nº	Subconjunto para Alfa= 0.05	
		1	2
PCL1	2	0.047400	
PS1	2	0.076250	
PAL1	2		30.397850
Sig.		0.996	

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000

Tabla N°48. HSD Tukey para Zinc. Fuente.- Elaboración Propia, (2015)

El análisis posterior indica que, el tratamiento PAL1 es significativamente diferente de los tratamientos PCL1 y PS1.

#### **4.2. Volumen del recurso hídrico recuperado mediante el sistema de tubos de geotextil en el Proyecto Hilarión**

El sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno trabaja 08 horas al día, con un caudal de ingreso de 1,25 l/s, es decir, 36m<sup>3</sup>/día.

	<b>Caudal</b>	<b>seg/hr</b>	<b>hora de trabajo</b>	<b>m<sup>3</sup>/l</b>	<b>m<sup>3</sup>/día</b>
Entrada	1.25	3600	8	0.001	36
Salida	0.4	3600	24	0.001	34.56
Evaporación	0.015	3600	10	0.001	0.54
Lodo acumulado					0.9

Tabla N°49. Flujo de agua a generarse. Fuente: Elaboración Propia, (2015).

#### **4.3. Aprovechamiento del recurso hídrico recuperado**

El recurso hídrico recuperado, producto de la deshidratación de los lodos en el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, fue utilizado para el riego de accesos, dicha información se encuentra en el EIA<sub>sd</sub> del Proyecto de Exploración Minera Hilarión, información que fue corroborada en el reconocimiento de campo.

##### **4.3.1. Aprovechamiento Riego de Accesos**

Para determinar el aprovechamiento del recurso hídrico en el riego de accesos, se hicieron ensayos estáticos (ABA) en 05 puntos de muestreo (accesos), ello para determinar el potencial de generación de aguas ácidas producto del riego y un análisis mineralógico, asimismo, se realizó un análisis físico – químico de los parámetros establecidos en los LMP para efluentes Minero Metalúrgicos, donde los valores

cumplen con la normativa ambiental, por lo tanto su descarga, no afectará al cuerpo receptor (suelo). A continuación, se describe con más detalle lo expuesto.

#### **4.3.1.1. Potencial de Generación de Aguas Ácidas**

En el EIASd del Proyecto Hilarión, el titular minero solicitó la aprobación de un depósito de desmonte para almacenar los volúmenes de materiales superficiales removidos en la habilitación de la vía de acceso y en la habilitación de las pozas de lodos en el Sector de Cochapata, para verificar si el material de desmonte tiene capacidad de Generación de aguas ácidas, se sometió este material a ensayos estáticos (ABA) para determinar su potencial de generación de aguas ácidas, asimismo, su análisis mineralógico correspondiente.

***Ensayos ABA:*** Para determinar la capacidad generadora de acidez del material de desmonte se realizaron ensayos estáticos (ABA) en el laboratorio de Certimin y el laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente, el objetivo principal de la determinación del potencial de acidez de los desmontes empleando técnicas estáticas ácido/base es contar con información que permita determinar acerca de las medidas de control de la generación ácida, en caso se requiere, y elaborar el cierre más apropiado para satisfacer criterios de calidad medioambiental en el entorno donde se desarrollan las actividades de exploración.

Los criterios para la interpretación de los resultados de los ensayos se resumen en la siguiente Tabla; tales criterios son los recomendados por el Ministerio de Energía y Minas del Perú y por la Autoridad Ambiental del Gobierno de Columbia Británica de Canadá, para evaluar los resultados de conteo ácido-base (ensayo ABA).

Potencial de generación de aguas ácidas	Guía MEM <sup>1</sup>		Guía B.C. Canadá <sup>2</sup>			
	NNP Kg CaCo3 equivalente /t material	NP/AP	pH en pasta	%S como sulfuros	NNP	NP/AP
No tiene	>+20	> 3.0				
Incierto	-20 < x < +20		< 5.0	> 3.0		< 4
Probable	< 0	< 1.0	< 3.5		< 0	

Tabla N°50. Criterios de Evaluación de los Resultados del Conteo Ácido-Base. Fuente: (1) MEM. Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas, (1995). (2). MEND. ARD Guidelines for mine sites in British Columbia, (1995).

El criterio tiene en cuenta el Potencial de neutralización (NP) y el Potencial de acidez (MPA o AP) para caracterizar los desmontes desde el punto de vista de la generación ácida. De modo que, si la diferencia entre NP y APA es positiva, el riesgo de generación ácida es menor; en cambio, si esta diferencia es negativa existiría alta probabilidad de que se formen drenajes ácidos, pero cuando los valores de PNN están entre -20 kg CaCO<sub>3</sub> equivalente /t material y 20 kg CaCO<sub>3</sub> equivalente /t material, la predicción de la producción ácida es incierta y algo dificultosa.

Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Altitud (msnm)
	Zona 18S		
	Norte	Este	
BH-01A (*)	8 895 692	279 375	4730
BH-01B (*)	8 895 654	279 406	4725
BH-02A (*)	8 895 732	279 747	4535
BH-02B (*)	8 895 718	280 090	4535
ABA-01 (**)	8 896 454	280 342	4550

Tabla N°51. Ubicación de los puntos de muestreo para Caracterización Ácido – Base. Fuente.- Cuarta Modificación EIAsd Hilarión, (2015).

Punto de Muestreo	pH pasta	AP	NNP	NP	NP/AP	Sulfuro
	-	kgCaCO <sub>3</sub> /t	kgCaCO <sub>3</sub> /t	kgCaCO <sub>3</sub> /t	-	%S
BH-01A (*)	7.53	12.09	78.95	91.04	7.53	1.37
BH-01B (*)	7.64	5.94	88.55	94.49	15.91	1.28
BH-02A (*)	7.67	11.94	81.35	93.29	7.81	1.38
BH-02B (*)	7.57	12.5	77.82	90.32	7.23	1.66
ABA-01 (**)	7.7	20	410	430	21.5	0.64

Tabla N°52.- Caracterización del Potencial de Generación de Ácido – Base. Fuente: Cuarta Modificación EIAsd Hilarión, (2015).

Dónde:

AP: Potencial de acidez

NNP: Potencial neto de neutralización

NP: Potencial de neutralización

%S: Porcentaje de azufre como sulfuro

El material de desmonte presenta valores PNN de 78.95, 88.55, 81.35 y 77.82, respectivamente (expresados en  $\text{kgCaCO}_3/\text{t}$ ); todos éstos indican tendencia a no generar drenaje ácido; es decir, el desmonte es un material No Generador de Acidez.

En el Gráfico N°00.- Material de Desmonte Capacidad de Generación Ácida, se muestra los resultados de los análisis ácido/base correlacionando los valores obtenidos para PN y PA; la gráfica está seccionada en áreas que permiten ubicar gráficamente los resultados obtenidos. Para el presente caso, todas las muestras se encuentran en la zona “No Genera Acidez”.

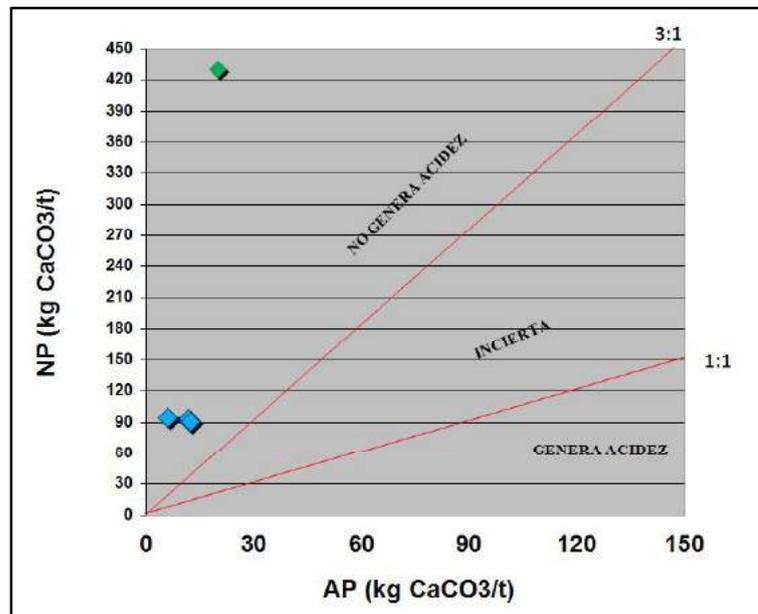


Gráfico N°20. Material de desmonte – Potencial de Generación de Drenaje Ácido. Fuente: Cuarta Modificación EIASd Hilarión, (2015).

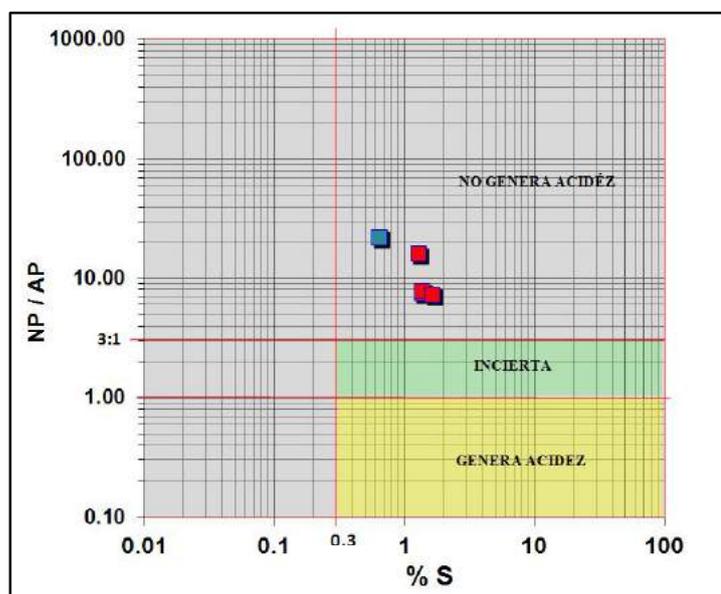


Gráfico N°21. Material de desmonte – Capacidad de Generación Ácida, NP/NA vs %S. Fuente: Cuarta Modificación EIASd Hilarión, (2015).

Por último, podemos afirmar que los desmontes producto de la habilitación de accesos del Proyecto de Exploración Hilarión no son generadores de acidez, por lo tanto, el riego de accesos en los mismos accesos, no generarán drenaje ácido.

#### 4.3.1.2. Análisis Mineralógico

Según el EIASd, 2013, se determinó la composición mineralógica de las muestras provenientes de un material de desmonte que se almacenó en el depósito provisional de 5000m<sup>3</sup> (Aprobado en la Tercera Modificación del EIASd del Proyecto Hilarión).

El desmonte consiste principalmente de cuarzo (28,3%) y calizas (39,7%), seguido por plagioclasas y feldespatos (en conjunto aproximadamente 23%), así

también, con un mínimo porcentaje de algunos sulfuros y otros minerales en trazas (en conjunto aproximadamente 1,22%).

Minerales	Formula	%en Peso
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	28.3
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	7.13
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	32.59
Ortoclasa	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	4.6
Albita	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	10.8
Anortita	Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	8.2
Pirita	FeS <sub>2</sub>	1.168
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0.006
Esfalerita	ZnS	0.036
Galena	PbS	0.015
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87
Montmorillonita	Na <sub>0.3</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> xH <sub>2</sub> O	4.25
Pirolusita	MnO <sub>2</sub>	0.04

Tabla N°53. Material de Desmote – Composición Mineralógica. Fuente: Laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente, (2013).

**4.3.1.3. Análisis de los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM para Efluentes Minero Metalúrgicos en el Punto PCL1**

Parámetro Evaluado	Punto PCL1		LMP para efluentes	ECA Cat. 03 – Riego de Vegetales	ECA Cat. A1
	Muestreo Mayo	Muestreo Agosto			
Temperatura	15.8	14.1	-	-	
pH	8.1	8.2	06-sep	6,5 – 8.5	
CE	363	358	-	<2000 uS/cm	
OD	5.52	5.61	-	>= 4	
STS	3	2.6	50 mg/l	-	

Parámetro Evaluado	Punto PCL1		LMP para efluentes	ECA Cat. 03 – Riego de Vegetales	ECA Cat. A1
	Muestreo Mayo	Muestreo Agosto			
Aceites y grasas	1	1	20 mg/l	1 mg/l	
As total	0,0027	0.0021	0,1 mg/l	-	
Cd total	0,0002	0.0002	0,05 mg/l	-	
Cu total	0,0048	0.0039	0,5 mg/l	-	
Fe total	0,0031	0.0035	2 mg/l	-	
Pb total	0,0096	0.0098	0,2 mg/l	-	
Hg total	0,0011	0.0009	0,002 mg/l	-	
Zn total	0,0481	0.0467	1,5 mg/l	-	
Turbidez	2,1	1.8	-	-	5 NTU

Tabla N°54.- Resultados del tratamiento con el sistema de tubos de geotextil. Fuente.-  
Elaboración propia, (2015).

Como se puede apreciar en la anterior tabla, los valores en el punto PCL1, donde se captará el agua para riego de accesos cumple con todos los valores establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM (LMP) y D.S. N°002-2008-MINAM (ECA para Agua), por lo tanto su descarga no afectará la calidad del cuerpo receptor (suelo).

## **CAPITULO V:**

### **DISCUSIÓN**

Para el uso del agua en el riego de accesos, se hizo un análisis mineralógico, potencial de generación de aguas ácidas y un análisis de los parámetros establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, donde los valores obtenidos cumplen con los valores establecidos en el presente decreto, todos los estudios mencionados, se encontró en la información presentada en los EIASd del Proyecto Hilarión, asimismo, cabe resaltar que el presente decreto no tiene los valores completos, por lo cual se tuvo que recurrir a compararlos con el ECA para Agua, valores que son mucho más exigentes y que en la minería actual, según los registros de la DGAAM, ninguna minera llega a cumplir los ECA agua, en la presente investigación los parámetros que no tienen un valor en los LMP se encuentran muy por debajo del ECA agua.

Los resultados obtenidos para esta investigación, pueden ser generales, ya que las variables que se emplearon son para el sistema en sí, no para el lugar donde esté operando el sistema, por otro lado, en la matriz de interacciones, se obtuvo como resultado un mayor impacto positivo en la cantidad de agua que se ahorraría, por ello, esta investigación podría encajar perfectamente en proyectos que se desarrollen en ecosistemas secos o áridos, donde el volumen del recurso hídrico que se utiliza es

limitado. Esta investigación serviría de elemento de consulta para proyectos de exploración minera que deseen optimizar el consumo del recurso hídrico mediante la implementación de este sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno.

Durante el desarrollo de la presente tesis de investigación, surgieron otras hipótesis por realizar:

- Mediante la aplicación de un software, se podrá determinar con mayor exactitud el tiempo que demora el llenado de un tubo de geotextil.
- El empleo del sistema de tubos de geotextil, será eficiente en zonas áridas para el tratamiento de tubos de geotextil.

## **CAPITULO VI:**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1. Conclusiones**

- 6.2.1. En la evaluación del tratamiento que reciben los lodos de perforación para su adecuada disposición final, mediante el empleo del sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, se determinó que es un sistema eficiente, por retener los sólidos y obtener agua libre de sólidos. Asimismo, se demostró que el sistema cumple con los STS y Turbidez, disminuyendo sus valores en más del 90 y 96%, además de encapsular y disminuir los valores en metales como: Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo, Mercurio y Zinc.
- 6.2.2. Se determinó que el volumen del lodo a tratar es de 36 m<sup>3</sup> por día y el recurso hídrico recuperado es de 34,56 m<sup>3</sup> por día.
- 6.2.3. Se determinó que el agua resultante del tratamiento de lodos de perforación, mediante el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, es útil para el riego de accesos, ya que no generará perjuicios en el medio ambiente.
- 6.2.4. Se comparó los Sólidos Totales Suspendidos y Turbidez de los lodos generados y el agua resultante, en 03 puntos de muestreo, durante 02 veces, determinándose que para los lodos generados sin tratamiento los valores sobrepasan el rango establecido en los LMP y ECA Agua, a excepción de la

Conductividad Eléctrica, pH, Aceites y Grasas, asimismo, el análisis realizado para el agua resultante, mostraron para todos los parámetros, valores por debajo de los rangos establecidos en los LMP y ECA Agua; es importante mencionar que el pH, Aceites y Grasas, no sobrepasaron en las muestras de todos los valores establecidos, pero con el tratamiento hay una disminución en sus valores, lo que significa que el tratamiento no solo retiene sólidos, sino que mejora la calidad del agua.

## **6.2. Recomendaciones**

- 6.2.1. El Ministerio de Energía y Minas y el Ministerio del Medio Ambiente, deben de promover e incentivar a que las Empresas Mineras, apliquen nuevos procesos tecnológicos para el tratamiento de sus residuos de perforación, el sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno debe ser replicado en todos los proyectos de exploración minera en el Perú, sobretodo en proyectos que tengan deficiencias en la disponibilidad del recurso hídrico para sus actividades de perforación.
- 6.2.2. Las empresas mineras deben invertir en desarrollar nuevos procesos tecnológicos que ayuden al cuidado del medio ambiente y a reducir costos, ello servirá en brindar una percepción positiva en la población.

- 6.2.3. En la visita de campo, se observó que no había un flujómetro instalado permanentemente para la medición y control constante del flujo de agua que utilizan, el flujo del lodo que ingresa, el flujo del agua recuperada, por ello, se recomienda a Compañía Minera Milpo S.A.A., instalar un flujómetro para determinar un valor más exacto en el balance del recurso hídrico.
- 6.2.4. Para la evaluación de los LMP (D.S. N°010-2010-MINAM) en los lodos de perforación generados y el agua resultante, se realizó 02 muestreos en tres puntos durante la época seca (Cuarta semana de mayo), donde todos los valores de los parámetros analizados se encuentran por debajo de los valores establecidos en el D.S. N°010-2010-MINAM, por ello, se recomienda realizar entre 02 y 03 muestreos, en época húmeda (enero, febrero y marzo), lo cual complementaría más la presente investigación, ya que se llegaría a comparar la eficiencia del sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno en diferentes escenarios climáticos.
- 6.2.5. Para la evaluación del impacto ambiental, producido por la operación del sistema de tubos de geotextil, se recomienda realizar una valoración ambiental entre los componentes ambientales y las actividades realizadas, demostrándose que la operación del sistema, no solo produce menos impactos negativos, sino que potencializa los impactos positivos. Asimismo, la autora realizó adicionalmente una matriz de interacciones, durante la

operatividad del sistema de tubos de tubos de geotextil, donde se demostró que el 53,73% son impactos positivos, sobre todo en el componente agua, ya que el ahorro significativo del agua, aumenta la cantidad del agua.

## **CAPITULO VII:**

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Bautista, P. (2008). Manejo de Desechos y Deshidratación (Dewatering) de los Fluidos de Perforación base agua. Tesis de Grado en Ingeniería de Petróleo, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Baker, H. (1998). Fluidos Manual de Ingeniería. (8° Ed.). Houston: Autor.
- Conesa, V. (1997). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. (3° Ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Cuentas, A. (2009). Evaluación Cualitativa del Impacto Ambiental Generado por la Actividad Minera en la Rinconada Puno. Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, Universidad de Piura, Piura.
- Cuentas, M (2001). La Minería Peruana y sus Recursos. Puno: Edit FIM, 161 pp.
- CANTER, L. y SADLER, B. A tool kit for effective eia practice review of methods and perspectives on their application (en línea). Oklahoma: International Association for Impact Assesment, 1997 (Fecha de consulta: 12 abril 2013). Disponible en: [http://www.eiatraining.com/A\\_Tool\\_Kit\\_for\\_Effective\\_EIA\\_Practice.pdf](http://www.eiatraining.com/A_Tool_Kit_for_Effective_EIA_Practice.pdf).
- Franci, D. (2009). Evaluación de un diseño de fluido de perforación con las condiciones de las formaciones perforadas en el campo San Diego de Cabrutica.

Trabajo de Grado en Ingeniería del Petróleo, Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Barcelona.

- Lenntech BV. (2000). Conductividad del agua.
- Ministerio del Ambiente. (MINAM) (2008). Normas Legales. [http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/01/DS\\_002\\_2008-ECA-AGUA.pdf](http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/01/DS_002_2008-ECA-AGUA.pdf)
- Ministerio de Energía y Minas (1997). Guía ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero - Metalúrgicas. (1° Ed.). Lima: Autor.
- Ministerio de Energía y Minas (1997). Guía ambiental para Actividades de Exploración en Yacimientos Minerales en el Perú. (1° Ed.). Lima: Autor.
- Ministerio de Energía y Minas. Guía para Elaborar Estudios de Impacto Ambiental Semi Detallados (en línea). Perú: Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, 1999 (fecha de consulta: 22 de marzo de 2015). Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaam/legislacion/guias/guiaeia.pdf>.
- Moreira, C. (2003). Análisis del fluido de perforación visplex para pozos horizontales utilizados en un campo del Oriente Ecuatoriano. Tesis de Grado en Ingeniería del Petróleo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.

- Peña, C. (2007). Estudio para la Optimización del uso de fluidos de perforación en el Campo de la Petroproducción. Tesis en Tecnología de Petróleos, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Sociedad Nacional de Minería (1999). Manual de Prácticas Ambientales, Exploración Minera. (1ªEd.). Chile, DC: Autor.

**CAPITULO VIII:**

**ANEXOS**