

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**“BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESENTES EN LODOS
DE PERFORACIÓN DIAMANTINA MEDIANTE EL PROCESO DE
COMPOSTAJE”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
TECNOLOGÍAS PARA RESIDUOS Y PASIVOS AMBIENTALES, BIORREMEDIACIÓN**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

TICLLA HUAMAN, JUAN

ASESORA

Mg. VENTURA BARRERA, CARMEN LUZ

JURADO

Dr. LESCANO SANDOVAL, JORGE

Dr. ALVA VELASQUEZ, MIGUEL

Mg. CESAR MINGA, JULIO

LIMA - PERÚ

2021

"Lámpara es a mis pies tu palabra, y lumbrera a mi camino".

Salmos 119:105

Dedicatoria

A Dios, porque de él mana la sabiduría,
el conocimiento y la inteligencia.

A mis amados padres, Leocadia y Máximo,
por su amor incondicional y por ser mis guías.

A Anaís, el milagro más grande de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios porque dirige mi vida, siendo sus planes perfectos; además, por mostrarme en todo momento de esta investigación, su sublime amor y grande poder.

A mis padres, Leocadia y Máximo, por inculcarme que, entre otras cosas, la educación puede cambiarte la vida para bien, mostrándome un camino lleno de oportunidades y desafíos; pero contando siempre con su ejemplo, apoyo incondicional y amor inagotable, junto a toda mi familia.

A mi asesora de tesis, Mg. Carmen Ventura Barrera, por orientarme y brindarme las herramientas necesarias en la elaboración de la tesis.

A una gran persona y profesional, Mg. Omar Vásquez Aranda, por su tiempo, paciencia y disposición, en el asesoramiento de la investigación, sobre todo, en el desarrollo del experimento.

A Anaís, por su apoyo incondicional y motivación constante durante toda la investigación. Que, por cierto, en esta senda de la vida, caminamos juntos.

A la Ing. Evelyn Mendoza Colchado, una gran persona y profesional, que, con sus consejos y enriquecedora experiencia, ha sido la base en todo momento para poder concluir la investigación; y con quien, además, puedo compartir una sincera amistad.

Mi sincero agradecimiento al Ing. Jonatan Javier Pacheco, amigo, gran persona y profesional, que contribuyó en hacer posible la visita a un proyecto de exploración minera; de igual manera, al Ing. Ronald Valdivia, un gran amigo y profesional, quien me brindó su apoyo en todo momento durante la visita.

A mis amigos y grandes profesionales, Ricardo Delgado y Manuel De la Cruz, por apoyarme en todo momento durante la investigación, tanto en la parte experimental como en el diseño y dibujo técnico del experimento.

A mis queridas amigas Sofía De la Cruz y Nancy Vargas, quienes me apoyaron durante los análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente (LAGEMA) de la Universidad Nacional Federico Villarreal; además, de compartir la grande visión de que con la investigación se pueden lograr grandes cambios.

A mis docentes informantes Mg. Gladys Rojas León y Mg. Rogelia Guillén León, por su tiempo y disposición en la revisión de la presente investigación.

Finalmente, un agradecimiento especial, a mi casa de estudios la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, que a través de los extraordinarios docentes ha contribuido en mi formación profesional. Asimismo, agradecer de manera general, a todas aquellas personas que contribuyeron en la elaboración de la presente investigación.

Índice

Resumen.....	13
Abstract.....	14
I Introducción.....	15
1.1 Descripción y formulación del problema	16
1.1.1 Descripción del problema.....	16
1.1.2 Formulación del problema.....	18
1.2 Antecedentes.....	19
1.2.1 Antecedentes internacionales	19
1.2.2 Antecedentes nacionales.....	24
1.3 Objetivos.....	25
1.3.1 Objetivo general	25
1.3.2 Objetivos específicos.....	25
1.4 Justificación.....	26
1.5 Hipótesis	27
II Marco teórico	28
2.1 Bases teóricas	28
2.1.1 Suelo.....	28
2.1.2 Exploración minera	30
2.1.3 Perforación diamantina.....	35
2.1.4 Lodos de perforación diamantina	52
2.1.5 Proceso de compostaje.	63
2.2 Definición de términos	74
2.3 Normativa ambiental de referencia	75
III Método	78

3.1 Tipo de investigación	78
3.1.1 Enfoque de la investigación	78
3.1.2 Alcance de la investigación.....	78
3.1.3 Diseño de la investigación.....	78
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	79
3.3 Variables.....	79
3.3.1 Operacionalización de variables.....	79
3.4 Población y muestra	80
3.5 Instrumentos	80
3.5.1 Instrumentos	80
3.5.2 Materiales	81
3.5.3 Software.....	82
3.6 Procedimientos	82
3.6.1 Etapa 1: preparación.....	85
3.6.2 Etapa 2: desarrollo.....	90
3.6.3 Etapa 3: integración.....	100
3.7 Análisis de datos.....	101
3.8 Consideraciones éticas.....	102
IV Resultados.....	103
4.1 Resultados de la caracterización, control y análisis en la experimentación	103
4.1 103	
4.1.1 Temperatura ambiente (TA) y de las mezclas.....	103
4.1.2 Humedad (H).....	105
4.1.3 Potencial de hidrógeno (pH).....	107
4.1.4 Conductividad eléctrica (CE)	109

4.1.5	Sólidos disueltos totales (TDS)	111
4.1.6	Salinidad.....	113
4.1.7	Materia orgánica (MO).....	115
4.1.8	Fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3)	117
4.1.9	Plomo (Pb).....	119
4.1.10	Zinc (Zn).....	121
4.2	Resultados del grado de eficiencia en la biodegradación de lodos de perforación diamantina.....	123
4.3	Contrastación de hipótesis de la investigación.....	125
4.3.1.	Contrastación general de la hipótesis	126
4.3.2.	Contrastación de hipótesis según parámetro analizado.....	128
V	Discusión de resultados.....	149
VI	Conclusiones.....	157
VII	Recomendaciones	159
VIII	Referencias.....	161
IX	Anexos	172
9.1	Anexo 1: matriz de consistencia.....	172
9.2	Anexo 2: resultados del laboratorio ALAB.....	173
9.3	Anexo 3: validación de datos obtenidos en el laboratorio LAGEMA.....	177
9.4	Anexo 4: hojas MSDS de aditivos de perforación	182
9.5	Anexo 5: etiqueta para el muestreo de lodos de perforación diamantina.....	213
9.6	Anexo 6: plano del sistema para la experimentación	214

Índice de tablas

Tabla 1	Clasificación de acuerdo con el tamaño de los sólidos presentes en el lodo	55
Tabla 2	Sucesión microbiana durante el proceso de compostaje	70
Tabla 3	ECA para suelo, fracción de hidrocarburos F3	76
Tabla 4	Concentraciones de parámetros fisicoquímicos para el compost en base a lodos	77
Tabla 5	Operacionalización de variables de la investigación	79
Tabla 6	Instrumentos utilizados en la investigación	81
Tabla 7	Materiales usados en la investigación	81
Tabla 8	Características de diseño para la construcción del sistema	89
Tabla 9	Preparación de soluciones blanco y estándares de plomo	97
Tabla 10	Proporción de mezclas utilizadas para la experimentación	99
Tabla 11	Control y análisis en la experimentación	100
Tabla 12	Resultados de la temperatura ambiente y de las mezclas	104
Tabla 13	Resultados de la humedad	106
Tabla 14	Resultados del pH	108
Tabla 15	Resultados de la conductividad eléctrica	110
Tabla 16	Resultados de los sólidos disueltos totales	112
Tabla 17	Resultados de la salinidad	114
Tabla 18	Resultados de la materia orgánica	116
Tabla 19	Resultados de la fracción de hidrocarburos F3	118
Tabla 20	Resultados de la concentración de plomo	120
Tabla 21	Resultados de la concentración de zinc	122
Tabla 22	Eficiencia en la biodegradación de lodos de perforación diamantina	124
Tabla 23	Prueba de ANOVA para la contrastación general de la hipótesis	127
Tabla 24	Prueba post hoc de Tukey para la contrastación general de la hipótesis	127

Tabla 25 Prueba de ANOVA para la temperatura ambiente y de las mezclas.....	130
Tabla 26 Prueba post hoc de Tukey para la temperatura ambiente y de las mezclas	130
Tabla 27 Prueba de ANOVA para la humedad.....	132
Tabla 28 Prueba post hoc de Tukey para la humedad.....	132
Tabla 29 Prueba de ANOVA para pH	134
Tabla 30 Prueba post hoc de Tukey para pH	134
Tabla 31 Prueba de ANOVA para conductividad eléctrica	136
Tabla 32 Prueba post hoc de Tukey para conductividad eléctrica.....	136
Tabla 33 Prueba de ANOVA para sólidos disueltos totales	138
Tabla 34 Prueba post hoc de Tukey para sólidos disueltos totales	138
Tabla 35 Prueba de ANOVA para salinidad.....	140
Tabla 36 Prueba post hoc de Tukey para salinidad.....	140
Tabla 37 Prueba de ANOVA para materia orgánica.....	142
Tabla 38 Prueba post hoc de Tukey para materia orgánica	142
Tabla 39 Prueba de ANOVA para fracción hidrocarburos F3.....	144
Tabla 40 Prueba post hoc de Tukey para fracción de hidrocarburos F3.....	144
Tabla 41 Prueba de ANOVA para plomo	146
Tabla 42 Prueba post hoc de Tukey para plomo	146
Tabla 43 Prueba de ANOVA para zinc.....	148
Tabla 44 Prueba post hoc de Tukey para zinc	148
Tabla 45 Matriz de consistencia.....	172

Índice de figuras

Figura 1 Inversión en exploración minera según macrorregión	17
Figura 2 Etapas de la actividad minera	31
Figura 3 Etapas de la exploración minera	32
Figura 4 Tubos de perforación diamantina	36
Figura 5 Tipos de coronas de diamante usadas en la perforación	37
Figura 6 Testigo de perforación diamantina	38
Figura 7 Tipos de máquinas de perforación diamantina	39
Figura 8 Proceso de la perforación diamantina	41
Figura 9 Plataforma de perforación	43
Figura 10 Poza de sedimentación de lodos	44
Figura 11 Esquema de distribución de una plataforma de perforación	46
Figura 12 Esquema de perforación con corona de diamante	47
Figura 13 Máquina de perforación, tipo modular, en operación	48
Figura 14 Ejecución de un sondaje	49
Figura 15 Esquema de la perforación diamantina	50
Figura 16 Testigos de perforación dispuestos en cajas porta testigos	51
Figura 17 Lodos de perforación diamantina dispuestos en pozas	53
Figura 18 Clasificación de los tamaños de las partículas que conforman los lodos	56
Figura 19 Rango recomendado de sólidos en lodos base agua	57
Figura 20 Clasificación de los fluidos de perforación	59
Figura 21 Fases del proceso de compostaje y sucesión microbiana	65
Figura 22 Biodegradación de materiales orgánicos por fases en el proceso del compostaje	69
Figura 23 Método de la experimentación	84
Figura 24 Materiales usados para el muestreo de lodos de perforación diamantina	85

Figura 25	Toma de muestra de lodos de perforación diamantina	86
Figura 26	Compost utilizado para la experimentación	87
Figura 27	Esquema del sistema para la experimentación	87
Figura 28	Sistema construido a escala para la experimentación	90
Figura 29	Termómetros utilizados para medir la temperatura	91
Figura 30	Muestras trabajadas para el cálculo de la humedad	92
Figura 31	Medición de los parámetros pH, CE, TDS, S	93
Figura 32	Muestras introducidas en la mufla eléctrica para calcinación	94
Figura 33	Muestreo para análisis de Fracción de hidrocarburos F3	95
Figura 34	Medición de los parámetros Pb y Zn	96
Figura 35	Sistema de mezcla entre lodos de perforación diamantina y compost	99
Figura 36	Resultados de la temperatura ambiente y de las mezclas	105
Figura 37	Resultados de la humedad	107
Figura 38	Resultados del pH	109
Figura 39	Resultados de la conductividad eléctrica	111
Figura 40	Resultados de los sólidos disueltos totales	113
Figura 41	Resultados de la salinidad	115
Figura 42	Resultados de la materia orgánica	117
Figura 43	Resultados de la fracción de hidrocarburos F3	119
Figura 44	Resultados de la concentración de plomo	121
Figura 45	Resultados de la concentración de zinc	123
Figura 46	Eficiencia en la biodegradación de lodos de perforación diamantina	125

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la biodegradación de compuestos orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina, como la fracción de hidrocarburos F3, generados en un proyecto de exploración minera, aplicando el proceso de compostaje. En ese sentido, la investigación es de tipo aplicada con diseño experimental. No obstante, en el laboratorio, se compostaron tres mezclas, en diferentes proporciones de peso a peso, de compost y lodos de perforación diamantina, previa caracterización, por un periodo de 92 días; donde se realizaron diferentes controles y análisis, evaluando parámetros como la fracción de hidrocarburos F3, humedad, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, Temperatura Ambiente (TA) y de las mezclas, plomo y zinc. Los resultados, indicaron que la biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3 fue satisfactoria en todas las mezclas; sin embargo, la mezcla LCA (1:0.5) fue más eficiente llegando a 26.13 %, seguida de LCB (1:1) con 16.47 % y por último LCC (1:2) con 10.69 %. Concluyendo que la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, es posible mediante el proceso de compostaje; en consecuencia, podría ser aplicado en proyectos de exploración minera como alternativa sostenible para tratar y disponer adecuadamente los lodos de perforación diamantina.

Palabras claves: perforación diamantina, lodos, compostaje, biodegradación.

Abstract

The objective of this research is to evaluate the biodegradation of organic compounds present in diamond drilling muds, such as the fraction of hydrocarbons F3, generated in a mining exploration project, applying the composting process. In this sense, the research is applied with an experimental design. However, in the laboratory, three mixtures, in different proportions of weight to weight, of compost and diamond drilling muds were composted, after characterization, for a period of 92 days; where different controls and analyzes were carried out, evaluating parameters such as the fraction of hydrocarbons F3, humidity, pH, organic matter, electrical conductivity, salinity, total dissolved solids, room temperature and of the mixtures, lead and zinc. The results indicated that the biodegradation of the hydrocarbon fraction F3 was satisfactory in all the mixtures; however, the LCA mixture (1: 0.5) was more efficient reaching 26.13%, followed by LCB (1: 1) with 16.47% and finally LCC (1: 2) with 10.69%. Concluding that the biodegradation of organic compounds, such as the hydrocarbon fraction F3, is possible through the composting process; Consequently, it could be applied in mining exploration projects as a sustainable alternative to properly treat and dispose of diamond drilling muds.

Key words: diamond drilling, muds, composting, biodegradation.

I Introducción

La presente investigación tiene el propósito de evaluar la biodegradación de compuestos orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina, como la fracción de hidrocarburos F3, que fueron generados en un proyecto de exploración minera; aplicando el proceso de compostaje. No obstante, este estudio está comprendido en nueve secciones, que se describen más adelante.

En la sección I, se desarrolla la introducción de la investigación, la descripción y formulación del problema, antecedentes, objetivos, justificación y planteamiento de la hipótesis. Asimismo, en la sección II, se ubica el marco teórico conformado por las bases teóricas de las variables en estudio, definición de términos y el marco legal. Mientras tanto, en la sección III, se encuentra el método de la investigación; que abarca el tipo y diseño de la investigación, ámbito temporal y espacial, operacionalización de las variables, población y muestra, instrumentos y materiales utilizados, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas.

En la sección IV, se presentan los resultados obtenidos y el análisis cuantitativo y cualitativo las variables en estudio. Luego, en la sección V, se desarrolla la discusión de resultados obtenidos, contrastándolos con los de otros investigadores que desarrollaron investigaciones similares. Por otro lado, en la sección VI, se describen las conclusiones de la investigación de acuerdo a los objetivos y resultados obtenidos; y en la sección VII, se plantean las recomendaciones.

Asimismo, en la sección VIII, se describen las referencias utilizadas en la presente investigación. Y finalmente, en la sección IX, se muestran los anexos, que contienen información complementaria.

1.1 Descripción y formulación del problema

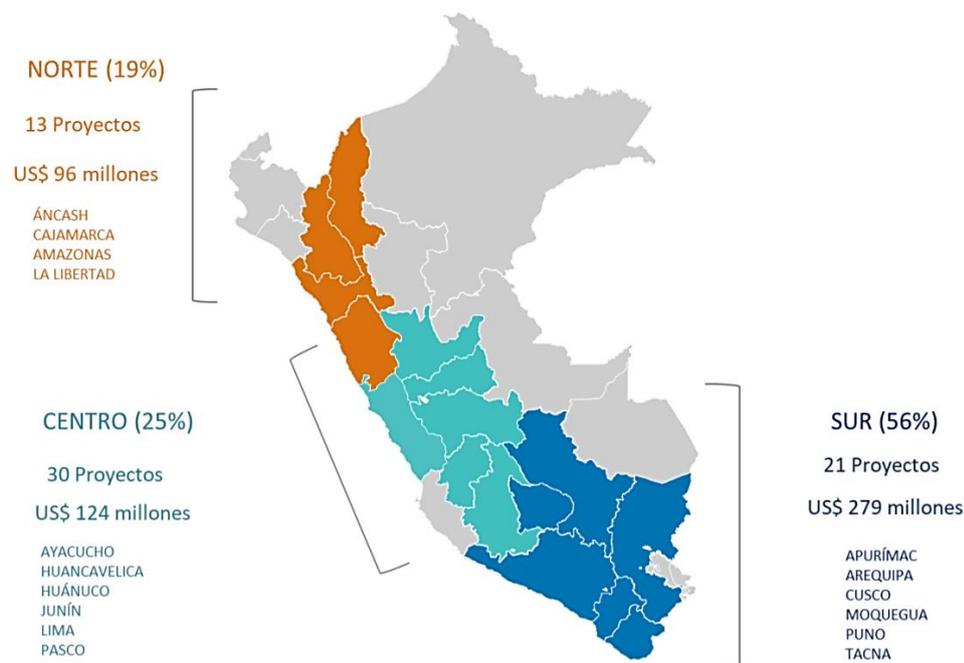
1.1.1 Descripción del problema

La actividad minera es fundamental en el desarrollo del Perú, ya que constituye una de las actividades económicas más importantes, representando una inversión privada local del 13% (ver Figura 1) y del valor de las exportaciones totales del país en más del 60%. En tal sentido, aporta cerca del 10% del Producto Bruto Interno (PBI) como informa el Ministerio de Economía y Finanzas; además de generar otros beneficios como empleos, ingresos fiscales y aduaneros; y en general, logra dinamizar la economía del país (Reyes, 2018; Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN], 2019). Consta de diferentes etapas interconectadas, siendo una de estas, la exploración minera, que es cimiento para determinar el potencial mineralógico, que daría paso a la explotación o extracción de minerales, es decir, la construcción y operación de una mina (Pachas, 2014, p. 322). Sin embargo, el desarrollo de esta actividad ha traído consigo una serie de problemas de carácter social y ambiental (Terrones y Mendoza, 2007, p. 220).

En el Perú, según el MINEM, solo uno de cada 100 proyectos de exploración minera se convierte en una mina (Pachas, 2014, p. 322). En ese sentido, mientras haya más proyectos de exploración minera en ejecución, la posibilidad de desarrollar una mina es mucho mayor y repotenciaría la renovación de las minas que se encuentren en operación; teniendo en cuenta, la responsabilidad ambiental (Reyes, 2018, p. 29).

Figura 1

Inversión en exploración minera según macrorregión



Nota. En la figura se muestra la inversión (en millones de dólares) según macrorregión direccionada a la exploración minera (información actualizada hasta febrero del año 2020). Se puede apreciar que la mayor concentración de la inversión se reúne en la zona sur del país representando un 56% del total para 21 proyectos, seguido del centro con 25% para 30 proyectos y el norte con 19% para 13 proyectos. De MINEM. (2020, 15 de abril). *Cartera de Proyectos de Exploración Minera.*

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1486039/CPE%202020.pdf.pdf>.

Existen diferentes métodos para el desarrollo de la exploración minera. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos se opta por el método de sondaje o perforación tipo diamantina, que comprende el sondaje con recuperación de testigos (*cores* o núcleos de perforación) mediante el uso de corona de diamante o broca y fluidos que facilitan la perforación, arrastrando los detritos desde el subsuelo hacia el exterior (Tenorio, 2015; Castilla y Herrera, 2012), convirtiéndose en residuos o efluentes semisólidos (lodos de perforación diamantina) que contienen un alto porcentaje de agua, sólidos y aditivos biodegradables como la bentonita y otros polímeros (Tenorio, 2015; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

En la actualidad, el manejo de los lodos de perforación diamantina se realiza en función a los Instrumentos De Gestión Ambiental (IGA) aprobados por la autoridad competente, para cada proyecto en específico, y consiste en el encapsulamiento, confinamiento, entre otros (Bautista, 2019, p. 15). Por otro lado, también se disponen los lodos de perforación mediante empresas operadoras de residuos, sin verificar si se realiza la correcta disposición final; y otra parte de las empresas generadoras deciden sepultar los lodos de perforación en las pozas de sedimentación donde fueron almacenados (durante el sondaje) encapsulándolos con plásticos, saquillos, geomembranas, entre otros; sin previo tratamiento, generándose así, los denominados pasivos de perforación (lodos de perforación) que por su exposición a las condiciones meteorológicas del lugar, pueden causar afectación al ambiente. Lo cual evidencia, que no existe un eficiente método para tratar y disponer adecuadamente los lodos de perforación diamantina, teniendo en cuenta que mientras se continúe explorando (realizando sondajes) la generación de lodos de perforación se incrementará, así como los materiales que se usan en su encapsulamiento (Tenorio, 2015, p. 2). El inadecuado manejo ambiental de los lodos de perforación puede generar impactos ambientales negativos sobre el ambiente físico y biológico de la zona, como el suelo, agua y la vegetación (Aquino, 2015, pp. 21-25).

Es por ello, que, en la presente investigación, se buscó evaluar la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema principal. A continuación, se formula la interrogante principal de la investigación:

¿Cómo se podrían biodegradar los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de

exploración minera, con proporciones de mezcla de compost apropiadas, para una disposición final adecuada?

1.1.2.2 Problemas secundarios. Se presentan las siguientes interrogantes secundarias de la investigación:

- ¿Qué características fisicoquímicas presentarían los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera?
- ¿Cuáles serían, en el proceso de compostaje, las concentraciones de parámetros fisicoquímicos de las mezclas de los lodos de perforación diamantina y compost en las proporciones de 1:0.5; 1:1 y 1:2, respectivamente?
- ¿Cuál sería la mezcla más eficiente para la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes internacionales

En Colombia, Rueda (2008), desarrolló la investigación titulada, *Alternativa de aprovechamiento de lodos generados en las actividades de exploración minera por parte de la Compañía CVS Explorations Ltda.*, sostuvo que:

En este estudio, se realizó el cálculo del volumen de lodo generado en el proyecto La Bodega del municipio de California Santander en el primer semestre del año, y la construcción de cuatro parcelas en el área del proyecto, donde se llevó a cabo la experimentación; mezclando de manera homogénea lodo y suelo natural (en ese orden) en concentraciones de 1:1, 2:1 y 3:1, en tres parcelas diferentes, para ser estudiados en función a una cuarta parcela de registro que contenía suelo natural. La evaluación se realizó en base a la siembra de una planta de la zona denominada alfalfa (*Medicago bijuga*) en las 4 parcelas, monitoreándose durante 8 semanas los parámetros de tasa de germinación, tasa de mortalidad, longitud del tallo y número de hojas, con la finalidad

de conocer los aportes de nutrientes esenciales del lodo y suelo natural para el desarrollo vegetal. Durante el proceso, se realizó el muestreo y análisis físicoquímico del lodo, suelo natural y las mezclas de ambos en las diferentes proporciones. El análisis físico del parámetro textura de suelos, se efectuó para el lodo, suelo natural y las proporciones de mezcla, así como el análisis químico de macronutrientes de Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, fósforo, carbono y nitrógeno total; mientras que el análisis químico de micronutrientes de Al, Cu, Fe, Mg, Na y sulfatos, se ejecutaron para el lodo y las proporciones de mezcla. Se determinó, que el lodo aportó en mayores concentraciones los macronutrientes y micronutrientes esenciales de N, C, Fe y Al; evidenciándose en el crecimiento óptimo de la especie vegetal alfalfa (*Medicago bijuga*) en cualquiera de las parcelas de concentración 1:1, 2:1, 3:1. Por lo que, se demostró que el aprovechamiento de los lodos de perforación diamantina es una opción viable que puede utilizarse a futuro en la recuperación ambiental de probables zonas afectadas por las actividades de exploración minera.

En México, Rojas-Avelizapa et al. (2007), mediante la investigación denominada, *Una prueba de campo para una biorremediación ex situ de un sitio contaminado con lodo de perforación*, refirieron que:

Desarrollaron una prueba de campo que consistió en la biorremediación de hidrocarburos (estimular y mejorar la biodegradación) mediante compostaje, en cuatro biopilas que contenían una tonelada de suelo contaminado con lodo de perforación de pozos petroleros en el Sureste de México, de las cuales, tres biopilas recibieron tratamiento con nutrientes (úrea, K_2HPO_4 , nitrógeno y fuentes de fósforo) para obtener un relación C / N / P de 100 / 3 / 0.5, más un agente de carga (paja) en una relación tierra / paja de 97/3; y una biopila no fue modificada. Dichas condiciones (relaciones) de mejora del suelo (C / N / P, agente de carga, humedad, etc.) fueron previamente

analizados y establecidos en el laboratorio. Los resultados mostraron que la humedad de las biopilas se mantuvo alrededor del 30 al 35%, mientras que al cabo de 180 días las concentraciones Totales de Hidrocarburos (TPH) disminuyeron de 99300 mg \pm 23 000 mg TPH/Kg suelo a 5500 mg \pm 770 mg de TPH/Kg para biopilas modificadas y a 22900 mg \pm 7800 mg de TPH/Kg para biopila no modificada. Además, se observó que los recuentos bacterianos más altos se dieron en los primeros 30 días, lo que se correlacionó con la mayor eliminación de TPH, por otro lado, el recuento de hongos aumentó al final del período de la prueba de campo. En consecuencia, la adición de paja, la inoculación de nutrientes y el contenido de humedad en las biopilas, influyen en la estimulación microbiana aeróbica, por lo que tiene repercusión directa en la eliminación de hidrocarburos.

En china, Chuang et al. (2019), mediante la investigación, *Influencia de la inoculación de compost maduro en el compostaje de lodos de depuradora: actividad enzimática, sucesión comunitaria bacteriana y fúngica*, refirieron que:

Evaluaron como influye el compost maduro en lodos de aguas residuales municipales de la planta de tratamiento Shuangqiao, ciudad de Zhengzhou, para mejorar el proceso de compostaje; comparando dos pilas que contenían 120 Kg de sustrato, cada una. La Pila A estaba compuesta por 75% de lodo de depuradora (SS) deshidratado y 25% de aserrín (partículas de madera de pino de 1 a 2 mm), mientras que la Pila B estaba conformada por 75% de SS deshidratdo, 12.5% de aserrín y 12.5% compost maduro, elaborado a partir de la fermentación de aserrín y SS en la relación de peso a peso 3:1, respectivamente, por mas de 180 días. Los resultados mostraron que la temperatura es fundamental en el proceso de compostaje, evidenciándose que en la Pila A la temperatura máxima o la velocidad de calentamiento, fue mayor que la Pila B, lo cual puede deberse a la adición de compost maduro en la Pila B ya que habría un contenido

menor de materia orgánica fácilmente degradable. Por otro lado, el pH tuvo una tendencia general de aumento hacia un estado alcalino para la Pila A y Pila B (8.87 y 8.92, respectivamente), sin embargo, en la fase mesofílica el pH de ambas pilas disminuyó ligeramente, posiblemente al contenido alto de materia orgánica del aserrín fácilmente degradable; además, en la fase mesofílica, la adición de compost maduro redujo significativamente el pH y en la fase termofílica aumentó significativamente, mientras que el pH para la fase de enfriamiento del compostaje en las dos pilas, no mostró variaciones o diferencias significativas. Además, en el proceso del compostaje aeróbico de SS, la inoculación de compost maduro mejoró en gran parte las actividades de las enzimas funcionales (celulasa, peroxidasa, arilsulfatasa y ureasa) en la fase mesofílica, pero al reducirse la temperatura pico, acortó la fase termofílica e inhibió la degradación de la materia orgánica. Debido a la adición del compost maduro, se inocularon bacterias; lo que aumentó la diversidad de bacterias (comunidad bacteriana) en la fase mesofílica, pero disminuyó la diversidad de hongos (comunidad fúngica) durante el proceso de compostaje, lo que cambia la correlación entre algunas funciones de los microorganismos y las actividades enzimáticas. Sin embargo, el compost maduro puede ser utilizado para optimizar el proceso de compostaje, siendo un agente de carga.

En China, Zhou et al. (2017), realizaron la investigación, *Remediación de suelos agrícolas contaminados con Cu, Pb, Zn y Cd utilizando una enmienda combinada de barro rojo y compost*, y refirieron que:

Para dicho estudio, llevaron a cabo un muestreo de suelo agrícola (S) o tierras de cultivo de Fangzhuang, ciudad de Jiaozuo, provincia de Henan; mientras que el barro rojo (R) se obtuvo como desecho secundario de la lixiviación alcalina de la monohidrallita en el *Procesamiento Bayer* (Lixiviación alcalina del residuo de bauxita que genera alúmina), ubicado en Chalco Zhongzhou Branch, provincia de Henan; además, el compost (C) se

obtuvo de la paja de arroz, cabe mencionar que la mezcla de R + C, fue producto de la mezcla del barro rojo (R) y compost (C) en la proporción de 1: 1 (peso / peso). El experimento consistió en realizar cuatro diferentes mezclas, S sin ninguna enmienda, S + C, S + R y S + C + R; el tratamiento se realizó por triplicado con la siguientes proporciones de peso a peso, para S en cada maceta se introdujo 500 g de S sin enmienda alguna, para S+C 500 g de S y 25 g de C, para S+R 500 g de S y 25 g de R y para S + C + R 500 g de S y 25 g de R + C; estas mezclas se transfirieron a unas mesetas con capacidad de 1000 ml, donde se les roció agua no iónica y se las colocó en una cámara climática artificial durante 60 días, tiempo que duró el experimento. Los resultados mostraron que el pH, Carbono Orgánico Total (TOC) y Carbono Orgánico Extraíble del Agua (WEOC) sufrieron cambios significativos después de la adición de materiales de enmienda (C y R) en el suelo contaminado. También, los cambios de disponibilidad presentados en las concentraciones de Cu, Zn, Cd y Pb, indicaron que tanto en R como en R + C, disminuyeron la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo y el compost disminuyó la efectividad biológica de Zn, Cd y Pb, pero aumentó para el Cu; además, los materiales de enmienda (C y R) disminuyeron la movilidad de los metales pesados (Cu, Zn, Cd y Pb) presentes en el agua de poro de cada enmienda, teniendo mejores efectos la combinación de R + C. Asimismo, la biomasa microbiana aumentó en el suelo tratado por la adicción de los materiales de enmienda (C y R) y se observó que podrían reducir el riesgo ecológico de metales pesados en el suelo, presentando en ambos casos, los mejores resultados, la combinación de R + C. En consecuencia, este estudio lograría proporcionar información útil en el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados.

1.2.2 Antecedentes nacionales

En Moquegua, Tenorio (2015), desarrolló una investigación titulada, *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*, y sostuvo que:

El estudio tuvo como objetivo evaluar el tratamiento de lodos de perforación mediante la aplicación de un sistema de tubos de geotextil tejido de polipropileno, para su adecuada disposición final. Concluyendo, que el sistema es eficiente para retener los sólidos y obtener agua libre de sólidos mejorando su calidad, tratando 36 m³ por día de lodo y recuperando 34.56 m³ de agua por día; este proceso, disminuyó los valores de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y turbidez en más del 90% y 96%, respectivamente. Además, encapsuló y disminuyó los valores de los metales: arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio y zinc. Por lo que, el agua resultante serviría para riego de accesos en el proyecto y los lodos deshidratados serían encapsulados con geomembrana en una poza, construida en un área del proyecto, para que posteriormente sea revetagada.

En Lima, Bautista (2019), elaboró la investigación, *Toxicidad de lodos de perforación minera en el bioindicador *Porcellio laevis**, y refirió que:

La evaluación se realizó en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Científica del Sur, en periodos de 24, 48 y 72 horas de exposición del bioindicador al lodo, para tres muestras, considerando los tratamientos para la muestra A de 0,07 g/, 0,14 g/g y 0,27 g/g (lodo de perforación), mientras que para la muestra B (fase suspendida del lodo de perforación) y C (fluidos de perforación) fue de 0,1 mL/g, 0,2 mL/g y 0,4 mL/g. Los ensayos mostraron que los lodos de perforación minera, no tuvieron un efecto letal en la especie *Porcellio laevis*, por lo que, no generan un efecto

tóxico en el modelo biológico evaluado. Por otro lado, la determinación de los parámetros subletales (NOEC, LOEC) en la especie *Porcellio laevis*, para la muestra A fue de 0,27 g/g y >0,27 g/g, mientras que para las muestras B y C fueron de 0,4 mL/g y >0,4 mL/g, respectivamente; indicando que dichas pruebas de toxicidad no evidenciaron efectos en el bioindicador; lo que mostraría, para las condiciones estudiadas, que los lodos de perforación minera no impactarían ni afectarían negativamente a la fauna del suelo. Además, según las pruebas de evasión, en diferentes condiciones de humedad, la especie *Porcellio laevis* tuvo preferencia por la tierra con presencia de lodos de perforación ya que presentaba mayor contenido de humedad en comparación con la muestra control; esto se reforzó, con la estrategia de agregación social de la especie para evitar la pérdida de agua.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones de parámetros fisicoquímicos de los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera.
- Determinar, durante el proceso de compostaje, las concentraciones de parámetros fisicoquímicos de las mezclas de lodos de perforación diamantina y compost, en las proporciones de 1:0.5, 1:1 y 1:2, respectivamente.
- Determinar la mezcla más eficiente para la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina.

1.4 Justificación

El presente estudio posee una relevancia ambiental, social y teórica; siendo una opción de mejora en el manejo ambiental de los lodos de perforación diamantina.

En consecuencia, la presente investigación, posee una relevancia ambiental, puesto que, representa una alternativa para biodegradar los componentes orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina mediante el proceso de compostaje; que traería como consecuencia, la restricción del uso de floculante, plástico, geomembrana u otro material, en el manejo y disposición final de los mismos; contrarrestando el posible impacto ambiental negativo en el suelo, agua y vegetación. Por otro lado, el proceso de compostaje permitiría obtener un producto orgánico a partir del lodo, que podría aprovecharse en el cierre ambiental de un proyecto de exploración minera, específicamente, en la revegetación, lo cual es relevante en el equilibrio ecológico de las áreas disturbadas. Además, este sustrato, no generaría residuos o subproductos peligrosos que se tengan que disponer; por lo tanto, lo convierte en un procedimiento amigable y sostenible con el ambiente.

Respecto a la relevancia social, representaría una mejora de la gestión ambiental para las empresas del sector minero y se afirmaría la confianza de la población, reduciendo el riesgo de conflictos sociales por incidentes ambientales. En ese sentido, es preciso que las diversas empresas inmersas en la exploración minera puedan replicar esta investigación a escala real, como una alternativa para el manejo adecuado de los lodos de perforación diamantina, ya que traería consigo beneficios ambientales, sociales y económicos.

Por otro lado, la presente investigación tiene relevancia teórica, puesto que no existen investigaciones en nuestro país sobre la biodegradación de los compuestos orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina, con un fin de aprovechamiento. En ese sentido, se pretende reforzar e incrementar la comprensión sobre el tema en estudio, aportando nuevo conocimiento.

1.5 Hipótesis

Hipótesis de la investigación (Hi)

Los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada.

II Marco teórico

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Suelo

El suelo es un componente de la naturaleza, de composición mineral, orgánica y biológica (Rueda, 2008, p. 25). Entre tanto, Jaramillo (2002, p. 21), precisa que el suelo es un sustrato fundamental que dota de agua, nutrientes y es soporte para las plantas. Por otro lado, Burbano (2016, p. 118), menciona que el suelo es un recurso natural no renovable que brinda servicios ecosistémicos o ambientales como la contribución en los ciclos biogeoquímicos de elementos fundamentales como el carbono, nitrógeno, fósforo, entre otros; además, ofrece a las actividades humanas soporte en la producción de alimentos y materias primas, en general.

Según la normativa peruana, en la Guía para el Muestreo de Suelos, refiere que el suelo es un material no consolidado conformado por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, el cual abarca desde niveles diferentes de profundidad (subsuelo) hasta la capa superior de la superficie terrestre (MINAM, 2014, p. 5). Además, es la compilación de los diversos cuerpos naturales, cuerpos modificados naturalmente o aquellos construidos por el hombre, que se posan sobre la superficie terrestre y que albergan organismos vivos (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2010, p. 7).

En consecuencia, es relevante mantener o conservar la calidad del suelo, que es la capacidad o el estado natural que posee, para cumplir diversas funciones (ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales) debido a sus características físicas, químicas y biológicas (MINAM, 2014, p. 3).

2.1.1.1 Estructura y composición. El suelo presenta una estructura secuencial denominada capas u horizontes con diferentes características según la profundidad (Rueda,

2008, p. 25), las cuales están gobernadas por las fracciones mineral y orgánica (Marchese, 2015, p. 1).

La fracción mineral, es producto de procesos fisicoquímicos de la roca madre (meteorización) y también de otros componentes inorgánicos, conformado por la arena, el limo, la arcilla y diversos minerales (Marchese, 2015; López, 2002).

La fracción orgánica, está compuesta por animales, microorganismos, vegetales y los subproductos generados por la actividad que desarrollan (Jordán, 2005, p. 25). Es decir, la materia orgánica, se compone de organismos vivos (biomasa) y de células muertas (necromasa) (Jaume et al., 2014).

2.1.1.2 El suelo como agente depurador de contaminantes. En el suelo también se cumple ley de amortiguación de la naturaleza, es decir, que si el suelo (como un sistema en equilibrio) es sometido a impactos externos (negativos) con tendencia a generarle afectación, este como resultado, presentará modificaciones para neutralizar las acciones o efectos del impacto (Seoáñez, 1999).

El suelo es considerado como un ente dinámico, donde se llevan a cabo diversas interacciones entre los componentes orgánicos e inorgánicos, alcanzando un equilibrio. Sin embargo, los microorganismos presentes en el suelo desempeñan un papel determinante en la función depuradora, degradando los residuos orgánicos en elementos solubles o gaseosos como el CO₂, NH₃, N, entre otros; o en complejos coloidales como el humus. Favoreciendo a la textura y estructura del suelo, también se incrementa la permeabilidad, aireación y fertilidad, fortaleciendo el desarrollo de las plantas (Rueda, 2008, p. 26).

Otra función depuradora del suelo, es la del intercambio catiónico, que además de favorecer el almacenamiento de nutrientes para el fortalecimiento de las plantas, contribuye en la captación de metales y herbicidas potencialmente contaminantes en la fase líquida o acuosa del suelo, frenando el posible ingreso a las cadenas tróficas (Jaume et al., 2014). Esta función, se debe a su

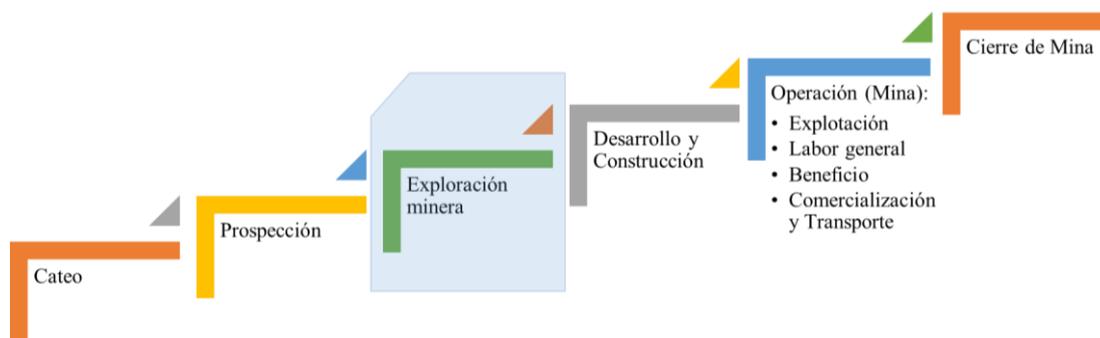
gran capacidad de almacenaje y amortiguación, que se sustenta en el contenido de materia orgánica presente en el suelo (Kaifer et al., 2004, p. 14).

2.1.2 Exploración minera

Según el Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera, emitido mediante el D.S. N° 042-2017-EM, la exploración minera es una actividad que tiene como objetivo medir el potencial mineralógico de un yacimiento (MINEM, 2017, p. 13). Además, tiene una orientación hacia una futura explotación rentable de minerales (Tenorio, 2015, p. 23). Cabe mencionar, que un yacimiento mineral, es la acumulación anómala de minerales en la corteza terrestre por procesos geoquímicos y que tienen potencial para ser extraídos con el objetivo de generar beneficios económicos (Canet y Camprubí, 2013, p. 222).

La exploración minera permitirá un dimensionamiento del depósito mineral (yacimiento mineral), donde se determinará la forma, el contenido del mineral y el valor de dicho depósito que se refiere a la rentabilidad de la cantidad de mineral que se podría extraer, y estará sujeto al precio de cotización en el mercado (Castilla y Herrera, 2012, p. 5).

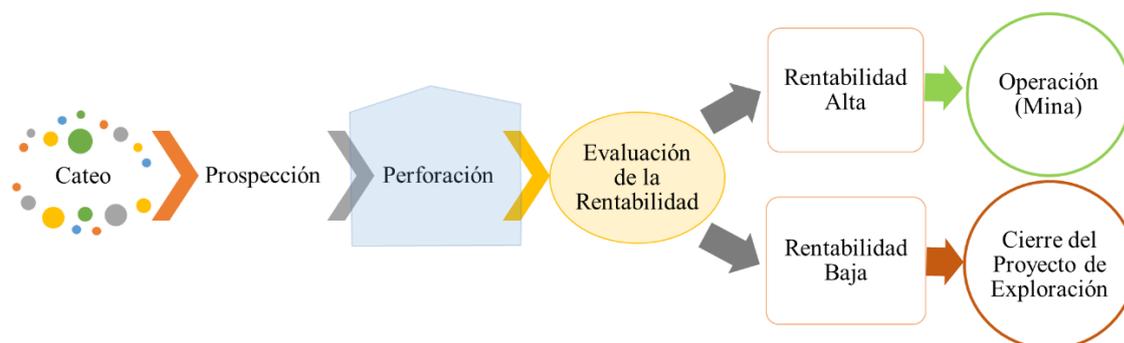
Según Bautista (2019, p. 50), para desarrollar la exploración minera, previamente se deben llevar a cabo diferentes estudios de carácter geológico, geoquímico, geofísico entre otros; que se complementen entre sí, sentando una base sólida de información. En la Figura 2, se muestra en qué etapa de la actividad minera se encontraría la exploración minera.

Figura 2*Etapas de la actividad minera*

Nota. En la figura se muestran las etapas de la actividad minera basado en el D.S. N° 014-92-EM, resaltándose la exploración minera, ya que allí se contextualiza la presente investigación.

Además, Tenorio (2015, p. 23), explica que en la exploración minera se aplican diferentes métodos breves y económicos que permitan abarcar áreas grandes e ir descartándolas hasta llegar a zonas específicas de alto interés geológico, que favorecerán a que el programa de exploración sea exitoso.

2.1.2.1 Etapas de la exploración minera. La exploración minera consta de etapas definidas que inicia con el cateo, prospección, perforación y la evaluación de la rentabilidad para determinar si se convertirá en una futura mina (operación) o se llevará a cabo el cierre definitivo del proyecto de exploración minera. La Figura 3, describe las etapas que conformarían la exploración minera (MINEM, 2017, p. 20).

Figura 3*Etapas de la exploración minera*

Nota. En la figura se resalta a la etapa de perforación, porque es donde se generarán los lodos de perforación, además de otros residuos y efluentes. Basado en el D.S. N° 014-92-EM y D.S. N° 042-2017-EM.

El cateo es una actividad minera que tiene como objetivo evidenciar o mostrar indicios de mineralización realizando labores mineras elementales, tal como lo menciona el Texto Único Ordenado (TUO) de la Ley General de Minería, aprobado por D.S. N° 014-92-EM. Además, es una actividad que se puede realizar libremente en el territorio nacional y no requiere contar con la Certificación Ambiental, ya que no genera mayores alteraciones (MINEM, 2017, p. 19).

La prospección, como se menciona en el D.S. N° 014-92-EM, es una actividad minera, que, a semejanza con el cateo, busca áreas de posible mineralización, pero utilizando instrumentos y técnicas para obtener indicaciones químicas (geoquímica) y físicas (geofísica), entre otros; con la finalidad de determinar anomalías del terreno y contribuyan a la realización de actividades posteriores como la perforación (Castilla y Herrera, 2012; MINEM, 2017). Así como el cateo, es una actividad de libre realización y no requiere de Certificación Ambiental (MINEM, 2017, p. 19).

Existen diversas técnicas de perforación que se aplican en la exploración minera, sujetos a la velocidad del procedimiento, la calidad y cantidad de muestra a recuperar, costos de operación, además de los aspectos logístico y ambiental. Sin embargo, los métodos de

perforación más usados en la exploración minera son los siguientes: perforación a rotación con recuperación de testigo (perforación con corona de diamante o perforación diamantina), perforación a rotación y perforación a rotopercusión. En consecuencia, el método o técnica de perforación minera de interés para la presente investigación, es la perforación a rotación con recuperación de testigo (perforación diamantina) y se describirá más adelante. (Castilla y Herrera, 2012, p. 19).

La evaluación de la rentabilidad está sujeta al conocimiento de la cantidad de mineral y la forma del depósito mineral, en la zona de estudio; es decir, la “ley de corte” (que describe la proporción en peso de un metal en base a la roca que lo contiene, y se expresa en porcentaje (%) o en partes por millón (ppm) establecerá si es rentable la explotación del yacimiento minero. Esta evaluación, deja abierta dos posibilidades: la rentabilidad alta que dará paso a la siguiente etapa de la actividad minera que es la operación (mina) y la rentabilidad baja que conlleva al cierre definitivo del proyecto de exploración minera que involucra el cese de actividades de perforación y el cierre ambiental (Castilla y Herrera, 2012; Bautista, 2019; Reyes, 2018).

El cierre ambiental de un proyecto de exploración minera comprende las actividades de restauración de las áreas disturbadas, en lo posible, a las condiciones iniciales en las que se encontraban; es decir, el restablecimiento de la estabilidad física, química y procesos ecológicos del área afectada. Además, está normado en el Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera aprobado mediante D.S. N° 042-2017-EM y deberá ser incluido de manera detallada en el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) para dicho proyecto; por lo que, su cumplimiento no dependerá de los resultados obtenidos durante el programa de exploración y deberá llevarse a cabo (MINEM, 2017, p. 20). Además, comprende tres etapas: el cierre progresivo, cierre final y post-cierre; en términos y plazos establecidos en el Estudio Ambiental aprobado. El cierre progresivo, involucra las actividades

de cierre sobre aquellas áreas disturbadas que durante la operación del proyecto ya no seguirán usándose. Mientras que el cierre final se realizará culminado el proyecto, y refiere a las actividades de cierre de todas las áreas disturbadas que no fueron restablecidas durante la operación del proyecto y que se usaron hasta la culminación de este. Finalmente, el post cierre es posterior al cese de actividades del proyecto, y abarca las medidas de control y resanación de las áreas disturbadas que fueron restauradas durante el cierre progresivo y cierre final (MINEM, 2017, p. 31).

2.1.2.2 Certificación ambiental en la exploración minera. La certificación ambiental, es una resolución que emite la autoridad competente mediante la cual se aprueba el estudio ambiental para un proyecto de exploración minera, certificando que ha cumplido con todos los requisitos y por lo tanto da viabilidad ambiental para dicho proyecto (MINEM, 2017, p. 32). En consecuencia, ninguna autoridad podrá autorizar, permitir, aprobar, conceder o habilitar un proyecto si no cuenta con una certificación ambiental previa (Reyes, 2018, p. 31).

Pachas (2014, p. 324), refiere que la obtención de la certificación ambiental es el resultado de la aprobación del estudio ambiental o IGA, el cual involucra la descripción previa de los componentes ambientales en la zona del proyecto, las actividades a desarrollarse y las medidas de control ambiental para contrarrestar los impactos ambientales negativos que se puedan generar.

Se han establecido tres instrumentos de gestión ambiental para la exploración minera: Ficha Técnica Ambiental (FTA), Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd); los cuales se definirán de acuerdo a la clasificación de los impactos ambientales negativos que se puedan generar en un proyecto. Es decir, se elaborará una FTA si se estima que en el proyecto se generarán impactos ambientales negativos no significativos, será una DIA si son leves y si son moderados un EIA-sd (MINEM,

2017, pp. 37-46). Además, el contenido que debería desarrollarse en los mencionados estudios ambientales se especifica en la R.M. N° 108-2018-MEM/DM (MINEM, 2018, pp. 5-78).

Sin embargo, también es necesario contar con el Permiso Social, el Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA), la Autorización de Uso de Agua (AUA) y la Autorización para el Inicio/Reinicio de Actividades de Exploración (Pachas, 2014, p. 327).

2.1.2.3 Desarrollo sostenible en la exploración minera. Haciendo referencia al Informe Brundtland, el desarrollo sostenible puede definirse como el desarrollo que garantiza la satisfacción de las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (Urteaga, 2009, p. 115).

En ese sentido, un proyecto de exploración minera será considerado sostenible o sustentable, cuando cumpla con los permisos ambientales (certificación ambiental), genere beneficios socioeconómicos y que los resultados de la exploración (perforación diamantina) resulten factibles dando paso al desarrollo de una mina (Reyes, 2018, p. 31).

2.1.3 Perforación diamantina

La perforación diamantina es uno de los métodos o técnicas que consiste en la perforación del subsuelo desde la superficie y de manera subterránea (socavón), con máquinas de perforación que tienen brocas diamantadas, para obtener los denominados testigos de perforación (*cores* o núcleos) los cuales serán de relevancia geológica para determinar el potencial mineralógico de la zona (Tenorio, 2015; Fernández et al., 2015). La perforación a rotación con recuperación de testigo (o perforación diamantina) es el método de verificación directa de muestras de roca a profundidad, estudio que no se puede realizar con el cateo y prospección, dado que son métodos indirectos (Castilla y Herrera, 2012, p. 26).

La perforación diamantina es un método que se utiliza para extraer muestras de núcleo de rocas, cortándolas angularmente con brocas que poseen incrustaciones de diamantes industriales y van unidas en el extremo de una sarta de perforación también denominado tubos

o barras de perforación (ver Figura 4), y a medida que avanza la broca se obtiene la roca en forma cilíndrica alojándose en el interior de los tubos, para posteriormente extraer la muestra. Cabe mencionar, que para este proceso existen dos maneras; el método convencional, que para extraer los testigos se retira por completo los tubos de perforación y el método por cable o *wire line*, donde sólo se saca a superficie el tubo interior que contiene al testigo mediante un cable, sin remover la tubería de perforación. Para efectos del presente estudio, al referirse a la extracción de testigos en la perforación diamantina, será por el método *wire line*. (Castilla y Herrera, 2012; Salas, 2016).

Figura 4

Tubos de perforación diamantina



Nota. De Salas V., A. T. (2016). *Análisis y mejora de la calidad en el proceso de perforación en diamantina utilizando la metodología DMAIC* [Tesis de pregrado, Universidad Andrés Bello]. <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/3670>.

Las brocas o coronas diamantadas sirven como herramientas de corte y que a parte de contener incrustaciones de diamante, están compuestas generalmente de polvos metálicos como el carburo de tungsteno y soldadura de cobre, plata, níquel, entre otros (Garay, 2014, p. 19). En la Figura 5, se pueden apreciar las diferentes tipos de brocas usadas en la perforación diamantina.

Figura 5

Tipos de coronas de diamante usadas en la perforación



Nota. De Castilla G., J. y Herrera H., J. (2012). *El proceso de la exploración minera mediante sondeos.* Universidad Politécnica de Madrid.
http://oa.upm.es/10695/1/20120330_El_Proceso_de_Exploracion_Minera_mediante_Sondeos.pdf

Por otro lado, los testigos de perforación diamantina son las muestras de roca que se extraen del subsuelo (ver Figura 6) y que permitirán realizar un análisis directo de las diferentes capas de materiales que lo conforman, así también la presencia de mineralización que pudieran tener, para estudiar su potencial explotación. El diámetro del testigo estándar varía entre los 27 mm a 85 mm, lo que dependerá del diámetro de los tubos de perforación a utilizar.

Generalmente la tubos y diámetros que se usan son AQ (27 mm), BQ (36.5 mm), NQ (47.6 mm), HQ (63.5 mm) y PQ (85 mm) (Castilla y Herrera, 2012, p. 29).

Figura 6

Testigo de perforación diamantina



Nota. De Castilla G., J. y Herrera H., J. (2012). *El proceso de la Exploración Minera mediante sondeos.* Universidad Politécnica de Madrid.
http://oa.upm.es/10695/1/20120330_El_Proceso_de_Exploracion_Minera_mediante_Sondeos.pdf

Sin embargo, para realizar la perforación del subsuelo y extraer los testigos, es necesario el uso de una máquina de perforación o sonda, por eso se denomina a cada perforación, sondaje o pozo. Estas máquinas, en general, pueden contener un motor diésel de 20 a 140 HP de potencia capaz de hacer rotar un cabezal 360°, que contiene la tubería de perforación resistente a la abrasión hecha de acero, en cuyo extremo se encuentra la corona o broca diamantada; además, logra generar una fuerza de empuje vertical (hacia abajo) en la inclinación requerida, permitiendo cortar la roca de manera cilíndrica y ser atrapada en el tubo interior de perforación, que luego será extraída (Riquelme, 2017; Salas, 2016; Tenorio, 2015). Existen diferentes tipos de máquinas de perforación (ver Figura 7), que se pueden clasificar en máquinas autopropulsadas (como orugas o camiones) y máquinas tipo modular que son más

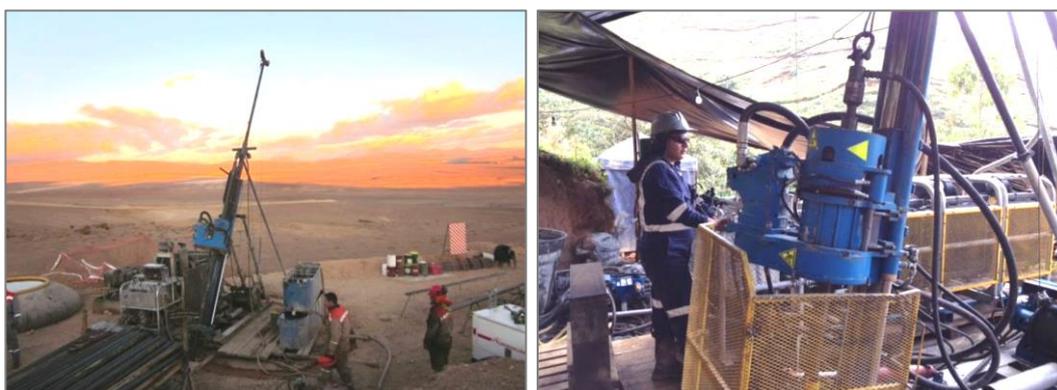
livianas, y su transporte puede realizarse en helicóptero o de forma manual para luego ser ensambladas. Su uso dependerá de la ubicación y accesibilidad al proyecto, metraje del programa de perforación y el tipo de yacimiento mineral (Riquelme, 2017, p. 33).

Figura 7

Tipos de máquinas de perforación diamantina



a) Máquina autopropulsada con oruga. b) Máquina autopropulsada con camión.



c) Máquinas del tipo modular

Nota. De Riquelme C. C., D. J. (2017). *Identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles, en las actividades de perforación diamantina, basado en la Norma OHSAS 18001:2007 en la Unidad Minera Cerro Lindo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2393>.

En consecuencia, durante la perforación diamantina para obtener los testigos de perforación, se generarán lamas que contendrán agua, material fino y restos de aditivos (denominados lodos de perforación diamantina) y otros residuos sólidos (Tenorio, 2015, p. 28).

2.1.3.1 Proceso de la perforación diamantina. El proceso de la perforación diamantina se compone de diferentes etapas que hacen posible la obtención a profundidad del testigo o núcleo de roca para el estudio geológico directo y minucioso. Estas etapas se describirán más adelante y son las siguientes: ubicación del punto de perforación, construcción de acceso, plataforma y pozas, determinación del rumbo y buzamiento del punto de perforación, estandarización de plataforma, perforación del subsuelo, recuperación del testigo de perforación y finalmente el traslado a otro punto de perforación, para iniciar nuevamente el proceso. Cabe precisar, que, al referirse a la perforación diamantina, será aquella perforación que se realiza desde la superficie terrestre. En la Figura 8 se compilan las etapas del proceso de la perforación diamantina (Tenorio, 2015; Riquelme, 2017; Salas, 2016; Rueda, 2008; Castilla y Herrera, 2012).

Figura 8*Proceso de la perforación diamantina*

Nota. En la figura se ha tratado de englobar las actividades del proceso de la perforación diamantina, desde un enfoque técnico y ambiental.

2.1.3.1.1 Ubicación del punto de perforación. La ubicación del punto de perforación en el terreno dependerá de los resultados del cateo y prospección realizados previamente. Además, antes de salir al terreno se elaborarán mapas de los afloramientos rocosos, el perfil geológico del sondeo propuesto, la sección con la trayectoria propuesta (rumbo o azimut y buzamiento) para el sondaje, entre otros. De esa manera se ubicará el punto de perforación en el área establecida del proyecto con ayuda de un GPS y brújula (Castilla y Herrera, 2012, p. 33).

2.1.3.1.2 Construcción de acceso, plataforma y pozas. Los criterios para la construcción y dimensiones de estos componentes (acceso, plataforma y pozas) se expondrán

en el estudio ambiental para el proyecto, en concordancia con el D.S. N° 042-2017-EM y R.M. N° 108-2018-MEM/DM.

Una vez ubicado el punto de perforación, se iniciarán las labores de construcción del acceso, plataforma y pozas; las cuales, se realizarían con maquinaria pesada y también con herramientas manuales (Riquelme, 2017; Fernández et al., 2015).

Para la construcción del *acceso* debe tenerse en cuenta el terreno firme, siguiendo los contornos naturales o controles topográficos favorables, evitando las fuertes pendientes y zonas rocosas fracturadas; de tal manera, pueda permitir el traslado con normalidad de la infraestructura de perforación hasta la plataforma donde se desarrollará el sondaje. Además, se deberá evitar en lo posible realizar grandes cortes o excesiva remoción del terreno, para facilitar el cierre ambiental del acceso (MINEM, 2017; Riquelme, 2017).

El objetivo de construir una *plataforma de perforación* (ver Figura 9), es que los equipos de perforación se dispongan de manera horizontal con la mayor estabilidad posible, previa impermeabilización de plataforma con geomembrana u otro material impermeable; por lo que, la superficie de la plataforma debe estar totalmente nivelada, orientada a la dirección del sondaje propuesto y además ser lo suficientemente amplia para permitir el abastecimiento y almacenamiento de combustibles, aditivos, cajas de testigos de perforación, entre otros (Castilla y Herrera, 2012; Tenorio, 2015; Riquelme, 2017). Se considera, en promedio, que una adecuada plataforma sobrepasa un área de 100 m², sin embargo, se deberá evitar disturbar la mayor área posible para minimizar el impacto ambiental negativo en la zona (Riquelme, 2017; Tenorio, 2015).

Figura 9

Plataforma de perforación



Nota. En la figura se muestra la habilitación de una plataforma de perforación. De Rueda Q., P. A. (2008). *Alternativa de aprovechamiento de lodos generados en las actividades de explotación minera por parte de la Compañía CVS Explorations Ltda* [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/713>.

Las pozas de sedimentación de lodos o pozas de lodos (ver Figura 10), se construirán fuera del área de la plataforma para captar los lodos de perforación a generarse, y deberán ser revestidas con algún material impermeable, como la geomembrana, para evitar filtraciones que pudieran afectar los suelos y las aguas subterráneas (MINEM, 2017; Tenorio, 2015). Las dimensiones de las pozas de lodos, como el área y volumen se describirán en el estudio ambiental, y dependerán de las condiciones ambientales del área, los sondajes propuestos y del equipo de perforación a utilizar (Riquelme, 2017; Tenorio, 2015).

Figura 10

Poza de sedimentación de lodos



Nota. En la figura se muestra una poza de lodos habilitada y en operación. De Sistema de Información Ambiental Regional de Lima [SIAR LIMA]. (2020, 3 de mayo). *Declaración de Impacto Ambiental Proyecto de Exploración "Romina 2"*. <http://siar.regionlima.gob.pe/documentos/declaracion-impacto-ambiental-proyecto-exploracion-romina-2-huaral>.

2.1.3.1.3 Determinación del rumbo y buzamiento del punto de perforación. Antes de la ubicación del punto de perforación en el terreno, entre otros aspectos, se elaborará y determinará la trayectoria (*rumbo o azimuth y buzamiento*) del sondaje propuesto (Castilla y Herrera, 2012, p. 34), para que, una vez ubicado el punto de perforación en la zona determinada, se proceda a la construcción del acceso y la plataforma donde se instalará el equipo de perforación para desarrollar el sondaje (Riquelme, 2017, p. 31). En ese sentido, habrá que reajustar la ubicación del punto de perforación en la plataforma construida, con la dirección e inclinación requeridas; y posteriormente, emplazar la maquina de perforación sobre el punto determinado y nivelar dicho equipo con el rumbo y buzamiento establecidos para perforar. A dicho proceso se le suele denominar *colocación de la línea de perforación* y se hace con la ayuda de un instrumento de medición *Reflex* y también con una brújula (Riquelme, 2017, p. 32).

2.1.3.1.4 Estandarización de plataforma. Refiere al traslado e instalación del equipo de perforación en la plataforma junto a sus diversos componentes y la habilitación de plataforma, lo cual deberá hacerse bajo condiciones de seguridad establecidos; y de esta manera, se resuelve la preparación para dar inicio a la perforación. En la Figura 11, se presenta un esquema general de una plataforma estandarizada (Tenorio, 2015; Riquelme, 2017; Salas, 2016).

La habilitación de una plataforma de perforación implica la preparación previa para recibir al equipo de perforación y sus componentes, por lo que comprende la impermeabilización del área donde se emplazarán (Tenorio, 2015, p. 25). Luego se procede a trasladar, ensamblar y nivelar por completo la máquina de perforación en el punto ubicado para el desarrollo del sondaje, de acuerdo a la línea de perforación determinada. También, se llevará a cabo la distribución e instalación de los componentes del equipo de perforación, tales como los tubos de perforación, herramientas y accesorios, canaleta de muestras, caballete, depósito de agua, luminarias, aditivos de perforación, bombas de agua y lodos, cajas de testigos, estación de trabajadores y emergencias, área de residuos, área de combustibles, baño portátil, entre otros (Tenorio, 2015; Riquelme, 2017). En paralelo con la distribución e instalación de los componentes mencionados, se les colocarán letreros como parte de la señalización, así como en toda el área de perforación; además, se cercará el área de trabajo para aislar la zona, por seguridad (Riquelme, 2017, p. 31).

Cabe mencionar, que las pozas de lodos también se habilitarán cuando se construya la plataforma, serán impermeabilizadas y se les colocará letreros como parte de la señalización de seguridad, antes del inicio de la perforación. Además, el top soil o suelo orgánico recuperado será almacenado en una zona determinada, para ser utilizado en el cierre ambiental de las áreas disturbadas. Estos procedimientos, se describirán en el estudio ambiental de un proyecto (Tenorio, 2015; MINEM, 2017).

Figura 11

Esquema de distribución de una plataforma de perforación

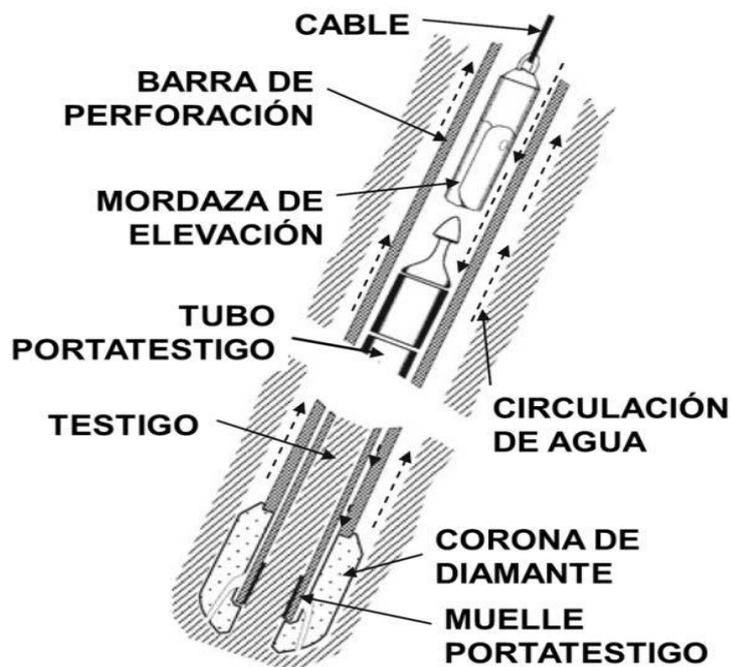


Nota. La figura muestra un esquema general de una plataforma estandarizada, es decir, la distribución de los componentes necesarios para la perforación teniendo en cuenta el aspecto ambiental y de seguridad.

2.1.3.1.5 Perforación del subsuelo. Una vez estandarizada la plataforma y, por tanto, la máquina de perforación instalada y nivelada en el punto propuesto se procede con el desarrollo del sondaje. La persona encargada de operar la máquina de perforación es el *perforista* que estará acompañado de *ayudantes de perforación*, quienes manipularán la tubería o barras de perforación y prepararán los fluidos, entre otras funciones. Se muestra un esquema de perforación diamantina en la Figura 12 (Riquelme, 2017; Salas, 2016; Fernández et al., 2015).

Figura 12

Esquema de perforación con corona de diamante

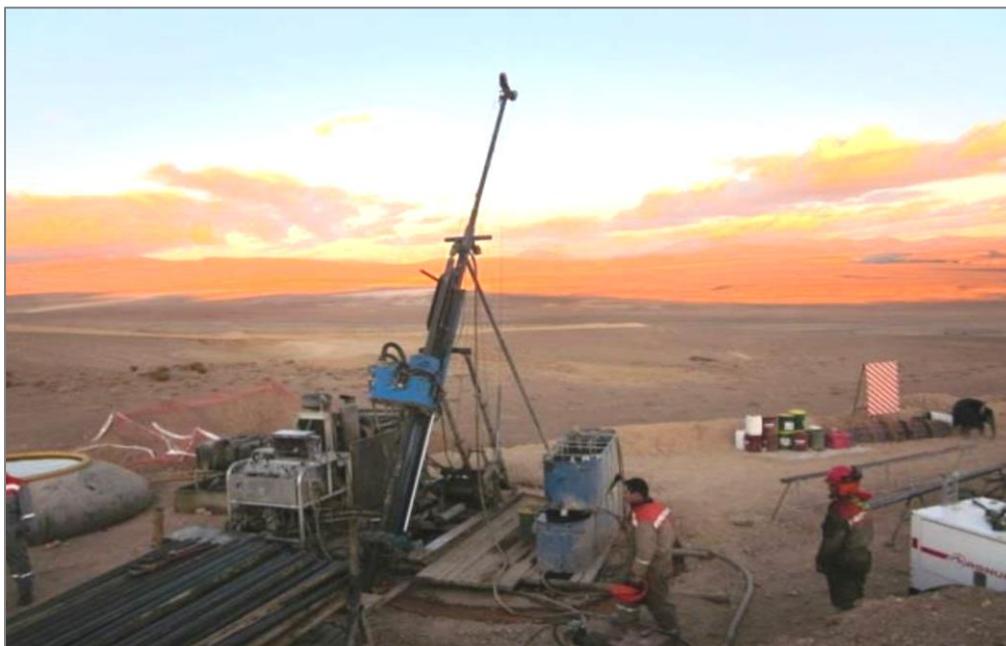


Nota. En el esquema, mostrado en la figura, se aprecia la perforación con una corona diamantada, y que al cortar el macizo rocoso valiéndose del fluido a base de agua, logra atrapar al testigo en el tubo interior para luego ser extraído. De Castilla G., J. y Herrera H., J. (2012). *El proceso de la Exploración Minera mediante sondeos*. Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/10695/1/20120330_El_Proceso_de_Exploracion_Minera_mediante_Sondeos.pdf.

Para el inicio de la perforación del subsuelo, previamente se prepararán los fluidos de perforación, conformados de agua y aditivos, en la tina de fluidos de la máquina perforadora. De esta manera, se suministrarán los fluidos, mediante mangueras hidráulicas, a la broca que perforará el pozo, dando soporte a la pared y enfriando la broca y los tubos de perforación, mientras se avanza en profundidad cortando la roca y atrapándola en el tubo interior o tubo porta testigo. La Figura 13 presenta una máquina de perforación modular en operación (Riquelme, 2017; Salas, 2016; Tenorio, 2015; Rueda, 2008; Fernández et al., 2015; Castilla y Herrera, 2012).

Figura 13

Máquina de perforación, tipo modular, en operación



Nota. En la figura se muestra a una máquina de perforación del tipo modular en operación, conjuntamente con todos sus componentes. De Riquelme C. C., D. J. (2017). *identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles, en las actividades de perforación diamantina, basado en la Norma OHSAS 18001:2007 en la Unidad Minera Cerro Lindo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2393>.

Para el avance de la perforación se necesitarán la adición de tubos o barras de perforación (tubos externos), con la finalidad de alcanzar la profundidad requerida (ver Figura 14). Dichos tubos pueden tener una longitud de 5 pies (1.524 m) y 10 pies (3.048 m) con diferentes medidas de diámetro, dependiendo de la tubería a usar. El acople de dichas barras, se harán en la unidad de rotación de la máquina perforadora (Riquelme, 2017, p. 36).

Figura 14

Ejecución de un sondaje

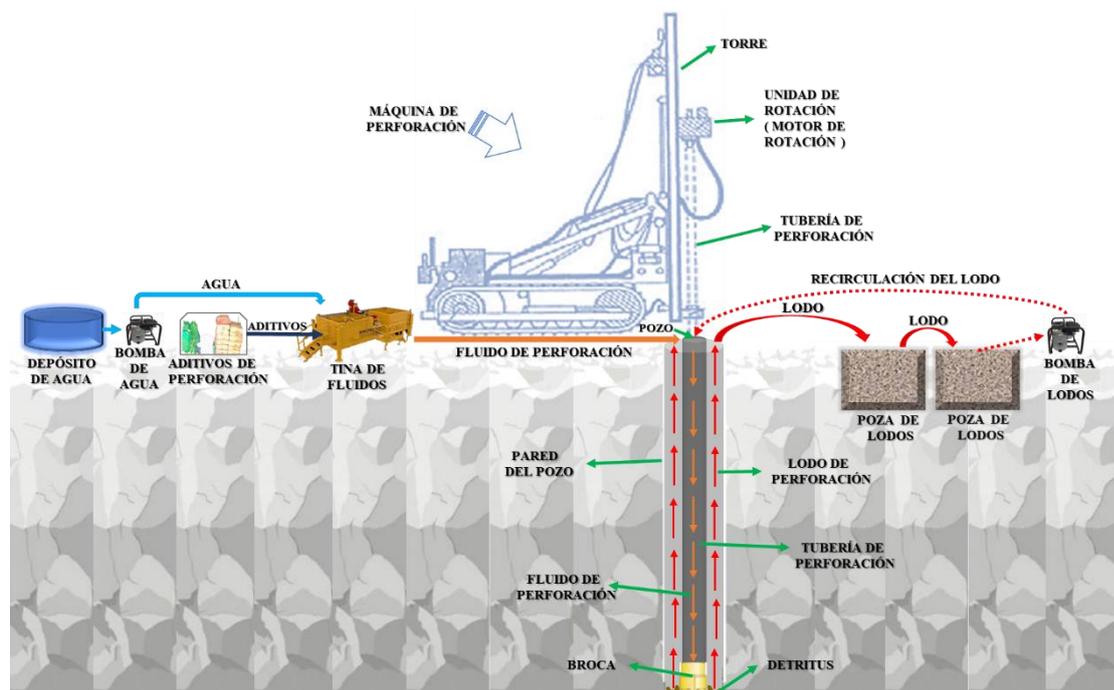


Nota. En la figura se muestra la perforación del subsuelo, así como el fluido utilizado para dicha actividad. De Chumpitaz C., C. R. (2007). *Estudio geotécnico y geognóstico del subsuelo mediante perforación diamantina* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/95>.

En el proceso de la perforación del subsuelo se generarán los lodos de perforación diamantina, ya que se mezclarán los fluidos de perforación con los detritos o detritus de la roca cortada (ver Figura 15). La alta presión que ejercerá la tubería de perforación, mientras rota sobre las paredes del pozo, permitirá que el lodo ascienda a la superficie; a esto se le denomina *retorno* (Tenorio, 2015; Castilla y Herrera, 2012; Bautista, 2019).

Figura 15

Esquema de la perforación diamantina



Nota. En la figura se presenta un esquema general de la perforación diamantina, con énfasis en el momento de la generación del lodo, es decir, cuando se logra la mezcla entre los detritus y el fluido.

2.1.3.1.6 Recuperación del testigo de perforación. Durante el proceso de la perforación del subsuelo, el tubo porta testigo o tubo interior (también denominado muestreador) se llenará con la muestra de roca cortada, es decir, cada vez que se perfora lo equivalente a la longitud del tubo interior (1.524 m o 3.048 m) se procederá a recuperar o extraer el testigo. En consecuencia, para extraer el testigo se detendrá la perforación y se cortará el núcleo de roca del macizo rocoso, con una maniobra de rotación inversa a la que se perfora, luego se introducirá una herramienta denominada *pescador* (*overshot*) con el cable *wire line* para atrapar el tubo interior que contiene la muestra y extraerlo a la superficie (izaje o carga del tubo interior) para ser ubicado sobre un caballete donde se podrá desconectar del *pescador*, y de inmediato se conectará e introducirá un nuevo tubo interior para continuar con la perforación. Posteriormente, los ayudantes de perforación extraerán el testigo, levantando la parte superior

del tubo interior y aplicando golpes con un martillo de goma (percusión) para facilitar su salida, y será depositado en una canaleta de muestra donde se medirá y lavará, luego será colocado en una caja porta testigo, tal como se muestra en la Figura 16 (Riquelme, 2017; Salas, 2016; Tenorio, 2015; Fernández et al., 2015).

Figura 16

Testigos de perforación dispuestos en cajas porta testigos



Nota. En la figura se muestra la disposición de las muestras de rocas o testigos, en cajas portatestigos que han sido rotuladas, y además se describe la profundidad de donde fue extraída la muestra, nombre del proyecto, código del sondaje, entre otros. De Tenorio M., F. L. (2015). *Tratamiento de lodos de perforación mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, distrito de Huallanca, región Ancash, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UJCM_8778d42db8360b82159a054f80091185.

Los testigos extraídos del subsuelo serán registrados, codificados y dispuestos en cajas portatestigos (cajas de testigos), las cuales pueden ser de madera, PVC u otro tipo de material; y pueden contener entre 3 a 5 compartimentos o canales de acuerdo al diámetro del testigo. Estas cajas portatestigos, previamente deberán rotularse con el nombre del sondaje o pozo,

número de caja, fecha, nombre del proyecto, ubicación, entre otros. En ese sentido, los testigos se ubicarán en las cajas siguiendo el orden de perforación, es decir, desde los de menor profundidad (parte inferior izquierda de la caja) hacia los de mayor profundidad (parte superior derecha de la caja) y serán identificados los tramos perforados por *tacos* de madera donde se anotarán la profundidad alcanzada y tramo perforado, entre otros; luego se cerrarán las cajas. Finalmente, las cajas se trasladarán a la sala de logueo donde se podrá realizar una descripción geológica a detalle y se definirá qué tramos pasarán a un análisis geoquímico en un laboratorio, mientras que los testigos restantes serán dispuestos en un almacén de testigos o *core shack* (Riquelme, 2017; Salas, 2016; Tenorio, 2015; Fernández et al., 2015).

2.1.3.1.7 Traslado a otro punto de perforación. Al culminar el sondaje, es decir, cuando se llega a la profundidad deseada y se extraen los testigos del último tramo perforado, se procederá a detener la perforación. Luego se retirará la tubería y empezará el desmontaje del equipo de perforación junto a todos los componentes de la plataforma, para empezar el traslado a otro punto propuesto donde nuevamente iniciará el proceso de la perforación diamantina (Riquelme, 2017; Salas, 2016). Cuando se realice el traslado a otro punto de perforación se procederá a sellar el sondaje construyendo una lápida o dado de concreto en la abertura del pozo respetando la orientación del mismo y escribiendo el nombre del sondaje; además, para el acceso, la plataforma y las pozas con lodos, iniciaría al cierre ambiental, en el caso de que no se vuelvan a reutilizar dichos componentes (MINEM, 2017; Tenorio, 2015).

2.1.4 Lodos de perforación diamantina

Los lodos de perforación diamantina son el resultado del proceso de la perforación, siendo el principal residuo o efluente; compuesto de roca molida (detritus), aditivos biodegradables y agua (fluidos de perforación base agua) (MINEM, 2017, p. 27).

Los fluidos de perforación al mezclarse con los detritus del sustrato y roca cortada forman el lodo de perforación, que por acción de la rotación de la tubería es expulsado hacia la

superficie terrestre para ser almacenado y reaprovechado nuevamente en la perforación (recirculación del lodo) hasta donde sea posible teniendo en cuenta la saturación de sólidos, generando una disminución significativa en el consumo de agua (ver Figura 17). Posteriormente, se podrá aplicar un tratamiento de acuerdo al manejo ambiental previsto para cada proyecto (Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Castilla y Herrera, 2012; Palacios, 2010).

Figura 17

Lodos de perforación diamantina dispuestos en pozas



Nota. En la figura se muestra el almacenamiento del lodo de perforación diamantina en pozas impermeabilizadas con geomembrana, durante la perforación.

2.1.4.1 Composición de los lodos. La composición orgánica e inorgánica de los lodos de perforación, dependerá principalmente del tipo de aditivo que se utilizará, así como del tipo de sustrato y roca que se cortará. Por lo que, el material que los constituye será de origen natural referido a los detritus e industrializado correspondiente a los componentes de los fluidos de perforación (Bautista, 2019, p. 56).

La composición orgánica de los lodos puede encontrarse en ciertos porcentajes en los polímeros que conforman los aditivos usados en la perforación, agentes dispersantes,

densificantes y viscosificantes, así como en los materiales usados para mantener el retorno, los cuales pueden ser la cascarilla de arroz, mica, mezclas de cáscaras de coco y nueces, aserrín, semilla de algodón, cemento y otros aditivos para equilibrar la alcalinidad como la cal hidratada, yeso y la soda caústica (hidróxido de sodio). Los polímeros usados para la perforación pueden ser de origen natural, como el almidón, la goma de xantano y goma de guar; otros serían polímeros naturales modificados, como el lignosulfonato, la carboximetilcelulosa (CMC) y el hidroxipropil, mientras que otra parte lo conformarían los sintéticos, tales como las poliacrilamidas, las polialfaolefinas y los poliacrilatos. En cuanto a los agentes dispersantes, tenemos a los lignosulfatos, taninos, lignitos (carbón mineral), polifosfatos, entre otros, los cuales tienen la función de reducir la pérdida del filtrado, es decir, la pérdida de agua que forma parte del lodo; en cambio, los densificantes favorecerán el soporte de las paredes del pozo evitando derrumbes, entre los cuales se pueden mencionar a la hematina (óxido de hierro), carbonato de calcio, barita (óxido de bario) y galena (mineral del grupo de los sulfuros), y finalmente, los viscosificantes como la bentonita, celulosa polianiónica, carboxicelulosa y otros, que permitirán reducir pérdidas por la fricción de la tubería al perforar y prevenir la erosión en el pozo. Cabe mencionar, que cuando se trabajan con fluidos a base agua, también se pueden encontrar entre 5 al 10 % de hidrocarburos (aceite, diésel o crudo) del total del fluido. Diversos de estos componentes mencionados, que pueden conformar el lodo de perforación, tienen características biodegradables dado que existe un control de calidad ambiental aplicados a los aditivos antes de ser comercializados (Bautista, 2019; Tenorio, 2015; Rueda, 2008; Tobar, 2020; Ramsey, 2020; MINEM, 2017; M-I Swaco a Schlumberger Company [M-I Swaco], 2020).

También, es importante añadir, desde una perspectiva general, que la composición inorgánica de los lodos incluye diversos sólidos. El tamaño y tipo de partículas que conforman los lodos pueden variar desde arcillas muy pequeñas (menores a 1 μm o 1/25400 in) hasta otros

recortes muy grandes de material (mayor a 1 in o 25400 μm). Estos sólidos contenidos en los lodos pueden clasificarse en diferentes categorías de acuerdo a su tamaño, comparadas a las categorías de coloidal, limo, arena y grava. En la Tabla 1, se puede apreciar dicha clasificación (Palacios, 2010; Tenorio, 2015).

Tabla 1

Clasificación de acuerdo con el tamaño de los sólidos presentes en el lodo

Categoría	Tamaño	Ejemplo
Coloidal	2 μm o menos	Bentonita, arcillas y sólidos perforados ultrafinos
Limo	2 – 74 μm (< malla 200 μm)	Barita, limo y sólidos perforados finos
Arena	74 – 2000 μm (malla 200-10 μm)	Arena y sólidos perforados
Grava	Más de 2000 μm (> malla 10 μm)	Sólidos perforados, gravas y cantos rodados

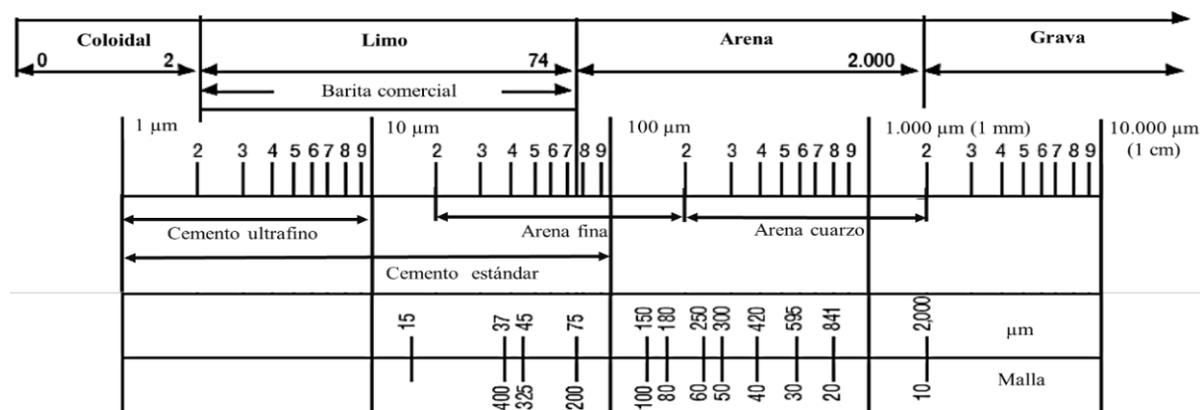
Nota. En la tabla se efectúa la comparación del tamaño de los materiales que conforman el lodo respecto al tamaño conocido y definido de los coloides, limo, arena y grava. De Palacios J., S. (2010). *Remediación del fluido de perforación optimizando la reducción de su impacto ambiental* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_9108d8aecbe7446bd87c19d04de49564.

Los sólidos que conforman el lodo de perforación, pueden tener su origen en los aditivos utilizados así como producto del sustrato y macizo rocoso cortado (que puede albergar a metales pesados como plomo, zinc, cadmio, cobre, cromo, entre otros). La clasificación de los sólidos descritos en la Tabla 1 como la categoría, no refiere a la composición del material que los conforman, es decir, la categoría que usa los términos de coloidal, limo, arena y grava, es solamente para hacer una comparación del tamaño de las partículas con las dimensiones conocidas de coloides, limo, arena y grava, y es por eso, que en los ejemplos se describen los verdaderos materiales que pueden contener los sólidos, en ese rango de tamaños; del mismo modo, aplica para la Figura 18. En ese sentido, la mayor parte de las baritas, lutitas, arena fina y carbonatos finos están dentro de la misma categoría de tamaño que el limo; la bentonita y otras arcillas de alta calidad, sólidos perforados muy finos o ultrafinos, barita fina, lutita y

carbonatos, se ubican en lo que concierde al rango de los coloidales; mientras que en el rango del tamaño de arena, se incluyen a las lutitas, carbonatos, barita gruesa, recortes y materiales de pérdida de circulación (Palacios, 2010; Tenorio, 2015).

Figura 18

Clasificación de los tamaños de las partículas que conforman los lodos



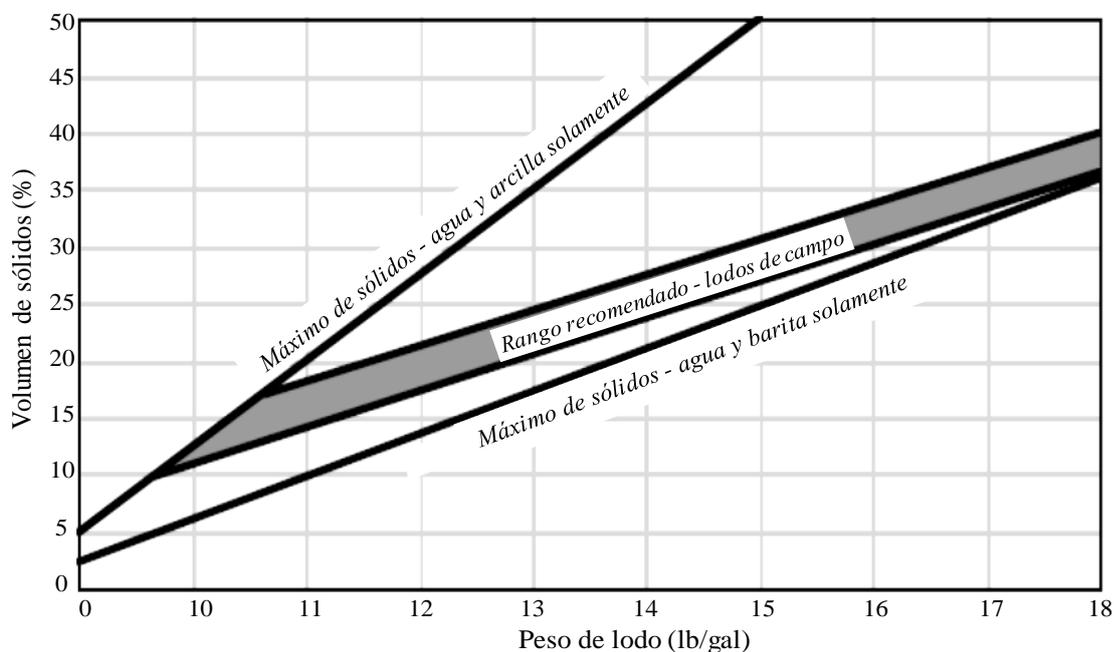
Nota. En la figura se presentan los tamaños de algunos materiales que conforman el lodo, comparándolo con el tamaño establecido de los coloides, limo, arena y grava. De Palacios J., S. (2010). *Remediación del fluido de perforación optimizando la reducción de su impacto ambiental* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_9108d8aecbe7446bd87c19d04de49564, y Tenorio M., F. L. (2015). *Tratamiento de lodos de perforación mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, distrito de Huallanca, región Ancash, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UJCM_8778d42db8360b82159a054f80091185.

Además, para los lodos de perforación diamantina de base agua, que es el caso de la presente investigación, se recomienda mantener un rango de contenido de sólidos de acuerdo al volumen producido, es decir, mantener una adecuada densidad que es sinónimo al peso del lodo (ver Figura 19). La formación de los sólidos, dependerá de los aditivos a usar y detritus producidos; por lo que, se pueden clasificar en dos categorías: Sólidos de Baja Gravedad Específica (SBGE) con una Gravedad Específica (GE) comprendida en el rango de 2.3 a 2.8 y los

Sólidos de Alta Gravedad Específica (SAGE), con una GE de 4.2 o más; cabe precisar, que para este caso la GE es la relación de la densidad de un material dividida entre la densidad del agua, por lo que es un valor adimensional y puede coincidir con la densidad del material. Dentro de la categoría SAGE, podemos encontrar a los materiales densificantes como la barita o hematita, usados para lograr densidades mayores a 10 lb/gal ($GE > 1.2$). En la categoría SBGE, podemos encontrar a los sólidos perforados (detritus), arcillas (bentonita) y la mayor parte de los aditivos, con los cuales se pueden lograr alcanzar densidades de hasta 10 lb/gal ($GE < 1.2$). Un apropiado control de la densidad del lodo contribuirá en el sostenimiento del pozo para llevar a cabo una perforación continua sin interrupciones; por consiguiente, una adecuada densidad puede estar en el rango de 1.07 g/cm^3 a 2.50 g/cm^3 o 8.93 lb/gal a 20.86 lb/gal (Tobar, 2020; Palacios, 2010; Tenorio, 2015).

Figura 19

Rango recomendado de sólidos en lodos base agua

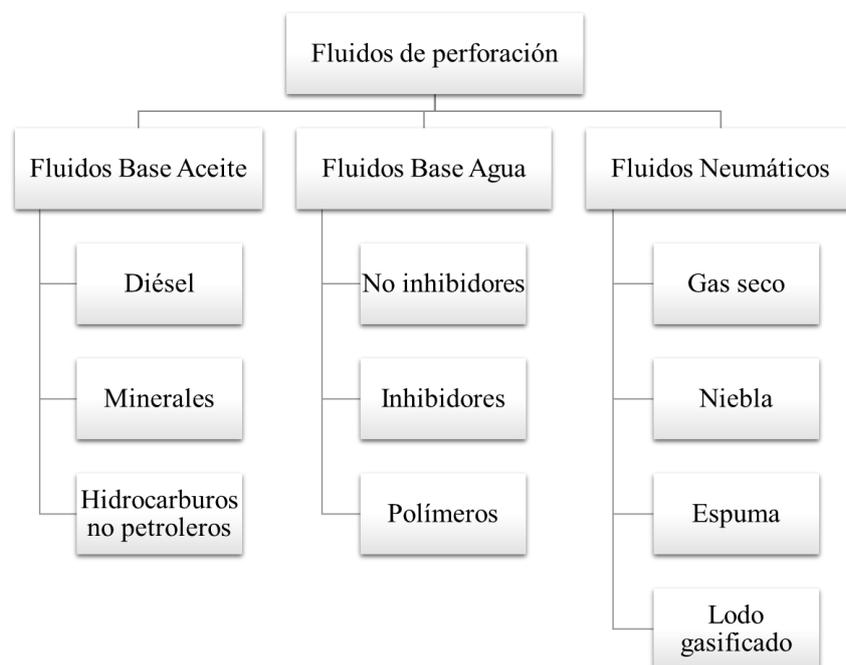


Nota. En la figura se muestra el rango recomendado de densidades para lodos de perforación de acuerdo al volumen de sólidos que contenga. De Tenorio M., F. L. (2015). *Tratamiento de lodos de perforación mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de exploración minera Hilarión, distrito de*

Huallanca, región Ancash, 2015 [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui].
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UJCM_8778d42db8360b82159a054f80091185.

2.1.4.2 Fluidos de perforación. El fluido de perforación es un líquido con características reológicas conformado por diferentes materiales químicos (aditivos) y agua (en caso sean base agua) que se mezclarán en proporciones determinadas de acuerdo al macizo rocoso a perforar. Los fluidos serán preparados por los ayudantes de perforación en recipientes denominados tinas de fluidos o tinas de lodos, con la finalidad de inyectar dicho fluido en el pozo por la sarta de perforación a través de un sistema de circulación hidráulico, permitiendo enfriar y lubricar la tubería y broca, controlar la presión, reducir la fricción y principalmente extraer los detritus o ripios de perforación hacia la superficie por el espacio anular (espacio entre la tubería exterior y la pared del pozo) convirtiéndose en lodo de perforación, que será almacenado en pozas de sedimentación. Una adecuada preparación de los fluidos puede ser determinante en el éxito de la perforación de un pozo (Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Tobar, 2020; Palacios, 2010; Riquelme, 2017, Salas, 2016, Fernández et al., 2015; Rueda, 2008).

Existen diversos tipos de fluidos (ver Figura 20), que están sujetos al tipo de perforación que se desear realizar. Se pueden clasificar en tres grandes grupos como fluidos base agua, base aceite y neumáticos. Sin embargo, la presente investigación, es referente a los fluidos base agua, que por consiguiente generarán lodos de perforación base agua (Tenorio, 2015; Palacios, 2010; Maldonado, 2006).

Figura 20*Clasificación de los fluidos de perforación*

Nota. En la figura se presenta la clasificación de los fluidos de perforación, que, para el caso de la investigación, corresponde a fluidos base agua. De Tenorio M., F. L. (2015). *Tratamiento de lodos de perforación mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de exploración minera Hilarión, distrito de Huallanca, región Ancash, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UJCM_8778d42db8360b82159a054f80091185.

Los fluidos base agua, son el resultado de mezclar los aditivos de perforación con agua, los cuales no deben ser de carácter corrosivo o inflamables para ser estables a altas temperaturas, y soportar las sales solubles. La perforación diamantina desarrollada en la mayoría de los proyectos de exploración minera, utiliza este tipo de fluidos, porque los aditivos que lo conforman no representan elevados costos ni dificultad en su fabricación, se pueden adecuar a los diversos terrenos a perforar y además facilita la disposición final de los lodos generados, de acuerdo a la normativa ambiental vigente (Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Tobar, 2020; Palacios, 2010; Maldonado, 2006).

Entre las principales funciones de los fluidos de perforación, se pueden mencionar la suspensión, traslado y descarga de los detritus o recortes del fondo del pozo hacia la superficie permitiendo la extracción segura del testigo, sellamiento de las formaciones geológicas permeables, control de las presiones y estabilidad de las paredes del pozo, soporte del peso de la columna de perforación (tubería de perforación), transmisión de la energía hidráulica a la sarta de perforación y broca, así como el enfriamiento, lubricación y apoyo a los mismos, permite el control de la corrosión de herramientas de perforación y *casing*, concede mayor seguridad en una evaluación adecuada de la formación geológica, facilita la cementación de las paredes del pozo y contribuye en minimizar el impacto ambiental ya que al formarse el lodo facilita su extracción a la superficie para su posterior tratamiento (Bautista, 2019; Palacios, 2010; Tobar, 2020; Tenorio, 2015; Riquelme, 2017).

2.1.4.3 Aditivos de perforación. Para la preparación de los fluidos de perforación base agua, es necesario el uso de agua y aditivos de perforación, los cuales pueden ser arcillas procesadas (bentonita), diversos polímeros, viscosificantes, densificantes (como la barita y carbonato de calcio), dispersantes, controladores de filtrado y pH, entre otros (Maldonado, 2006; Bautista, 2019).

Existen diversas empresas que fabrican y comercializan los aditivos de perforación con diferentes nombres comerciales, pero que se componen de elementos similares en distintas proporciones. Podemos mencionar algunos aditivos como la bentonita tipo *Wyoming* (arcilla de montmorillonita sódica) en su presentación Max Gel, Max Bore HDD, *Quik-Vis*, *Quik-Gel Gold*, *AMC Gel*, y otras bentonitas granulares como *Kwik-Plug* Fino y Micro, *Kwik-Plug* Mediano y Grueso, *Gopher Grout*, *Smooth Grout 20 y 30*, *Smooth Grout Thermal*, *Super Plug*, Bentonita Sódica Granulada y Bentonita 3/8; también, están los polímeros como *Poly-Plus RD*, *Polyswell*, *Ringfree*, *AMC CR 650*, *Platinum Pac*, *AMC Ezee Pac R*, *Duo-Vis/Super-Vis*, *Gel Supreme*, *Kla-Gard*, *Tackle*, *Tube Lube*, *AMC Plug*, *F-Lube*, *Black Fury*, *Hibtrol*, *Penetrol*, *F-*

Klay, *F-Torq*, Polímero Granular, *Molylube* y *F-Loss*. Por otro lado, se encuentran las grasas y lubricantes como *Rod Ease*, *Rod Lube N*, *AMC Super-Lube*, *Rod Coat*, *AMC Rod Grease Xtra Tacky*, *Ezy Rod Grease*, *AMC Thread Grease ZN 50*, *Thread Bond Z*; además, se tienen otros aditivos como Baritina, *AMC Water Treatment*, *Magma Fiber*, *Black Hole L*, *N-Seal*, *Quik-Trol Gold*, *Drilling Paper* (trozos de papel), Materiales de Pérdida de Circulación (LCM) a base de fibra de cedro, mica, cáscaras de semilla de algodón y papel utilizado durante la perforación. Es relevante precisar que en las Hojas de Datos de Seguridad de Materiales o *Material Safety Data Sheets* (Hojas MSDS, por sus siglas en inglés) de los aditivos de perforación (ver Anexo 4), pueden encontrarse con mayor detalle la composición orgánica e inorgánica, propiedades físicas y químicas, información ecológica y toxicológica, riesgos a la salud, manejo y almacenamiento del producto, primeros auxilios en caso de exposición al material, entre otros (Rueda, 2008; [M-I Swaco], 2020; Bautista, 2019; AMC Drilling Optimisation [AMC], 2020).

2.1.4.4 Manejo de los lodos durante la perforación diamantina. Según el Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera, emitido mediante D.S. N° 042-2017-EM, los lodos de perforación serán captados y contenidos en pozas de sedimentación que deberán ser impermeabilizadas, generalmente con geomembrana, para evitar posibles filtraciones que pudieran causar afectaciones del suelo y aguas subterráneas.

La recepción o captación del lodo generado, se realizará a través de canales, tubos o mangueras desde el pozo hasta las pozas de lodos, las cuales también tendrán una estación de bombeo para la recirculación de este (MINEM, 2017; Bautista, 2019; Tenorio, 2015; Riquelme, 2017; Rueda, 2008).

En ocasiones, para acelerar la precipitación de los sólidos y por tanto la deshidratación del lodo (secado), se utilizan algunos floculantes y/o coagulantes como el MT-8834, que es una mezcla de poliamidas catiónicas; estos se usarán, cuando se haya terminado el sondaje, es

decir, cuando inicie el proceso de tratamiento del lodo para su posterior disposición final (Tenorio, 2015; Rueda, 2008; Cucho, 2019).

2.1.4.5 Disposición final de los lodos de perforación diamantina. La normativa ambiental vigente refiere que antes de iniciar un tratamiento, deberá verificarse que los lodos generados no alberguen otras sustancias o materiales ajenos, como aceites y/o grasas, hidrocarburos u otros residuos que puedan tener carácter peligroso, porque ocasionaría que su disposición final sea como la de un residuo peligroso. Luego de la verificación, se iniciaría el tratamiento y disposición final de los lodos, de acuerdo con el manejo ambiental previsto para el proyecto en el estudio ambiental, el cual estará sujeto a la normativa ambiental en vigencia. El tratamiento comenzaría con la deshidratación o secado del lodo a la intemperie, ya sea en las pozas ubicadas cerca de la plataforma o en otros espacios de almacenamiento alejados del área del proyecto; y en ocasiones, utilizarán floculantes y/o coagulantes para acelerar el proceso de secado ya que la precipitación de los sólidos será mucho mayor. Posteriormente, se dispondrá el lodo seco en las pozas o en los espacios previstos, encapsulándolos con geomembranas, saquillos, plásticos u otro material y cubriéndolo con el material de corte y *top soil*, para que se realice la revegetación. Cabe mencionar, que en la mayoría de los proyectos se practica el mismo manejo ambiental con los lodos de perforación base agua, dejando una brecha en mejorar el tratamiento y disposición final de los mismos (MINEM, 2017; Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Rueda, 2008).

2.1.4.6 El lodo como un agente potencial de contaminación. El carácter contaminante potencial que adquiera el lodo base agua dependerá de la composición de los materiales utilizados en la preparación de los fluidos, los detritus provenientes del macizo rocoso e incluso de los floculantes y/o coagulantes que se usen. En el lodo, pueden encontrarse componentes orgánicos e inorgánicos, como las arcillas, sólidos perforados, la barita, sales y polímeros inorgánicos, hidrocarburos, metales pesados tales como el plomo, bario soluble,

cromo, cadmio y otros. Esta mixtura de materiales ocasionaría que se lleven a cabo reacciones químicas diversas, resultando mezclas complejas, que podrían ser tóxicas y afectarían al ambiente. Además, es relevante precisar que los materiales que se usan para encapsular el lodo (geomembrana, plásticos, saquillos y otros) generan un impacto en el suelo. Por consiguiente, es relevante aplicar un adecuado tratamiento al lodo de perforación antes de su disposición final (Palacios, 2010; Bautista, 2019; Tenorio, 2015; Rueda, 2008; Tobar, 2020).

2.1.5 Proceso de compostaje.

El compostaje es un proceso bioquímico complejo, de tipo aeróbico (en presencia de oxígeno), termófilo y dinámico, que transforma materiales orgánicos heterogéneos en un producto más estable e inocuo, denominado compost. Este proceso, es de carácter biooxidativo, por la presencia de microorganismos, y contribuye en la mineralización de los materiales orgánicos, así como a la humificación parcial de la materia orgánica contenida; además, permite la producción de dióxido de carbono y agua. Sin embargo, en el desarrollo inicial del proceso es necesario la presencia de materia orgánica y población microbiana como los microorganismos quimioheterótrofos mesofílicos para generar las condiciones óptimas y permita un desempeño adecuado en todas las funciones y actividades sinérgicas a realizarse. El control del proceso, es relevante para la obtención de un producto de calidad, y se puede realizar a partir de dos variables, que son los parámetros de seguimiento, a medirse y controlarse en todo el proceso, como la temperatura, humedad, pH, aireación, espacio de aire libre; y los parámetros referentes a la composición del material, a medirse y adecuarse al inicio del proceso, que son el tamaño de partícula, relaciones de C/N y C/P, niveles de nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica (Xiao-Xia et al., 2019; Bernal et al., 2009; Sánchez et al., 2017; Cabrera y Rossi, 2016; Román et al., 2013; Huayllani, 2017; Pérez, 2009).

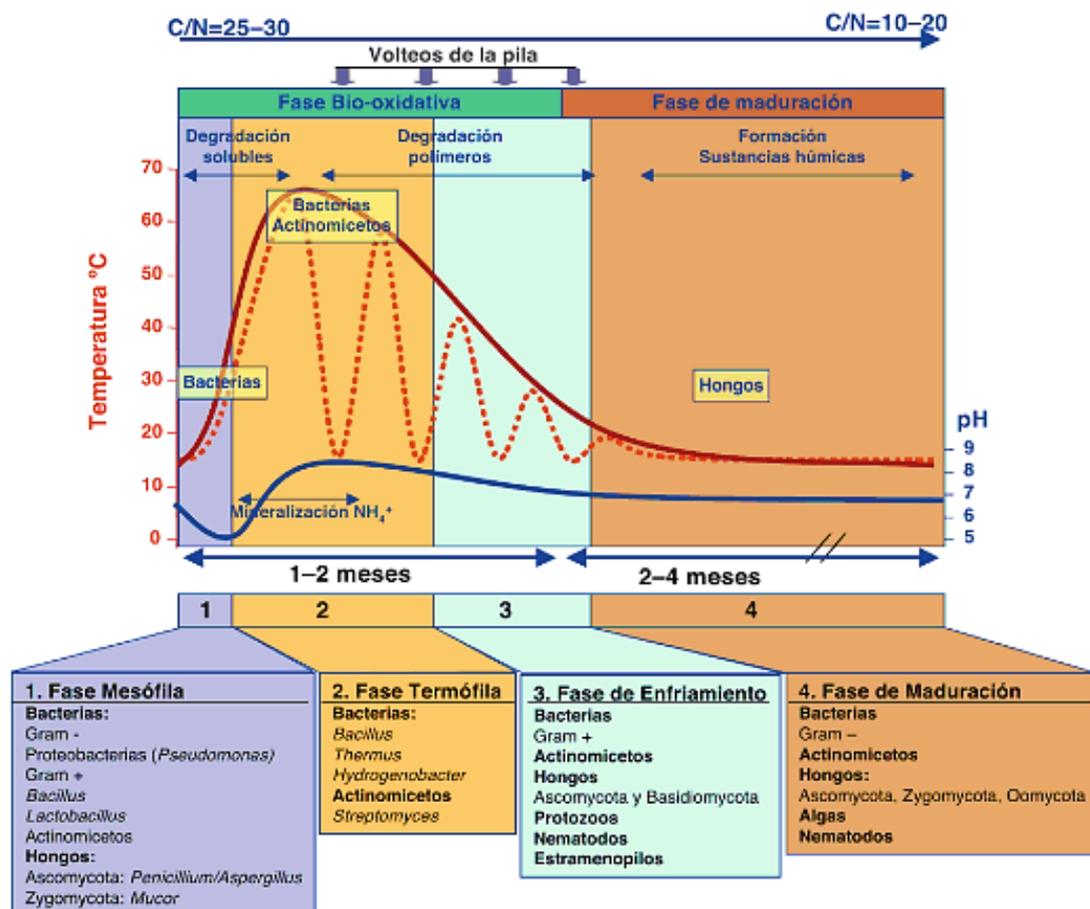
Existen diferentes sistemas de compostaje, que se usarán de acuerdo a condiciones requeridas, entre estos, podemos encontrar al sistema de pilas o camellones (también

denominado hileras), reactores y pozas (Cabrera y Rossi, 2016; Vicencio-De la Rosa et al., 2011).

El desarrollo del compostaje, hasta la obtención del compost, pasa por cuatro fases bien diferenciadas, que son, la fase mesofílica inicial o de calentamiento, termofílica o de higienización, enfriamiento o mesofílica final y maduración; las cuales presentarían diferentes periodos de acuerdo a las condiciones establecidas y sistema de compostaje. En la Figura 21, se muestran las fases del compostaje, así como la población microbiana interviniente (Xiao-Xia et al., 2019; Sánchez et al., 2017; Cabrera y Rossi, 2016; Román et al., 2013; Huayllani, 2017; Pérez, 2009; Bernal et al., 2009; Instituto Nacional de Normalización [INN], 2004).

Figura 21

Fases del proceso de compostaje y sucesión microbiana



Nota. En la figura se muestran las fases del proceso de compostaje para un sistema de pilas, así como los microorganismos que intervienen, parámetros fisicoquímicos y el tiempo. De Huayllani H., K. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales*, Concepción, 2016 [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON_cf6c218ee795314a564928ae73569e15.

2.1.5.1 Fase mesoflica inicial o de calentamiento. En esta fase se inicia el proceso de compostaje, con la degradación del material orgánico heterogéneo y a granel, por microorganismos mesofílicos (inicialmente bacterias y hongos por su mayor tamaño) a TA y se incrementará en el transcurso de algunos días que dure la fase (podría ser de 2 a 8 días), estimándose un rango de variación entre los 10 °C y 45 °C; esto, por al aumento de la actividad microbiana para descomponer y asimilar de azúcares, aminoácidos, lípidos, entre otros

(compuestos de bajo peso molecular como polifenoles, carboxilo y aminoácidos); lo que contribuirá en la formación de sustancias previas a los compuestos húmicos, como ácidos orgánicos que podrían bajar el pH (hasta un rango de 4 a 4.5). Entre los microorganismos que actúan en esta fase, pueden estar las bacterias *Gram+* y *Gram-*, pertenecientes a las familias de *Pseudomonaceae* (*Proteobacterias*), *Erythrobacteraceae*, *Comamonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Streptomycetaceae*, *Caulobacteraceae*, *Bacillus*, *Lactobacillus* y *Actinomicetos*; también, los hongos de la familia *Ascomycota* (*Penicillium*, *Aspergillus*) y *Zygomycota* (*Mucor*) (Huayllani, 2017; Bernal et al., 2009; Sánchez et al., 2017; Cabrera y Rossi, 2016; Román et al., 2013; Xiao-Xia et al., 2019).

2.1.5.2 Fase termofílica o de higienización. En esta fase, los microorganismos mesofílicos dan paso a los termofílicos o de higienización para realizar la degradación máxima de la materia orgánica junto a la destrucción de agentes patógenos (*Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, quistes, huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas). Se degradarán fuentes más complejas de carbono, como celulosa, hemicelulosa, grasas y parte de lignina (compuestos macromoleculares), cuando alcanzan una temperatura mayor a 40 °C; por lo que, se necesita un máximo de aireación. Además, ocurre la mayor producción de NH₄-N que disminuirá durante el proceso, se desarrollará parcamente la nitrificación por presentarse altas temperaturas y los valores del pH serán superiores a 7.5, generándose un medio alcalino; también, se obtendrá dióxido de carbono, agua y amoníaco. Cuando se alcanza una temperatura superior a 60 °C, desaparecerán los hongos termofílicos dando paso a las bacterias del tipo *Esporígenas* y *Actinomicetos* (*Streptomyces*), encargados de degradar moléculas complejas como polisacáridos, proteínas, lípidos, hemicelulosas, celulosa, lignina y ceras (hidrolisis de polímeros), entre otros; es decir, se produce la proliferación de las *Actinobacterias*, pertenecientes primordialmente a las familias de *Thermoactinomycetacea*, *Thermomonosporaceae* y *Pseudonocardiceae*, además de *Bacillus*, *Thermus* e

Hydrogenobacter. El rango de temperatura más aceptable para la descomposición se encuentra entre 52 °C y 60 °C. La duración estimada de esta fase puede referirse entre 1 a 3 semanas, e incluso meses, sin embargo, dependerá de las condiciones del compostaje y ambientales (Sánchez et al., 2017; Bernal et al., 2009; Huayllani, 2017; Cabrera y Rossi, 2016; Román et al., 2013; Xiao-Xia et al., 2019).

2.1.5.3 Fase de enfriamiento o mesofílica final. La fase de enfriamiento o mesofílica final se caracteriza por la disminución de la temperatura más alta alcanzada durante el compostaje hasta la TA, debido a que la actividad microbiana se reduce, dado que el material o sustrato orgánico se va agotando, es decir, las fuentes que contienen carbono y nitrógeno, principalmente; formándose componentes precursores de las sustancias húmicas. Se reactivan los microorganismos mesofílicos para degradar lo restante de celulosa, hemicelulosa y azúcares. La disminución de la temperatura por debajo de los 60 °C, permitirá la reaparición de los hongos termofílicos que descompondrán, entre otros materiales, los restos de celulosa y, cuando la temperatura se encuentre por debajo de los 40 °C, los microorganismos mesofílicos, reiniciarían sus actividades de biodegradación; ocasionando que el pH pueda disminuir ligeramente, pero conservando su estado de alcalinidad. Entre los microorganismos presentes en esta fase, se pueden mencionar a las bacterias (*Gram+*, *Actinomicetos*), hongos (*Ascomycota* y *Basidomycota*), *Protozoos*, *Estramenopilos* e incluso, *Nemátodos*. Su período puede variar dependiendo de varios factores, estimándose un rango de 2 a 5 semanas (Román et al., 2013; Huayllani, 2017; Bernal et al., 2009; Sánchez et al., 2017; Cabrera y Rossi, 2016; Xiao-Xia et al., 2019).

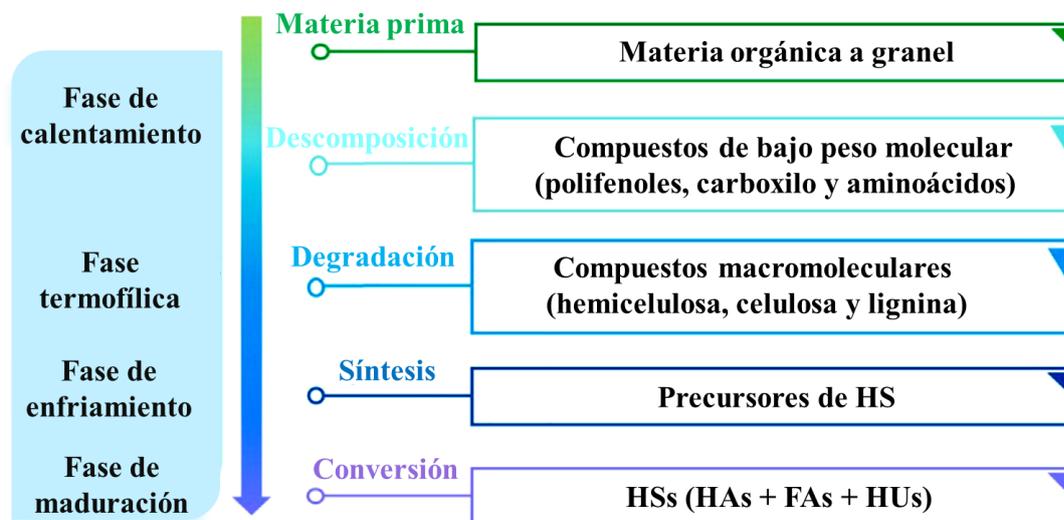
2.1.5.4 Fase de maduración. En la fase de maduración, se da la estabilización de la materia orgánica con características húmicas, llevándose a cabo reacciones de polimerización y condensación de compuestos carbonados, las cuales formarían en parte humus, ácidos húmicos y fúlvicos. Estas actividades, se desarrollarán a TA por varios meses (estimándose un

rango entre 3 a 6 meses) y podría generar que se mantenga un pH ligeramente ácido o alcalino, e incluso se recomienda un rango aceptable de 5.0 a 8.5 de pH. Algunos microorganismos que podemos encontrar son las bacterias (*Gram-*, *Actinomicetos*), hongos (*Aspergillus*, *Acremonium*, *Chrysosporium*, *Fusarium*, *Mortierella*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Ascomycota*, *Zygomycota* y *Oamycota*), algas e incluso nemátodos. En esta fase final, se podrá obtener el compost maduro como producto resultante del proceso de compostaje (Sánchez et al., 2017; Huayllani, 2017; Xiao-Xia et al., 2019; Cabrera y Rossi, 2016; Román et al., 2013; Bernal et al., 2009).

2.1.5.5 Biodegradación de materiales orgánicos. La biodegradación es el proceso de mineralización de las estructuras orgánicas mediante microorganismos, generalmente en condiciones aeróbicas, que tomando la materia orgánica disponible a granel realizarán actividades de descomposición, degradación, síntesis y conversión, para obtener un nuevo producto estabilizado que contendrá sustancias húmicas (ver Figura 22). Este proceso comprende dos categorías, que son la biodegradación primaria (en el inicio del proceso) y biodegradación secundaria o total (en el tramo último del proceso), donde los factores que influyen serían las condiciones del medio donde se desarrolla el proceso (como pH, temperatura, humedad), características del material orgánico y las características del propio microorganismo, refiriéndose a la población y tipo. La biodegradación primaria, refiere a las ligeras modificaciones estructurales que sufre la molécula original (material orgánico) lo que permitirá la pérdida de sus propiedades fisicoquímicas, mientras que, en la biodegradación secundaria, los microorganismos realizarán la metabolización completa de dicha molécula, dado que será su fuente de carbono y energía, transformándola en compuestos inorgánicos y orgánicos más simples y estables (Rodríguez, 2012; Xiao-Xia et al., 2019; Escobar et al., 2012; Escudero y Arias, 2012).

Figura 22

Biodegradación de materiales orgánicos por fases en el proceso del compostaje



Nota. En la figura se presentan algunas siglas que es necesario aclarar. HSs: Sustancias Húmicas; HAs: Ácidos Húmicos; FAs: Ácidos Fúlvicos; HUs: Humus. De Xiao-Xia, G., Hong-Tao, L., & Shu-Biao, W. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the total environment*, 662, 501-510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>.

2.1.5.5.1 Los microorganismos como agentes de biodegradación. El papel que desempeñan los microorganismos en el proceso de la biodegradación, es relevante, donde factores como el tipo de material orgánico utilizado, la población de microorganismos al inicio del proceso, la variación de la temperatura, el pH, contenido de agua, concentración de oxígeno, disponibilidad de nutrientes, entre otros, son condicionantes para que se lleve a cabo una adecuada sucesión de poblaciones microbianas. Los microorganismos más numerosos que intervienen en el proceso del compostaje, como agentes de biodegradación, entre el 80% y 90%, se encuentran las bacterias, como las del grupo *Pseudomonas fluorescentes*, que degradan químicamente un alto contenido de enzimas. También, participan los *Actinomycetes*, que desgradarían compuestos orgánicos complejos como la celulosa, lignina, entre otros. Además, intervienen los hongos filamentosos que pueden ser de varios tipos, por su capacidad de

descomponer y solubilizar la celulosa, lignina compuestos orgánicos complejos e incluso compuestos inorgánicos. Por lo que, los microorganismos activos e inactivos, podrían representar entre el 2% y 20% de la masa total del compost. En la Tabla 2, se muestra la población microbiana durante el proceso del compostaje, expresado en unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) (Laich, 2011; Escudero y Arias, 2012; Escobar et al., 2012).

Tabla 2

Sucesión microbiana durante el proceso de compostaje

Microorganismos	Etapas del compostaje			N° especies
	Mesofílica 20°C - 40°C	Termofílica 40°C - 70°C	Mesofílica (Enfriamiento y maduración) 70°C - 20°C	
Bacterias	(UFC/g)	(UFC/g)	(UFC/g)	
mesófilas	10 ⁸	10 ⁶	10 ¹¹	6
termófilas	10 ⁴	10 ⁹	10 ⁷	1
<i>Actinomycetes</i>	(UFC/g)	(UFC/g)	(UFC/g)	
termófilos	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁵	14
Hongos	(UFC/g)	(UFC/g)	(UFC/g)	
mesófilos	10 ⁶	10 ³	10 ⁵	18
termófilos	10 ³	10 ⁷	10 ⁶	16

Nota. En la tabla se presenta una estimación de microorganismos por especies, para cada etapa del proceso de compostaje. De Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. *Instituto Canario de Investigaciones Agrarias*, 1-7. <https://www.icia.es/biomusa/pt/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file#:~:text=Las%20bacterias%20son%20las%20m%C3%A1s,gran%20variedad%20de%20compuestos.>

2.1.5.5.2 Biodegradación de polímeros. La biodegradación de polímeros tiene lugar entre las fases termofílica y enfriamiento, principalmente; donde las bacterias como las del tipo *Actinobacteria* (como *Nocardia spp.*, *Streptomyces spp.*, *Thermoactinomyces spp.*) que toleran altas temperaturas y pH, degradan diversos polímeros como la lignina y celulosa, mediante el mecanismo de producción de enzimas hidrolíticas y secreción de fitohormonas. Las interacciones microbianas contribuyen en las transformaciones de compuestos orgánicos como

los polímeros, que pueden llegar a ser contaminantes (Lipczynska-Kochany, 2018; Huayllani, 2017; Sánchez et al., 2017).

2.1.5.5.3 Biodegradación de hidrocarburos. Los microorganismos juegan un papel relevante en la degradación de los TPH, debido a que pueden ser capaces de degradar, transformar o remover a los mismos, disminuyendo sus concentraciones, bajo condiciones controladas de parámetros condicionantes como la temperatura, pH, humedad, entre otros. Un indicador, que demuestra la potencial biodegradación de TPH, es el recuento microbiano durante el proceso, entre los cuales se pueden encontrar a las bacterias del tipo heterotróficas en las primeras etapas del compostaje y hongos en la etapa final (Rojas-Avelizapa et al., 2007; Buendía, 2012).

2.1.5.5.4 Biodegradación de lodos. La biodegradación de los lodos, mediante el composteo, es una manera de hacer posible su reaprovechamiento o disposición final adecuada. Sin embargo, la biodegradación de los compuestos orgánicos de los lodos, que pueden tener su origen en plantas de tratamiento de aguas residuales o provenir de otro proceso, se hace más complejo por su alto contenido de humedad (mayor al 70%) que podría ocasionar la disminución de los espacios vacíos en el lodo favoreciendo el proceso anaeróbico (fermentación anaeróbica), lo cual causaría la formación y precipitación de compuestos inorgánicos tóxicos por la presencia de metales pesados, como sulfuros y carbonatos, además de los malos olores; en ese sentido, para el Lodo de Perforación Diamantina (LPP) se sugiere la deshidratación o secado, antes de iniciar cualquier tratamiento. Lo recomendable para fomentar una biodegradación eficiente de los lodos, es en un sistema de compostaje abierto, porque favorecerá que los microorganismos desarrollen procesos aeróbicos reforzados con la aireación, degradando los materiales orgánicos y permitiendo su estabilización, al convertirlo en un producto rico en nutrientes e inocuo (Pérez, 2009; Vicencio-De la Rosa et al., 2011; MINEM, 2017).

2.1.5.5.5 La biodegradación y los metales. La biodegradación llevada a acabo durante el proceso del compostaje, es fundamental en la estabilización de desechos o materiales orgánicos sólidos, ya que son transformados en un nuevo producto seguro y estable, denominado compost. Sin embargo, al ser usado como enmienda orgánica, también favorecerá la reducción significativa de la movilidad de elementos traza (como el zinc y metales pesados) y disminución de la biodisponibilidad, además de incrementar el pH y carbonatos del medio en el cual se encuentran (Liu et al., 2019; Gabhane et al., 2012; Pérez, 2009; Zhou et al., 2017).

2.1.5.6 El compost. Es el producto que resulta del proceso de compostaje, donde se desarrollan reacciones del tipo fisicoquímicas y biológicas en condiciones aeróbicas, y que está conformado, principalmente, por materia orgánica, una fracción inorgánica y componentes microbiológicos (población microbiana); por lo que, puede contribuir en la mejora de las propiedades microbiológicas, físicas y químicas del suelo (INN, 2004; Sánchez et al., 2017; Castañeda, 2012; Medina et al., 2017). Además, para la obtención de un compost de calidad, es necesario la utilización de materia prima adecuada, un control minucioso del compostaje y duración del proceso (Huayllani, 2017; Román et al., 2013; Avedaño, 2003).

2.1.5.6.1 Tipos de compost. La degradación aeróbica de diversos materiales orgánicos, en condiciones controladas, permite obtener un producto estable rico en nutrientes, que se denomina compost. En ese sentido, se hace necesario conocer los diferentes tipos de compost. Existe una clasificación de acuerdo al tipo de materiales usados para la fabricación compost, sin embargo, también podría clasificarse teniendo en cuenta otros criterios como la tecnología usada en el proceso, la calidad de materia prima utilizada, la calidad del producto resultante, entre otros (Cabrera y Rossi, 2016; Huayllani, 2017).

Entre los diferentes tipos de compost, de acuerdo a su origen, podemos encontrar al compost de materia vegetal o residuos sólidos orgánicos con estiércol, compost de lodos de depuradora y de restos vegetales, poda, serrines, cenizas o corteza; compost de maleza,

compost de maleza y broza, compost de residuos orgánicos provenientes de la industria de producción de alimentos, compost activado con levadura de cerveza, compost de residuos orgánicos municipales, compost de residuos orgánicos municipales con restos vegetales, compost de la fracción orgánica procedente del tratamiento anaeróbico de RM (Reactor Metanogénico) y compost tipo *Quick – Return*, que es producto de la degradación de restos vegetales, que en el proceso, se les añadirá rocas en polvo, algas calcáreas, activador *Quick – Return*, paja y tierra (Cabrera y Rossi, 2016; Alarcón, 2004).

2.1.5.6.2 Beneficios ambientales que aporta el compost. Los beneficios ambientales que aporta el compost son diversos, especialmente en el suelo. Entre los que se mencionan, a la contribución en el incremento de la infiltración, retención y contenido del agua en el suelo, aporte de macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes (Cu, Mn, Zn, Fe) esenciales, además de microorganismos que mejorarán la actividad microbiológica del suelo y el movimiento de nutrientes, mejora de la permeabilidad edáfica, contribuye en el intercambio de aire, incrementa la porosidad, mejora de la textura y favorece a la reducción de la erosión. Además, contribuye en la reducción de la efectividad de la concentración de pesticidas en el suelo al formar enlaces moleculares orgánicos entre ambos (Pérez, 2009; Cabrera y Rossi, 2016; Rosales y Ortez, 2017; Castañeda, 2012; Huayllani, 2017; Sánchez et al., 2017).

El compost como enmienda orgánica, favorecería la fitoestabilización en áreas afectadas, fomentando el crecimiento de especies vegetales nativas y permitiendo el crecimiento de otras comunidades vegetales, además, siendo el compost maduro con alta población de bacterias del tipo *Pseudomonas fluorescentes*, actuaría como un estimulante del desarrollo de raíces y como protector contra fitopatógenos. Además, contribuirá en aportar carbono orgánico (materia orgánica) que permitirá el aumento del horizonte A o capa de suelo fértil e incrementará la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, mejorando sus propiedades fisicoquímicas, por lo que puede ser usado como fertilizante o abono orgánico

(Pérez, 2009; Laich, 2011; Liu et al., 2019; Cabrera y Rossi, 2016; Castañeda, 2012; Sánchez et al., 2017).

2.2 Definición de términos

- **Temperatura (T)**. Es una propiedad que tiene inferencia directa sobre los microorganismos y la actividad de descomposición que desarrollan en las diferentes fases del compostaje, por lo que requieren una temperatura adecuada (Pérez, 2009; Jordán, 2005).
- **Humedad (H)**. Es la cantidad de agua contenida en la masa, de tal manera que no obstruya los poros y permita la aireación óptima durante el compostaje. La adecuada circulación de agua aumenta la fertilidad del sustrato ya que contiene nutrientes en solución (Pérez, 2009; Ruiz, 2016; Marchese, 2015).
- **Potencial de hidrógeno (pH)**. Es un indicador de las fases que se llevan a cabo en el compostaje, porque tiene influencia en los procesos químicos y microbiológicos. Además, el aumento o disminución de sus niveles permite conocer si existe emanación de ácidos orgánicos, formación de amoníaco y sustancias húmicas, entre otros (Ruiz, 2016; Pérez, 2009).
- **Conductividad eléctrica (CE)**. Durante el compostaje la mineralización de la materia orgánica tiende a aumentar y en algunos casos particulares a disminuir. Estos cambios son identificados mediante la conductividad eléctrica, que mide la corriente eléctrica a través de los iones en solución del sustrato. Además, tiene relación directa con la cantidad de sales solubles que pueden existir (Pérez, 2009; Marchese, 2015; Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).
- **Sólidos disueltos totales (TDS)**. Los sólidos disueltos totales se usan para referirse a la salinidad, que contiene el sustrato (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2020).

- **Salinidad (S).** La salinidad refiere a las sales solubles que pueden encontrarse en el suelo u otro sustrato, como Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , y CO_3^{2-} . Las sales solubles presentes en un sustrato se pueden cuantificar en base a la conductividad eléctrica (Jordán, 2005; INIA, 2017).
- **Materia orgánica (MO).** Está constituida de por diversos materiales tanto de origen animal y vegetal, así como subproductos sintetizados por numerosos microorganismos, a lo largo del proceso de compostaje; por lo que se torna en su sistema complejo y heterogéneo (Román et al., 2013; Jordán, 2005; Ruiz, 2016).
- **Fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3).** Es la fracción pesada de los hidrocarburos y comprende aquellos que contienen moléculas superiores a 28 y hasta 40 átomos de carbono (>C28 a C40). Por otro lado, la calidad de un compost final se verifica por la no toxicidad de sus componentes, por lo que se hace necesario el análisis de la concentración de los hidrocarburos (MINAM, 2017; Román et al., 2013).
- **Metales.** Los metales pesados como el plomo (Pb) no pueden degradarse durante el proceso de compostaje, pero pueden cambiar su estado de oxidación; esto les da un carácter tóxico cuando superan los límites establecidos para el sustrato, ya que además tienden a bioacumularse. Por otro lado, el zinc (Zn) constituye uno de los principales micronutrientes minerales esenciales presentes en el sustrato, porque favorece la síntesis de carbohidratos, proteínas y hormonas (Román et al., 2013; Pérez, 2009, Rueda, 2008).

2.3 Normativa ambiental de referencia

2.3.1. Normativa ambiental de regulación para el suelo

En la presente investigación, se hará uso del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, emitido mediante D.S. N° 011-2017-MINAM, en Perú. Con la finalidad de comparar las concentraciones del parámetro orgánico fracción de hidrocarburos F3 (> C28-C40) denominada también fracción pesada (ver Tabla 3), que pueda contener el LPP, tras ser expuesto al proceso de compostaje donde se evaluará la biodegradación (MINAM, 2017, p. 3).

Tabla 3

ECA para suelo, fracción de hidrocarburos F3

Parámetro orgánico	Concentración para uso de Suelo Comercial / Industrial / Extractivo	Unidad
Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40)	6000	mg/Kg (en Peso Seco)

Nota. En la tabla se presenta la concentración máxima permitida de la fracción de hidrocarburos F3 para suelo, descrito en el D.S. N° 011-2017-MINAM. Se aplicará para la presente investigación, ya que facilitará comparar los resultados del análisis de este parámetro y permitirá determinar la biodegradación del mismo como componente orgánico de los lodos de perforación diamantina. De MINAM. (2017). *D.S. N° 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.* https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf.

2.3.2. Normativa ambiental de regulación para el compost

Debido a que la investigación es mediante el proceso de compostaje, es necesario comparar los resultados con la Norma Chilena Oficial para el Compost, NCh 2880. Of2004, la cual permitirá evaluar mejor la biodegradación del LPP. Estos valores de comparación se presentan en la Tabla 4 (INN, 2004, pp. 9-14).

Tabla 4

Concentraciones de parámetros fisicoquímicos para el compost en base a lodos

Parámetros fisicoquímicos	Concentración	Unidad
Humedad	Entre 30 y 45	%
pH	Entre 5.0 y 8.5	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	≤ 8	dS/m
Materia orgánica (MO)	≥ 20	%
Plomo (Pb)	300	mg/Kg (en base seca)
Zinc (Zn)	2000	mg/Kg (en base seca)

Nota. Esta tabla muestra las concentraciones aceptables de algunos parámetros fisicoquímicos que debería tener el compost a base de lodos (aunque se refiere específicamente para lodos de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). De INN. (2004). *NCh 2880. Of2004: Compost - Clasificación y requisitos.* <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>.

2.3.3. Normativa ambiental de regulación para lodos de perforación diamantina

El Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera, emitido mediante el D.S. N° 042-2017-EM, en Perú; refiere, en los artículos 22 y 23, que debería aplicarse un adecuado tratamiento y disposición final de los lodos de perforación diamantina, iniciando con la deshidratación o secado (MINEM, 2017, p. 50).

III Método

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque tiene un diseño experimental, donde se buscó resolver la problemática planteada, que refiere a mejorar al tratamiento y disposición final de los lodos de perforación diamantina (Hernández et al., 2014, p. 42).

3.1.1 Enfoque de la investigación

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, ya que comprende la obtención de datos durante la experimentación con la finalidad de probar la hipótesis planteada, por lo que, se hará uso del análisis estadístico y de mediciones numéricas, para encontrar relaciones entre las variables, las cuales son el compost, lodos de perforación diamantina y el grado de eficiencia en la biodegradación de compuestos orgánicos (Hernández et al., 2014, p. 4).

3.1.2 Alcance de la investigación

La investigación es de alcance correlacional, porque permitió conocer la relación o el grado de asociación de las variables en estudio, que son el compost, lodos de perforación diamantina y el grado de eficiencia en la biodegradación de compuestos orgánicos (Hernández et al., 2014, p. 88).

3.1.3 Diseño de la investigación

La investigación presenta un diseño experimental, porque se desarrolló un experimento “puro” donde se manipuló intencionalmente el compost y los lodos de perforación diamantina (variables independientes) para realizar mediciones, comparaciones y evaluar el grado de eficiencia en la biodegradación de compuestos orgánicos (variable dependiente), llevando un control y validez del proceso; y además de realizar un muestreo al azar. También, la presente

investigación posee un carácter longitudinal, porque permitió que se realicen análisis, mediciones y comparaciones de la variable dependiente, a través del tiempo que conllevó la experimentación (Hernández et al., 2014, p. 126).

3.2 Ámbito temporal y espacial

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente (LAGEMA) de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE) perteneciente a la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), por un periodo de 3 meses; iniciando el 10 de diciembre del 2019 y culminando el 10 de marzo del 2020.

3.3 Variables

Las variables se definirán como variables independientes (VI) y variables dependientes (VD). Es decir, se estudiará la causa (manipulación de la VI) para medir los efectos (medición de VD): Causa (VI) → Efecto (VD).

3.3.1 Operacionalización de variables

En la Tabla 5, se muestran las variables que serán objeto de estudio en la presente investigación.

Tabla 5

Operacionalización de variables de la investigación

Variables	Conceptualización	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidades
Variables independientes (VI)	Compost	Producto obtenido del proceso de compostaje (Sánchez et al., 2017, p. 136)	Parámetros fisicoquímicos	Temperatura	°C
				Humedad	%
				pH ^a	Unidad de pH
				CE ^b	ms/cm
				TDS ^c	g/L
				Salinidad	%
				M.O. ^d	%
				Pb ^e	mg/Kg
				Zn ^f	mg/Kg
				FH-F3 ^g	mg/Kg
Lodos de perforación diamantina	Residuo semisólido o efluente compuesto por agua, roca molida y	Agente por biodegradar de composición	Parámetros fisicoquímicos	pH	Unidad de pH
				CE	ms/cm
				TDS	g/L

Variables	Conceptualización	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidades
	aditivos (Tenorio, 2015; Bautista, 2019)	orgánica e inorgánica		Salinidad M.O. Pb Zn FH- F3	% % mg/Kg mg/Kg mg/Kg
Variable dependiente (VD)	Grado de eficiencia en la biodegradación de compuestos orgánicos	Proceso de mineralización de las estructuras orgánicas por microorganismos (Rodríguez, 2012, p. 70)	Eficiencia en la biodegradación	Parámetros fisicoquímicos	FH-F3 mg/Kg

Nota. En esta tabla se describe el diseño de la operacionalización de las variables identificadas para la presente investigación. Donde, pH ^a: potencial de hidrógeno, CE ^b: conductividad eléctrica, TDS ^c: sólidos disueltos totales, MO ^d: materia orgánica, Pb ^e: plomo; Zn ^f: zinc; FH-F3 ^g: fracción de hidrocarburos F3.

3.4 Población y muestra

La población determinada para la presente investigación fueron los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera donde se me permitió ingresar (que por consideraciones éticas y de confidencialidad de la información no se menciona), siendo un volumen total de 36 m³. En consecuencia, se logró tomar, al azar, la muestra de 5 litros de lodos necesaria para la investigación; es decir, se realizó un muestreo no probabilístico o dirigido, que se define de acuerdo con el criterio del investigador (Hernández et al., 2014, p. 170).

3.5 Instrumentos

3.5.1 Instrumentos

Para el control, análisis y síntesis de la investigación, se utilizaron los instrumentos descritos en la Tabla 6.

Tabla 6*Instrumentos utilizados en la investigación*

Instrumentos	Cantidad
Termómetro digital para suelo	1
Termómetro digital para medir TA	1
Espectrofotómetro de absorción atómica	1
Agitador magnético	3
Estufa	1
Mufla eléctrica	1
Plancha de calentamiento	1
Campana extractora	1
Multiparámetro	2
Balanza analítica	1
Desecador	1
Cámara digital Cannon	1
Laptop marca Asus	1
Calculadora científica	1

Nota. Esta tabla muestra el listado de instrumentos o equipos usados en la presente investigación.

3.5.2 Materiales

Los materiales que se usaron en esta investigación se describen en la Tabla 7.

Tabla 7*Materiales usados en la investigación*

Materiales	Cantidad	Unidades
Frascos de plástico de 1 L	5	Unidades
Vaso de precipitado de 250 ml	9	Unidades
Fiolas de 100 mL	17	Unidades
Fiolas de 200 mL	2	Unidades
Probetas de 100 mL	9	Unidades
Embudos de plástico	9	Unidades
Pipeta volumétrica de 1 mL	1	Unidad
Pipeta volumétrica de 3 mL	1	Unidad
Luna de reloj	9	Unidades
Bagueta	1	Unidad
Bombilla de succión	1	Unidad
Tamizador de 35 μ m	1	Unidad
Papel filtro	10	Unidades
Ácido nítrico concentrado	200	ml
Ácido clorhídrico concentrado	50	ml
Gel refrigerante	4	Bolsas
Guantes de nitrilo	1	Caja

Materiales	Cantidad	Unidades
Mascarillas N 95	10	Unidades
Gorro de laboratorio	10	Unidades
Gafas de laboratorio	1	Unidades
Bolsas herméticas	10	Unidades
Cooler de 20 L	1	Unidad
Lodos de perforación diamantina	5	1
Compost de estiércol y residuos orgánicos	10	Kg
Recipiente de vidrio de 28.57 m x 28.57 m x 21.43 m	3	Unidades
Tecnopor de 1.20 m x 2.40 m x 2.54 cm	1	Plancha
Pegamento	1	Unidad
Papel aluminio	1	Unidad
Espátula	1	Unidad
Fichas para recolección de datos	30	Unidades
Etiquetas para codificación de muestras	20	Unidades

Nota. En la presente tabla se describen los materiales usados en la investigación.

3.5.3 Software

- a) *Microsoft Office 2019 (Word, Excel, PowerPoint)*, facilitó la síntesis de la información generada en la investigación.
- b) *AutoCAD 2020*, permitió el diseño gráfico a escala del experimento.
- c) *Minitab 19*, usado para el análisis estadístico de la investigación.

3.6 Procedimientos

La presente investigación consta de tres etapas definidas y se desarrollaron siguiendo procedimientos específicos, los cuales se muestran en la Figura 23.

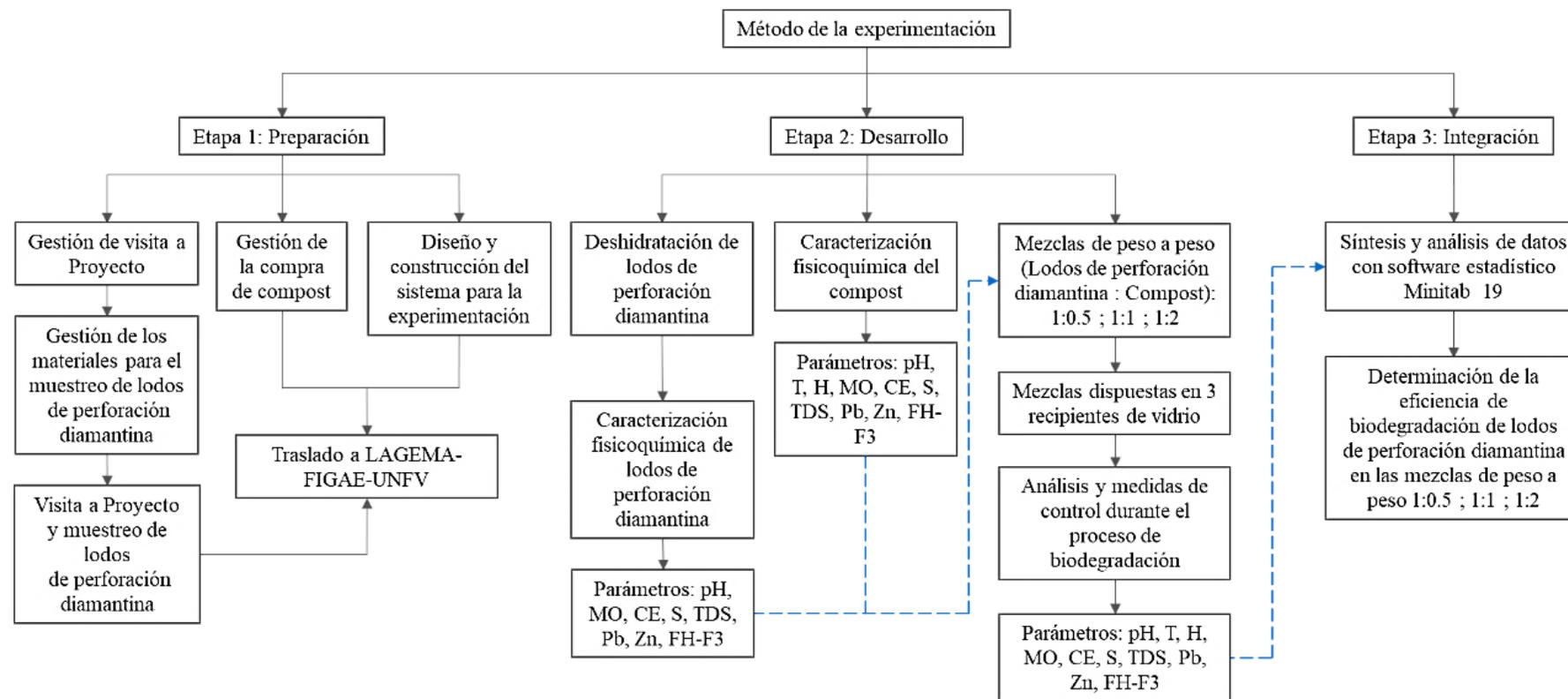
En la etapa de preparación, se realizó la gestión de la visita a un proyecto de exploración minera, la compra de materiales necesarios para la investigación y, el diseño y construcción del sistema para la experimentación.

Por otro lado, la etapa de desarrollo se inició con la experimentación propiamente dicha; empezando previamente con la Caracterización del Compost (CA) y lodos de perforación diamantina, para luego someterlos al proceso de compostaje, bajo medidas de control y análisis de parámetros fisicoquímicos.

Finalmente, en la etapa de integración, se sintetizaron y analizaron estadísticamente los datos obtenidos; y, en consecuencia, se evaluó el grado de eficiencia en la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina, en tres mezclas diferentes.

Figura 23

Método de la experimentación



Nota. En la figura se muestran las etapas de la experimentación, así como los procedimientos realizados antes, durante y después del experimento. Donde se aclara que, T: temperatura; H: humedad; pH: potencial de hidrógeno; MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica; S: salinidad; TDS: sólidos disueltos totales; Pb: plomo; Zn: zinc; FH-F3: fracción de hidrocarburos F3.

3.6.1 Etapa 1: preparación

3.6.1.1 Gestión de visita a proyecto y compra de materiales para muestreo. Se logró gestionar la visita a un proyecto de exploración minera para el muestreo de lodos de perforación diamantina (no se describe el nombre del proyecto debido a la privacidad de la información por parte de la empresa). Previo al viaje, se compró los materiales necesarios para el muestreo, como *cooler*, frascos, gel refrigerante y guantes, como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Materiales usados para el muestreo de lodos de perforación diamantina



a) Cooler.



b) Frascos de plástico de 1 l, etiquetados.



c) Guantes.



d) Gel refrigerante.

Nota. En la figura se muestran los materiales que fueron utilizados para el muestreo de los lodos de perforación diamantina.

Se efectuó la visita a un proyecto de exploración minera y se realizó el muestreo de lodos de perforación diamantina, tal como se muestra en la Figura 25. La cantidad muestreada fue de 5 litros de lodo, ya que se utilizaron 5 frascos de 1 litro de capacidad cada uno.

Figura 25

Toma de muestra de lodos de perforación diamantina



Nota. En la figura se observa la toma de muestras de lodos de perforación diamantina directamente de las pozas de sedimentación.

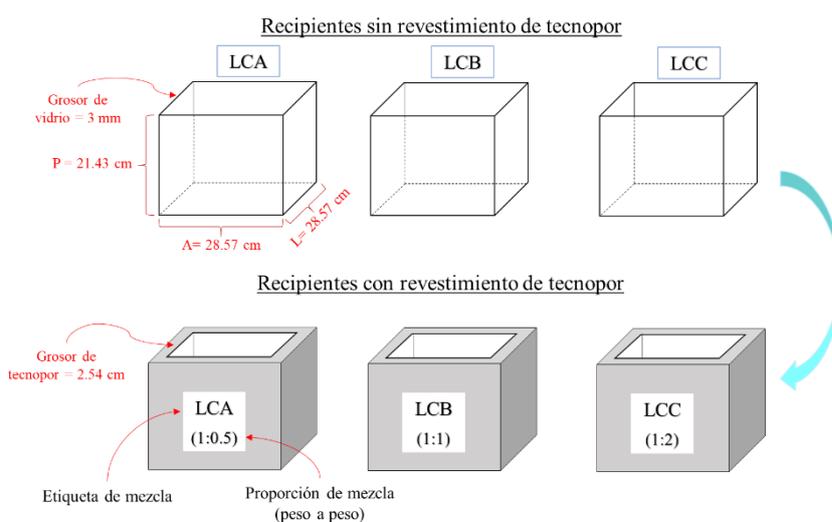
Cabe precisar, que las muestras tomadas, debidamente identificadas (ver Anexo 5), fueron trasladadas al LAGEMA de la FIGAE, perteneciente a la UNFV; donde se llevó a cabo la experimentación.

3.6.1.2 Gestión de la compra del compost. El compost, para la experimentación, se obtuvo del jardín botánico de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), como se muestra en la Figura 26. Se adquirió 10 Kg de compost elaborado a partir de materia vegetal o residuos sólidos orgánicos con estiércol, en la etapa de maduración, los cuales fueron trasladados al LAGEMA, de la FIGAE perteneciente a la UNFV.

Figura 26*Compost utilizado para la experimentación*

Nota. En la figura se muestra el compost obtenido del jardín botánico de la UNALM, para la experimentación.

3.6.1.3 Diseño y construcción del sistema para la experimentación. Se realizó el diseño a escala de tres recipientes en base a las dimensiones reales de las pozas de sedimentación de lodos del proyecto que se visitó, las cuales tenían las dimensiones de 2m x 2m de área x 1.50m de profundidad. Luego, se mandó a construir las réplicas de vidrio transparente de un grosor de 3 mm a escala 1:7. Además, para la construcción de las réplicas, se tuvo en cuenta que la capacidad o volumen ocupado de las pozas de lodos para el encapsulamiento final es del 30%, como se observó en el proyecto (ver Figura 27 y Anexo 6).

Figura 27*Esquema del sistema para la experimentación*

Nota. En la figura se muestra el esquema de los recipientes de vidrio a una escala de 1:7, respecto de las pozas de lodos. Además, se especifican sus características. Donde se aclara que, P: profundidad del recipiente, A: ancho del recipiente y L: largo del recipiente.

Para los cálculos de las dimensiones del sistema se usó una expresión matemática.

Ecuación (1):

$$V_e = (A) * (L) * (P) * 30 \% (m^3)$$

$$V_e = V_p * 30 \% (m^3)$$

$$V_e = V_p * 0.30 (m^3)$$

Donde:

V_e : Volumen que ocupa el lodo cuando es encapsulado (m^3).

A: Ancho de la poza de lodo (m).

L: Largo de la poza de lodo (m).

P: Profundidad de la poza de lodo (m).

V_p : Volumen total de la poza de lodo (m^3).

30%: Porcentaje que ocupa el lodo encapsulado respecto a V_p .

Además, para el cálculo de la escala en la que se construyó el sistema se empleó una ecuación.

Ecuación (2):

$$E = \frac{R}{D}$$

Donde:

E: Escala (adimensional).

R: Dimensión real del objeto (mismas unidades que D).

D: Dimensión del objeto en dibujo (mismas unidades que R).

Los factores R y D, deberán tener las mismas unidades. La escala se expresa como 1:

E, es decir, cada unidad en el dibujo representa “E” unidades en la realidad.

En la Tabla 8, se describen las características de diseño tomadas en cuenta para la construcción a escala de los recipientes de vidrio respecto de las dimensiones reales de las pozas de sedimentación de lodos construidas en el proyecto visitado. El diseño a escala se basó respecto al volumen muestreado de lodo, que fue de 5 L (5000 cm³).

Tabla 8

Características de diseño para la construcción del sistema

Dimensiones		Parámetros				Observación
Dimensiones reales de las pozas	A ^b (m)	L ^c (m)	P ^d (m)	V _p ^e (m ³)	Ve ^a (m ³)	-
	2.00	2.00	1.50	6.00	1.80	-
Dimensiones determinadas del sistema	A (cm)	L (cm)	P (cm)	V _p (cm ³)	Ve (cm ³)	-
	2k	2k	1.50k	6*k ³	6*k ³ *0.30	Constante
	28.11	28.11	21.09	16666.67	5000.00	k=14.06
Dimensiones ajustadas del sistema	A (cm)	L (cm)	P (cm)	V _p (cm ³)	Ve (cm ³)	-
	28.57	28.57	21.43	17492.71	5247.81	Ajuste de dimensiones en la escala 1:7

Nota. En la presente tabla se describen las características de diseño para la construcción del sistema a escala respecto a las dimensiones reales de las pozas de sedimentación de lodos. Donde, Ve^a: volumen que ocupa el lodo cuando es encapsulado; A^b: ancho de la poza de lodo; L^c: largo de la poza de lodo; P^d: profundidad de la poza de lodo; V_p^e: volumen total de la poza de lodo. Para el cálculo de la constante “k” se usó la ecuación $V_e = V_p * 0.30$, siendo el valor conocido $V_e = 5000 \text{ cm}^3$, por lo que: $5000 \text{ cm}^3 = 6*k^3*0.30 \text{ cm}^3$, resultando $k= 14.06$, que permitió el cálculo de las dimensiones de ancho, largo y profundidad del sistema. En base a las dimensiones encontradas, se determinó la escala: $E = \frac{R}{D} = \frac{2 \text{ m}}{28.11 \text{ cm}} = \frac{200 \text{ cm}}{28.11 \text{ cm}} = 7.11 \approx 7$, estableciéndose la escala 1:7, para la construcción del sistema. Finalmente, se realizó el ajuste de las dimensiones encontradas de acuerdo a la escala 1:7, siendo $A= 28.57 \text{ cm}$, $L= 28.57 \text{ cm}$ y $P= 21.43 \text{ cm}$, con las cuales se diseñó y construyó el sistema.

Finalmente, se construyeron los 3 recipientes de vidrio, tal como se aprecia en la Figura 28. Posteriormente, los recipientes construidos fueron trasladados al LAGEMA, de la FIGAE perteneciente a la UNFV; donde se les revisitó externamente con tecnopor que tenía un grosor de 2.54 cm para aislar las condiciones ambientales internas y externas del recipiente, y

finalmente se les instaló en un área específica del laboratorio, donde se procedió a introducir las mezclas correspondientes para dar inicio a la experimentación, propiamente dicha.

Figura 28

Sistema construido a escala para la experimentación



a) Recipientes de vidrio sin revestir.



b) Recipientes de vidrio revestidos con tecnopor.

Nota. En la figura se muestran los recipientes de vidrio que fueron utilizados durante la experimentación.

3.6.2 Etapa 2: desarrollo

3.6.2.1 Caracterización de lodos de perforación diamantina y compost. Previamente al inicio de la experimentación (mezclas de peso a peso), se realizó la caracterización fisicoquímica de los lodos de perforación diamantina (previamente deshidratados) y compost. Los parámetros evaluados fueron: T, pH, H, CE, TDS, S, MO, ρ_a , fracción de hidrocarburos F3, Pb y Zn.

3.6.2.1.1 Temperatura (T). Para la medición de la TA donde se instaló el sistema se utilizó un termómetro digital marca VZN HTC-2. Mientras que para medir la temperatura del sistema se utilizó un termómetro digital para suelo marca Borosil (ver Figura 29). Para cada medición, se hicieron 3 repeticiones.

Figura 29

Termómetros utilizados para medir la temperatura



a) Termómetro digital marca VZN HTC-2 b) Termómetro digital marca Borosil.
Nota. En la figura se muestran los termómetros que fueron utilizados durante la experimentación.

3.6.2.1.2 Humedad (H). El análisis de la humedad se realizó por el método gravimétrico y por triplicado, considerando el cálculo en base húmeda. Se pesó una caja de aluminio y luego una muestra de 20 g, para llevarlo a secar en una estufa a 105 °C por 24 horas. Posteriormente se retiró la caja de aluminio con la muestra de 20 g, se colocó en un desecador por 30 minutos y finalmente se volvió a pesar en una balanza analítica (ver Figura 30). El contenido de humedad en la muestra se expresa en porcentaje (%) como se indica en la ecuación (Ruiz, 2016; Marchese, 2015; INIA, 2017; INN, 2004).

Ecuación (3):

$$H = \frac{(W+W_1)-(W+W_2)}{W_1} * 100 \%$$

$$H = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \%$$

Donde:

H: Porcentaje de humedad (%).

W: Peso de la caja de aluminio (g).

W₁: Peso de la muestra húmeda (g).

W₂: Peso de la muestra seca (g).

W₁-W₂: Peso del agua (g).

Figura 30

Muestras trabajadas para el cálculo de la humedad



Nota. En la figura se presenta a una muestra del sistema por triplicado en un desecador para su posterior pesado y cálculo de la humedad.

3.6.2.1.3 Potencial de hidrógeno (pH). La medición del pH en las muestras se hizo en una relación de peso a volumen de 1:2.5 y por triplicado. En una balanza analítica, se pesó 30 g de muestra y se llevó a una estufa para secar, en una caja de aluminio, a 105 °C por 24 horas; pasado ese tiempo se dispuso en un desecador por 30 minutos. Luego se tamizó la muestra seca usando un tamiz de prueba número 35 de 500 μm , enseguida se pesó 10 g de muestra tamizada y se añadió en un vaso de precipitado de 250 mL, al cual también se le añadió 25 mL de agua destilada medidos en una probeta de 50 mL, y se mezcló ligeramente con una bagueta. Inmediatamente, el vaso de precipitado se dispuso en un agitador magnético calibrado a 300 rpm por un periodo de 30 minutos. Posteriormente, la mezcla homogénea se vertió en una probeta de 50 ml y se dejó sedimentar por 20 minutos. Finalmente, en el líquido sobrenadante se realizó la lectura del pH, utilizando un multiparámetro marca Hanna (ver Figura 31). Además, con cada lectura del pH, también se midió la CE, TDS y S (INIA, 2017; Ruiz, 2016; Marchese, 2015).

Figura 31

Medición de los parámetros pH, CE, TDS, S



a) Agitador magnético.



b) Probetas con muestra.



c) Multiparámetro.

Nota. En la figura se muestran: a) Agitador magnético con muestra a 300 rpm; b) Probetas con muestras sedimentadas; c) Medición de parámetros pH, CE, TDS, S con multiparámetro.

3.6.2.1.4 Conductividad eléctrica (CE). Para su lectura, se realizaron los mismos procedimientos descritos en el parámetro pH.

3.6.2.1.5 Sólidos disueltos totales (TDS). La medición, se realizó siguiendo los mismos procedimientos descritos en el parámetro pH.

3.6.2.1.6 Salinidad (S). La medición, se hizo siguiendo los mismos pasos descritos en el parámetro pH.

3.6.2.1.7 Materia orgánica (MO). La determinación, en las muestras se hizo por triplicado. En una balanza analítica, se pesó 10 g de muestra en una caja de aluminio y se llevó a una estufa para secar a 105 °C por 24 horas; pasado ese tiempo se dispuso en un desecador por 30 minutos. Del mismo modo, a los crisoles previamente rotulados se les llevó a la estufa para secar a 105 °C por 24 horas y pasado ese tiempo se dispuso en un desecador por 30 minutos. Luego se tamizó la muestra seca usando un tamiz de prueba número 35 de 500 µm, enseguida se pesó 1 g de muestra tamizada, se puso en un crisol que previamente se pesó y se llevó con una pinza a una mufla eléctrica por 5 horas a 550 °C, y cumplido ese tiempo se graduó la temperatura de la mufla a 0 °C dejándolo enfriar, luego se sacó la muestra y se introdujo en un desecador por 30 minutos (ver Figura 32). Posteriormente, se realizó el pesado del crisol que contenía la muestra calcinada, con la finalidad de efectuar el cálculo del porcentaje de MO

por diferencia de peso, tal como como se describe en la ecuación (Ruiz, 2016; Marchese, 2015; INIA, 2017).

Ecuación (4):

$$MO = \frac{(W_c + W_i) - (W_c + W_f)}{W_i} * 100 \%$$

$$MO = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100 \%$$

Donde:

MO: Materia orgánica (%).

W_c: Peso del crisol (g).

W_i: Peso inicial de la muestra (g).

W_f: Peso final de la muestra calcinada (g).

W_i-W_f: Peso de la MO (g).

Figura 32

Muestras introducidas en la mufla eléctrica para calcinación



Nota. En la figura se observan muestras dentro de crisoles en la mufla eléctrica preparadas para la calcinación.

3.6.2.1.8 Fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3). El análisis, se realizó en el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. (ALAB) (Ver Anexo 2). El método usado fue EPA

METHOD 8015C, Rev. 03 2007 (*Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography*). Sin embargo, previamente se realizó el muestreo del sistema y las muestras fueron enviadas al laboratorio para su análisis, como se aprecia en la Figura 33.

Figura 33

Muestreo para análisis de Fracción de hidrocarburos F3



Nota. En la figura se observa el muestreo realizado en el sistema para el parámetro fracción de hidrocarburos F3, que luego fue enviado al laboratorio ALAB.

3.6.2.1.9 Plomo (Pb). En el análisis, se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica, realizándose mediciones por triplicado. En una balanza analítica, se pesó 30 g de muestra y se llevó a una estufa para secar a 105 °C por 24 horas; pasado ese tiempo se dispuso en un desecador por 30 minutos y luego se tamizó la muestra seca usando un tamiz de prueba número 35 de 500 μm . A continuación, se pesó 1 g de muestra tamizada y se añadió en un vaso de precipitado de 250 ml, donde se vertió con una pipeta volumétrica, 3 mL de HCl y 1 mL de HNO₃ concentrados, agitándose levemente hasta homogenizar la mezcla. Luego, se digirió a 90 °C en una plancha de calentamiento y campana extractora, hasta observar un estado pastoso de la mezcla homogénea, evidenciando la ausencia de humedad, e inmediatamente se

retiró para dejar enfriar por 20 minutos. En seguida, se vertió 50 mL de agua destilada y se agitó levemente hasta homogenizar la mezcla. Entonces, se colocó en una fiola de 100 mL un embudo de plástico con un papel filtro y se vertió la mezcla preparada, luego se enrasó a 100 mL con agua destilada y se agitó la nueva mezcla para homogenizarla; quedando lista para la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica. Se precisa, que, para las lecturas de la concentración del Pb, previamente, fue necesario la preparación de soluciones blanco y estándares de 1, 2 y 4 ppm (mg/L) para la calibración de las lecturas (ver Figura 34). Además, se realizó el mismo procedimiento para el análisis del parámetro de Zn (Marchese, 2015; INIA, 2017; Ruiz, 2016).

Figura 34

Medición de los parámetros Pb y Zn



a) Digestión de muestras.



b) Filtración de muestras.



c) Preparación de blanco y estándares.



d) Espectrofotómetro.

Nota. En la figura se observa la medición del Pb y Zn. a) Muestras digeridas en la plancha de calentamiento; b) Filtración y preparación de muestras en fiolas para la lectura; c) Preparación de estándares de 1, 2 y 4 ppm; d) Realización de lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

En la Tabla 9, se describe la preparación de las soluciones blanco y estándares de 1, 2 y 4 ppm (mg/L), utilizadas para las lecturas del Pb.

Se precisa que la solución estándar madre de Pb, tenía una concentración de 1000 ppm, la cual se diluyó a 50 ppm en una fiola de 200 mL, para poder preparar los estándares requeridos empleando fiolas de 100 mL en medio ácido (dilución en 5 ml de HNO₃ concentrado); es así, que se hizo uso una ecuación.

Ecuación (5):

$$E_r * V_f = E_i * V_d$$

$$V_d = \frac{E_r * V_f}{E_i} \text{ (ml)}$$

Donde:

E_i: Concentración de estándar madre inicial (ppm).

E_r: Concentración de estándar requerido (ppm) o solución hija.

V_f: Volumen de fiola donde se desea preparar el estándar requerido (mL).

V_d: Volumen requerido de E_i para preparar E_r (mL).

Tabla 9

Preparación de soluciones blanco y estándares de plomo

Solución	E _i (ppm)	E _r (ppm) (solución hija)	V _f (ml)	V _d (ml)	HNO ₃ (ml)	A.D. (ml)
Estándar madre de Pb	1000	50	200	10	0	190
Estándar 1	50	1	100	2	5	93
Estándar 2	50	2	100	4	5	91
Estándar 3	50	4	100	8	5	87
Blanco	0	0	100	0	5	95

Nota. En la presente tabla se describe la preparación de soluciones blanco y estándares. Donde se aclara que, E_i: concentración de estándar madre inicial; E_r: concentración de estándar requerido o solución hija; V_f: volumen de fiola donde se desea preparar el estándar requerido; V_d: volumen requerido de E_i para preparar E_r; HNO₃: ácido nítrico, usado para acidificar la mezcla; A.D.: agua destilada, empleada en la dilución y enrase de la fiola; Pb: plomo.

Por otro lado, dado que los resultados arrojados por el espectrofotómetro de absorción atómica se expresaron en ppm (mg/L) fue necesario transformarlo a mg/Kg, con una ecuación.

Ecuación (6):

$$M = \frac{C_m \left(\frac{mg}{L}\right) * V_f(L)}{W_m(Kg)}$$

$$M = \frac{C_m * V_f}{W_m} \text{ (mg/Kg)}$$

Donde:

M: Concentración del metal en peso seco (mg/Kg).

C_m: Concentración del metal leída en el espectrofotómetro (mg/L o ppm).

V_f: Volumen de fiola para lectura en el espectrofotómetro (L).

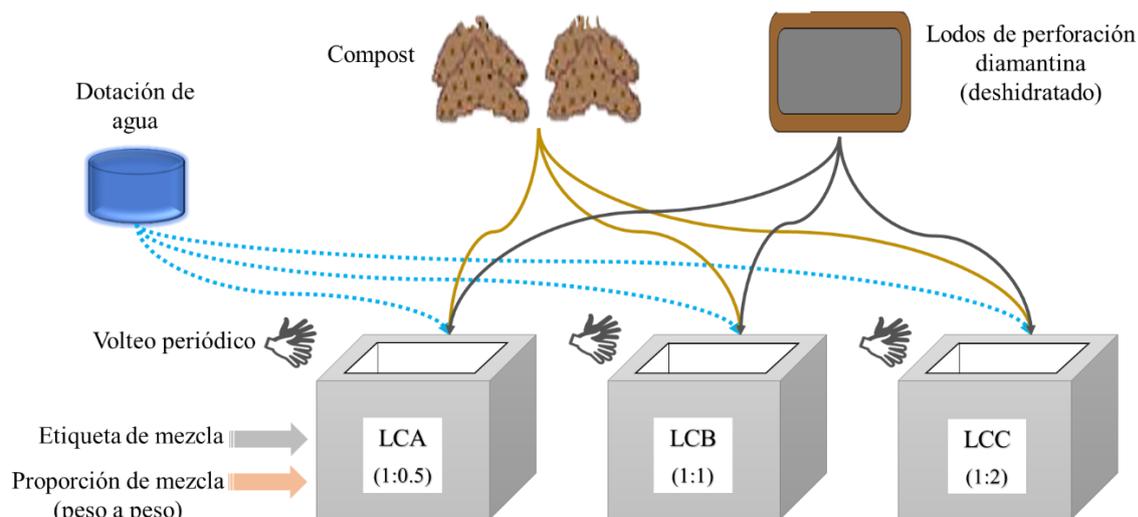
W_m: Peso de muestra analizada (Kg).

3.6.2.1.10 Zinc (Zn). Para la medición del Zn, se siguieron los pasos descritos.

3.6.2.2 Mezclas de peso a peso de lodos de perforación diamantina y compost. Se realizaron las mezclas de peso a peso (p: p) de lodos de perforación diamantina deshidratados y compost, en las proporciones de 1:0.5, 1:1 y 1:2, respectivamente, en los tres recipientes contruidos (ver Figura 35 y Tabla 10). Además, durante el periodo de la experimentación, se suministró una dotación de agua y se realizaron volteos periódicos (Rueda, 2008; Zhou et al., 2017; Rojas-Avelizapa et al., 2007).

Figura 35

Sistema de mezcla entre lodos de perforación diamantina y compost



Nota. En la figura se muestran los tres recipientes LCA, LCB y LCC, donde se realizaron las mezclas de peso a peso, para evaluar la biodegradación de los componentes orgánicos presentes los lodos de perforación diamantina, como la fracción de hidrocarburos F3.

Tabla 10

Proporción de mezclas utilizadas para la experimentación

Mezcla	Proporción (p:p)	Peso de lodo deshidratado (Kg)	Peso de compost (Kg)	Peso total de mezcla (Kg)
LCA	1 : 0.5	0.880	0.440	1.320
LCB	1 : 1	0.880	0.880	1.760
LCC	1 : 2	0.880	1.760	2.640

Nota. En la presente tabla se describen las proporciones de peso a peso (p:p) para cada mezcla. Además, se muestran las cantidades reales que fueron utilizadas en la experimentación.

3.6.2.3 Control y análisis en la experimentación. El control y análisis del parámetro T, tanto del ambiente y de las mezclas, se realizaron 2 veces por semana con 3 repeticiones. Por otro lado, la H, se midió una vez por semana con 3 repeticiones. Por lo que, se consideró convenientemente una dotación de agua, una vez por semana, para las 3 mezclas LCA, LCB, LCC de 50 mL, 100 mL y 200 mL, respectivamente, respetando las proporciones de mezcla, para mantener la humedad adecuada. Respecto a los parámetros pH), CE, TDS, S, MO, Pb y

Zn, se analizaron cada 15 días y por triplicado; mientras que el parámetro fracción de hidrocarburos F3, se analizó al inicio y final del experimento sin repetición, debido al elevado costo del análisis. También, se realizó un volteo por semana a cada mezcla para homogenizar y oxigenar el sistema, tal como se aprecia en la Tabla 11 (Rueda, 2008; Zhou et al., 2017; Rojas-Avelizapa et al., 2007).

Además, todos los parámetros fueron analizados en el laboratorio LAGEMA, de la FIGAE perteneciente a la UNFV (ver Anexo 3), a excepción del parámetro fracción de hidrocarburos F3 que se realizó en laboratorio ALAB (Ver Anexo 2).

Tabla 11

Control y análisis en la experimentación

Parámetro / Actividad	Control y análisis				
	Repetición del análisis	Inicio y final de la experimentación	2 veces por semana	1 vez por semana	Cada 15 días
TA y TM	3		X		
H	3			X	
pH	3				X
CE	3				X
TDS	3				X
S	3				X
MO	3				X
FH-F3	1	X			
Pb y Zn	3				X
Dotación de agua	-			X	
Volteo	-			X	

Nota. En la presente tabla se muestran las frecuencias de los controles y análisis para cada parámetro establecido.

Donde se aclara que, TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de la mezcla; H: humedad; pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; TDS: sólidos disueltos totales; S: salinidad; MO: materia orgánica; FH-F3: fracción de hidrocarburos F3; Pb: plomo; Zn: zinc.

3.6.3 Etapa 3: integración

3.6.3.1 Evaluación del grado de eficiencia en la biodegradación de lodos de perforación diamantina. La evaluación para medir el grado de eficiencia en la biodegradación

de los componentes orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina se realizó en base a la comparación de los resultados obtenidos respecto al parámetro fracción de hidrocarburos F3 de las 3 mezclas, determinándose así en qué porcentaje el contenido inicial disminuyó después de aplicarse el tratamiento del proceso de compostaje. Es decir, se determinó la eficiencia de remoción de la fracción de hidrocarburos F3 (componente orgánico) presente en lodos de perforación diamantina aplicándole el proceso de compostaje, en el sistema construido. La eficiencia de biodegradación en las mezclas LCA, LCB y LCC, se calculó usando una ecuación.

Ecuación (7):

$$R = \frac{Fh_i - Fh_f}{Fh_i} * 100 \%$$

Donde:

R: Eficiencia de la mezcla para la biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3 (%).

Fh_i: Concentración inicial de la fracción de hidrocarburos F3 (mg/Kg).

Fh_f: Concentración final de la fracción de hidrocarburos F3 (mg/Kg).

3.7 Análisis de datos

3.7.1. Tratamiento de datos con software estadístico

Para el análisis o procesamiento de los datos obtenidos, se utilizaron los softwares Minitab 19 y Excel 2019.

El Excel 2019, se usó para registrar los datos generados durante la experimentación, y permitió crear los gráficos a detalle de los resultados registrados, facilitando su interpretación. Por otro lado, la utilización del Minitab 19, fue exclusivamente para el análisis estadístico y la prueba de hipótesis, en base a los resultados generados; y de esa manera comprobar las diferencias significativas entre los tratamientos establecidos en la investigación.

3.7.2. Contratación de hipótesis de la investigación

Se hace necesario someter a prueba las hipótesis de investigación con la finalidad de determinar si son apoyadas o refutadas, al menos probabilísticamente. En ese sentido, se realizó un análisis paramétrico (Hernández et al., 2014; Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Marchese, 2015).

En consecuencia, para el análisis estadístico se seleccionó la prueba estadística análisis de varianza (ANOVA) unidireccional o de un factor y para las comparaciones posteriores (post hoc) en el ANOVA se usó la prueba de Tukey (Hernández et al., 2014; Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Marchese, 2015).

3.8 Consideraciones éticas

La presente investigación es un estudio original, que no copia a ningún otro autor. Sin embargo, sostiene sus bases teóricas en las investigaciones de diversos autores respecto al tema tratado. Además, por estrictas políticas internas de la empresa y confidencialidad de la información, se mantiene la privacidad del proyecto de donde fueron muestreados los lodos de perforación diamantina, la utilización de información de dicho proyecto, así como el nombre de la empresa y personas involucradas.

3.8.1. Limitaciones de la investigación

- Escasa información sobre metodologías o procesos para el tratamiento de los lodos de perforación diamantina.
- Dificultad para obtener las muestras de lodos de perforación diamantina de un proyecto de exploración minera.
- Negativa por parte del titular minero de un proyecto de exploración minera, para autorizar el uso de información en la investigación.

IV Resultados

4.1 Resultados de la caracterización, control y análisis en la experimentación

En esta sección se muestran los resultados obtenidos a lo largo de la experimentación, en base a los diferentes análisis que se realizaron en el laboratorio; que incluyeron la caracterización previa del LPP y el compost, los controles del experimento, así como la síntesis de los datos obtenidos sometiéndole a un tratamiento estadístico. Además, debido a que no existe una normativa de regulación para lodos de perforación, se trató de comparar algunos parámetros evaluados con las normativas para compost y suelos, como la Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of2004 de Compost – Clasificación y requisitos, y la norma peruana ECA para Suelo aprobado por D.S. N° 011-2017-MINAM; con la finalidad de tener un mejor análisis de las concentraciones encontradas.

4.1.1 Temperatura ambiente (TA) y de las mezclas

Los resultados se presentan en la Tabla 12 y Figura 36. Los registros de la TA fueron tomadas en la CA (día d0) y luego desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92); del mismo modo, se procedió con la temperatura de las mezclas (LCA, LCB y LCC) y la temperatura inicial del compost antes de que fuera mezclado (CA).

No obstante, se evidencia que los valores de la TA y de las mezclas tuvieron una distribución regular, donde la TA en comparación con las de las mezclas y compost (LCA, LCB, LCC y CA) durante el periodo de la experimentación fue mayor, llegando a registrarse una TA pico de $30.20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.40\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la temperatura de las mezclas fue disminuyendo de acuerdo a la proporción de mezcla, es decir, que se registró mayor temperatura en la mezcla LCA, seguida de la mezcla LCB y finalmente la mezcla LCC donde se registró una temperatura mínima de $21.63\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$; cabe mencionar, que la temperatura

del compost (CA) en la caracterización fue de $26.80 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Además, se observó que el aumento o disminución de la temperatura en las mezclas se relacionó con las fluctuaciones de la TA; y, además, podría estar condicionada al contenido de humedad de las mezclas.

Tabla 12

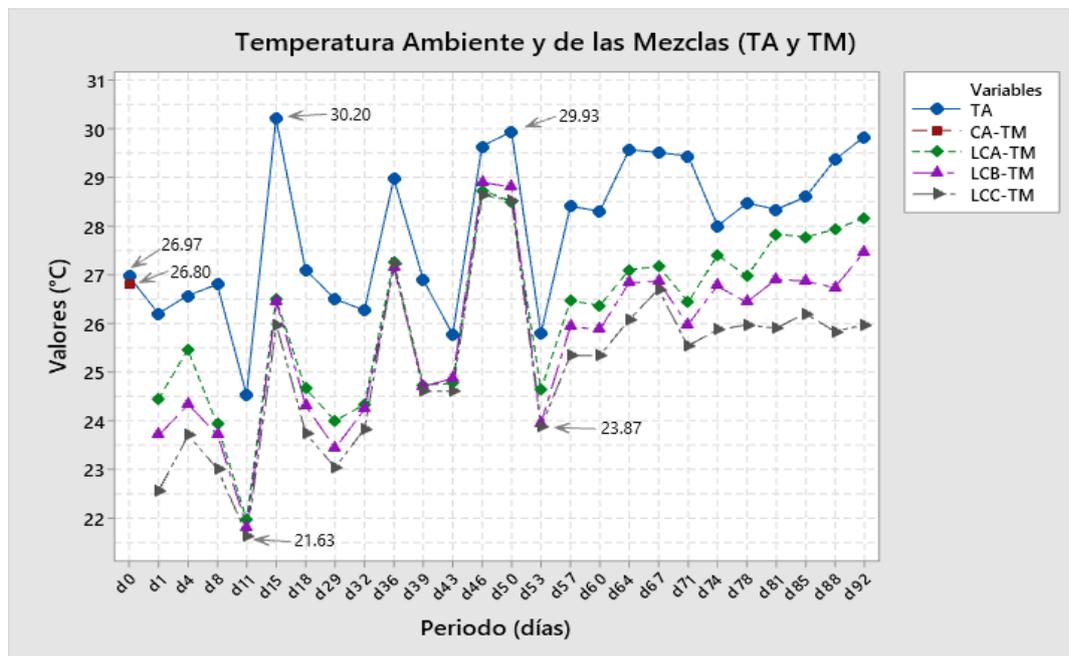
Resultados de la temperatura ambiente y de las mezclas

Fecha	Periodo (días)	Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura de las mezclas ($^{\circ}\text{C}$)			
			Caracterización	Mezclas		
			CA	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)
6/12/19	d0	26.97 ± 0.15	26.80 ± 0.30	*	*	*
10/12/19	d1	26.20 ± 0.70	*	24.43 ± 0.06	23.70 ± 0.10	22.57 ± 0.15
13/12/19	d4	26.57 ± 0.06	*	25.47 ± 0.06	24.33 ± 0.21	23.70 ± 0.20
17/12/19	d8	26.80 ± 0.00	*	23.93 ± 0.15	23.70 ± 0.17	23.00 ± 0.17
20/12/19	d11	24.53 ± 0.29	*	21.97 ± 0.06	21.80 ± 0.00	21.63 ± 0.06
24/12/19	d15	30.20 ± 0.40	*	26.50 ± 0.10	26.43 ± 0.15	25.97 ± 0.12
27/12/19	d18	27.10 ± 0.00	*	24.67 ± 0.12	24.30 ± 0.00	23.73 ± 0.15
7/01/20	d29	26.50 ± 0.79	*	24.00 ± 0.10	23.43 ± 0.12	23.03 ± 0.21
10/01/20	d32	26.27 ± 0.15	*	24.33 ± 0.15	24.23 ± 0.12	23.83 ± 0.06
14/01/20	d36	28.97 ± 0.06	*	27.27 ± 0.21	27.13 ± 0.25	27.23 ± 0.31
17/01/20	d39	26.90 ± 0.17	*	24.73 ± 0.12	24.70 ± 0.10	24.60 ± 0.10
21/01/20	d43	25.77 ± 0.29	*	24.77 ± 0.15	24.87 ± 0.06	24.60 ± 0.10
24/01/20	d46	29.63 ± 0.51	*	28.73 ± 0.32	28.90 ± 0.20	28.63 ± 0.06
28/01/20	d50	29.93 ± 0.21	*	28.50 ± 0.36	28.80 ± 0.50	28.53 ± 0.25
31/01/20	d53	25.80 ± 0.17	*	24.63 ± 0.49	23.93 ± 0.15	23.87 ± 0.12
4/02/20	d57	28.40 ± 0.17	*	26.47 ± 0.29	25.93 ± 0.15	25.33 ± 0.06
7/02/20	d60	28.30 ± 0.46	*	26.37 ± 0.12	25.87 ± 0.06	25.33 ± 0.06
11/02/20	d64	29.57 ± 0.06	*	27.10 ± 0.10	26.83 ± 0.21	26.07 ± 0.21
14/02/20	d67	29.50 ± 0.26	*	27.17 ± 0.23	26.87 ± 0.21	26.70 ± 0.17
18/02/20	d71	29.43 ± 0.12	*	26.43 ± 0.35	25.97 ± 0.21	25.53 ± 0.06
21/02/20	d74	28.00 ± 0.10	*	27.40 ± 0.56	26.77 ± 0.25	25.87 ± 0.45
25/02/20	d78	28.47 ± 0.15	*	26.97 ± 0.12	26.43 ± 0.15	25.97 ± 0.38
28/02/20	d81	28.33 ± 0.31	*	27.83 ± 0.25	26.90 ± 0.20	25.90 ± 0.56
3/03/20	d85	28.60 ± 0.10	*	27.77 ± 0.51	26.87 ± 0.32	26.20 ± 0.36
6/03/20	d88	29.37 ± 0.42	*	27.93 ± 0.15	26.73 ± 0.40	25.83 ± 0.15
10/03/20	d92	29.83 ± 0.15	*	28.17 ± 0.35	27.47 ± 0.91	25.97 ± 0.25

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados para la TA y de las mezclas. Donde se aclara que, CA: código de compost; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 36

Resultados de la temperatura ambiente y de las mezclas



Nota. En la figura se muestran los niveles de TA y de las mezclas. Donde se aclara que, TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de la mezcla; CA-TM: temperatura inicial del compost antes de las mezclas; LCA-TM: temperatura de la mezcla LCA; LCB-TM: temperatura de la mezcla LCB; LCC-TM: temperatura de la mezcla LCC.

4.1.2 Humedad (H)

Se realizaron mediciones de la humedad tanto en la CA en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran en la Tabla 13 y Figura 37.

En la caracterización de CA, en el día d0, se registró una H de 42.94 ± 0.41 %. Por otro lado, en las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó una tendencia de aumento en la H a lo largo de la experimentación, teniendo picos de disminución, respecto al contenido de humedad inicial del compost. Para el día d1 de mezcla se registró para LCA una H de $28.45\% \pm 0.42\%$, en LCB se registró $31.56\% \pm 0.36\%$ y en LCC se registró $36.45\% \pm 0.36\%$; esto probablemente debido al acondicionamiento de mezcla entre el LPP deshidratado y el compost. También, se registró

una disminución representativa en el día d29, donde LCA registró una H de $27.41\% \pm 0.16\%$, LCB registró $29.25\% \pm 0.29\%$ y LCC registró $34.78\% \pm 0.18\%$; originado probablemente porque no se logró realizar el control de riego entre los días d15 y d29, dado que el laboratorio estuvo cerrado.

De acuerdo con la Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of2004, los valores de la H en el compost deberían estar entre los 30% y 4%. No obstante, los valores registrados para la mezcla LCA en el día d1, d8, d29 y d36; y para la mezcla LCB en el día d29, se encuentran por debajo de lo establecido en la norma, sin embargo, en los posteriores días se estabilizaron enmarcándose en el rango adecuado. Mientras que los valores registrados para la mezcla LCC, desde el inicio de la experimentación, se mantuvieron dentro del rango establecido en la norma.

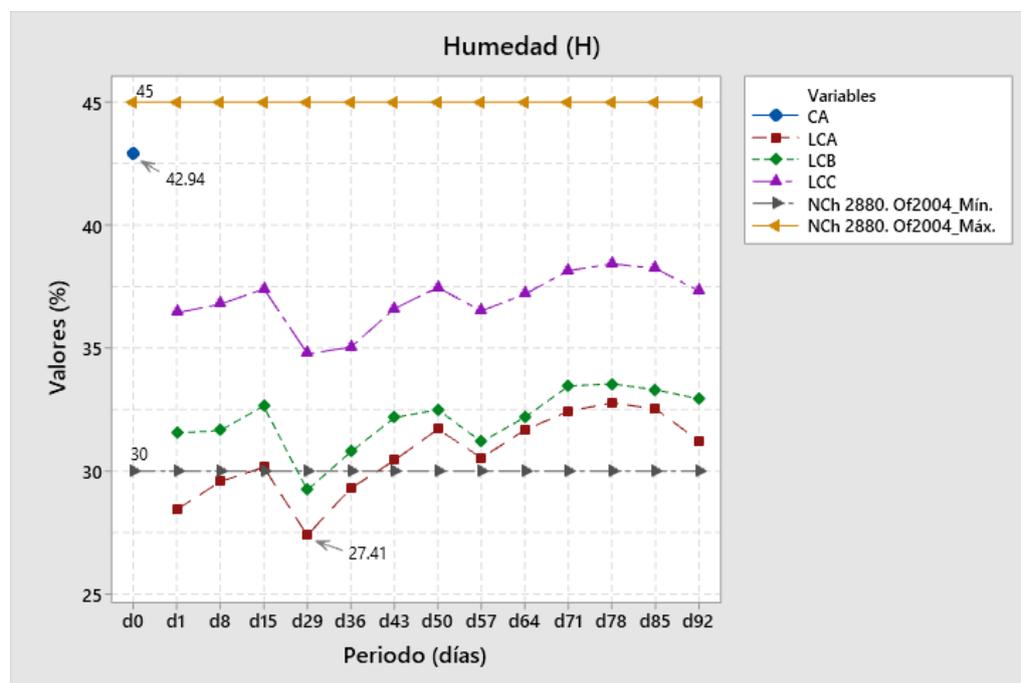
Además, se observó que a mayor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró mayor cantidad de humedad; por lo que, la mayor cantidad de H registrada fue en la mezcla LCC, seguida de LCB y finalmente LCA.

Tabla 13

Resultados de la humedad

Fecha	Periodo (días)	Humedad (%)				NCh 2880. Of2004	
		Caracterización	Mezclas			Mín.	Máx.
		CA	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)		
6/12/19	d0	42.94 ± 0.41	*	*	*	30	45
10/12/19	d1	*	28.45 ± 0.42	31.56 ± 0.36	36.45 ± 0.36	30	45
17/12/19	d8	*	29.58 ± 0.38	31.67 ± 0.29	36.80 ± 0.32	30	45
24/12/19	d15	*	30.18 ± 0.42	32.66 ± 0.26	37.42 ± 0.33	30	45
7/01/20	d29	*	27.41 ± 0.16	29.25 ± 0.29	34.78 ± 0.18	30	45
14/01/20	d36	*	29.32 ± 0.19	30.79 ± 0.30	35.05 ± 0.02	30	45
21/01/20	d43	*	30.45 ± 0.42	32.19 ± 0.22	36.62 ± 0.15	30	45
28/01/20	d50	*	31.72 ± 0.14	32.51 ± 0.38	37.47 ± 0.25	30	45
4/02/20	d57	*	30.55 ± 0.33	31.20 ± 0.28	36.53 ± 0.14	30	45
11/02/20	d64	*	31.69 ± 0.24	32.21 ± 0.23	37.21 ± 0.19	30	45
18/02/20	d71	*	32.45 ± 0.40	33.47 ± 0.16	38.16 ± 0.32	30	45
25/02/20	d78	*	32.79 ± 0.20	33.56 ± 0.06	38.45 ± 0.25	30	45
3/03/20	d85	*	32.54 ± 0.11	33.32 ± 0.15	38.26 ± 0.24	30	45
10/03/20	d92	*	31.23 ± 0.17	32.95 ± 0.71	37.34 ± 0.19	30	45

Nota. La tabla muestra los resultados del parámetro humedad. Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 37*Resultados de la humedad*

Nota. En la figura se presentan los niveles de humedad de las mezclas. Donde se aclara que, CA: humedad del compost antes de la mezcla; LCA: humedad de la mezcla LCA; LCB: humedad de la mezcla LCB; LCC: humedad de la mezcla LCC.

4.1.3 Potencial de hidrógeno (pH)

Se realizaron mediciones del pH tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran la Tabla 14 y Figura 38.

En la caracterización, antes de las mezclas, el pH de CA fue de 6.16 ± 0.02 , siendo ligeramente ácido; mientras que para LPP fue de 7.42 ± 0.10 , con tendencia a ser básico; cumpliendo, ambos, con lo establecido en la Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of2004, que precisa un rango de 5 a 8.5 de pH en compost. Respecto al pH de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó un aumento durante el periodo de la experimentación, con tendencia a ser ligeramente básico; y en todos los casos se mantuvo dentro del rango establecido por la norma.

En la mezcla LCA, para el día d1, se registró un pH de 7.67 ± 0.05 y para el día d92 un valor de 7.94 ± 0.02 ; mientras que para LCB, en el día d1, se registró un pH de 7.27 ± 0.08 y para el día d92 un valor de 7.83 ± 0.03 ; finalmente, para LCC, en el día d1, se registró un pH de 7.10 ± 0.03 y para el día d92 un valor de 7.77 ± 0.02 .

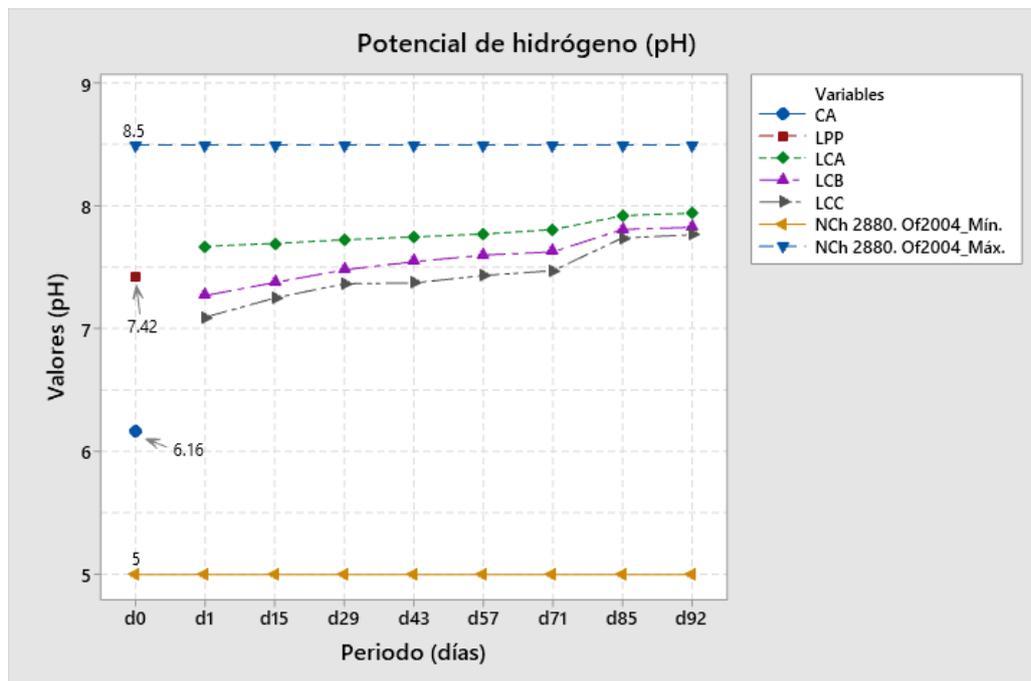
También, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró mayor pH; por lo que, la mezcla LCA registró mayor pH, seguido de LCB y finalmente LCC.

Tabla 14

Resultados del pH

Fecha	Periodo (días)	pH (unidades)					NCh 2880. Of2004	
		Caracterización		Mezclas			Mín.	Máx.
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)		
6/12/19	d0	6.16 ± 0.02	7.42 ± 0.10	*	*	*	5	8.5
10/12/19	d1	*	*	7.67 ± 0.05	7.27 ± 0.08	7.10 ± 0.03	5	8.5
24/12/19	d15	*	*	7.70 ± 0.03	7.38 ± 0.08	7.25 ± 0.06	5	8.5
7/01/20	d29	*	*	7.73 ± 0.01	7.48 ± 0.01	7.37 ± 0.05	5	8.5
21/01/20	d43	*	*	7.75 ± 0.01	7.55 ± 0.13	7.38 ± 0.01	5	8.5
4/02/20	d57	*	*	7.77 ± 0.06	7.60 ± 0.01	7.44 ± 0.15	5	8.5
18/02/20	d71	*	*	7.81 ± 0.02	7.63 ± 0.02	7.48 ± 0.02	5	8.5
3/03/20	d85	*	*	7.92 ± 0.01	7.81 ± 0.02	7.74 ± 0.02	5	8.5
10/03/20	d92	*	*	7.94 ± 0.02	7.83 ± 0.03	7.77 ± 0.02	5	8.5

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro pH. Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 38*Resultados del pH*

Nota. La figura muestra los niveles de pH en las mezclas. Donde se aclara que, CA: pH del compost antes de la mezcla; LPP: pH del LPP antes de la mezcla; LCA: pH de la mezcla LCA; LCB: pH de la mezcla LCB; LCC: pH de la mezcla LCC.

4.1.4 Conductividad eléctrica (CE)

Se realizaron mediciones de CE, tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran la Tabla 15 y Figura 39.

En la caracterización, antes de las mezclas, la CE de CA fue de $5.10 \text{ dS/m} \pm 0.12 \text{ dS/m}$; mientras que para LPP fue de $1.29 \text{ dS/m} \pm 0.01 \text{ dS/m}$; cumpliéndose, en ambos casos, con lo establecido en la Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of2004, que precisa un valor máximo de 8 dS/m para CE en compost. Respecto a la CE de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó un aumento durante el periodo de la experimentación; y en todos los casos se mantuvo dentro del valor límite establecido por la norma. En la mezcla LCA, para el día d1, se registró una CE

de $2.37 \text{ dS/m} \pm 0.08 \text{ dS/m}$ y para el día d92 un valor de $4.91 \text{ dS/m} \pm 0.03 \text{ dS/m}$; mientras que para LCB, en el día d1, se registró una CE de $2.92 \text{ dS/m} \pm 0.01 \text{ dS/m}$ y para el día d92 un valor de $6.45 \text{ dS/m} \pm 0.03 \text{ dS/m}$; finalmente, para LCC, en el día d1, se registró una CE de $4.67 \text{ dS/m} \pm 0.09 \text{ dS/m}$ y para el día d92 un valor de $7.65 \text{ dS/m} \pm 0.04 \text{ dS/m}$.

Además, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró menor CE; por lo que, la mezcla LCC registró mayor CE, seguido de LCB y finalmente LCA.

Tabla 15

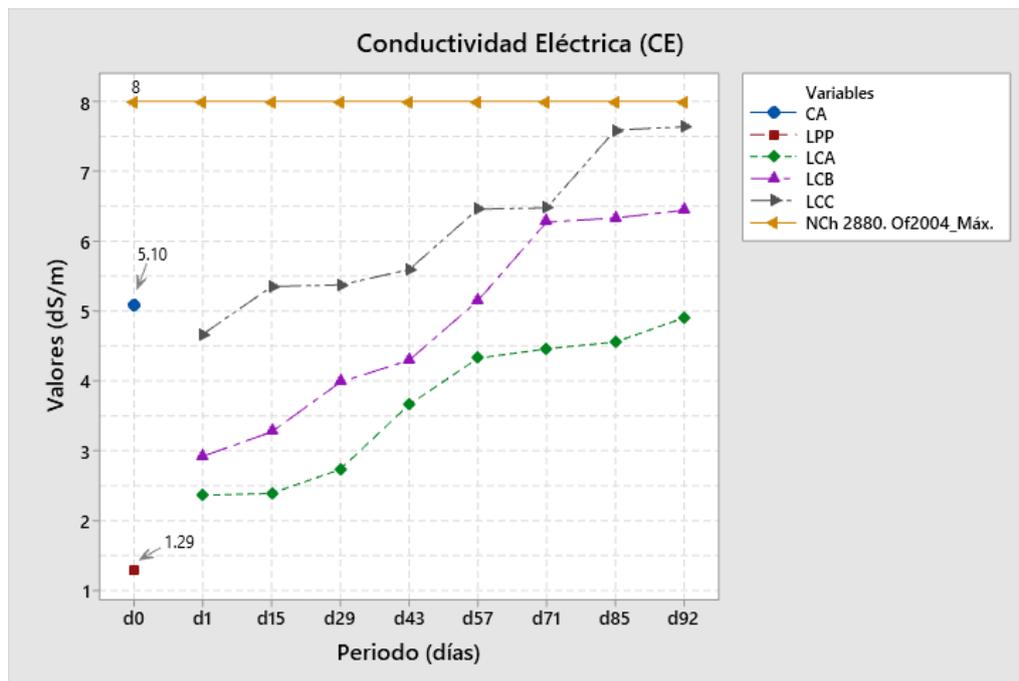
Resultados de la conductividad eléctrica

Fecha	Periodo (días)	Conductividad eléctrica (dS/m)					NCh 2880. Of2004 Máx.
		Caracterización		Mezclas			
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)	
6/12/19	d0	5.10 ± 0.12	1.29 ± 0.01	*	*	*	8
10/12/19	d1	*	*	2.37 ± 0.08	2.92 ± 0.01	4.67 ± 0.09	8
24/12/19	d15	*	*	2.40 ± 0.03	3.27 ± 0.02	5.36 ± 0.09	8
7/01/20	d29	*	*	2.74 ± 0.03	3.99 ± 0.01	5.38 ± 0.03	8
21/01/20	d43	*	*	3.67 ± 0.02	4.30 ± 0.16	5.60 ± 0.02	8
4/02/20	d57	*	*	4.33 ± 0.03	5.15 ± 0.01	6.47 ± 0.11	8
18/02/20	d71	*	*	4.46 ± 0.02	6.28 ± 0.03	6.48 ± 0.02	8
3/03/20	d85	*	*	4.56 ± 0.06	6.34 ± 0.02	7.60 ± 0.24	8
10/03/20	d92	*	*	4.91 ± 0.03	6.45 ± 0.03	7.65 ± 0.04	8

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro conductividad eléctrica (CE). Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Máx.: valor máximo. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 39

Resultados de la conductividad eléctrica



Nota. La figura muestra los niveles de conductividad eléctrica (CE) en las mezclas. Donde se aclara que, CA: CE del compost antes de la mezcla; LPP: CE del LPP antes de la mezcla; LCA: CE de la mezcla LCA; LCB: CE de la mezcla LCB; LCC: CE de la mezcla LCC.

4.1.5 Sólidos disueltos totales (TDS)

Se realizaron mediciones, tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran la Tabla 16 y Figura 40.

En la caracterización, antes de las mezclas, los TDS de CA fueron de $2.70 \text{ g/L} \pm 0.06 \text{ g/L}$; mientras que para LPP fue de $0.69 \text{ g/L} \pm 0.01 \text{ g/L}$. Respecto a los TDS de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó un aumento durante el periodo de la experimentación. En la mezcla LCA, para el día d1, se registró valores de TDS de $1.28 \text{ g/L} \pm 0.04 \text{ g/L}$ y para el día d92 un valor de $2.44 \text{ g/L} \pm 0.01 \text{ g/L}$; mientras que para LCB, en el día d1, se registró valores de TDS de $1.61 \text{ g/L} \pm 0.01 \text{ g/L}$ y para el día d92 un valor de $3.31 \text{ g/L} \pm 0.06 \text{ g/L}$; finalmente, para

LCC, en el día d1, se registró valores de TDS de 2.30 ± 0.04 g/L y para el día d92 un valor de 4.04 g/L ± 0.02 g/L.

Además, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró menor TDS; por lo que, la mezcla LCC registró mayor TDS, seguido de LCB y finalmente LCA.

Tabla 16

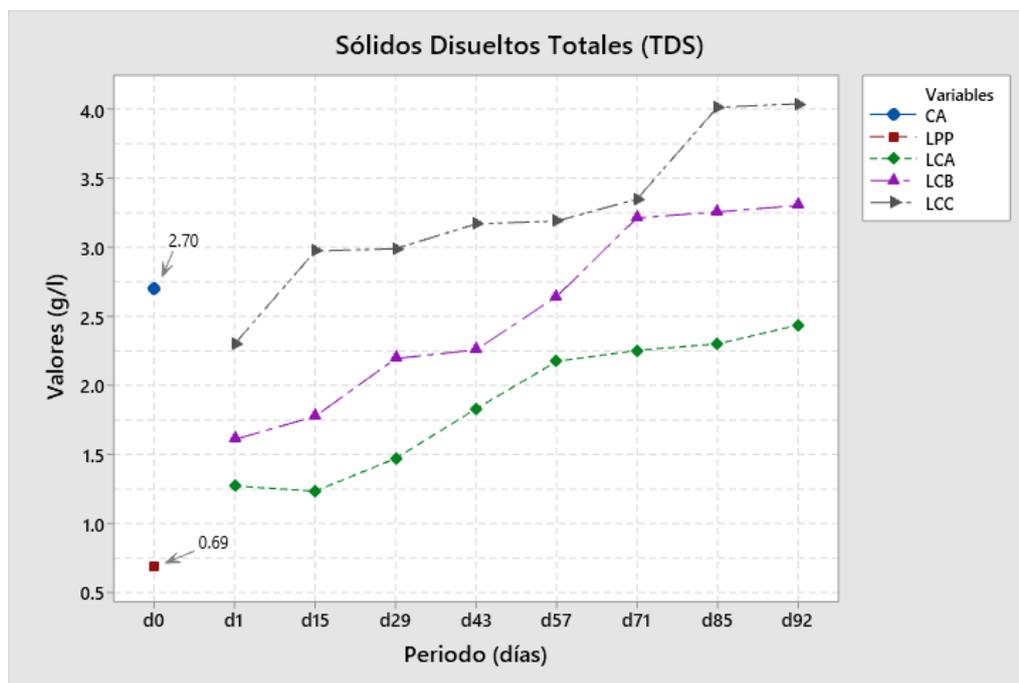
Resultados de los sólidos disueltos totales

Fecha	Periodo (días)	Sólidos disueltos totales (g/L)				
		Caracterización		Mezclas		
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)
6/12/19	d0	2.70 ± 0.06	0.69 ± 0.01	*	*	*
10/12/19	d1	*	*	1.28 ± 0.04	1.61 ± 0.01	2.30 ± 0.04
24/12/19	d15	*	*	1.24 ± 0.04	1.78 ± 0.01	2.98 ± 0.07
7/01/20	d29	*	*	1.47 ± 0.01	2.20 ± 0.01	2.99 ± 0.01
21/01/20	d43	*	*	1.83 ± 0.00	2.26 ± 0.17	3.17 ± 0.02
4/02/20	d57	*	*	2.18 ± 0.02	2.65 ± 0.04	3.19 ± 0.05
18/02/20	d71	*	*	2.26 ± 0.01	3.22 ± 0.01	3.35 ± 0.01
3/03/20	d85	*	*	2.30 ± 0.06	3.26 ± 0.01	4.02 ± 0.13
10/03/20	d92	*	*	2.44 ± 0.01	3.31 ± 0.06	4.04 ± 0.02

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro sólidos disueltos totales (TDS). Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 40

Resultados de los sólidos disueltos totales



Nota. La figura muestra los niveles de los sólidos disueltos totales (TDS) en las mezclas. Donde se aclara que, CA: TDS del compost antes de la mezcla; LPP: TDS del LPP antes de la mezcla; LCA: TDS de la mezcla LCA; LCB: TDS de la mezcla LCB; LCC: TDS de la mezcla LCC.

4.1.6 Salinidad

Se realizaron mediciones de la salinidad, tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran la Tabla 17 y Figura 41.

En la caracterización, antes de las mezclas, la salinidad de CA fue de $2.77\% \pm 0.06\%$; mientras que para LPP fue de $0.73\% \pm 0.06\%$. Respecto a la salinidad de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó un aumento durante el periodo de la experimentación. En la mezcla LCA, para el día d1, se registró una salinidad de $1.27\% \pm 0.06\%$ y para el día d92 un valor de $2.53\% \pm 0.06\%$; mientras que para LCB, en el día d1, se registró una salinidad de $1.57\% \pm 0.06\%$ y para el día d92 un valor de $3.37\% \pm 0.12\%$; finalmente, para LCC, en el

día d1, se registró una salinidad de $2.33\% \pm 0.06\%$ y para el día d92 un valor de $4.40\% \pm 0.10\%$.

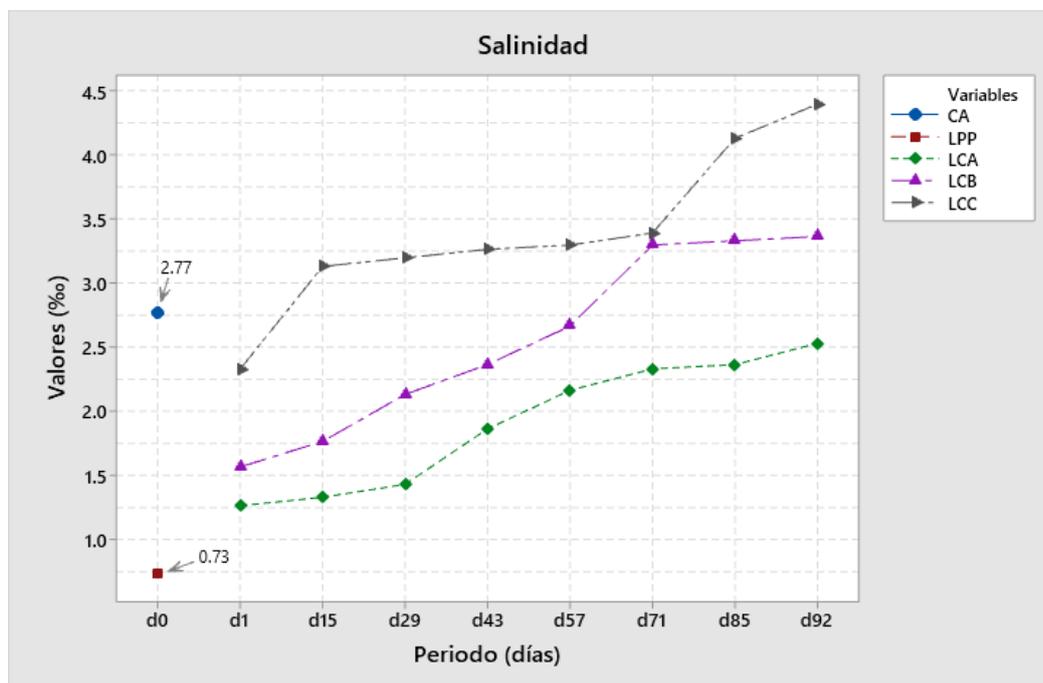
Además, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró menor salinidad; por lo que, la mezcla LCC registró mayor salinidad, seguido de LCB y finalmente LCA.

Tabla 17

Resultados de la salinidad

Fecha	Periodo (días)	Salinidad (‰)				
		Caracterización		Mezclas		
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)
6/12/19	d0	2.77 ± 0.06	0.73 ± 0.06	*	*	*
10/12/19	d1	*	*	1.27 ± 0.06	1.57 ± 0.06	2.33 ± 0.06
24/12/19	d15	*	*	1.33 ± 0.06	1.77 ± 0.06	3.13 ± 0.06
7/01/20	d29	*	*	1.43 ± 0.12	2.13 ± 0.12	3.20 ± 0.10
21/01/20	d43	*	*	1.87 ± 0.06	2.37 ± 0.21	3.27 ± 0.06
4/02/20	d57	*	*	2.17 ± 0.06	2.67 ± 0.06	3.30 ± 0.10
18/02/20	d71	*	*	2.33 ± 0.06	3.30 ± 0.00	3.39 ± 0.01
3/03/20	d85	*	*	2.37 ± 0.06	3.33 ± 0.06	4.13 ± 0.06
10/03/20	d92	*	*	2.53 ± 0.06	3.37 ± 0.12	4.40 ± 0.10

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro salinidad. Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 41*Resultados de la salinidad*

Nota. La figura muestra los niveles de salinidad en las mezclas. Donde se aclara que, CA: salinidad del compost antes de la mezcla; LPP: salinidad del LPP antes de la mezcla; LCA: salinidad de la mezcla LCA; LCB: salinidad de la mezcla LCB; LCC: salinidad de la mezcla LCC.

4.1.7 Materia orgánica (MO)

Se realizaron mediciones de la MO tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran la Tabla 18 y Figura 42.

En la caracterización, antes de las mezclas, la MO de CA fue de $44.71\% \pm 0.22\%$; mientras que para LPP fue de $7.11\% \pm 0.53\%$; cumpliéndose, en ambos casos, con lo establecido en la Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of2004, que precisa un valor mínimo de 20% para MO en compost. Respecto a la MO de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó una disminución durante el periodo de la experimentación. En la mezcla LCA, para el día d1, se registró una MO de $29.17\% \pm 0.11\%$, mientras en el día d85 se registró $17.70\% \pm 0.23\%$ y

para el último día d92 un valor de $15.52\% \pm 0.09\%$, ubicándose por debajo del valor límite establecido en la norma. Para la mezcla LCB, en el día d1, se registró una MO de $32.67\% \pm 0.30\%$ y para el último día d92 un valor de $19.41\% \pm 0.10\%$, ubicándose ligeramente por debajo del valor límite establecido en la norma. Finalmente, para la mezcla LCC, en el día d1, se registró una MO de $38.66\% \pm 0.24\%$ y para el día d92 un valor de $21.34\% \pm 0.36\%$, cumpliendo en todo momento con el valor límite establecido en la norma.

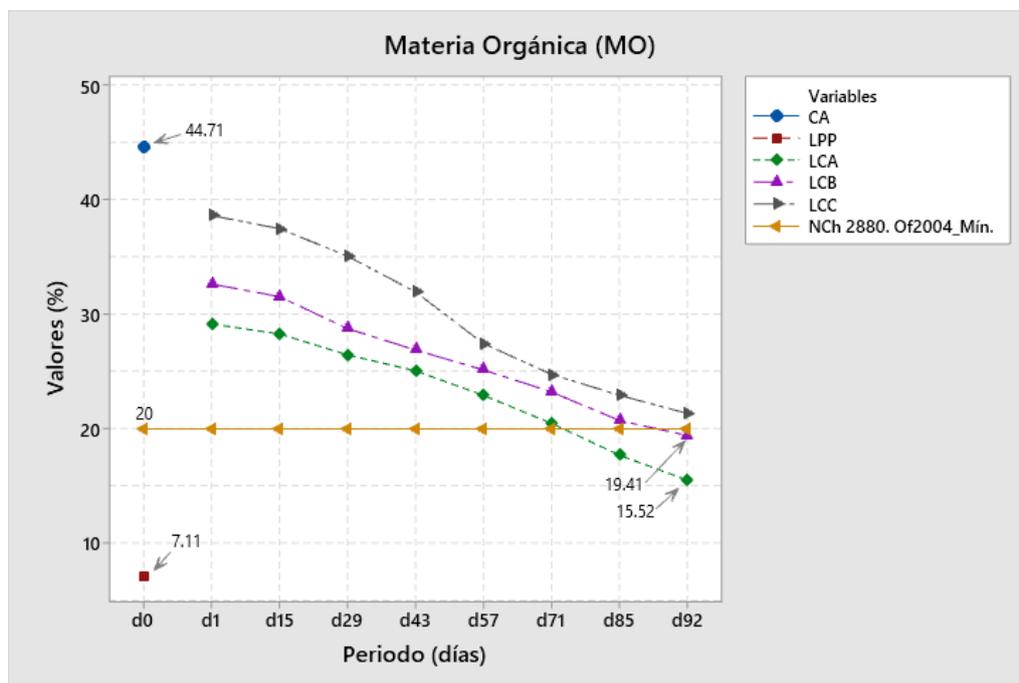
Además, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró menor MO; por lo que, la mezcla LCC registró mayor MO, seguido de LCB y finalmente LCA.

Tabla 18

Resultados de la materia orgánica

Fecha	Periodo (días)	Materia orgánica (%)					NCh 2880. Of2004 Mín.
		Caracterización		Mezclas			
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)	
6/12/19	d0	44.71 ± 0.22	7.11 ± 0.53	*	*	*	20
10/12/19	d1	*	*	29.17 ± 0.11	32.67 ± 0.30	38.66 ± 0.24	20
24/12/19	d15	*	*	28.31 ± 0.15	31.56 ± 0.19	37.52 ± 0.17	20
7/01/20	d29	*	*	26.47 ± 0.27	28.77 ± 0.30	35.11 ± 0.33	20
21/01/20	d43	*	*	25.08 ± 0.51	26.89 ± 0.07	31.98 ± 0.17	20
4/02/20	d57	*	*	22.93 ± 0.05	25.15 ± 0.30	27.46 ± 0.40	20
18/02/20	d71	*	*	20.48 ± 0.17	23.22 ± 0.36	24.77 ± 0.11	20
3/03/20	d85	*	*	17.70 ± 0.23	20.73 ± 0.20	22.94 ± 0.30	20
10/03/20	d92	*	*	15.52 ± 0.09	19.41 ± 0.10	21.34 ± 0.36	20

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro materia orgánica (MO). Donde, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Mín.: valor mínimo. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 42*Resultados de la materia orgánica*

Nota. La figura muestra los niveles de materia orgánica (MO) en las mezclas. Donde se aclara que, CA: MO del compost antes de la mezcla; LPP: MO del LPP antes de la mezcla; LCA: MO de la mezcla LCA; LCB: MO de la mezcla LCB; LCC: MO de la mezcla LCC.

4.1.8 Fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3)

Se realizaron mediciones de la fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3) tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) en el inicio y culminación de la experimentación (días d1 y d92). Los resultados se muestran la Tabla 19 y Figura 43.

En la caracterización, antes de las mezclas, la FH-F3 de CA fue de 83.13 mg/Kg, mientras que para LPP fue de 1007.03 mg/Kg; cumpliéndose, en ambos casos, con lo establecido en la norma peruana ECA para Suelo aprobado por D.S. N° 011-2017-MINAM, que precisa un valor máximo de 6000 mg/Kg para FH-F3 en suelo. Respecto a la FH-F3 de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó una disminución durante el periodo de la experimentación; y en todos los casos se mantuvo dentro del valor límite establecido por la

norma. En la mezcla LCA, para el día d1, se registró una FH-F3 de 710.95 mg/Kg y para el día d92 un valor de 525.19 mg/Kg; mientras que para LCB, en el día d1, se registró una FH-F3 de 519.74 mg/Kg y para el día d92 un valor de 434.13 mg/Kg; y finalmente, para LCC, en el día d1, se registró una FH-F3 de 464.26 mg/Kg y para el día d92 un valor de 414.63 mg/Kg. No obstante, se precisa que no se determinó la dispersión de los datos debido a que no hubo variabilidad, es decir, para este parámetro no se realizaron repeticiones en las mediciones, ya que solo se hizo una medición puntual en la caracterización y en las mezclas, por ser un análisis costoso.

Además, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró mayor concentración de FH-F3; por lo que, la mezcla LCA registró mayor FH-F3, seguido de LCB y finalmente LCC.

Tabla 19

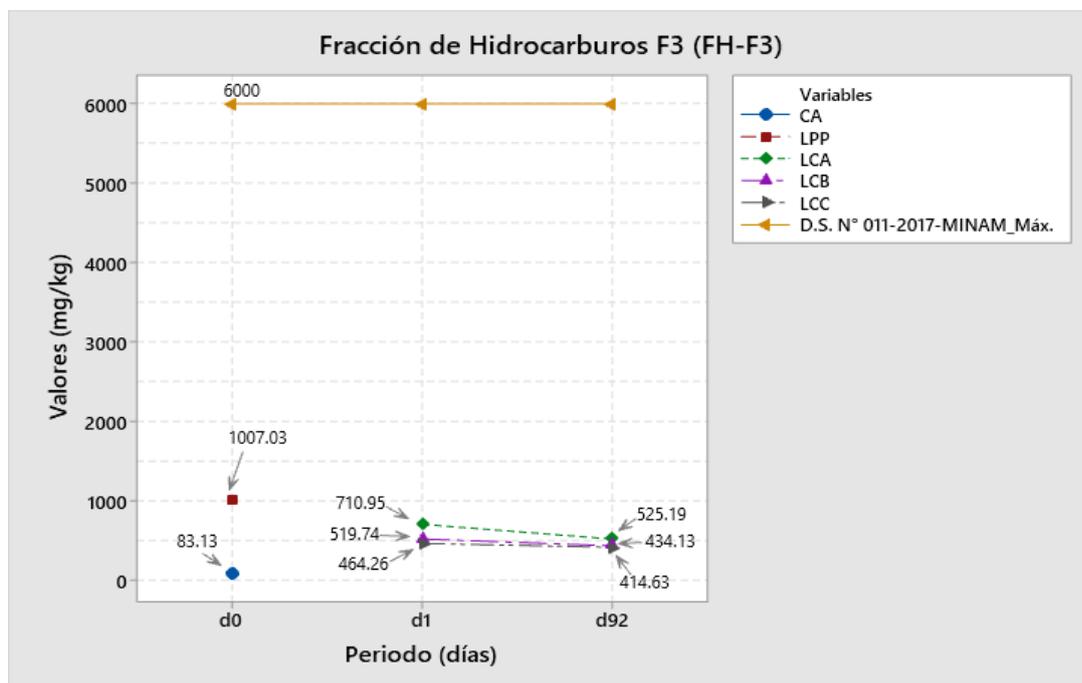
Resultados de la fracción de hidrocarburos F3

Fecha	Periodo (días)	Fracción de hidrocarburos F3 (mg/Kg)					D.S. N° 011-2017- MINAM Máx.
		Caracterización		Mezclas			
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)	
6/12/19	d0	83.13	1007.03	*	*	*	6000
10/12/19	d1	*	*	710.95	519.74	464.26	6000
10/03/20	d92	*	*	525.19	434.13	414.63	6000

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro Fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3). Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Máx.: valor máximo. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 43

Resultados de la fracción de hidrocarburos F3



Nota. La figura presenta los niveles de la fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3) en las mezclas. Donde se aclara que, CA: FH-F3 del compost antes de la mezcla; LPP: FH-F3 del LPP antes de la mezcla; LCA: FH-F3 de la mezcla LCA; LCB: FH-F3 de la mezcla LCB; LCC: FH-F3 de la mezcla LCC.

4.1.9 Plomo (Pb)

Se realizaron mediciones Pb, tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran la Tabla 20 y Figura 44.

En la caracterización, antes de las mezclas, la concentración del Pb en CA fue de 29.89 mg/Kg \pm 8.33 mg/Kg; mientras que para LPP fue de 56.62 mg/Kg \pm 5.57 mg/Kg; cumpliéndose, en ambos casos, con lo establecido en la Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of2004, que precisa un valor máximo de 300 mg/Kg para Pb en compost. Respecto al Pb de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó una distribución regular y constante durante el periodo de la experimentación; y en todos los casos se mantuvo dentro del valor límite establecido por la

norma. En la mezcla LCA, para el día d1, se registró el Pb con un valor de $73.70 \text{ mg/Kg} \pm 4.91 \text{ mg/Kg}$ y para el día d92 un valor de $57.36 \text{ mg/Kg} \pm 3.89 \text{ mg/Kg}$; mientras que para LCB, en el día d1, se registró el Pb con un valor de $59.12 \text{ mg/Kg} \pm 3.26 \text{ mg/Kg}$ y para el día d92 un valor de $53.29 \text{ mg/Kg} \pm 3.18 \text{ mg/Kg}$; y finalmente, para LCC, en el día d1, se registró el Pb con un valor de $57.90 \text{ mg/Kg} \pm 11.41 \text{ mg/Kg}$ y para el día d92 un valor de $55.69 \text{ mg/Kg} \pm 4.72 \text{ mg/Kg}$.

Además, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró mayor concentración de Pb; por lo que, la mezcla LCA registró mayor concentración de Pb, seguido de LCB y finalmente LCC.

Tabla 20

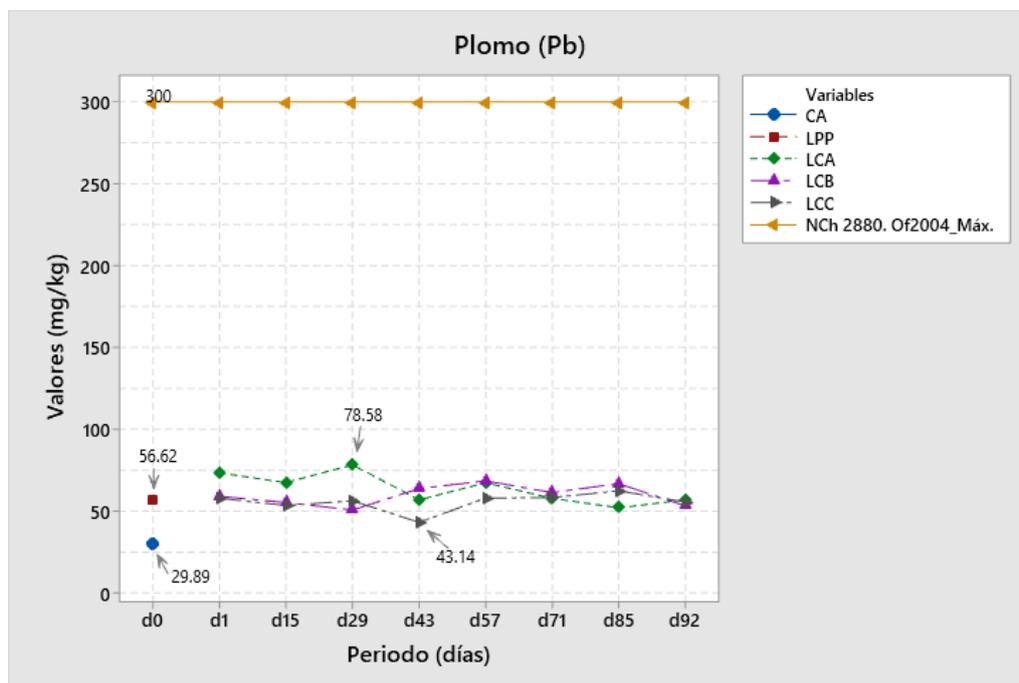
Resultados de la concentración de plomo

Fecha	Periodo (días)	Plomo (mg/Kg)					NCh 2880. Of2004 Máx.
		Caracterización		Mezclas			
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)	
6/12/19	d0	29.89± 8.33	56.62 ± 5.57	*	*	*	300
10/12/19	d1	*	*	73.70 ± 4.91	59.12 ± 3.26	57.90 ± 11.41	300
24/12/19	d15	*	*	67.73 ± 0.90	55.33 ± 3.74	53.51 ± 5.35	300
7/01/20	d29	*	*	78.58 ± 2.56	50.75 ± 5.64	56.38 ± 4.93	300
21/01/20	d43	*	*	57.23 ± 4.66	63.81 ± 4.16	43.14 ± 2.45	300
4/02/20	d57	*	*	67.67 ± 11.20	68.62 ± 8.39	58.08 ± 4.70	300
18/02/20	d71	*	*	58.11 ± 3.75	61.40 ± 2.35	58.36 ± 2.60	300
3/03/20	d85	*	*	52.31 ± 2.22	66.91 ± 6.48	62.49 ± 3.02	300
10/03/20	d92	*	*	57.36 ± 3.89	53.29 ± 3.18	55.69 ± 4.72	300

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro plomo (Pb). Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Máx.: valor máximo. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 44

Resultados de la concentración de plomo



Nota. La figura presenta los niveles de plomo (Pb) en las mezclas. Donde se aclara que, CA: Pb del compost antes de la mezcla; LPP: Pb del LPP antes de la mezcla; LCA: Pb de la mezcla LCA; LCB: Pb de la mezcla LCB; LCC: Pb de la mezcla LCC.

4.1.10 Zinc (Zn)

Se realizaron mediciones de Zn, tanto en la CA y LPP, en el día d0, como en las mezclas (LCA, LCB y LCC) desde el inicio hasta la culminación de la experimentación (días d1 hasta d92). Los resultados se muestran la Tabla 21 y Figura 45.

En la caracterización, antes de las mezclas, la concentración de Zn en CA fue de 325.78 mg/Kg \pm 4.82 mg/Kg; mientras que para LPP fue de 1564.49 mg/Kg \pm 11.98 mg/Kg; cumpliéndose, en ambos casos, con lo establecido en la Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of2004, que precisa un valor máximo de 2000 mg/Kg para Pb en compost. Respecto al Zn de las mezclas LCA, LCB y LCC, se observó una distribución regular y constante durante el periodo de la experimentación; y en todos los casos se mantuvo dentro del valor límite

establecido por la norma. En la mezcla LCA, para el día d1, se registró el Zn con un valor de 1641.79 mg/Kg \pm 0.66 mg/Kg y para el día d92 un valor de 1524.90 mg/Kg \pm 1.41 mg/Kg; mientras que para LCB, en el día d1, se registró el Zn con un valor de 1598.52 mg/Kg \pm 0.49 mg/Kg y para el día d92 un valor de 1436.06 mg/Kg \pm 1.69 mg/Kg; y finalmente, para LCC, en el día d1, se registró el Zn con un valor de 1526.13 mg/Kg \pm 1.47 mg/Kg y para el día d92 un valor de 1366.72 mg/Kg \pm 1.33 mg/Kg.

Además, se observó que a menor cantidad de sustrato en la mezcla (compost más LPP) se registró mayor concentración de Zn; por lo que, la mezcla LCA registró mayor concentración de Zn, seguido de LCB y finalmente LCC.

Tabla 21

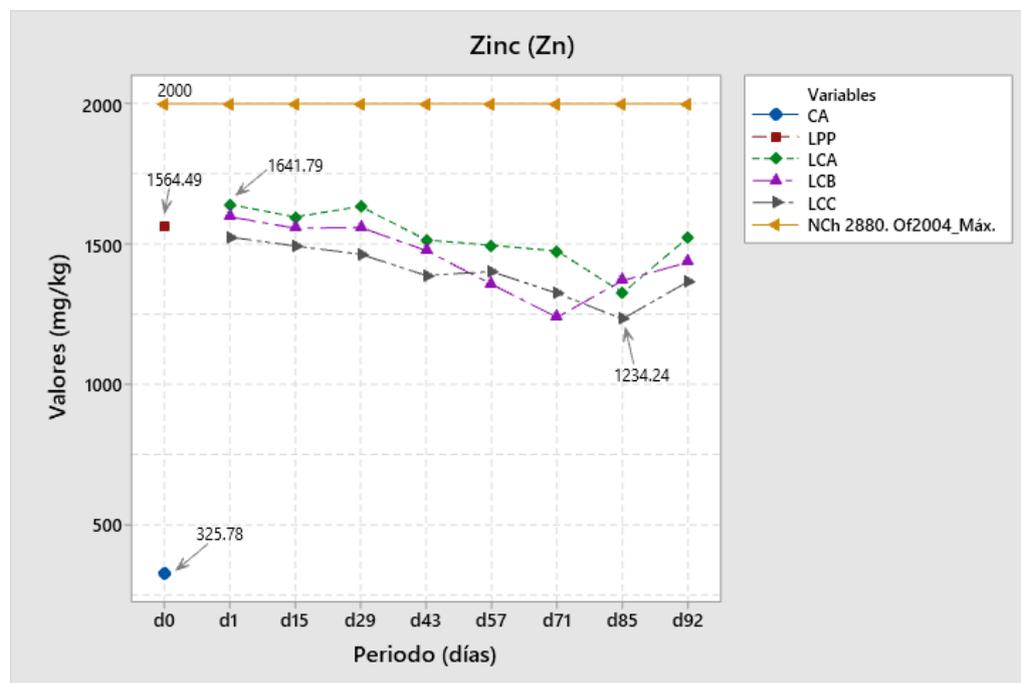
Resultados de la concentración de zinc

Fecha	Periodo (días)	Zinc (mg/Kg)					NCh 2880. Of2004 Máx.
		Caracterización		Mezclas			
		CA	LPP	LCA (1:0.5)	LCB (1:1)	LCC (1:2)	
6/12/19	d0	325.78 \pm 4.82	1564.49 \pm 11.98	*	*	*	2000
10/12/19	d1	*	*	1641.79 \pm 0.66	1598.52 \pm 0.49	1526.13 \pm 1.47	2000
24/12/19	d15	*	*	1596.56 \pm 2.17	1557.68 \pm 0.69	1494.39 \pm 1.13	2000
7/01/20	d29	*	*	1634.39 \pm 1.64	1560.59 \pm 1.00	1464.79 \pm 1.01	2000
21/01/20	d43	*	*	1515.20 \pm 0.55	1478.07 \pm 0.55	1389.29 \pm 1.15	2000
4/02/20	d57	*	*	1495.90 \pm 4.41	1357.97 \pm 1.90	1403.13 \pm 1.80	2000
18/02/20	d71	*	*	1475.80 \pm 1.31	1240.28 \pm 1.81	1325.65 \pm 3.20	2000
3/03/20	d85	*	*	1326.94 \pm 0.65	1370.33 \pm 1.84	1234.24 \pm 3.15	2000
10/03/20	d92	*	*	1524.90 \pm 1.41	1436.06 \pm 1.69	1366.72 \pm 1.33	2000

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del parámetro zinc (Zn). Donde se aclara que, CA: código de compost; LPP: código de lodos de perforación diamantina; LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Máx.: valor máximo. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 45

Resultados de la concentración de zinc



Nota. La figura presenta los niveles de zinc (Zn) en las mezclas. Donde se aclara que, CA: Zn del compost antes de la mezcla; LPP: Zn del LPP antes de la mezcla; LCA: Zn de la mezcla LCA; LCB: Zn de la mezcla LCB; LCC: Zn de la mezcla LCC.

4.2 Resultados del grado de eficiencia en la biodegradación de lodos de perforación diamantina

La medición del grado de eficiencia en la biodegradación de los compuestos orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina se realizó en base al compuesto orgánico denominado fracción de hidrocarburos F3 (fracción pesada); donde intervinieron parámetros de control como el pH, temperatura, materia orgánica, humedad, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, plomo y zinc.

En consecuencia, para las mezclas LCA, LCB y LCC, se registraron las concentraciones iniciales de la fracción de hidrocarburos F3 correspondientes al día d1 de la experimentación los valores de 710.95 mg/Kg, 519.74 mg/Kg y 464.26 mg/Kg, respectivamente; y las

concentraciones finales correspondiente al día d92 fueron de 525.19 mg/Kg, 434.13 mg/Kg y 414.63 mg/Kg, respectivamente. En ese sentido, se determinó el grado de eficiencia en la biodegradación del compuesto orgánico en estudio para cada mezcla, siendo del 26.13% para LCA, 16.47% para LCB y finalmente 10.69% para LCC (ver Tabla 22 y Figura 46).

Por tanto, se observó que la mayor eficiencia para la biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3, se llevó a cabo en la mezcla LCA, seguida de LCB y finalmente LCC. Sin embargo, se puede apreciar que, pese a que la mezcla LCA fue más eficiente, alberga la mayor concentración residual de la fracción de hidrocarburos F3, seguida de LCB, y por último LCC; esto podría deberse a la cantidad de sustrato (compost) utilizado que permitió la dilución de la concentración inicial del compuesto orgánico en estudio, para cada mezcla. Además, el grado de remoción de la fracción de hidrocarburos F3, estaría relacionado con la actividad microbiológica en cada mezcla.

Tabla 22

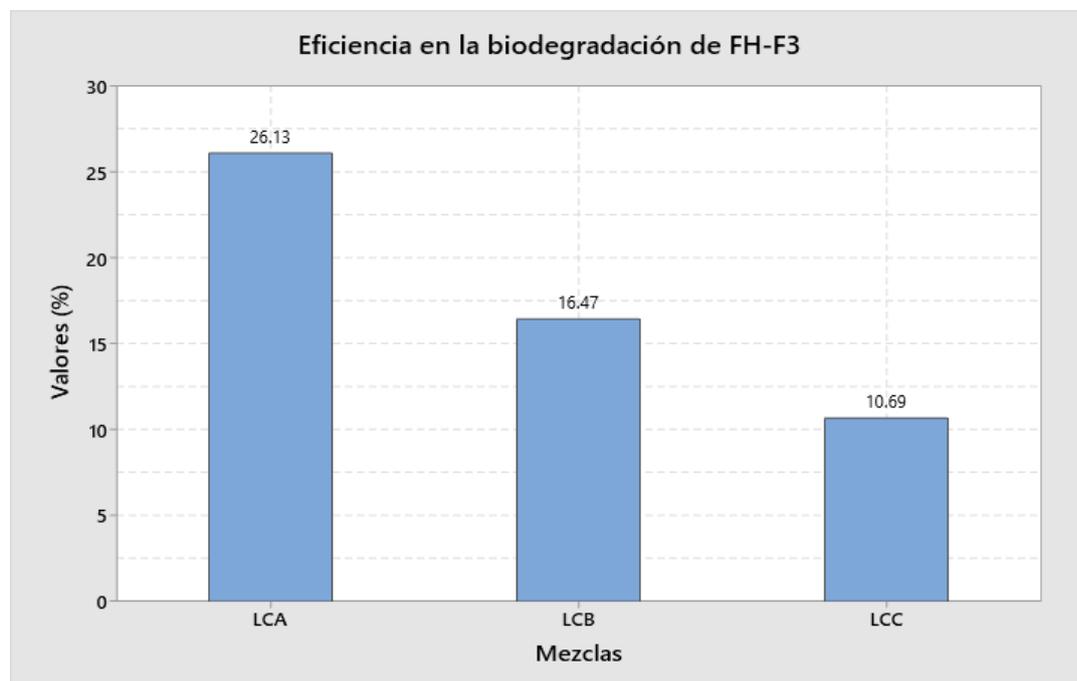
Eficiencia en la biodegradación de lodos de perforación diamantina

Fecha	Periodo (días)	Mezclas								
		LCA (1:0.5)			LCB (1:1)			LCC (1:2)		
		Fh _i (mg/Kg)	Fh _f (mg/Kg)	R (%)	Fh _i (mg/Kg)	Fh _f (mg/Kg)	R (%)	Fh _i (mg/Kg)	Fh _f (mg/Kg)	R (%)
10/12/19	d1	710.95	*	*	519.74	*	*	464.26	*	*
10/03/20	d92	*	525.19	26.13	*	434.13	16.47	*	414.63	10.69

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados de la eficiencia en la biodegradación del parámetro fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3) por cada mezcla. Donde se aclara que, LCA (1:0.5), LCB (1:1) y LCC (1:2): códigos de mezclas y sus proporciones; Fh_i: concentración inicial de FH-F3; Fh_f: concentración final de FH-F3; R: eficiencia de la mezcla en la biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3. (*) No se realizó ningún análisis.

Figura 46

Eficiencia en la biodegradación de lodos de perforación diamantina



Nota. La figura presenta los valores de eficiencia en la biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3 para las mezclas LCA, LCB y LCC. Donde se aclara que, FH-F3: fracción de hidrocarburos F3.

4.3 Contrastación de hipótesis de la investigación

Se realizó el análisis estadístico usando la prueba ANOVA de un factor y para las comparaciones posteriores (post hoc) se usó la prueba de Tukey. No obstante, para determinar si las diferencias entre las medias de los grupos evaluados son estadísticamente significativas, se usó un nivel de significancia de 0.05 (o denotado también como $\alpha = 0.05$), que indica un riesgo de 5% de concluir que existe una diferencia cuando no lo hay; por lo mismo, se trabajó con un nivel de confianza del 95% y con un tipo de intervalo de confianza bilateral. En ese sentido, se desarrolló la contrastación de la hipótesis, teniendo en cuenta los siguientes criterios: Si valor $p \leq \alpha$, entonces si existe relación significativa entre las variables, se rechaza la hipótesis nula (H_0), se acepta la hipótesis alterna (H_a) y se puede realizar la prueba post hoc de Tukey para evaluar las comparaciones múltiples de las medias y encontrar las diferencias

significativas específicas; caso contrario, si valor $p > \alpha$, entonces, no existe relación significativa entre las variables, se acepta la hipótesis nula (H_0), se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y no es necesario realizar la prueba post hoc de Tukey (Hernández et al., 2014; Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Marchese, 2015).

4.3.1. Contrastación general de la hipótesis

4.3.1.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (H_0): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (H_a): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada.

4.3.1.2 Prueba de ANOVA. De acuerdo con el análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 23, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a). Evidenciando que existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario

realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 23

Prueba de ANOVA para la contrastación general de la hipótesis

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	47	49692589.73	1057289.14	1126.56	0.000
Error	284	266537.01	938.51		
Total	331	49959126.73			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación general de la hipótesis de la investigación. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.1.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior (ver Tabla 24), se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Siendo la mezcla LCA y LPP para la fracción de hidrocarburos F3, significativamente diferente respecto de los demás factores. Además, LCA, resultó ser más eficiente en la biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3.

Tabla 24

Prueba post hoc de Tukey para la contrastación general de la hipótesis

Factor	N	Media	Agrupación															
LPP-Zn	1	1564.49	A	B														
LCA-Zn	8	1526.44	A															
LCB-Zn	8	1449.94		B	C													
LCC-Zn	8	1400.54			C													
LPP-FH-F3	1	1007.03				D												
LCA-FH-F3	2	618.07					E											
LCB-FH-F3	2	476.94						F										
LCC-FH-F3	2	439.44						F	G									
CA-Zn	1	325.78							G									
CA-FH-F3	1	83.13								H	I	J	K	L				
LCA-Pb	8	64.09								H								
LCB-Pb	8	59.90								H	I	J	K	L				
LPP-Pb	1	56.62								H	I	J	K	L				
LCC-Pb	8	55.69								H	I	J	K	L				

Factor	N	Media	Agrupación				
CA-MO%	1	44.71	H	I	J	K	L
CA-H%	1	42.94	H	I	J	K	L
LCC-H%	13	36.96	H	I	J	K	L
LCB-H%	13	32.10	H	I	J	K	L
LCA-H%	13	30.64	H	I	J	K	L
LCC-MO%	8	29.97	H	I	J	K	L
CA-Pb	1	29.89	H	I	J	K	L
TA	26	27.92	H	I	J	K	L
CA-TM	1	26.80	H	I	J	K	L
LCA-TM	25	26.14	H	I	J	K	L
LCB-MO%	8	26.05	H	I	J	K	L
LCB-TM	25	25.72	H	I	J	K	L
LCC-TM	25	25.19	H	I	J	K	L
LCA-MO%	8	23.21	H	I	J	K	L
LCB-pH	8	7.79	H	I	J	K	L
LCC-pH	8	7.57	H	I	J	K	L
LPP-pH	1	7.42	H	I	J	K	L
CA-CE	9	7.18	H	I	J	K	L
LPP-MO%	1	7.11	H	I	J	K	L
CA-pH	1	6.16	H	I	J	K	L
LCC-CE	8	6.15	H	I	J	K	L
LCB-CE	8	4.84	H	I	J	K	L
LCA-CE	8	3.68	H	I	J	K	L
LCC-S‰	8	3.40	H	I	J	K	L
LCC-TDS	8	3.26	H	I	J	K	L
CA-S‰	1	2.77	H	I	J	K	L
CA-TDS	1	2.70	H	I	J	K	L
LCB-S‰	8	2.56					L
LCB-TDS	8	2.53				K	L
LCA-S‰	8	1.91			J	K	L
LCA-TDS	8	1.87		I	J	K	L
LPP-CE	1	1.29	H	I	J	K	L
LPP-S‰	1	0.73	H	I	J	K	L
LPP-TDS	1	0.69	H	I	J	K	L

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas; TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de mezcla; H%: humedad; pH: potencial de hidrógeno; MO%: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica; S‰: salinidad; TDS: sólidos disueltos totales; Pb: plomo; Zn: zinc; FH-F3: Fracción de hidrocarburos F3.

4.3.2. Contrastación de hipótesis según parámetro analizado

4.3.2.1 Contrastación de hipótesis para temperatura ambiente y de las mezclas. Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.1.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (Ho): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros TA y de las mezclas analizadas; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros TA y de las mezclas analizadas; para una disposición final adecuada.

4.3.2.1.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 25, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (Ho) y se aceptó la hipótesis alterna (Ha). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros TA y de las mezclas analizadas; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 25*Prueba de ANOVA para la temperatura ambiente y de las mezclas*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	108.61	27.15	9.41	0.000
Error	97	279.95	2.89		
Total	101	388.57			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto a los parámetros TA y de las mezclas. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.1.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior (ver Tabla 26), se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. La TA y la temperatura de mezcla del compost CA-TM (en la caracterización) se mostraron significativamente diferentes con valores superiores, frente a la temperatura de las mezclas LCA, LCB y LCC que evidenciaron cambios ligeros, siendo mayor en LCA, seguida de LCB y finalmente LCC.

Tabla 26*Prueba post hoc de Tukey para la temperatura ambiente y de las mezclas*

Factor	N	Media	Agrupación	
TA	26	27.92	A	
CA-TM	1	26.80	A	B
LCA-TM	25	26.14		B
LCB-TM	25	25.72		B
LCC-TM	25	25.19		B

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LCA, LCB y LCC: mezclas; TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de mezcla.

4.3.2.2 Contrastación de hipótesis para humedad (H). Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.2.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (H₀): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro humedad analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (H_a): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro humedad analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.2.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 27, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H₀) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro humedad analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 27*Prueba de ANOVA para la humedad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	376.51	125.50	69.14	0.000
Error	36	65.35	1.82		
Total	39	441.86			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro humedad. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.2.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior (ver Tabla 28), se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. La H, tanto en CA (en la caracterización) como en las mezclas LCA, LCB y LCC, fue significativamente diferente, siendo mayor en CA, seguido por LCC, luego LCB y finalmente LCA.

Tabla 28*Prueba post hoc de Tukey para la humedad*

Factor	N	Media	Agrupación
CA	1	42.94	A
LCC	13	36.96	B
LCB	13	32.10	C
LCA	13	30.64	D

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.2.3 Contrastación de hipótesis para potencial de hidrógeno (pH). Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.3.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (Ho): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro pH analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro pH analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.3.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 29, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (Ho) y se aceptó la hipótesis alterna (Ha). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro pH analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 29*Prueba de ANOVA para pH*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	2.48	0.62	18.70	0.000
Error	21	0.70	0.03		
Total	25	3.18			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro pH. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.3.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, el pH fue significativamente diferente en CA (medido en la caracterización), LCA y LCC, respecto de los otros factores (ver Tabla 30).

Tabla 30*Prueba post hoc de Tukey para pH*

Factor	N	Media	Agrupación	
LCA	8	7.79	A	
LCB	8	7.57	A	B
LCC	8	7.44		B
LPP	1	7.42	A	B
CA	1	6.16		C

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.2.4 Contrastación de hipótesis para conductividad eléctrica (CE). Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.4.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (Ho): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración

minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro CE; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro CE analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.4.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 31, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro CE analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 31*Prueba de ANOVA para conductividad eléctrica*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	37.00	9.25	6.47	0.001
Error	21	30.00	1.43		
Total	25	66.99			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro conductividad eléctrica. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.4.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, la conductividad eléctrica fue significativamente diferente en LPP (medido en la caracterización), LCA y LCC, respecto de los otros factores (ver Tabla 32).

Tabla 32*Prueba post hoc de Tukey para conductividad eléctrica*

Factor	N	Media	Agrupación	
LCC	8	6.15	A	
CA	1	5.10	A	B
LCB	8	4.84	A	B
LCA	8	3.68		B
LPP	1	1.29		B

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.2.5 Contrastación de hipótesis para sólidos disueltos totales (TDS). Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.5.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (H₀): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración

minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro TDS analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro TDS analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.5.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 33, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro TDS analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 33*Prueba de ANOVA para sólidos disueltos totales*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	11.05	2.76	8.10	0.000
Error	21	7.16	0.34		
Total	25	18.21			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro sólidos disueltos totales. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.5.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, los sólidos suspendidos totales fueron significativamente diferentes en LPP (medido en la caracterización) y LCC, respecto de los otros factores (ver Tabla 34).

Tabla 34*Prueba post hoc de Tukey para sólidos disueltos totales*

Factor	N	Media	Agrupación		
LCC	8	3.26	A		
CA	1	2.70	A	B	C
LCB	8	2.53	A	B	
LCA	8	1.87		B	C
LPP	1	0.69			C

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.2.6 Contrastación de hipótesis para salinidad (S). Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.6.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (H₀): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración

minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro salinidad analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro salinidad analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.6.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 35, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro salinidad analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 35*Prueba de ANOVA para salinidad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	12.31	3.08	7.81	0.001
Error	21	8.28	0.39		
Total	25	20.59			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro salinidad. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.6.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, la salinidad fue significativamente diferente en LPP (medido en la caracterización), LCA y LCC, respecto de los otros factores (ver Tabla 36).

Tabla 36*Prueba post hoc de Tukey para salinidad*

Factor	N	Media	Agrupación	
LCC	8	3.40	A	
CA	1	2.77	A	B
LCB	8	2.56	A	B
LCA	8	1.91		B
LPP	1	0.73		B

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.2.7 Contrastación de hipótesis para materia orgánica (MO). Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.7.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (Ho): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración

minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro MO analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro MO analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.7.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 37, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (Ho) y se aceptó la hipótesis alterna (Ha). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro MO analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 37*Prueba de ANOVA para materia orgánica*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	891.84	222.96	7.13	0.001
Error	21	656.32	31.25		
Total	25	1548.16			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro materia orgánica. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.7.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, la MO fue significativamente diferente en CA, LPP (medidos en la caracterización) y LCB, respecto de los otros factores (ver Tabla 38).

Tabla 38*Prueba post hoc de Tukey para materia orgánica*

Factor	N	Media	Agrupación		
CA	1	44.71	A		
LCC	8	29.97	A	B	
LCB	8	26.05		B	
LCA	8	23.21		B	C
LPP	1	7.11			C

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.2.8 Contrastación de hipótesis para fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3). Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.8.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (H₀): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro fracción de hidrocarburos F3 analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (H_a): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro fracción de hidrocarburos F3 analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.8.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 39, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H₀) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro fracción de hidrocarburos F3 analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 39*Prueba de ANOVA para fracción hidrocarburos F3*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	463976.36	115994.09	15.71	0.024
Error	3	22149.49	7383.16		
Total	7	486125.85			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro fracción de hidrocarburos F3. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.8.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, la fracción de hidrocarburos F3 fue significativamente diferente en CA, LPP (medidos en la caracterización) y LCC, respecto de los otros factores (ver Tabla 40).

Tabla 40*Prueba post hoc de Tukey para fracción de hidrocarburos F3*

Factor	N	Media	Agrupación	
LPP	1	1007.03	A	
LCA	2	618.07	A	B
LCB	2	476.94	A	B
LCC	2	439.44		B
CA	1	83.13		B

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.2.9 Contrastación de hipótesis para Pb. Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.2.9.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (Ho): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración

minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro Pb analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro Pb analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.2.9.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 41, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (Ho) y se aceptó la hipótesis alterna (Ha). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro Pb analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 41*Prueba de ANOVA para plomo*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	1149.82	287.45	5.42	0.004
Error	21	1113.26	53.01		
Total	25	2263.08			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro plomo. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.2.9.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, el plomo fue significativamente diferente en CA (medido en la caracterización), LCA y LCC, respecto de los otros factores (ver Tabla 42).

Tabla 42*Prueba post hoc de Tukey para plomo*

Factor	N	Media	Agrupación
LCA	8	64.09	A
LCB	8	59.90	A
LPP	1	56.62	A
LCC	8	55.69	A
CA	1	29.89	B

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

4.3.3.0 Contrastación de hipótesis para Zn. Se presenta la formulación de la hipótesis.

4.3.3.0.1 Formulación de la hipótesis. Se presenta la hipótesis nula y alterna.

Hipótesis nula (H₀): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración

minera, no se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro Zn analizado; para una disposición final adecuada.

Hipótesis alterna (Ha): los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro Zn analizado; para una disposición final adecuada.

4.3.3.0.2 Prueba de ANOVA. Conforme al análisis estadístico realizado, como se muestra en la Tabla 43, se determinó que valor $p < \alpha$; por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a). Por lo que, existen diferencias estadísticas significativas entre las variables o factores evaluados, para afirmar que los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas del parámetro Zn analizado; para una disposición final adecuada. En ese sentido, fue necesario realizar la prueba posterior (post hoc) de Tukey, para ver las diferencias significativas específicas entre las variables o factores evaluados.

Tabla 43*Prueba de ANOVA para zinc*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	1319019.52	329754.88	28.59	0.000
Error	21	242221.62	11534.36		
Total	25	1561241.14			

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para la contrastación de la hipótesis respecto al parámetro zinc. Donde, GL: grados de libertad total; SC Ajust.: sumas ajustadas de los cuadrados; MC Ajust.: cuadrados medios ajustados; Valor F: estadístico de prueba para calcular valor p; Valor p: probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.

4.3.3.0.3 Prueba posterior (post hoc) de Tukey. En el análisis estadístico posterior, se observaron las diferencias significativas específicas entre los factores evaluados. Donde, el zinc fue significativamente diferente en CA (medido en la caracterización), respecto de los otros factores (ver Tabla 44).

Tabla 44*Prueba post hoc de Tukey para zinc*

Factor	N	Media	Agrupación
LPP	1	1564.49	A
LCA	8	1526.44	A
LCB	8	1449.94	A
LCC	8	1400.54	A
CA	1	325.78	B

Nota. En la presente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico post hoc de Tukey, observándose que, en la agrupación de las medias, los factores que no comparten una letra son significativamente diferentes. Donde, N: tamaño de muestra; CA: compost; LPP: lodos de perforación diamantina; LCA, LCB y LCC: mezclas.

V Discusión de resultados

De acuerdo con el desarrollo y análisis experimental realizado para evaluar el grado de eficiencia en la biodegradación de los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina que son generados en proyectos de exploración minera, se observaron resultados satisfactorios, corroborándose con las diferencias estadísticas significativas que presentaron los factores analizados y con otras investigaciones similares. En consecuencia, los análisis arrojaron, para una duración de 92 días del experimento, que la mezcla LCA tuvo una mayor eficiencia de remoción del compuesto orgánico fracción de hidrocarburos F3 (FH-F3) o fracción pesada (>C28 a C40) siendo del 26.13 % reduciéndose desde 710.95 mg/Kg hasta una concentración residual de 525.19 mg/Kg, mientras que LCB se redujo de 519.74 mg/Kg hasta 434.13 mg/Kg con una eficiencia del 16.47% y finalmente LCC tuvo una eficiencia del 10.69% disminuyendo de 464.26 mg/Kg hasta 414.63 mg/Kg. Dichos resultados, se asemejan al estudio realizado por Rojas-Avelizapa et al. (2007, p. 1595), donde evaluaron durante 180 días, la biorremediación de un sitio contaminado con lodos de perforación de pozos petroleros, analizando el parámetro TPH (hidrocarburos totales de petróleo) que contiene a la FH-F3; y se obtuvo como resultando que los TPH disminuyeron de $99300 \text{ mg} \pm 23\ 000 \text{ mg TPH/Kg}$ a una concentración residual de $5500 \text{ mg} \pm 770 \text{ mg de TPH/Kg}$ para biopilas modificadas con una eficiencia de remoción del 94%, y a $22900 \text{ mg} \pm 7800 \text{ mg de TPH/Kg}$ para biopila no modificada logrando una eficiencia del 77%. Además, los resultados encontrados para la fracción de hidrocarburos F3, estarían dentro del rango establecido para suelo, que establece un límite máximo de 6000 mg/Kg (MINAN, 2017). Cabe mencionar, que los resultados obtenidos durante la CA y lodos de perforación diamantina (LPP) fueron de 83.13 mg y 1007.03 mg/Kg, respectivamente. No obstante, la eficiencia de las mezclas LCA, LCB y LCC en la remoción de la fracción de hidrocarburos F3, estaría relacionado, entre otros factores, con el volumen de compost

utilizado, dado que en un mayor volumen se incrementaría la cantidad de microorganismos o población microbiana y por tanto su actividad, siendo determinantes en la biodegradación de los compuestos orgánicos durante el proceso de compostaje, entre los cuales se pueden encontrar a las bacterias del género *Pseudomonas fluorescentes*, *Actinomycetes*, hongos y otros, llegando a representar hasta el 20 % de la masa total del sustrato (Laich, 2011; Escudero y Arias, 2012; Escobar et al., 2012); en ese sentido, es recomendable realizar el compostaje en un sistema abierto, como se realizó en la presente investigación, porque favorece el desarrollo de procesos aeróbicos, la degradación y estabilización (Pérez, 2009; Vicencio-De la Rosa et al., 2011). Sin embargo, la baja eficiencia de remoción en cada mezcla podría deberse a que el compost usado para la experimentación se encontraba en la fase de enfriamiento y maduración, donde la actividad microbiana suele disminuir ocasionando una desaceleración en la biodegradación de los materiales orgánicos; entretanto, un compost maduro también podría aportar diversidad de microorganismos al proceso final (Chuang et al., 2019, p. 4).

Según estudios realizados, se cree que las condiciones propias del medio tienen influencia sobre el proceso de biodegradación de los materiales orgánicos, en los que está incluido la fracción de hidrocarburos F3; por lo que, se realizó un control sobre el proceso de compostaje de las mezclas LCA, LCB y LCC, con análisis periódicos de diferentes parámetros como la humedad, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, TA y de las mezclas, además de metales como plomo y zinc (Pérez, 2009; Rodríguez, 2012).

La temperatura es uno de los parámetros más relevantes en el compostaje, ya que podría influenciar directamente sobre la eficiencia del proceso al ser determinante en la actividad microbiológica. En ese sentido, como se mencionó anteriormente, el uso de compost en la etapa de enfriamiento y maduración para el experimento, trajo como consecuencia la disminución de la actividad microbiana, que explicaría la reducción de la temperatura en las mezclas siendo

similares a la TA (Chuang et al., 2019, 3). Esto debido a que las fuentes de energía utilizadas por los microorganismos se van agotando, mermando así la actividad microbiana; por lo que, para estas etapas se señala un rango de temperatura entre 15 °C a 30 °C, donde además se irán formando los precursores de las sustancias húmicas y los microorganismos mesofílicos se encargarán de descomponer los restos de hemicelulosa, azúcares y celulosa (Sánchez et al., 2017; Bernal et al., 2009; Xiao-Xia et al., 2019). Los resultados obtenidos fueron similares, ya que para la TA los valores registrados estuvieron en un rango de $24.53\text{ °C} \pm 0.29$ y $30.20\text{ °C} \pm 0.40\text{ °C}$; por otro lado, la temperatura de las mezclas, para CA fue de $26.80\text{ °C} \pm 0.30\text{ °C}$ (en la caracterización) y durante la experimentación la temperatura de la mezcla LCA estuvo en un rango de $21.97\text{ °C} \pm 0.06$ y $28.73\text{ °C} \pm 0.32\text{ °C}$, para LCB entre $21.80\text{ °C} \pm 0.00\text{ °C}$ y $28.90\text{ °C} \pm 0.20\text{ °C}$, y por último para LCC de $21.63\text{ °C} \pm 0.06\text{ °C}$ y $28.63\text{ °C} \pm 0.06\text{ °C}$; sin embargo, después de algunas variaciones durante el proceso, a partir del día 53 de la experimentación, se estabilizó la temperatura, y se observó un ligero aumento en todas las mezclas, siendo mayor en LCA, seguido de LCB y finalmente LCC; que explicaría la mayor eficiencia en la remoción de la fracción de hidrocarburos F3 en LCA, ya que habría aumentado la actividad microbiológica.

Según Torres et al. (2007, p. 270) la humedad óptima en el compostaje debería estar en el rango de 30 a 60 %, mientras que Rojas-Avelizapa et al. (2007, p. 1595) menciona que el rango ideal estaría situado entre 30% a 35 %; por su parte, Román et al. (2013, p. 27) considera que el rango óptimo se ubica entre los 45 a 60 %, que podría estar sujeto a variaciones según el tipo y tamaño del material, además del sistema usado para el proceso. No obstante, los resultados encontrados para la humedad, en la experimentación, se sitúan dentro de los rangos mencionados, con algunas variaciones por debajo del 30%, pero que al final del estudio se estabilizaron, registrándose para las mezclas LCA, LCB y LCC, valores de humedad de $31.23\% \pm 0.17\%$, $32.95\% \pm 0.71\%$ y $37.34\% \pm 0.19\%$, respectivamente; siendo indicadores de un

adecuado proceso. Además, se precisa que la humedad inicial de compost (CA) en la caracterización, fue de $42.94\% \pm 0.41\%$.

La MO, es la fuente primordial de energía para los microorganismos encargados de biodegradar los materiales orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3 (Sánchez et al., 2017; Bernal et al., 2009), disminuyendo o degradándose gradualmente acorde al avance del proceso de compostaje, por la pérdida de carbono, es decir, se van oxidando y mineralizando las estructuras orgánicas (Bernal et al., 2009; Vicencio-De la Rosa et al., 2011). Entretanto, Román et al. (2013, p. 31) y Huayllani (2017, p. 33), consideran que el contenido de MO para un compost en etapa de enfriamiento y maduración debería ser mayor al 20%. Por tanto, lo descrito anteriormente, se corrobora con los resultados de la experimentación; donde previamente se inició con una caracterización para CA de MO registrándose $44.71\% \pm 0.22\%$ y para LPP de $7.11\% \pm 0.53\%$; luego, las concentraciones de MO en las mezclas disminuyeron gradualmente; es decir, para LCA se redujo de $29.17\% \pm 0.11\%$ a $15.52\% \pm 0.09\%$, en LCB de $32.67\% \pm 0.30\%$ a $19.41\% \pm 0.10\%$ y finalmente en LCC de $38.66\% \pm 0.24\%$ a $21.34\% \pm 0.36\%$; observándose que el contenido de MO inicial en las mezclas estuvo determinado por el volumen de compost utilizado, en una etapa de enfriamiento y maduración, lo que explicaría además el contenido relativamente bajo de MO en dichas mezclas, generando una disminución de la actividad microbiana y repercutiendo en la eficiencia de remoción de la fracción de hidrocarburos F3.

En el estudio que realizaron Rojas-Avelizapa et al. (2007, p. 1597), para biorremediar un sitio contaminado con TPH de pozos petroleros de perforación mediante el compostaje, determinaron que el rango adecuado de pH se ubicó entre 7.5 a 8, siendo un indicador de condiciones de biodegradación adecuadas; además, en dicho estudio se menciona que para la degradación óptima de hidrocarburos el pH debería estar en un rango de 6 a 8. Así mismo, Vicencio-De la Rosa et al. (2011, p. 267) sugieren rangos óptimos de pH en compostaje de 5.5

a 8 y 6.5 a 9, mientras que Pérez (2009, p. 52) describe para compost en la etapa de maduración un pH estabilizado de 7 a 8, y Román et al. (2013, p. 31) propone un rango de 6.5 a 8.5. Por otro lado, estudios sugieren intervalos óptimos de pH para el proceso de compostaje entre 6.5 a 8 (Torres et al., 2007, p. 271). En ese sentido, el pH registrado durante la presente investigación, se mantuvo en los rangos antes mencionados, evidenciando que el proceso de biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3 y otros compuestos orgánicos, se realizaron adecuadamente; siendo el rango de pH para la mezcla LCA entre 7.67 ± 0.05 y 7.94 ± 0.02 , para LCB de 7.27 ± 0.08 a 7.83 ± 0.03 y en LCC se registró un rango de 7.10 ± 0.03 a 7.77 ± 0.02 . Además, el registro de pH, en la caracterización para CA fue de 6.16 ± 0.02 , siendo ligeramente ácido y para LPP fue de 7.42 ± 0.10 ; donde el valor de este último se contrasta con los valores registrados por Bautista (2019, p. 65) de 8.07, con tendencia a ser alcalino.

La CE, es un indicador del contenido de sales en un sustrato y tiende a incrementarse a medida que se mineraliza la MO, por lo que las mediciones se realizan a través del grado de conducción eléctrica en dichas sales solubles (Perez, 2009; Marchese, 2015). En la experimentación, efectivamente, se observó una tendencia en el incremento de las concentraciones para cada mezcla. Los valores registrados para LCA estuvieron en el rango de $2.37 \text{ dS/m} \pm 0.08 \text{ dS/m}$ a $4.91 \text{ dS/m} \pm 0.03 \text{ dS/m}$, en LCB de $2.92 \text{ dS/m} \pm 0.01 \text{ dS/m}$ a $6.45 \text{ dS/m} \pm 0.03 \text{ dS/m}$ y en LCC de $4.67 \text{ dS/m} \pm 0.09 \text{ dS/m}$ a $7.65 \text{ dS/m} \pm 0.04 \text{ dS/m}$. Además, dichos resultados, se enmarcan dentro de los valores óptimos establecidos en otros estudios, como menciona Huayllani (2017, p. 67), al describir un rango aceptable para la CE en el proceso de compostaje, entre 2 dS/m a 4 dS/m ; mientras que Escudero y Arias (2012, p. 74) establecen, para compost a base de lodos, un valor óptimo no mayor a 8 dS/m . No obstante, respecto a los parámetros TDS y salinidad, en vista de que son indicadores en diferentes grados, al igual que la CE, del contenido de sales en las mezclas LCA, LCB y LCC, se podría afirmar que los valores registrados durante la experimentación serían adecuados, ya que el proceso de

la biodegradación de la fracción de hidrocarburos F3 se realizó satisfactoriamente. En consecuencia, se observó que las concentraciones tanto de los TDS y salinidad, en similitud con la CE, tuvieron una tendencia a incrementarse; donde los valores para TDS en la mezcla LCA se situaron entre $1.28 \text{ g/L} \pm 0.04 \text{ g/L}$ a $2.44 \text{ g/L} \pm 0.01 \text{ g/L}$, en LCB de $1.61 \text{ g/L} \pm 0.01 \text{ g/L}$ a $3.31 \text{ g/L} \pm 0.06 \text{ g/L}$ y en LCC de $2.30 \text{ g/L} \pm 0.04 \text{ g/L}$ a $4.04 \text{ g/L} \pm 0.02 \text{ g/L}$; mientras tanto, los registros para la salinidad en LCA estuvieron en el rango de $1.27\text{‰} \pm 0.06\text{‰}$ a $2.53\text{‰} \pm 0.06\text{‰}$, en LCB de $1.57\text{‰} \pm 0.06\text{‰}$ a $3.37\text{‰} \pm 0.12 \text{‰}$, y en LCC de $2.33\text{‰} \pm 0.06\text{‰}$ a $4.40\text{‰} \pm 0.10 \text{‰}$. Por su parte, Bautista (2019, p. 65) durante una caracterización de lodos de perforación diamantina registró una CE de 0.00694 dS/m y TDS de 0.01525 g/L , mientras que los resultados para la experimentación, en la caracterización, arrojaron para CA una CE de $5.10 \text{ dS/m} \pm 0.12 \text{ dS/m}$ y TDS de $2.70 \text{ g/L} \pm 0.06 \text{ g/L}$, para LPP una CE de $1.29 \text{ dS/m} \pm 0.01 \text{ dS/m}$ y TDS de $0.69 \text{ g/L} \pm 0.01 \text{ g/L}$; pudiéndose afirmar que las diferentes concentraciones de los parámetros evaluados pueden estar sujetas al tipo de lodo, que están condicionados por las características geológicas del proyecto, así como los aditivos de perforación usados (Bautista, 2019; Tenorio, 2015). Además, el resultado en la caracterización de CA, para salinidad, fue de $2.77\text{‰} \pm 0.06\text{‰}$ y para LPP de $0.73\text{‰} \pm 0.06 \text{‰}$.

Los metales no se degradan durante el proceso del compostaje, sin embargo, puede contribuir en el cambio de sus estados de oxidación y favorecer la reducción de la movilidad; además, el grado de concentración de metales determinaría la calidad del sustrato (Román et al., 2013; Torres et al., 2007). En consecuencia, los resultados obtenidos de las concentraciones para el Pb y Zn, en las mezclas LCA, LCB y LCC, no evidenciaron cambios significativos a lo largo de la experimentación, ya que sus concentraciones se mantuvieron regularmente constantes; aunque se observó una ligera disminución al final del experimento en las concentraciones, que pudo deberse a la capacidad del proceso de compostaje para inmovilizar metales y al error propio del procedimiento en el análisis; por lo que, en la mezcla LCA se

registró para Pb concentraciones entre $73.70 \text{ mg/Kg} \pm 4.91 \text{ mg/Kg}$ a $57.36 \text{ mg/Kg} \pm 3.89 \text{ mg/Kg}$; mientras que para LCB de $59.12 \text{ mg/Kg} \pm 3.26 \text{ mg/Kg}$ a $53.29 \text{ mg/Kg} \pm 3.18 \text{ mg/Kg}$; y finalmente para LCC, de $57.9 \text{ mg/Kg} \pm 11.41 \text{ mg/Kg}$ a $55.69 \text{ mg/Kg} \pm 4.72 \text{ mg/Kg}$; entre tanto, respecto a las concentraciones de Zn, para LCA se tuvo un rango entre $1641.79 \text{ mg/Kg} \pm 0.66 \text{ mg/Kg}$ a $1524.90 \text{ mg/Kg} \pm 1.41 \text{ mg/Kg}$, en LCB de $1598.52 \text{ mg/Kg} \pm 0.49$ a $1436.06 \text{ mg/Kg} \pm 1.69 \text{ mg/Kg}$ y para LCC de $1526.13 \text{ mg/Kg} \pm 1.47 \text{ mg/Kg}$ a $1366.72 \text{ mg/Kg} \pm 1.33 \text{ mg/Kg}$; valores que estarían dentro del rango establecido para compost a base de lodos, donde determinan que la máxima concentración aceptada para plomo es de 300 mg/Kg y para zinc de 2000 mg/Kg (INN, 2004, p. 10). Cabe mencionar, que, durante la caracterización, se registró para CA una concentración de Pb de $29.89 \text{ mg/Kg} \pm 8.33 \text{ mg/Kg}$ y para LPP de $56.62 \text{ mg/Kg} \pm 5.57 \text{ mg/Kg}$; mientras que, para Zn, en CA se obtuvo $325.78 \text{ mg/Kg} \pm 4.82 \text{ mg/Kg}$ y para LPP fue de $1564.49 \text{ mg/Kg} \pm 11.98 \text{ mg/Kg}$; en ese sentido, Bautista (2019), realizó una caracterización de lodos de perforación diamantina y registró para Zn un valor de 48.07 mg/Kg y para Pb de 80.37 mg/Kg ; evidenciando que las diferentes concentraciones registradas, estarían sujetas a las características geológicas del proyecto, así como a los aditivos de perforación utilizados, las cuales condicionan el tipo de lodo (Bautista, 2019; Tenorio, 2015). Por otro lado, se cree que al realizar el proceso compostaje con lodos de aguas residuales o de otro tipo, se produce una ligera acumulación de metales en el sustrato final; sin embargo, se suelen usar métodos para inmovilizar dichos metales, como la adición de diferentes arcillas, entre ellas la bentonita cálcica, sódica y otros (Pérez, 2009, p. 38); no obstante, la composición de los lodos de perforación diamantina es en gran parte bentonita (Tenorio, 2015; Bautista, 2019; Rueda, 2008), lo que favorecería la estabilización de los metales contenidos, como el plomo y zinc. Si bien es cierto, el plomo es considerado un metal pesado que en ciertas concentraciones puede causar afectación (Pérez, 2009, p. 35), al zinc se le considera un micronutriente esencial que puede contribuir, bajo concentraciones adecuadas, en la síntesis de

carbohidratos, hormonas y proteínas, además de favorecer el desarrollo adecuado de las plantas (Rueda, 2008, p. 43). Además, el compost favorece la inmovilización de metales como el Zn y Pb, reduciendo el riesgo ecológico en el suelo o sustrato (Liu et al., 2019; Zhou et al., 2017).

VI Conclusiones

1. La evaluación realizada sobre la biodegradación de los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3 que forman parte de los lodos de perforación diamantina, mediante el proceso de compostaje, mostró resultados satisfactorios en las mezclas experimentales LCA, LCB y LCC, observándose un grado de eficiencia de 26.13%, 16.47% y 10.69%, respectivamente; corroborándose con los valores determinados de los parámetros H, pH, materia orgánica, CE, salinidad, TDS, TA y de las mezclas, plomo y zinc, durante todo el proceso de la experimentación; de tal modo, se podría afirmar que es un método eficiente para el tratamiento y disposición final de los lodos de perforación diamantina.
2. Las concentraciones determinadas de los parámetros fisicoquímicos para los lodos de perforación diamantina, previo al inicio del experimento, como la fracción de hidrocarburos F3, pH, MO, CE, salinidad, TDS, Pb y Zn; evidenciaron valores bajos en su composición, lo cual fue relevante para llevar a cabo un adecuado proceso de compostaje. Sin embargo, también fue necesario el análisis fisicoquímico previo del compost utilizado, ya que permitió tener un mejor control del proceso de compostaje en las mezclas LCA, LCB y LCC.
3. El control y análisis realizado durante el proceso de compostaje en las mezclas LCA, LCB y LCC, mediante la determinación de las concentraciones de los parámetros TA, temperatura de las mezclas, fracción de hidrocarburos F3, pH, MO, CE, salinidad, TDS, Pb y Zn, favoreció al desarrollo de un adecuado proceso de compostaje, que repercutiría en el grado de eficiencia de la biodegradación de los compuestos orgánicos presentes en los lodos de perforación diamantina.
4. Se logró determinar el grado de eficiencia de las mezclas LCA, LCB y LCC en la biodegradación de compuestos orgánicos presentes en los lodos de perforación

diamantina, en este caso específico, de la fracción de hidrocarburos F3; resultando que la mezcla LCA tuvo una eficiencia mayor respecto de las otras, llegando a 26.13% al reducirse de 710.95 mg/Kg a 525.19 mg/Kg, mientras que LCB se redujo de 519.74 mg/Kg a 434.13 mg/Kg con una eficiencia del 16.47 % y LCC tuvo una reducción de 464.26 mg/Kg a 414.63 mg/Kg logrando una eficiencia del 10.69 %; lo que evidencia, en todos los casos, que el proceso de compostaje favorecería la remoción de los compuestos orgánicos presentes en los lodos de perforación diamantina.

VII Recomendaciones

1. En base a los resultados obtenidos, se recomienda replicar la investigación considerando otras variables. Es decir, podrían usarse mezclas, en diferentes proporciones, de LPP, suelo natural del proyecto y compost; además, de analizar adicionalmente otros parámetros para un mejor control, como la relación carbono/nitrógeno, fósforo y potasio total, densidad, población microbiana, entre otros. De tal manera, que se pueda ahondar y enriquecer el conocimiento, particularmente, sobre los lodos de perforación diamantina, para un mejor manejo ambiental.
2. Debido a que la experimentación se llevó a cabo en condiciones controladas de laboratorio, se recomienda realizarlo in situ; es decir, bajo circunstancias reales de un proyecto, que permita conocer mejor el desarrollo del proceso de compostaje, y por tanto, el grado de biodegradación de los compuestos orgánicos presentes en lodos de perforación diamantina.
3. De acuerdo a los resultados satisfactorios que se obtuvieron, se recomienda la utilización del proceso de compostaje para el tratamiento de los lodos de perforación diamantina, es decir, para la biodegradación de los compuestos orgánicos como la fracción de hidrocarburos F3, ya que se podrían disponer adecuadamente; además, se ha demostrado, que suele ser un método eficiente y sostenible. No obstante, al convertirse en un sustrato rico en nutrientes podría ser utilizado como enmienda orgánica para la revegetación de las áreas disturbadas de un proyecto de exploración minera, cuando se desarrolle el cierre ambiental, generándose un impacto ambiental positivo.
4. Se recomienda realizar previamente un estudio técnico detallado, de acuerdo a la localización del proyecto en específico, donde se considere pertinente implementar

el tratamiento de lodos de perforación diamantina usando el proceso de compostaje, considerando un análisis de costo-beneficio que involucre a los factores económico, ambiental y social.

5. Se sugiere mayor inversión para implementar y utilizar métodos o tecnologías sostenibles en los proyectos de exploración minera, como el proceso de compostaje, especialmente para tratar y disponer adecuadamente los lodos de perforación diamantina, que permitan minimizar o eliminar los impactos ambientales negativos causados por la utilización de materiales con carácter nocivo en la disposición final de los mismos, tales como los plásticos, saquillos, geomembranas, entre otros. Pues, según lo investigado, actualmente no existen procedimientos normados que contribuyan en el adecuado manejo ambiental de los lodos de perforación diamantina.
6. Se recomienda por parte de las autoridades competentes, como el MINAM y MINEM, la elaboración de una norma técnica para el manejo ambiental de los lodos de perforación diamantina, que conllevaría a tener un mayor y mejor control en los proyectos de exploración minera.

VIII Referencias

- Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (2020, 20 de marzo). *Sólidos disueltos totales (TDS)*.
<https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-s>
- Alarcón, F. (2004). *Evaluación del uso de diferentes técnicas biotecnológicas para la producción de compost* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2251/Q70-C32-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- AMC Drilling Optimisation [AMC]. (2020, 28 de mayo). *Fluidos de perforación*.
<https://amcmud.com/drilling-fluids/>
- Aquino E., P. (2015). *Recomendaciones para el fortalecimiento de la evaluación del impacto ambiental de las actividades mineras en el Perú*. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR). http://dar.org.pe/archivos/publicacion/pu_161_estudio_mineras.pdf
- Avedaño R., D. A. (2003). *El proceso del compostaje* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Chile].
http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/cordova_c/sources/cordova_c.pdf
- Bautista M., Y. B. (2019). *Toxicidad de lodos de perforación minera en el bioindicador *Porcellio laevis** [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur].
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/788>
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100, 5444-5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Buendía R., H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO)*,

FIGMMG-UNMSM, 15(30), 123-130.

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4101>

Burbano O., H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 117-124.

<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>

Cabrera C., V. C., y Rossi L., M. G. (2016). *Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2251>

Canet M., C., y Camprubí i Cano, A. (2013). *Yacimientos minerales: Los tesoros de la tierra*. Fondo de Cultura Económica.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222007000200221)

[33222007000200221](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222007000200221)

Castañeda P., J. D. (2012). *Estudio técnico y económico de un proceso de compostaje de los residuos sólidos frente a la generación de energía y la disposición actual en la industria de celulosa* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala y Universidad de Concepción]. <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-jorge-castaneda-2012.pdf>

Castilla G., J., y Herrera H., J. (2012). *El proceso de la Exploración Minera mediante sondeos*. Universidad Politécnica de Madrid.

[http://oa.upm.es/10695/1/20120330_El_Proceso_de_Exploracion_Minera_mediante_](http://oa.upm.es/10695/1/20120330_El_Proceso_de_Exploracion_Minera_mediante_Sondeos.pdf)

[Sondeos.pdf](http://oa.upm.es/10695/1/20120330_El_Proceso_de_Exploracion_Minera_mediante_Sondeos.pdf)

Chuang, M., Bin, H., Ming-Bao, W., Ji-Hong, Z., & Hong-Zhong, Z. (2019). Influence of matured compost inoculation on sewage sludge composting: Enzyme activity, bacterial

- and fungal community succession. *Bioresource Technology* 294, 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122165>
- Chumpitaz C., C. R. (2007). *Estudio geotécnico y geognóstico del subsuelo mediante perforación diamantina* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/95>
- Cucho, J. (2019). *Reutilización del agua mediante el sistema de deshidratación de lodos (MacTube), en el proyecto Hilarión*. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú y ProExplo 2019. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Lib-122-267.pdf>
- Escobar E., N., Mora D., J., y Romero J., N. J. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico, Museo de Historia Natural*, 16(1), 75-88. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682012000100006&script=sci_abstract&tlng=es
- Escudero F., A., y Arias V., C. (2012). Los microorganismos en los abonos orgánicos a partir de podas en la Universidad del Norte, Colombia. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 Sup.(1), 67-75. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000500010
- Fernández, R., De Barrio, R., & Tessone, M. (2015). *Apuntes didácticos de Geología de Minas*. Universidad Nacional de la Plata. http://blogs.unlp.edu.ar/geominas/files/2016/04/Perforaciones_mineria.pdf
- Gabhane, J., William, S., Bidyadhar, R., Bhilawe, P., Anand, D., Vaidya, A. N., & Wate, S. R. (2012). Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. *Bioresource Technology*, 114, 382-388. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.040>

- Garay Gómez, H. Z. (2014). *Análisis de vías de agua de brocas de perforación diamantina mediante simulación numérica*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5667>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huayllani H., K. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON_cf6c218ee795314a564928ae73569e15
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2017). *Manual de Procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/504>
- Instituto Nacional de Normalización [INN]. (2004). *NCh 2880. Of2004: Compost - Clasificación y requisitos*. <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>
- Jaramillo J., D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jaume P., López A., M., y Poch, R. (2014). *Edafología: uso y protección de suelos* (Tercera ed.). Mundi-Prensa. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767503/edafologia--uso-y-proteccion-de-suelos>

- Jordán L., A. (2005). *Manual de edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. <https://es.slideshare.net/KiikeeAleejoo/manual-deedafologiaantoniojordanargentina>
- Kaifer B., J., Aguilar P., A., Arana J., E., Balseiro B., C., Torá M., I., Caleyá S., J., y Pijls, C. (2004). *Guía de Tecnologías de Recuperación de Suelos Contaminados*. Comunidad de Madrid, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. <http://eca-suelo.com.pe/wp-content/uploads/2015/07/A-Guia-de-Tecnologias-de-Recuperacion-de-Suelos-Contaminados.pdf>
- Laich, F. (2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. *Instituto Canario de Investigaciones Agrarias*, 1-7. <https://www.icia.es/biomusa/pt/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file#:~:text=Las%20bacterias%20son%20las%20m%C3%A1s,gran%20variedad%20de%20compuestos>
- Lipczynska-Kochany, E. (2018). Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil: A review. *Chemosphere*, 202, 420-437. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.104>
- Liu, L., Wang, S., Guo, X., & Wang, H. (2019). Comparison of the effects of different maturity composts on soil nutrient, plant growth and heavy metal mobility in the contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109525>
- López F., R. (2002). *Degradación del suelo. Causas, procesos evaluación e investigación* (segunda ed.). CIDIAT. https://www.researchgate.net/publication/264311522_Degradacion_del_Suelo_causas_procesos_evaluacion_e_investigacion

- Maldonado B., A. M. (2006). *Formulación y evaluación de fluidos de perforación de base agua de alto rendimiento aplicados al Campo Balcón como sustituto de lodo base aceite* [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander].
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121946.pdf>
- Marchese M., A. B. (2015). *Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6442>
- Medina L., M. S., Quintero L., R., Espinosa V., D., Alarcón, A., Etchevers B., J. D., Trinidad S., A., y Conde M., F. V. (2017). Generación de un inoculante acelerador del compostaje. *Revista Argentina de Microbiología*, 20, 206-210.
<https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.010>
- M-I Swaco a Schlumberger Company [M-I Swaco]. (2020, 18 de marzo). *Catálogo de Productos para Fluidos de Perforación*. <https://promisa.biz/wp-content/uploads/2017/07/Cat%C3%A1logo-Productos-Fluidos-de-Perforaci%C3%B3n-M-I-SWACO.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2010). *D.S. N° 013-2010-AG: Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos*.
<https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds13-2010-ag.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2017). *D.S. N° 042-2017-EM: Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera*.
http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=620#:~:text=El%20Reglamento%20tiene%20por%20objeto,del%20Sistema%20Nacional%20de%20Gesti%C3%B3n

- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2018). *R.M. N° 108-2018-MEM/DM: Aprueban...Términos de Referencia...de los estudios ambientales de las actividades de exploración minera, en cumplimiento del D.S. N°042-2017-EM.* http://minem.gob.pe/_legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=14027
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2020, 15 de abril). *Cartera de Proyectos de Exploración Minera.* Lima, Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1486039/CPE%202020.pdf.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *R.M. N° 085-2014-MINAM: Guía para el Muestreo de Suelos.* https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). *D.S. N° 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.* https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN]. (2019). *Reporte de análisis económico sectorial: Sector Minería.* https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-diciembre-2019-GPAE-OS.pdf
- Pachas P., D. (2014). La Exploración Minera en el Perú: Un breve alcance sobre las principales autorizaciones para el desarrollo de un Proyecto de Exploración en el Perú. *Derecho & Sociedad* 42, 321-328. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/12487/13048>
- Palacios J., S. (2010). *Remediación del fluido de perforación optimizando la reducción de su impacto ambiental* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_9108d8aecbe7446bd87c19d04de49564

- Pérez L., A. L. (2009). *Bases Edafológicas para la Correcta Utilización de un Compost de Lodos de Aguas Residuales Urbanas, como Enmienda Orgánica* [Tesis de doctorado, Universidad de Granada]. <https://www.aguasresiduales.info/idi/tesis-doctorales/bases-edafologicas-para-la-correcta-utilizacion-de-un-compost-de-lodos-de-aguas-residuales-urbanas-como-enmienda-organica>
- Ramsey, M. (2020, 20 de mayo). *Fluidos de perforación: Polímero*. Schlumberger Oilfield Glossary. <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/polymer.aspx>
- Reyes A., A. (2018). Camino a una Minería Sostenible: A propósito del nuevo Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera. *Themis* 74, 27-37. <https://doi.org/10.18800/themis.201802.008>
- Riquelme C. C., D. J. (2017). *Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Determinación de Controles, en las Actividades de Perforación Diamantina, basado en la Norma OHSAS 18001:2007 en la Unidad Minera Cerro Lindo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2393>
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22(3), 69-72. https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplásticos
- Rojas-Avelizapa, N. G., Roldán-Carrillo, T., Zegarra-Martínez, H., Muñoz-Colunga, A. M., & Fernández-Linares, L. C. (2007). A field trial for an ex-situ bioremediation of a drilling mud-polluted site. *Chemosphere* 66, 1595–1600. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.08.011>

- Román, P., Martínez, M. M., y Pantoja, A. (2013). *Manual del compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Rosales de Ortez, C., & Ortez R., J. A. (2017). *Estabilización de lodos residuales ordinarios y evaluación del humus producido como fuente alterna de fertilización en la producción de plantas en viveros* [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/17608/>
- Rueda Q., P. A. (2008). *Alternativa de aprovechamiento de lodos generados en las actividades de explotación minera por parte de la Compañía CVS Explorations Ltda.* [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/713>
- Ruiz O., G. P. (2016). *Estudio físicoquímico del suelo del sistema de andenería del Centro Poblado Cakra, provincia de Yauyos, Lima* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7010>
- Salas V., A. T. (2016). *Análisis y mejora de la calidad en el proceso de perforación en diamantina utilizando la metodología DMAIC* [Tesis de pregrado, Universidad Andrés Bello]. <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/3670>
- Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*, 69, 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>
- Seoáñez C., M. (1999). *Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental* (2 ed.). Ediciones Mundi-Prensa. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=244328>
- Sistema de Información Ambiental Regional de Lima [SIAR LIMA]. (2020, 3 de mayo). *Declaración de Impacto Ambiental Proyecto de Exploración "Romina 2"*. Compañía

Minera Milpo S.A.A. <http://siar.regionlima.gob.pe/documentos/declaracion-impacto-ambiental-proyecto-exploracion-romina-2-huaral>

Tenorio M., F. L. (2015). *Tratamiento de lodos de perforación mediante el Sistema de Tubos de Geotextil Tejido (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarión, distrito de Huallanca, región Ancash, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui].

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UJCM_8778d42db8360b82159a054f80091185

Terrones M., C., y Mendoza V., M. (2007). El régimen legal para el ejercicio de la actividad minera y su incidencia en el ejercicio de la participación ciudadana en el Perú. *Foro Jurídico*, (7), 220-238.

<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/forojuridico/article/view/18477>

Tobar, F. (2020, 15 de mayo). *Importancia de los lodos de perforación*. <https://ut-co.academia.edu/FABIANTOVAR>.

Torres, P., Pérez, A., Escobar, J. C., Uribe, I. E., y Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 27(1), 267-275. <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n1/21.pdf>

Urteaga, E. (2009). Las teorías económicas del desarrollo sostenible. *Cuadernos de Economía*, 32(89), 113-162. [https://doi.org/10.1016/S0210-0266\(09\)70051-2](https://doi.org/10.1016/S0210-0266(09)70051-2)

Vicencio-De la Rosa, G., Pérez-López, E., Medina-Herrera, E., y Martínez-Prado, A. (2011). Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un Rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 263-270. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000300011

- Xiao-Xia, G., Hong-Tao, L., & Shu-Biao, W. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*, 662, 501-510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
- Zhou, R., Liu, X., Luo, L., Zhou, Y., Wei, J., Chen, A., . . . Wang, Y. (2017). Remediation of Cu, Pb, Zn and Cd-contaminated agricultural soil using a combined red mud and compost amendment. *International Biodeterioration & Biodegradation* 118, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.023>

IX Anexos

9.1 Anexo 1: matriz de consistencia

Tabla 45

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema principal	Objetivo principal	Hipótesis de la investigación (Hi)	Variables independientes	Tipo de investigación
¿Cómo se podrían biodegradar los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, con proporciones de mezcla de compost apropiadas, para una disposición final adecuada?	Evaluar la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada.	Los compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera, se podrían biodegradar mediante el proceso de compostaje, contrastándose con las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos analizados; para una disposición final adecuada	El compost Lodos de perforación diamantina	Aplicada
Problemas específicos	Objetivos específicos		Variable dependiente	Enfoque de la investigación
¿Qué características fisicoquímicas presentarían los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera?	Determinar las concentraciones de parámetros fisicoquímicos de los lodos de perforación diamantina generados en un proyecto de exploración minera.		Grado de eficiencia en la biodegradación de compuestos orgánicos	Cuantitativo
¿Cuáles serían, en el proceso de compostaje, las concentraciones de parámetros fisicoquímicos de las mezclas de los lodos de perforación diamantina y compost en las proporciones de 1:0.5; 1:1 y 1:2, respectivamente?	Determinar, durante el proceso de compostaje, las concentraciones de parámetros fisicoquímicos de las mezclas de lodos de perforación diamantina y compost, en las proporciones de 1:0.5, 1:1 y 1:2, respectivamente.			Alcance de la investigación Correlacional
¿Cuál sería la mezcla más eficiente para la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina?	Determinar la mezcla más eficiente para la biodegradación de compuestos orgánicos, como la fracción de hidrocarburos F3, presentes en lodos de perforación diamantina.			Diseño de la investigación Experimental (experimento "puro") de carácter longitudinal

Nota. En esta tabla se describe y resume de manera metodológica la presente investigación.

9.2 Anexo 2: resultados del laboratorio ALAB



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-7079

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: TICLLA HUAMAN JUAN
2.-DIRECCIÓN	: MZ. B, LT. 14, ASOC. 200 MILLAS DE CARABAYLLO, LIMA.
3.-PROYECTO	: TESIS
4.-PROCEDENCIA	: UNFV- FIGAE- LAGEMA - LIMA
5.-SOLICITANTE	: TICLLA HUAMAN JUAN
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-20-0670
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2020-11-30

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 8
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2020-11-19
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2020-11-19 al 2020-11-30

Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-7079

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 3 (C28 a C40) ^(†)	EPA METHOD 8015C Rev. 03 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography

^(†)EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

^(†) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-7079

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4	5	6			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-20-23244	M-20-23245	M-20-23246	M-20-23247	M-20-23248	M-20-23249			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CA	LPP	LCA-I	LCA-F	LCB-F	LCB-I			
COORDENADAS:	NO APLICA								
UTM WGS 84:	NO APLICA								
PRODUCTO:	LODO								
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA								
FECHA y HORA DE MUESTREO:	19-11-2020 10:30	19-11-2020 10:35	19-11-2020 10:40	19-11-2020 10:45	19-11-2020 10:50	19-11-2020 10:55			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS					
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 3 (C28 a C40) (*)	mg/Kg MS	4,00	10,00	83,13	-	-	525,19	-	519,74
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 3 (C28 a C40) (**)	mg/Kg MS	4,00	10,00	-	1 007,03	710,95	-	434,13	519,74

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) EL ensayo indicado no ha sido acreditado

*- No ensayado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-7079

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4	5	6			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-20-23244	M-20-23245	M-20-23246	M-20-23247	M-20-23248	M-20-23249			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CA	LPP	LCA-I	LCA-F	LCB-F	LCB-I			
COORDENADAS:	NO APLICA								
UTM WGS 84:	NO APLICA								
PRODUCTO:	LODO								
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA								
FECHA y HORA DE MUESTREO:	19-11-2020 10:30	19-11-2020 10:35	19-11-2020 10:40	19-11-2020 10:45	19-11-2020 10:50	19-11-2020 10:55			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS					
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 3 (C28 a C40) (*)	mg/Kg MS	4,00	10,00	83,13	-	-	525,19	-	519,74
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 3 (C28 a C40) (**)	mg/Kg MS	4,00	10,00	-	1 007,03	710,95	-	434,13	519,74

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) EL ensayo indicado no ha sido acreditado

*. No ensayado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

9.3 Anexo 3: validación de datos obtenidos en el laboratorio LAGEMA

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

LABORATORIO DE GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA)

INFORME DE RESULTADOS

SOLICITANTE:	JUAN TICLLA HUAMAN
PROYECTO:	" BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESENTES EN LODOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA MEDIANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE"

CÓDIGO DE MUESTRA:	CA	PARÁMETROS ANALIZADOS:	TA, TM, H, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn							
RESULTADOS:										
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS	TA (°C)	TM (°C)	H (%)	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (‰)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
d0 6/12/2019	26.97 ± 0.15	26.80 ± 0.30	42.94 ± 0.41	44.71 ± 0.22	6.16 ± 0.02	5.10 ± 0.12	2.70 ± 0.06	2.77 ± 0.06	29.89 ± 8.33	325.78 ± 4.82

Donde, TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de la mezcla; H: humedad; MO: materia orgánica; pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; TDS: sólidos disueltos totales; S: salinidad; Pb: plomo; Zn: zinc.

CÓDIGO DE MUESTRA:	LPP	PARÁMETROS ANALIZADOS:	TA, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn							
RESULTADOS:										
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS	TA (°C)	*	*	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (‰)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
d0 6/12/2019	26.97 ± 0.15	*	*	7.11 ± 0.53	7.42 ± 0.10	1.29 ± 0.01	0.69 ± 0.01	0.73 ± 0.06	56.62 ± 5.57	1564.49 ± 11.98

(*) No se realizó ningún análisis.

Donde, TA: temperatura ambiente; MO: materia orgánica; pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; TDS: sólidos disueltos totales; S: salinidad; Pb: plomo; Zn: zinc.

CÓDIGO DE MUESTRA:		LCA			PARÁMETROS ANALIZADOS:							TA, TM, H, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn	
RESULTADOS:													
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS		TA (°C)	TM (°C)	H (%)	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (‰)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)		
d0	6/12/2019	26.97 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
d1	10/12/2019	26.20 ± 0.70	24.43 ± 0.06	28.45 ± 0.42	29.17 ± 0.11	7.67 ± 0.05	2.37 ± 0.08	1.28 ± 0.04	1.27 ± 0.06	73.70 ± 4.91	1641.79 ± 0.66		
d4	13/12/2019	26.57 ± 0.06	25.47 ± 0.06	*	*	*	*	*	*	*	*		
d8	17/12/2019	26.80 ± 0.00	23.93 ± 0.15	29.58 ± 0.38	*	*	*	*	*	*	*		
d11	20/12/2019	24.53 ± 0.29	21.97 ± 0.06	*	*	*	*	*	*	*	*		
d15	24/12/2019	30.20 ± 0.40	26.50 ± 0.10	30.18 ± 0.42	28.31 ± 0.15	7.70 ± 0.03	2.40 ± 0.03	1.24 ± 0.04	1.33 ± 0.06	67.73 ± 0.90	1596.56 ± 2.17		
d18	27/12/2019	27.10 ± 0.00	24.67 ± 0.12	*	*	*	*	*	*	*	*		
d29	7/01/2020	26.50 ± 0.79	24.00 ± 0.10	27.41 ± 0.16	26.47 ± 0.27	7.73 ± 0.01	2.74 ± 0.03	1.47 ± 0.01	1.43 ± 0.12	78.58 ± 2.56	1634.39 ± 1.64		
d32	10/01/2020	26.27 ± 0.15	24.33 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*	*		
d36	14/01/2020	28.97 ± 0.06	27.27 ± 0.21	29.32 ± 0.19	*	*	*	*	*	*	*		
d39	17/01/2020	26.90 ± 0.17	24.73 ± 0.12	*	*	*	*	*	*	*	*		
d43	21/01/2020	25.77 ± 0.29	24.77 ± 0.15	30.45 ± 0.42	25.08 ± 0.51	7.75 ± 0.01	3.67 ± 0.02	1.83 ± 0.00	1.87 ± 0.06	57.23 ± 4.66	1515.20 ± 0.55		
d46	24/01/2020	29.63 ± 0.51	28.73 ± 0.32	*	*	*	*	*	*	*	*		
d50	28/01/2020	29.93 ± 0.21	28.50 ± 0.36	31.72 ± 0.14	*	*	*	*	*	*	*		
d53	31/01/2020	25.80 ± 0.17	24.63 ± 0.49	*	*	*	*	*	*	*	*		
d57	4/02/2020	28.40 ± 0.17	26.47 ± 0.29	30.55 ± 0.33	22.93 ± 0.05	7.77 ± 0.06	4.33 ± 0.03	2.18 ± 0.02	2.17 ± 0.06	67.67 ± 11.20	1495.90 ± 4.41		
d60	7/02/2020	28.30 ± 0.46	26.37 ± 0.12	*	*	*	*	*	*	*	*		
d64	11/02/2020	29.57 ± 0.06	27.10 ± 0.10	31.69 ± 0.24	*	*	*	*	*	*	*		
d67	14/02/2020	29.50 ± 0.26	27.17 ± 0.23	*	*	*	*	*	*	*	*		
d71	18/02/2020	29.43 ± 0.12	26.43 ± 0.35	32.45 ± 0.40	20.48 ± 0.17	7.81 ± 0.02	4.46 ± 0.02	2.26 ± 0.01	2.33 ± 0.06	58.11 ± 3.75	1475.80 ± 1.31		
d74	21/02/2020	28.00 ± 0.10	27.40 ± 0.56	*	*	*	*	*	*	*	*		
d78	25/02/2020	28.47 ± 0.15	26.97 ± 0.12	32.79 ± 0.20	*	*	*	*	*	*	*		
d81	28/02/2020	28.33 ± 0.31	27.83 ± 0.25	*	*	*	*	*	*	*	*		
d85	3/03/2020	28.60 ± 0.10	27.77 ± 0.51	32.54 ± 0.11	17.70 ± 0.23	7.92 ± 0.01	4.56 ± 0.06	2.30 ± 0.06	2.37 ± 0.06	52.31 ± 2.22	1326.94 ± 0.65		

CÓDIGO DE MUESTRA:		LCA		PARÁMETROS ANALIZADOS:								TA, TM, H, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn	
RESULTADOS:													
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS		TA (°C)	TM (°C)	H (%)	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (%)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)		
d88	6/03/2020	29.37 ± 0.42	27.93 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*	*		
d92	10/03/2020	29.83 ± 0.15	28.17 ± 0.35	31.23 ± 0.17	15.52 ± 0.09	7.94 ± 0.02	4.91 ± 0.03	2.44 ± 0.01	2.53 ± 0.06	57.36 ± 3.89	1524.90 ± 1.41		

(*) No se realizó ningún análisis. Donde, TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de la mezcla; H: humedad; MO: materia orgánica; pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; TDS: sólidos disueltos totales; S: salinidad; Pb: plomo; Zn: zinc.

CÓDIGO DE MUESTRA:		LCB		PARÁMETROS ANALIZADOS:								TA, TM, H, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn	
RESULTADOS:													
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS		TA (°C)	TM (°C)	H (%)	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (%)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)		
d0	6/12/2019	26.97 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
d1	10/12/2019	26.20 ± 0.70	23.70 ± 0.10	31.56 ± 0.36	32.67 ± 0.30	7.27 ± 0.08	2.92 ± 0.01	1.61 ± 0.01	1.57 ± 0.06	59.12 ± 3.26	1598.52 ± 0.49		
d4	13/12/2019	26.57 ± 0.06	24.33 ± 0.21	*	*	*	*	*	*	*	*		
d8	17/12/2019	26.80 ± 0.00	23.70 ± 0.17	31.67 ± 0.29	*	*	*	*	*	*	*		
d11	20/12/2019	24.53 ± 0.29	21.80 ± 0.00	*	*	*	*	*	*	*	*		
d15	24/12/2019	30.20 ± 0.40	26.43 ± 0.15	32.66 ± 0.26	31.56 ± 0.19	7.38 ± 0.08	3.27 ± 0.02	1.78 ± 0.01	1.77 ± 0.06	55.33 ± 3.74	1557.68 ± 0.69		
d18	27/12/2019	27.10 ± 0.00	24.30 ± 0.00	*	*	*	*	*	*	*	*		
d29	7/01/2020	26.50 ± 0.79	23.43 ± 0.12	29.25 ± 0.29	28.77 ± 0.30	7.48 ± 0.01	3.99 ± 0.01	2.20 ± 0.01	2.13 ± 0.12	50.75 ± 5.64	1560.59 ± 1.00		
d32	10/01/2020	26.27 ± 0.15	24.23 ± 0.12	*	*	*	*	*	*	*	*		
d36	14/01/2020	28.97 ± 0.06	27.13 ± 0.25	30.79 ± 0.30	*	*	*	*	*	*	*		
d39	17/01/2020	26.90 ± 0.17	24.70 ± 0.10	*	*	*	*	*	*	*	*		
d43	21/01/2020	25.77 ± 0.29	24.87 ± 0.06	32.19 ± 0.22	26.89 ± 0.07	7.55 ± 0.13	4.30 ± 0.16	2.26 ± 0.17	2.37 ± 0.21	63.81 ± 4.16	1478.07 ± 0.55		
d46	24/01/2020	29.63 ± 0.51	28.90 ± 0.20	*	*	*	*	*	*	*	*		
d50	28/01/2020	29.93 ± 0.21	28.80 ± 0.50	32.51 ± 0.38	*	*	*	*	*	*	*		
d53	31/01/2020	25.80 ± 0.17	23.93 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*	*		
d57	4/02/2020	28.40 ± 0.17	25.93 ± 0.15	31.20 ± 0.28	25.15 ± 0.30	7.60 ± 0.01	5.15 ± 0.01	2.65 ± 0.04	2.67 ± 0.06	68.62 ± 8.39	1357.97 ± 1.90		
d60	7/02/2020	28.30 ± 0.46	25.87 ± 0.06	*	*	*	*	*	*	*	*		
d64	11/02/2020	29.57 ± 0.06	26.83 ± 0.21	32.21 ± 0.23	*	*	*	*	*	*	*		

CÓDIGO DE MUESTRA:		LCB		PARÁMETROS ANALIZADOS:								TA, TM, H, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn	
RESULTADOS:													
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS	TA (°C)	TM (°C)	H (%)	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (‰)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)			
d67	14/02/2020	29.50 ± 0.26	26.87 ± 0.21	*	*	*	*	*	*	*			
d71	18/02/2020	29.43 ± 0.12	25.97 ± 0.21	33.47 ± 0.16	23.22 ± 0.36	7.63 ± 0.02	6.28 ± 0.03	3.22 ± 0.01	3.30 ± 0.00	61.40 ± 2.35	1240.28 ± 1.81		
d74	21/02/2020	28.00 ± 0.10	26.77 ± 0.25	*	*	*	*	*	*	*			
d78	25/02/2020	28.47 ± 0.15	26.43 ± 0.15	33.56 ± 0.06	*	*	*	*	*	*			
d81	28/02/2020	28.33 ± 0.31	26.90 ± 0.20	*	*	*	*	*	*	*			
d85	3/03/2020	28.60 ± 0.10	26.87 ± 0.32	33.32 ± 0.15	20.73 ± 0.20	7.81 ± 0.02	6.34 ± 0.02	3.26 ± 0.01	3.33 ± 0.06	66.91 ± 6.48	1370.33 ± 1.84		
d88	6/03/2020	29.37 ± 0.42	26.73 ± 0.40	*	*	*	*	*	*	*			
d92	10/03/2020	29.83 ± 0.15	27.47 ± 0.91	32.95 ± 0.71	19.41 ± 0.10	7.83 ± 0.03	6.45 ± 0.03	3.31 ± 0.06	3.37 ± 0.12	53.29 ± 3.18	1436.06 ± 1.69		

(*) No se realizó ningún análisis. Donde, TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de la mezcla; H: humedad; MO: materia orgánica; pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; TDS: sólidos disueltos totales; S: salinidad; Pb: plomo; Zn: zinc.

CÓDIGO DE MUESTRA:		LCC		PARÁMETROS ANALIZADOS:								TA, TM, H, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn	
RESULTADOS:													
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS	TA (°C)	TM (°C)	H (%)	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (‰)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)			
d0	6/12/2019	26.97 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*	*			
d1	10/12/2019	26.20 ± 0.70	22.57 ± 0.15	36.45 ± 0.36	38.66 ± 0.24	7.10 ± 0.03	4.67 ± 0.09	2.30 ± 0.04	2.33 ± 0.06	57.90 ± 11.41	1526.13 ± 1.47		
d4	13/12/2019	26.57 ± 0.06	23.70 ± 0.20	*	*	*	*	*	*	*			
d8	17/12/2019	26.80 ± 0.00	23.00 ± 0.17	36.80 ± 0.32	*	*	*	*	*	*			
d11	20/12/2019	24.53 ± 0.29	21.63 ± 0.06	*	*	*	*	*	*	*			
d15	24/12/2019	30.20 ± 0.40	25.97 ± 0.12	37.42 ± 0.33	37.52 ± 0.17	7.25 ± 0.06	5.36 ± 0.09	2.98 ± 0.07	3.13 ± 0.06	53.51 ± 5.35	1494.39 ± 1.13		
d18	27/12/2019	27.10 ± 0.00	23.73 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*			
d29	7/01/2020	26.50 ± 0.79	23.03 ± 0.21	34.78 ± 0.18	35.11 ± 0.33	7.37 ± 0.05	5.38 ± 0.03	2.99 ± 0.01	3.20 ± 0.10	56.38 ± 4.93	1464.79 ± 1.01		
d32	10/01/2020	26.27 ± 0.15	23.83 ± 0.06	*	*	*	*	*	*	*			
d36	14/01/2020	28.97 ± 0.06	27.23 ± 0.31	35.05 ± 0.02	*	*	*	*	*	*			
d39	17/01/2020	26.90 ± 0.17	24.60 ± 0.10	*	*	*	*	*	*	*			
d43	21/01/2020	25.77 ± 0.29	24.60 ± 0.10	36.62 ± 0.15	31.98 ± 0.17	7.38 ± 0.01	5.60 ± 0.02	3.17 ± 0.02	3.27 ± 0.06	43.14 ± 2.45	1389.29 ± 1.15		

CÓDIGO DE MUESTRA:		LCC		PARÁMETROS ANALIZADOS:							TA, TM, H, MO, pH, CE, TDS, S, Pb, Zn	
RESULTADOS:												
PERIODO Y FECHA DEL ANÁLISIS	TA (°C)	TM (°C)	H (%)	MO (%)	pH (Unidades)	CE (dS/m)	TDS (g/l)	S (‰)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)		
d46	24/01/2020	29.63 ± 0.51	28.63 ± 0.06	*	*	*	*	*	*	*		
d50	28/01/2020	29.93 ± 0.21	28.53 ± 0.25	37.47 ± 0.25	*	*	*	*	*	*		
d53	31/01/2020	25.80 ± 0.17	23.87 ± 0.12	*	*	*	*	*	*	*		
d57	4/02/2020	28.40 ± 0.17	25.33 ± 0.06	36.53 ± 0.14	27.46 ± 0.40	7.44 ± 0.15	6.47 ± 0.11	3.19 ± 0.05	3.30 ± 0.10	58.08 ± 4.70	1403.13 ± 1.80	
d60	7/02/2020	28.30 ± 0.46	25.33 ± 0.06	*	*	*	*	*	*	*		
d64	11/02/2020	29.57 ± 0.06	26.07 ± 0.21	37.21 ± 0.19	*	*	*	*	*	*		
d67	14/02/2020	29.50 ± 0.26	26.70 ± 0.17	*	*	*	*	*	*	*		
d71	18/02/2020	29.43 ± 0.12	25.53 ± 0.06	38.16 ± 0.32	24.77 ± 0.11	7.48 ± 0.02	6.48 ± 0.02	3.35 ± 0.01	3.39 ± 0.01	58.36 ± 2.60	1325.65 ± 3.20	
d74	21/02/2020	28.00 ± 0.10	25.87 ± 0.45	*	*	*	*	*	*	*		
d78	25/02/2020	28.47 ± 0.15	25.97 ± 0.38	38.45 ± 0.25	*	*	*	*	*	*		
d81	28/02/2020	28.33 ± 0.31	25.90 ± 0.56	*	*	*	*	*	*	*		
d85	3/03/2020	28.60 ± 0.10	26.20 ± 0.36	38.26 ± 0.24	22.94 ± 0.30	7.74 ± 0.02	7.60 ± 0.24	4.02 ± 0.13	4.13 ± 0.06	62.49 ± 3.02	1234.24 ± 3.15	
d88	6/03/2020	29.37 ± 0.42	25.83 ± 0.15	*	*	*	*	*	*	*		
d92	10/03/2020	29.83 ± 0.15	25.97 ± 0.25	37.34 ± 0.19	21.34 ± 0.36	7.77 ± 0.02	7.65 ± 0.04	4.04 ± 0.02	4.40 ± 0.10	55.69 ± 4.72	1366.72 ± 1.33	

(*) No se realizó ningún análisis. Donde, TA: temperatura ambiente; TM: temperatura de la mezcla; H: humedad; MO: materia orgánica; pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; TDS: sólidos disueltos totales; S: salinidad; Pb: plomo; Zn: zinc.



Ing. Omar Vásquez Aranda
Técnico Analista

9.4 Anexo 4: hojas MSDS de aditivos de perforación



Ficha de Datos de Seguridad

MSDS No. 10618 Nombre Comercial: MAX GEL* Fecha de Revisión: 12/15/2010

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO QUIMICO Y DE LA EMPRESA

Nombre Comercial: MAX GEL*

Familia de Químicos: Mezcla
Uso del producto: Aditivo para fluidos de perforación.

Suministrado por: M-I L.L.C.
P.O. Box 42842
Houston, TX 77242
www.miswaco.slb.com

Número de teléfono: 281-561-1511
Teléfono de urgencia (24hr): 281-561-1600
Preparado por: Grupo De la Seguridad Del Producto

Número de Revisión: 7

Indice Salud HMIS:
Salud: 1* **Inflamabilidad:** 0 **Peligro Físico:** 0 **Equipo de Protección Personal:** E

Clave de Peligros de HMIS: 4=Severo, 3=Grave, 2=Moderado, 1=Ligero, 0=Mínimo. *Efectos crónicos - Ver la Sección 11. Ver la Sección 8 para recomendaciones de Equipo de Protección Personal.

2. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

Visión General de Urgencia: ¡Cuidado! Puede causar irritación mecánica de los ojos, la piel y las vías respiratorias. La inhalación de partículas por largos periodos puede causar daños a los pulmones. Riesgo de cáncer. Contiene sílice cristalina que puede causar cáncer del pulmón.

Reglamentos Canadienses:
UN PIN No: No reglamentado **Clasificación WHMIS:** D2A

Estado Físico: Polvo. **Color:** Tostado a Gris **Olor:** Inodoro

Posibles Efectos sobre la Salud:

Efectos Agudos

Contacto Con Los Ojos: Puede causar irritación mecánica.
Contacto Con La Piel: Puede causar irritación mecánica. Reseca la piel.
Inhalación: Puede causar irritación mecánica.
Ingestión: Puede causar aflicción gástrica, náusea y vómito si se ingiere.

Carcinogenicidad y Efectos Crónicos: Ver la Sección 11 - Información Toxicológica.

Principales Vías de Exposición: Ojos. Dérmica. Inhalación.

Ficha de Datos de Seguridad

MSDS No. 10618

Nombre Comercial: **MAX GEL***
Fecha de Revisión: 12/15/2010

Page 2/7

Efectos Organo Afectado: Ojos. Piel. Sistema respiratorio.

3. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Ingrediente	CAS NO:	% Peso	Comentarios:
Bentonite	1302-78-9	>90	Ningún comentario.
Silica, crystalline, quartz	14808-60-7	2 - 15	Ningún comentario.
Silica, crystalline, Tridymite	15468-32-3	0 - 1	Ningún comentario.
Gypsum (Calcium sulfate)	13397-24-5	0 - 1	También se aplica CAS 7778-18-9

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los Ojos:	Enjuagar rápidamente los ojos con mucha agua, manteniendo los párpados levantados. Buscar y remover los lentes de contacto. Seguir enjuagando durante por lo menos 15 minutos. Obtener atención médica si persiste cualquier irritación.
Contacto con la Piel:	Lavar la piel a fondo con jabón y agua. Sacarse la ropa contaminada y lavarla antes de volver a usarla. Obtener atención médica si se sigue sintiendo cualquier molestia.
Inhalación:	Trasladar la persona a un sitio bien ventilado. Administrar la respiración artificial si la víctima deja de respirar. Administrarle oxígeno si le resulta difícil respirar. Obtener atención médica.
Ingestión:	Diluir con 2 - 3 vasos de agua o leche, si la víctima está consciente. Nunca darle nada por la boca a una persona que está inconsciente Si se dan señales de irritación o toxicidad buscar atención médica.
Notas Generales:	Las personas que solicitan atención médica deberían llevar consigo una copia de este MSDS.

5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Propiedades Inflamables

Temperatura de Inflamación F(C): NA
 Límites Inflamables en Aire - Inferior (%): NA
 Límites Inflamables en Aire - Superior (%): NA
 Temperatura de Autoignición F(C): NA
 Clase inflamable: NA
 Otras Propiedades Inflamables: ND
 Medios de Extinción: Este material no es combustible. Utilice extinguir los medios apropiados para el fuego circundante.

Protección Para Bomberos:

Procedimientos Especiales para la Lucha Contra el Fuego: No entrar en el área del incendio sin llevar el equipo de protección personal apropiado, incluyendo un aparato autónomo de respiración aprobado por NIOSH/MSHA. Evacuar el área y combatir el incendio desde una distancia segura. Se puede usar agua pulverizada para enfriar los recipientes expuestos al incendio. Mantener el agua de escurrimiento fuera de las vías de desagüe y los cursos de agua.

Productos Peligrosos de la Combustión: ND

Ficha de Datos de Seguridad

MSDS No. 10618

Nombre Comercial: **MAX GEL***
 Fecha de Revisión: 12/15/2010

Page 3/7

6. MEDIDAS ANTE PERDIDAS ACCIDENTALES

- Precauciones Personales:** Uso del equipo personal de protección identificado en la Sección 8.
- Procedimientos Cuando se da un Derrame:** Contener el material derramado. Si la sustancia es liberada en el medio ambiente, tome todas las medidas razonables para reparar, remediar y limitar sus efectos. Remediar, gestionar, remover o disponer la sustancia, de conformidad con las leyes y reglamentos aplicables. El producto mojado puede crear un riesgo de resbalón. Protegerse con equipo protector específico. Evitar la generación de polvo. Barrer, absorber con aspiradoras, o recoger con pala y colocar en un contenedor con cierre para su eliminación.
- Precauciones Medioambientales:** Los desechos deben ser eliminados de acuerdo con las leyes federales, estatales y locales.

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

- Manipulación:** Usar el equipo de protección personal apropiado. Evitar el contacto con la piel y los ojos. Evitar generar o respirar el polvo. El producto es resbaladizo cuando está mojado. Utilizar sólo en un sitio bien ventilado. Lavarse minuciosamente después de manejar el producto.
- Almacenaje:** Almacenar en un lugar seco y bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado. Almacenar lejos de productos incompatibles. Observar prácticas seguras de almacenamiento para la paletizado, el zunchado, el embalaje por contracción y/o el apilamiento.

8. CONTROLES DE EXPOSICION/PROTECCION PERSONAL

Límites de Exposición TLV & PEL - 8H TWA):

Ingrediente	CAS NO:	% Peso	ACGIH TLV	OSHA PEL	Otro	Notas
Bentonite	1302-78-9	>90	NA	NA	NA	(1)
Silica, crystalline, quartz	14808-60-7	2 - 15	0.025 mg/m ³	see Table Z-3	50 mg/m ³ IDLH (NIOSH)	(R)
Silica, crystalline, Tridymite	15468-32-3	0 - 1	0.05 mg/m ³	see Table Z-3	NA	(R)
Gypsum (Calcium sulfate)	13397-24-5	0 - 1	10 mg/m ³	15 mg/m ³ (total); 5 mg/m ³ (respirable)	NA	Ninguno

Notas:

(1) Control como material particulado no especificado de otra manera por ACGIH (PNOS): 10 mg/m³ (Inhalable); 3 mg/m³ (Respirable), y como material particulado no reglamentado de otra manera por OSHA (PNOR): 15 mg/m³ (Total); 5 mg/m³ (Respirable).

(R) Fracción respirable (ACGIH);

Tabla Z-3: Los PELs para Polvos Minerales que contienen sílice cristalina son 10 mg/m³ / (%SiO₂+2) para cuarzo y 1/2 del valor calculado de cuarzo para cristobalita y tridimita. 29 CFR 1910.1000.

Controles Industriales: Usar controles de ingeniería apropiados, tales como la ventilación aspirante y dispositivos de cerramiento del área de proceso, para reducir la contaminación del aire y mantener la exposición de los trabajadores por debajo de los límites aplicables.

Ficha de Datos de Seguridad

MSDS No. 10618

Nombre Comercial: **MAX GEL***
Fecha de Revisión: 12/15/2010

Page 4/7

Equipo de Protección Personal

Todo el equipo de protección personal químico (PPE) se debe seleccionar basado en los riesgos químicos actuales y el riesgo de exposición a esos peligros. Las recomendaciones de PPE siguientes, se basan en nuestra evaluación de los peligros químicos asociados con este producto. El riesgo de exposición y necesidad de protección respiratoria variará de un lugar de trabajo a otro y debería ser evaluada por el usuario.

Protección de los Ojos/Cara:	Anteojos de seguridad resistentes al polvo.
Protección de la Piel:	Ponerse ropa apropiada para evitar el contacto repetido o prolongado con la piel. Se recomienda el uso de guantes quimiorresistentes para el contacto prolongado o repetido. Usar guantes de protección fabricados con: Nitrilo, Neopreno.
Protección Respiratoria:	<p>Todo equipo de protección respiratoria debería ser usado de acuerdo a un amplio programa de protección respiratoria que cumpla con los requerimientos 29 CFR 1910.134 (U.S. OSHA Respiratory Protection Standard) o requerimientos locales equivalentes.</p> <p>Si está expuesto a partículas en el aire de este producto, use como mínimo una NIOSH-media máscara descartable aprobada N95 o un respirador para partículas que sea reusable. En medios de trabajo que contengan niebla o aerosol de aceite o petróleo use como mínimo máscara o respirador reusable aprobado según NIOSH P95.</p>
Consideraciones de Higiene General:	Las ropas de trabajo se deben lavar por separado al final de cada día del trabajo. La ropa desechable debe ser desechada con si está contaminada con el producto.

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Color:	Tostado a Gris
Olor:	Inodoro
Estado Físico:	Polvo.
pH	ND
Gravedad Específica (H₂O=1):	2.3 - 2.6
Solubilidad (Agua):	Insoluble
Punto de Fusión F (C):	ND
Punto de Ebullición F (C):	ND
Presión de Vapor:	NA
Densidad de Vapor (Aire=1):	NA
Índice de Evaporación:	NA
Umbral De Olor Mínimo:	ND

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Datos de Estabilidad:	Estable
Condiciones a Evitar:	Mantener alejado del calor, chispas y llamas.
Materiales Incompatibilidad:	ND
Productos de la Descomposición:	Para productos de la combustión, ver la Sección 5.
Polimerización Peligrosa:	No ocurrirá polimerización.

Ficha de Datos de Seguridad

MSDS No. 10618

 Nombre Comercial: **MAX GEL***
 Fecha de Revisión: 12/15/2010

Page 5/7

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Datos Toxicológicos de los Componentes Cualquier efecto toxicológico componente adverso se enumera abajo. Si no se presenta ningunos datos, no se encontró ninguno.

Ingrediente	Resumen Toxicológico del Componente
Silica, crystalline, quartz	La sílice cristalina es el más común de todos los minerales. La forma más común de sílice es la arena. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha categorizado la sílice cristalina en forma de cuarzo o cristobalita como carcinógeno del Grupo 1 (carcinógeno para humanos). Esta categorización se basa en el mayor riesgo de cáncer del pulmón en trabajadores expuestos a la sílice cristalina. Sin embargo, la IARC notó que la carcinogenicidad de la sílice cristalina en humanos no fue detectada en todas las circunstancias industriales estudiadas. Además, la carcinogenicidad de la sílice cristalina puede depender de las características inherentes de la sílice cristalina o de factores externos que afectan su actividad biológica o la distribución de polimorfos. (IARC Vol. 68, 1997, p. 41). El Programa Nacional de Toxicología (NTP) clasifica la sílice cristalina como una sustancia que "razonablemente puede ser carcinógena en humanos" (6o Informe Anual sobre Carcinógenos, 1991). La inhalación a largo plazo de sílice cristalina también puede causar la enfermedad pulmonar llamada silicosis. Los síntomas de esta enfermedad incluyen tos y falta de aliento. (NJ HSFS, Enero de 1996).

Información Toxicológica del Producto:

La inhalación a largo plazo de material particulado puede causar irritación, inflamación y/o daños permanentes a los pulmones. Enfermedades como neumoconiosis ("dusty lung"), fibrosis pulmonar, bronquitis crónica, enfisema y asma bronquial pueden desarrollarse.

12. IINFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA

Información Ecotoxicológica: Componente de la ecotoxicidad de datos se enumeran a continuación. Si no hay datos que figuran, ninguno se encuentra en el componente de revisión.

Datos de Ecotoxicidad del Producto: Contactar con el departamento de asuntos ambientales de M-I SWACO (M-I SWACO Environmental Affairs) para datos de ecotoxicidad del producto.
Biodegradación: ND
Bioacumulación: ND
Coefficiente de Partición Octanol/Agua: ND

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION DE LOS RESIDUOS

Clasificación de Desechos: ND

Gestión de Desechos: De acuerdo con la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de EE.UU., el usuario del producto es responsable de determinar en el momento de desechar el producto si éste reúne los criterios de RCRA para desechos peligrosos. Esto se debe a que los usos del producto, las transformaciones, las mezclas, los procesos, etc. pueden hacer que los materiales resultantes sean peligrosos. Los recipientes vacíos contienen residuos. Todas las precauciones indicadas en la etiqueta deben ser observadas.

Ficha de Datos de Seguridad

MSDS No. 10618

Nombre Comercial: **MAX GEL***
Fecha de Revisión: 12/15/2010

Page 6/7

Método de Eliminación de Residuos: Recuperar y reutilizar o reciclar, si es práctico. Si este producto llega a convertirse en desecho, eliminarlo en un vertedero industrial autorizado. Asegurarse de que los recipientes están vacíos de acuerdo con los criterios de la ley RCRA, antes de eliminarlos en un vertedero industrial autorizado.

14. INFORMACIONES SOBRE EL TRANSPORTE

DOT:
DOT Nombre del Envío: No reglamentado para transporte por DOT, TDG, IMDG, ICAO/IATA.

Canadá Nombre del Transporte: No reglamentado

UN PIN No: No reglamentado

IMDG Nombre del Transporte: No reglamentado

ICAO/IATA Nombre del Transporte: No reglamentado

15. INFORMACIÓN SOBRE LA REGLAMENTACION VIGENTE

Regulaciones Federales y Estatales en los Estados Unidos.

SARA 311/312 Categorías de Peligro: Peligro tardío (crónico) para la salud.

SARA 302/304, 313; CERCLA RQ, California Proposition 65: Nota: Si no se menciona ningún componente en la tabla, este producto no está sujeto a las mencionadas regulaciones SARA y CERCLA y no se cree que contenga alguno de los productos químicos incluidos en la Proposición 65 a niveles que puedan representar riesgo bajo las condiciones anticipadas de uso.

Ingrediente	SARA 302 / TPQs	SARA 313	CERCLA RQ	CA 65 Cancer	CA 65 Dev. Tox.	CA 65 Repro. F	CA 65 Repro. M
Silica, crystalline, quartz	---	---	---	X	---	---	---
Silica, crystalline, Tridymite	---	---	---	X	---	---	---

Inventarios Internacionales:

Australia AICS -- Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 Canadá DSL - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 Inventario en China - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 Unión Europea - EINECS/ELINCS - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 Japón METI ENCS - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 Korea TCCL ECL - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 Nueva Zelanda - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 Filipinas PICCS - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 U.S. TSCA - Los componentes se enumeran o eximen del listado.
 U.S. TSCA - No hay componentes conforme a requisitos de la notificación de la exportación de TSCA 12(b).

Reglamentos Canadienses:

Declaración de los Reglamentos sobre Productos Controlados: Este producto fue clasificado de acuerdo con los criterios de los CPR para definición de peligros y la MSDS contiene toda la información exigida por los CPR.

Clasificación WHMIS: D2A

Ficha de Datos de Seguridad

MSDS No. 10618

Nombre Comercial: **MAX GEL***
Fecha de Revisión: 12/15/2010

Page 7/7

16. OTRAS INFORMACIONES**Lo Siguiente ha Sido Revisado Sesde (desde) la Ultima Publicación de este MSDS: 1, 6, 8, 12, 16****NA - No Aplicable, ND - No Sabido o No Disponible .**

*Una marca del M-I L.L.C.

Rectificación:

Esta MSDS se suministra independientemente de la venta del producto. Aunque se haya hecho todo lo posible para describir este producto de manera precisa, parte de los datos fueron obtenidos de fuentes que obran fuera de nuestra supervisión directa. No podemos hacer ninguna afirmación en cuanto a la confiabilidad o al carácter completo de esa información; por lo tanto, el usuario puede confiar en la misma por su propia cuenta y riesgo. No hemos hecho ningún esfuerzo por censurar u ocultar los aspectos perjudiciales de este producto. Debido a que no podemos prever ni controlar las condiciones en las cuales esta información y este producto serán utilizados, no garantizamos de ninguna manera que las precauciones que hemos sugerido serán adecuadas para todos los individuos y/o situaciones. Cada usuario de este producto tiene la obligación de cumplir con los requisitos de todas las leyes aplicables respecto al uso y a la eliminación de este producto. Se suministrará información adicional para ayudar al usuario, a petición de éste; sin embargo, mediante la presente, no se emite ninguna garantía, ya sea expresa o implícita, ni se asume ninguna responsabilidad de ningún tipo en relación con este producto o la información contenida en la presente.



an *index* limited company

AMC Zn50

AMC

Chemwatch: 31-6617
Versión No: 4.1.1.1

Código Alerta de Riesgo: 1

Fecha de Edición: 12/16/2015
Fecha de Impresión: 02/08/2017
LGHS.PER.ES

SECCIÓN 1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

Identificador del producto

Nombre del Producto	AMC Zn50
Otros medios de identificación	No Disponible

Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados de la sustancia	Uso definido por el proveedor.
--	--------------------------------

Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Denominación Social	AMC
Dirección	El Juncal 091, Quilicura, Santiago Chile
Teléfono	+56 (2) 2589 9300
Fax	No Disponible
Sitio web	www.amcmud.com
Email	amc@imdexlimited.com

Teléfono de emergencia

Asociación / Organización	No Disponible
Teléfono de urgencias	+56 (9) 7 976 7037, +61 (0) 432 187 374
Otros números telefónicos de emergencia	-

CHEMWATCH RESPUESTA DE EMERGENCIA

Número Principal	Número Alternativa 1	Número Alternativa 2
------------------	----------------------	----------------------

Una vez conectado y si el mensaje no está en su idioma preferido, por favor marque 02

SECCIÓN 2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación de la sustancia o de la mezcla

ESTIMACIÓN DE RIESGO DE CHEMWATCH

	Min	Max
Inflamabilidad	1	
Toxicidad	0	
Contacto	1	
Corporal	1	
Reactividad	1	
Crónico	0	

0 = mínimo
1 = Bajo
2 = Moderado
3 = Alto
4 = Extremo

Diamante de NFPA 704



Nota : Los números de categoría de riesgo que se encuentran en la clasificación GHS en la sección 2 de esta Hoja de Seguridad no deben utilizarse para completar el diamante de NFPA 704.

Clasificación	Corrosión/Irritación de la Piel, Categoría 3, Efectos Respiratorios, Categoría 3, Riesgo Acuático Agudo, Categoría 1, Riesgo Acuático Crónico, Categoría 1
----------------------	--

Elementos de la etiqueta

Elementos de la etiqueta GHS	
-------------------------------------	---

PALABRA SEÑAL	ATENCIÓN
----------------------	-----------------

Indicación de peligro (s)

H316	Provoca una leve irritación cutánea.
H336	Puede provocar somnolencia o vértigo.
H410	Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Consejos de prudencia: Prevención

P271	Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado.
-------------	---

Consejos de prudencia: Respuesta

P312	Llamar a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico en caso de malestar.
-------------	---

Consejos de prudencia: Almacenamiento

P405	Guardar bajo llave.
-------------	---------------------

Consejos de prudencia: Eliminación

P501	Eliminar el contenido/el recipiente de acuerdo con las normas locales.
-------------	--

SECCIÓN 3 COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Sustancias

Consulte la sección siguiente para la composición de las mezclas

Mezclas

Número CAS	% [peso]	Nombre	Clasificación
No Disponible	30-50	petroleum grease mixture of	No Aplicable
64742-52-5.		<u>destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno</u>	Tóxico Agudo por Ingestión, Categoría 5, Tóxico Agudo por Inhalación, Categoría 5, Corrosión/Irritación de la Piel, Categoría 3, Irritación ocular, Categoría 2B, Efectos Respiratorios, Categoría 3; H303, H333, H316, H320, H336
64742-54-7.		<u>destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno</u>	Tóxico Agudo por Ingestión, Categoría 5, Tóxico Agudo por Inhalación, Categoría 5, Irritación ocular, Categoría 2B, Efectos Respiratorios, Categoría 3; H303, H333, H320, H336
7620-77-1		<u>12-hidroxiestearato-de-litio</u>	Tóxico Agudo por Ingestión, Categoría 5, Corrosión/Irritación de la Piel, Categoría 3, Irritación ocular, Categoría 2B, Riesgo Acuático Agudo, Categoría 1; H303, H316, H320, H400
7440-66-6	45-55	<u>cinc</u>	Con Agua Emite Gases Inflamables Categoría 2, Tóxico Agudo por Contacto con la Piel, Categoría 5, Tóxico Agudo por Inhalación, Categoría 5, Corrosión/Irritación de la Piel, Categoría 3, Riesgo Acuático Agudo, Categoría 1, Riesgo Acuático Crónico, Categoría 1; H261, H313, H333, H316, H410

7439-92-1	<1	plomo	Tóxico Agudo por Ingestión, Categoría 4, Tóxico Agudo por Inhalación, Categoría 4, Toxicidad para la reproducción, Categoría 1A, Daño a Órgano, Categoría 2, Riesgo Acuático Agudo, Categoría 1, Riesgo Acuático Crónico, Categoría 1; H302, H332, H360, H373, H410
	balance	other nonhazardous ingredients	

SECCIÓN 4 PRIMEROS AUXILIOS**Descripción de los primeros auxilios**

Contacto Ocular	<p>Si este producto entra en contacto con los ojos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Lavar el área afectada con agua. ▶ Si la irritación continúa, buscar atención médica. ▶ La remoción de los lentes de contacto después de sufrir una herida ocular debe hacerla personal competente únicamente.
Contacto con la Piel	<p>Si este producto entra en contacto con la piel:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Remover inmediatamente todo el vestuario contaminado, incluyendo el calzado. ▶ Lavar las áreas afectadas completamente con agua (y jabón si esta disponible). ▶ Buscar atención médica en caso de irritación.
Inhalación	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Si se inhalan humos o productos de la combustión: Llevar al aire fresco. ▶ Otras medidas son generalmente innecesarias.
Ingestión	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Si es ingerido, NO inducir el vómito. ▶ Si ocurre el vómito, reclinar al paciente hacia delante o colocar sobre lado izquierdo (posición cabeza abajo, si es posible) para mantener las vías aéreas abiertas y evitar la aspiración. ▶ Observar al paciente cuidadosamente. ▶ Nunca suministrar líquido a una persona que muestre signos de adormecimiento o con disminución de la conciencia. ▶ Suministrar agua para enjuagar la boca, luego suministrar líquido lentamente y en cantidad que el accidentado pueda beber confortablemente. ▶ Solicitar consejo médico.

Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Tratar sintómicamente.

SECCIÓN 5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**Medios de extinción**

- ▶ Espuma.

Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Incompatibilidad del fuego	▶ Evitar contaminación con agentes oxidantes i.e. nitratos, ácidos oxidantes, decolorantes de cloro, cloro de piscina etc., ya que puede ocurrir ignición.
-----------------------------------	--

Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Instrucciones de Lucha Contra el Fuego	▶ Alertar a la Brigada de Bomberos e indicarles la localización y naturaleza del peligro.
Fuego Peligro de Explosión	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Combustible. <p>Productos de combustión incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> · monóxido de carbono (CO) · dióxido de carbono (CO2) · otros productos típicos de pirolisis de incineración de material orgánico <p>Puede emitir humos venenosos. Puede emitir humos corrosivos.</p>

SECCIÓN 6 MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Vea la sección 8

Precauciones relativas al medio ambiente

Ver sección 12

Métodos y material de contención y de limpieza

Derrames Menores	Resbaladizo cuando se derramó. ▶ Limpiar los derrames inmediatamente.
Derrames Mayores	Resbaladizo cuando se derramó. Riesgo menor.

Recomendación de Equipamiento de Protección Personal, está contenida en la Sección 8 de la SDS

SECCIÓN 7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**Precauciones para una manipulación segura**

Manipuleo Seguro	▶ Evitar todo el contacto personal, incluyendo inhalación.
Otros Datos	▶ Almacenar en contenedores originales.

Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Contenedor apropiado	▶ Verificar que todos los contenedores estén claramente rotulados y libres de filtraciones.
Incompatibilidad de Almacenado	▶ Evitar la reacción con agentes oxidantes

SECCIÓN 8 CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL**Parámetros de control****LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL (LEO)****DATOS DE INGREDIENTES**

Fuente	Ingrediente	Nombre del material	VLA	STEL	pico	Notas
Perú Límites de exposición laboral	destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	Aceite mineral, nieblas	5 mg/m3	10 mg/m3	No Disponible	No Disponible
Perú Límites de exposición laboral	destilados (petróleo), fracción parafrénica pesada tratada con hidrógeno	Aceite mineral, nieblas	5 mg/m3	10 mg/m3	No Disponible	No Disponible
Perú Límites de exposición laboral	cinc	Partículas (insolubles) no clasificadas de otra forma / Partículas (insolubles) no clasificadas de otra forma - Fracción inhalable / Partículas (insolubles) no clasificadas de otra forma - Fracción respirable	10 mg/m3 / 3 mg/m3	No Disponible	No Disponible	(c) / (d), (e)
Perú Límites de exposición laboral	plomo	Plomo inorgánico y sus derivados como Pb	0.05 mg/m3	No Disponible	No Disponible	VLB

LÍMITES DE EMERGENCIA

Ingrediente	Nombre del material	TEEL-1	TEEL-2	TEEL-3
destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	Distillates (petroleum) hydrotreated heavy naphthenic	140 mg/m3	1,500 mg/m3	8,900 mg/m3
cinc	Zinc	6 mg/m3	21 mg/m3	120 mg/m3
plomo	Lead	0.15 mg/m3	120 mg/m3	700 mg/m3

Ingrediente	IDLH originales	IDLH revisada
petroleum grease mixture of	No Disponible	No Disponible
destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	No Disponible	No Disponible

destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno	No Disponible	No Disponible
12-hidroxiestearato-de-litio	No Disponible	No Disponible
cinc	No Disponible	No Disponible
plomo	700 mg/m3	100 mg/m3

DATOS DEL MATERIAL

NOTA M: No es necesario aplicar la clasificación como carcinógeno si puede demostrarse que la sustancia contiene menos del 0,005 % en peso de benzo[a]-pireno (número Einecs 200-028-5).

NOTA L: No es necesario aplicar la clasificación como carcinógeno si puede demostrarse que la sustancia contiene menos del 3 % de extracto DMSO medido de acuerdo con IP 436.

Controles de la exposición

Controles de ingeniería apropiados	Los controles de ingeniería se utilizan para eliminar un peligro o poner una barrera entre el trabajador y el riesgo.
Equipo de protección personal	
Protección de Ojos y cara	► Anteosjos de seguridad con protectores laterales.
Protección de la piel	Ver Protección de las manos mas abajo
Protección de las manos / pies	Utilizar guantes protectores contra químicos, por ejemplo PVC.
Protección del cuerpo	Ver otra Protección mas abajo
Otro tipo de protección	► Mono protector/overoles/mameluco ► Delantal de P.V.C..
Peligro térmico	No Disponible

Protección respiratoria

Filtro Tipo A-P de capacidad suficiente (AS/NZS 1716 y 1715, EN 143:2000 y 149:2001, ANSI Z88 o el equivalente nacional)

Las mascarillas de respiración con cartucho jamás se deben utilizar para ingresos de emergencias o en zonas cuyas concentraciones de vapor o contenido de oxígeno sean desconocidos. La persona que la lleve puesta debe saber que debe abandonar la zona contaminada de inmediato al detectar cualquier olor a través del respirador. El olor puede indicar que la mascarilla no funciona correctamente, que la concentración del vapor es muy elevada, o que la mascarilla no está colocada correctamente. Por estas limitaciones, solamente se considera apropiado el uso restringido de mascarillas de respiración con cartucho.

SECCIÓN 9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

Apariencia	No Disponible		
Estado Físico		Densidad Relativa (Water = 1)	1.7 approx
Olor	No Disponible	Coefficiente de partición n-octanol / agua	No Disponible
Umbral de olor	No Disponible	Temperatura de Autoignición (°C)	No Disponible
pH (tal como es provisto)	No Aplicable	temperatura de descomposición	No Disponible
Punto de fusión / punto de congelación (° C)	160-177 (Dropping point)	Viscosidad	No Disponible
Punto de ebullición inicial y rango de ebullición (° C)	288	Peso Molecular (g/mol)	No Aplicable

Punto de Inflamación (°C)	No Disponible	Sabor	No Disponible
Velocidad de Evaporación	<1	Propiedades Explosivas	No Disponible
Inflamabilidad	No Disponible	Propiedades Oxidantes	No Disponible
Límite superior de explosión (%)	No Disponible	Tensión Superficial (dyn/cm or mN/m)	No Disponible
Límite inferior de explosión (%)	No Disponible	Componente Volátil (%vol)	No Disponible
Presión de Vapor	No Disponible	Grupo Gaseoso	No Disponible
Hidrosolubilidad (g/L)	inmiscible	pH como una solución (1%)	No Aplicable
Densidad del vapor (Air = 1)	No Disponible	VOC g/L	No Disponible

SECCIÓN 10 ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad	Consulte la sección 7
Estabilidad química	► Presencia de materiales incompatibles.
Posibilidad de reacciones peligrosas	Consulte la sección 7
Condiciones que deben evitarse	Consulte la sección 7
Materiales incompatibles	Consulte la sección 7
Productos de descomposición peligrosos	Vea la sección 5

SECCIÓN 11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información sobre los efectos toxicológicos

Inhalado	Inhalación de los vapores puede causar somnolencia y vértigo. Existe alguna evidencia que sugiere que el material puede causar irritación respiratoria en algunas personas. El riesgo por inhalación es incrementado a altas temperaturas.
Ingestión	No es considerado generalmente como una ruta de ingreso en ambientes comerciales/industriales La ingestión puede resultar en náusea, irritación abdominal, dolor y vómito.
Contacto con la Piel	Existe alguna evidencia para sugerir que este material puede causar inflamación de la piel en contacto en algunas personas. Heridas abiertas, piel erosionada o irritada no debe ser expuesta a este material El material puede acentuar cualquier condición preexistente de dermatitis
Ojo	Aunque no se cree que el líquido es irritante (según clasificado por Directiva CE), contacto directo con el ojo puede causar malestar temporario caracterizado por lágrimas o enrojecimiento conjuntival (como con windburn, infección cutánea por exposición al viento).
Crónico	Exposición a largo plazo al producto no se cree que produzca efectos crónicos adversos a la salud (según clasificado por las Directivas CE usando modelos animales); no obstante la exposición por cualquier ruta debe ser minimizada.

AMC Zn50	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	No Disponible	No Disponible
destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	Dérmico (conejo) DL50: >2000 mg/kg ^[1]	No Disponible
	Inhalación (rata) CL50: >3.9 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >4.7 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >5 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >5.2 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >5.3 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: 10.5 mg/l/4hr ^[1]	

	Inhalación (rata) CL50: 5.7 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: 9.6 mg/l/4hr ^[1]	
	Oral (rata) DL50: >2000 mg/kg ^[1]	
destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	Dérmico (conejo) DL50: >2000 mg/kg ^[1]	No Disponible
	Inhalación (rata) CL50: >3.9 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >4.7 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >5 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >5.2 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: >5.3 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: 10.5 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: 5.7 mg/l/4hr ^[1]	
	Inhalación (rata) CL50: 9.6 mg/l/4hr ^[1]	
Oral (rata) DL50: >2000 mg/kg ^[1]		
12-hidroxiestearato-de-litio	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	No Disponible	No Disponible
cinc	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	Dérmico (conejo) DL50: 1130 mg/kg ^[2]	No Disponible
	Oral (rata) DL50: >2000 mg/kg ^[1]	
plomo	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	Dérmico (rata) DL50: >2000 mg/kg ^[1]	No Disponible
	Inhalación (rata) CL50: >5.05 mg/l/4hr ^[1]	
	Oral (rata) DL50: >2000 mg/kg ^[1]	
Legenda:	1 Valor obtenido a partir de sustancias Europa ECHA registrados - Toxicidad aguda 2 * El valor obtenido de SDS del fabricante a menos que se especifique lo contrario datos extraídos de RTECS - Register of Toxic Effects of Chemical Substances (Registro de Efectos Tóxicos de Sustancias Químicas)	

DESTILADOS (PETRÓLEO), FRACCIÓN NAFTÉNICA PESADA TRATADA CON HIDRÓGENO	NOTA: La sustancia ha demostrado ser mutagénica en por lo menos un ensayo, o pertenece a una familia de productos químicos que producen daño o cambio en el ADN.
12-HIDROXIESTEARATO-DE-LITIO	Sales de ácidos grasos de baja toxicidad aguda.
CINC	El material puede causar irritación de la piel después de prolongada o repetida exposición y puede producir en contacto con la piel, enrojecimiento, hinchazón, la producción de vesículas, desprendimiento y engrosamiento de la piel.
DESTILADOS (PETRÓLEO), FRACCIÓN NAFTÉNICA PESADA TRATADA CON HIDRÓGENO & 12-HIDROXIESTEARATO-DE-LITIO	Ningún dato toxicológico agudo significativo identificado en la literatura investigada.
DESTILADOS (PETRÓLEO), FRACCIÓN NAFTÉNICA PESADA TRATADA CON HIDRÓGENO & DESTILADOS (PETRÓLEO), FRACCIÓN PARAFÍNICA PESADA TRATADA CON HIDRÓGENO	La sustancia es clasificada por el IARC como Grupo 3: NO clasificable por su cancerogenicidad para los humanos.

toxicidad aguda	⊗	Carcinogenicidad	⊗
Irritación de la piel / Corrosión	✓	reproductivo	⊗
Lesiones oculares graves / irritación	⊗	STOT - exposición única	✓
Sensibilización respiratoria o cutánea	⊗	STOT - exposiciones repetidas	⊗
Mutación	⊗	peligro de aspiración	⊗

Leyenda: ✗ - Los datos disponibles, pero no llena los criterios de clasificación
 ✓ - Los datos necesarios para realizar la clasificación disponible
 ⊗ - Datos no disponible para hacer la clasificación

SECCIÓN 12 INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Toxicidad

Ingrediente	PUNTO FINAL	Duración de la prueba (hora)	especies	Valor	fuelle
destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	EC50	48	crustáceos	>1000mg/L	1
destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	EC50	96	No Aplicable	>1000mg/L	1
destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	EC50	96	No Aplicable	>1000mg/L	1
destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno	NOEC	504	crustáceos	>1mg/L	1
destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno	EC50	48	crustáceos	>1000mg/L	1
destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno	EC50	96	No Aplicable	>1000mg/L	1
destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno	EC50	96	No Aplicable	>1000mg/L	1
destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno	NOEC	504	crustáceos	>1mg/L	1
cinc	LC50	96	Pescado	0.00272mg/L	4
cinc	EC50	48	crustáceos	0.04mg/L	5
cinc	EC50	72	No Aplicable	0.106mg/L	4
cinc	BCF	360	No Aplicable	9mg/L	4
cinc	EC50	120	Pescado	0.00033mg/L	5
cinc	NOEC	336	No Aplicable	0.00075mg/L	4
plomo	LC50	96	Pescado	0.0079mg/L	2
plomo	EC50	48	crustáceos	0.029mg/L	2
plomo	EC50	72	No Aplicable	0.0205mg/L	2
plomo	BCFD	8	Pescado	4.324mg/L	4
plomo	EC50	48	No Aplicable	0.0217mg/L	2
plomo	NOEC	672	Pescado	0.00003mg/L	4

Leyenda:

Extracted from 1. IUCLID Toxicity Data 2. Europe ECHA Registered Substances - Ecotoxicological Information - Aquatic Toxicity 3. EPIWIN Suite V3.12 - Aquatic Toxicity Data (Estimated) 4. US EPA, Ecotox database - Aquatic Toxicity Data 5. ECETOC Aquatic Hazard Assessment Data 6. NITE (Japan) - Bioconcentration Data 7. METI (Japan) - Bioconcentration Data 8. Vendor Data

Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
NO permitir que el producto se ponga en contacto con aguas superficiales o con áreas debajo del nivel del agua.
NO descargar en cloacas o vías fluviales.

Persistencia y degradabilidad

Ingrediente	Persistencia	Persistencia: Aire
	No hay datos disponibles para todos los ingredientes	No hay datos disponibles para todos los ingredientes

Potencial de bioacumulación

Ingrediente	Bioacumulación
	No hay datos disponibles para todos los ingredientes

Movilidad en el suelo

Ingrediente	Movilidad
	No hay datos disponibles para todos los ingredientes

SECCIÓN 13 CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN**Métodos para el tratamiento de residuos**

Eliminación de Producto / embalaje	
	► Reciclar siempre que sea posible o consultar al fabricante por opciones de reciclado.

SECCIÓN 14 INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**Etiquetas Requeridas**

Contaminante marino	

Transporte terrestre (UN): NO REGULADO PARA TRANSPORTE DE MERCADERIAS PELIGROSAS

Transporte aéreo (ICAO-IATA / DG): NO REGULADO PARA TRANSPORTE DE MERCADERIAS PELIGROSAS

Transporte Marítimo (IMDG-Code / GGVSee): NO REGULADO PARA TRANSPORTE DE MERCADERIAS PELIGROSAS

Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol y del Código IBC

No Aplicable

SECCIÓN 15 INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

DESTILADOS (PETRÓLEO), FRACCIÓN NAFTÉNICA PESADA TRATADA CON HIDRÓGENO(64742-52-5.) SE ENCUENTRA EN LAS SIGUIENTES LISTAS REGULATORIAS

Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) -
Agentes clasificados por las memorias del IARC

Perú Límites de exposición laboral

DESTILADOS (PETRÓLEO), FRACCIÓN PARAFÍNICA PESADA TRATADA CON HIDRÓGENO(64742-54-7.) SE ENCUENTRA EN LAS SIGUIENTES LISTAS REGULATORIAS

Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) -
Agentes clasificados por las memorias del IARC

Perú Límites de exposición laboral

12-HIDROXIESTEARATO-DE-LITIO(7620-77-1) SE ENCUENTRA EN LAS SIGUIENTES LISTAS REGULATORIAS

No Aplicable

CINC(7440-66-6) SE ENCUENTRA EN LAS SIGUIENTES LISTAS REGULATORIASAgencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) -
Agentes clasificados por las memorias del IARC

Perú Límites de exposición laboral

PLOMO(7439-92-1) SE ENCUENTRA EN LAS SIGUIENTES LISTAS REGULATORIASAgencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) -
Agentes clasificados por las memorias del IARC

Perú Límites de exposición laboral

Inventario de Productos Químicos	Estado
Australia - AICS	Y
Canadá - DSL	Y
Canadá - NDSL	N (destilados (petróleo), fracción parafínica pesada tratada con hidrógeno; plomo; destilados (petróleo), fracción nafténica pesada tratada con hidrógeno; cinc; 12-hidroxiestearato-de-litio)
China - IECSC	Y
Europa - EINEC / ELINCS / NLP	Y
Japón - ENCS	N (plomo; cinc)
Corea - KECI	Y
Nueva Zelanda - NZIoC	Y
Filipinas - PICCS	Y
EE.UU. - TSCA	Y
Leyenda:	Y = Todos los ingredientes están en el inventario N = No determinado o uno o más ingredientes no están en el inventario y no están exentos de su listado (ver ingredientes específicos entre paréntesis)

SECCIÓN 16 OTRA INFORMACIÓN**Otros datos****Componentes con múltiples números CAS**

Nombre	Número CAS
12-hidroxiestearato-de-litio	7620-77-1, 1333-61-5

La clasificación de la preparación y sus componentes individuales ha llevado a las fuentes oficiales y autorizadas, así como también la revisión independiente por el Comité de Clasificación Chemwatch, usando referencias de la literatura disponible.

La Hoja de Seguridad SDS es una herramienta de la comunicación del peligro y se debe utilizar para asistir en la Evaluación de riesgo.

Definiciones y Abreviaciones

Este documento esta protegido por derechos de autor.



(Material Safety Data Sheet) M.S.D.S
HOJA DE SEGURIDAD
ROD LUBE N

1. IDENTIFICACIÓN	
1.1 NOMBRE COMERCIAL	ROD LUBE N
1.2 CÓDIGO	M0017773
1.3 USOS	MINERÍA
1.4 EMERGENCIA	EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE CON EL 631-6569
2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	
2.1 OJOS:	EN CONTACTO CON LOS OJOS, EL PRODUCTO PUEDE CAUSAR IRRITACIÓN QUE PUEDE DURAR POR MÁS DE 24 HORAS.
2.2 PIEL	IRRITANTE
2.3 INHALACIÓN:	IRRITANTE
2.4 INGESTIÓN:	IRRITANTE
3. INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES	
3.1 COMPONENTE	3.2 CONCENTRACION
- BIOCIDAS	0.5% - 1.0%
- ACIDO ORGANICO VEGETAL	15.0% - 30.0%
- HIDROXIDO ALCALINOTERRO	2.0% - 5.0%
- GLICOL	15.0% - 30.0%
- ALCOHOL	5.0% -10.0%
- AGUA	40.0% - 60.0%
4. PRIMEROS AUXILIOS	
4.1 CONTACTO CON LA PIEL	REMUOVA INMEDIATAMENTE LA ROPA Y EL CALZADO CONTAMINADO. LAVE EL ÁREA AFECTADA CON JABÓN Y AGUA.
4.2 INGESTIÓN	BEBE AGUA PARA DILUIR. NUNCA DE NADA POR LA BOCA A UNA PERSONA INCONSCIENTE. PROCURE ATENCIÓN MÉDICA.
4.3 INHALACIÓN	TRASLADAR A LUGAR VENTILADO. SI EL AFECTADO NO RESPIRA, PRACTICAR RESPIRACIÓN ARTIFICIAL. SI LA RESPIRACIÓN FUERA DIFÍCIL, SUMINISTRAR OXÍGENO.
5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS	
5.1 SUSTANCIAS EXTINTORAS APROPIADAS:	ÁGUA NEBULIZADA, CO2, ESPUMA, POLVO QUÍMICO. POCO INFLAMABLE
6. MEDIDAS ANTE PERDIDAS ACCIDENTALES	
6.1 PRECAUCIONES PERSONALES	USO DEL EQUIPO PERSONAL DE PROTECCIÓN IDENTIFICADO EN LA SECCIÓN 8.
6.2 PROCEDIMIENTOS CUANDO SE DA UN DERRAME	EVACUAR EL ÁREA DEL DERRAME CON LA EXCEPCIÓN DEL EQUIPO DE RESPUESTA AL DERRAME. MANTENER AL PERSONAL ALEJADO Y CONTRA EL VIENTO EN RELACIÓN CON EL DERRAME. APAGAR TODAS LAS FUENTES DE IGNICIÓN. EVITAR CHISPAS, LLAMAS, CALOR Y FUMAR. PARAR LA FUGA SI ES POSIBLE HACERLO SIN PELIGRO. CONTENER EL MATERIAL DERRAMADO. NO PERMITA QUE EL MATERIAL DERRAMADO INGRESE A LAS ALCANTARILLAS, EL AGUA DE LLUVIA O DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES. ABSORBER CON VERMICULITA, ARENA SECA O TIERRA. COLOCAR DENTRO DE RECIPIENTES PARA LA ELIMINACIÓN.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO					
7.1 USAR GAFAS AJUSTADAS DE SEGURIDAD O PANTALLA FACIAL O PROTECCIÓN OCULAR COMBINADA CON LA PROTECCIÓN RESPIRATORIA.					
7.2 USAR GUANTES PROTECTORES.					
7.3 TRAJE DE PROTECCIÓN (CAMISAS DE MANGA LARGA Y PANTALONES LARGOS).					
7.4 PROTEJA EL PRODUCTO CONTRA DAÑO FÍSICO Y ALMACÉNELO EN UN LUGAR SECO LEJOS DEL AGUA O HUMEDAD Y SEPARADO DE ÁCIDOS.					
8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL					
8.1 CONTROLES INDUSTRIALES					
INGREDIENTES	% PESO	ACGIH TLV	OSHA PEL	OTRO	NOTAS
8.1.1 VEGETABLE OIL					
- ACIDO ORGANICO VEGETAL	15.0% -30.0%	NA	NA	NA	Ninguna
8.1.2 ADDITIVES					
- BIOCIDAS	0.5% - 1.0%	NA	NA	NA	Ninguna
- HIDROXIDO ALCALINOTERRO	2.0% - 5.0%	NA	NA	NA	Ninguna
- GLICOL	15.0% - 30.0%	NA	NA	NA	Ninguna
- ALCOHOL	5.0% -10.0%	NA	NA	NA	Ninguna
- AGUA	40.0% - 60.0%	NA	NA	NA	Ninguna
8.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	TODO EL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL QUÍMICO (EPP) SE DEBE SELECCIONAR BASADO EN LOS RIESGOS QUÍMICOS ACTUALES Y EL RIEGO DE EXPOSICIÓN A ESOS PELIGROS. LAS RECOMENDACIONES DE EPP SIGUIENTES, SE BASAN EN NUESTRA EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS QUÍMICOS ASOCIADOS CON ESTE PRODUCTO. EL RIESGO DE EXPOSICIÓN Y NECESIDAD DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA VARIARÁ DE UN LUGAR DE TRABAJO A OTRO Y DEBERÍA SER EVALUADA POR EL USUARIO				
8.2.1 PROTECCIÓN DE LOS OJOS/CARAS	USAR ANTEOJOS DE SEGURIDAD QUIMIORRESISTENTES				
8.2.2 PROTECCIÓN DE LA PIEL	PONERSE ROPA APROPIADA PARA EVITAR EL CONTACTO REPETIDO O PROLONGADO CON LA PIEL. USAR GUANTES QUIMIO RESISTENTES FABRICADOS CON MATERIALES TALES COMO NITRILLO O NEOPRENO				
8.3 CONSIDERACIONES DE HIGIENE GENERAL	LAVARSE INMEDIATAMENTE CON JABÓN Y AGUA SI LA PIEL ESTÁ CONTAMINADA. CAMBIARSE LA ROPA DE TRABAJO TODOS LOS DÍAS SI EXISTE CUALQUIER POSIBILIDAD DE CONTAMINACIÓN				
9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS					
9.1 FORMA	LIQUIDO				
9.2 COLOR:	PAJIZO AMARILLENTO				
9.3 PUNTO DE EBULLICIÓN	100° C				
9.4 PUNTO DE INFLAMACIÓN	NO APLICA				
9.5 SOLUNILIDAD EN AGUA	SOLUBLE AL AGUA				
9.6 CONTENIDO DE CUERPOS SÓLIDOS :	25% - 26%				
9.7 PH (SOLUCIÓN AL 5 %)	8,0 +/- 0,5				
9.8 PESO ESPECÍFICO	1.004 – 1.005				
10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD					
10.1 ESTABILIDAD:	EL MATERIAL ES ESTABLE.				
10.2 DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA / CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE	NO SE DESCOMPONE AL EMPLEARSE ADECUADAMENTE				
10.3 REACCIONES PELIGROSAS	REACCIÓN EXOTÉRMICA CON ÁCIDOS.				



11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
11.1 DATOS TOXICOLÓGICA DE LOS COMPONENTES	CUALQUIER EFECTO TOXICOLÓGICO COMPONENTE ADVERSO SE ENUMERA ABAJO. NO SE PRESENTA NINGUN DATO, NO SE ENCONTRÓ NINGUNO.
11.2 INFORMACION TOXICOLÓGICA DEL PRODUCTO	ORAL LD50: >5000 MG/KG (RATA).
12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA	
12.1 DATOS ECOTOXICOLÓGICA DEL PRODUCTO	COMPONENTE DE LA ECOTOXICIDAD DE DATOS SE ENUMERAN A CONTINUACIÓN. SI NO HAY DATOS QUE FIGURAN, NINGUNO SE ENCUENTRA EN EL COMPONENTE DE REVISIÓN.
12.2 BIODEGRADACION	CONTACTAR CON EL DEPARTAMENTO DE ASUNTOS AMBIENTALES DE M-I (M-I ENVIRONMENTAL AFFAIRS) PARA DATOS DE ECOTOXICIDAD DEL PRODUCTO.
12.3 BIO-ACUMULACIÓN	ND
12.4 COEFICIENTE DE PARTICIÓN	ND
12.5 OCTANOL/AGUA	ND
12.6 INFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA	ND
13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN	
13.1 CLASIFICACIÓN DE DESECHOS	ESTE PRODUCTO NO REÚNE LOS CRITERIOS DE UN DESECHO PELIGROSO.
13.3 MÉTODO DE ELIMINACIÓN DE RESIDUOS	ESTE PRODUCTO NO ES CONTAMINANTE; PUEDE RECUPERAR Y REUTILIZAR O RECICLAR, DE ACUERDO A SU PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS.
14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE	
14.1 TERRESTRE POR CARRETERA O FERROCARRIL	NO ES PELIGROSO
14.2 VIA MARITIMA	NO ES PELIGROSO
14.3 VIA FLUVIAL/LACUSTRE	NO ES PELIGROSO
14.4 VIA AEREA	NO ES PELIGROSO
14.5 RECOMENDACIÓN	NO APILAR EN UN NUMERO SUPERIOR A 3 UNIDADES PARA EVITAR SU POSIBLE ROMPIMIENTO. EVITE POSIBLES CAIDAS Y GOLPES QUE PUEDAN PROVOCAR DERRAMES.
15. INFORMACIÓN DE LA REGLAMENTACIÓN VIGENTE	
15.1 SARA 311/312 Categorías de Peligro	NO CONSTITUYE UN PELIGRO PARA LA SALUD BAJO SARA 311/312
15.2 SARA 302/304, 313; CERCLA RQ, California Proposition 65	SI NO SE ENUMERA NINGUNOS COMPONENTES, ESTE PRODUCTO NO ESTÁ CONFORME A LAS REGULACIONES REFERIDAS DE SARA Y DE CERCLA Y NO SE SABE PARA CONTENER UN PRODUCTO QUÍMICO ENUMERADO DEL ASUNTO 65 EN UN NIVEL QUE SE ESPERE QUE PLANTEE UN RIESGO SIGNIFICATIVO BAJO CONDICIONES ANTICIPADAS DEL USO.
16. 3 SIMBOLO DE ALERTAS	

Inflamabilidad

Riesgo a la salud

Reactividad

Riesgos Especificos

4 – Extremadamente peligroso
3 – Muy peligroso
2 – Peligroso
1 – Poco peligroso
0 – No peligroso

HMIS	Health: 1	Flamability: 1	Reactivity: 0	Personal Protección:
------	-----------	----------------	---------------	----------------------

17. OTRAS INFORMACIONES

ESTA MSDS SE SUMINISTRA INDEPENDIEMENTE DE LA VENTA DEL PRODUCTO. AUNQUE SE HAYA HECHO TODO LO POSIBLE PARA DESCRIBIR ESTE PRODUCTO DE MANERA PRECISA, PARTE DE LOS DATOS FUERON OBTENIDOS DE FUENTES QUE OBRAN FUERA DE NUESTRA SUPERVISIÓN DIRECTA. NO PODEMOS HACER NINGUNA AFIRMACIÓN EN CUANTO A LA CONFIABILIDAD O AL CARÁCTER COMPLETO DE ESA INFORMACIÓN; POR LO TANTO, EL USUARIO PUEDE CONFIAR EN LA MISMA POR SU PROPIA CUENTA Y RIESGO. NO HEMOS HECHO NINGÚN ESFUERZO POR CENSURAR U OCULTAR LOS ASPECTOS PERJUDICIALES DE ESTE PRODUCTO, DEBIDO A QUE NO PODEMOS PREVER NI CONTROLAR LAS CONDICIONES EN LAS CUALES ESTA INFORMACIÓN Y ESTE PRODUCTO SERÁN UTILIZADOS, NO GARANTIZAMOS DE NINGUNA MANERA QUE LAS PRECAUCIONES QUE HEMOS SUGERIDO SERÁN ADECUADAS PARA TODOS LOS INDIVIDUOS Y/O SITUACIONES. CADA USUARIO DE ESTE PRODUCTO TIENE LA OBLIGACIÓN DE CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE TODAS LAS LEYES APLICABLES RESPECTO AL USO Y A LA ELIMINACIÓN DE ESTE PRODUCTO. SE SUMINISTRARÁ INFORMACIÓN ADICIONAL PARA AYUDAR AL USUARIO, A PETICIÓN DE ÉSTE; SIN EMBARGO, MEDIANTE LA PRESENTE, NO SE EMITE NINGUNA GARANTÍA, YA SEA EXPRESA O IMPLÍCITA, NI SE ASUME NINGUNA RESPONSABILIDAD DE NINGÚN TIPO EN RELACIÓN CON ESTE PRODUCTO O LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN LA PRESENTE.

AGOSTO 2013



AMC WATER TREATMENT

AMC

Chemwatch: 4866-64
Versión No. 5.1.1.1

Código Alerta de Riesgo: 3

Fecha de Edición: 12/12/2016
Fecha de Impresión: 03/13/2018
LGHS.PER.ES

SECCIÓN 1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

Identificador del producto

Nombre del Producto	AMC WATER TREATMENT
Otros medios de identificación	No Disponible

Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados de la sustancia	Uso definido por el proveedor.
--	--------------------------------

Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Denominación Social	AMC
Dirección	216 Balcatta Rd Balcatta WA 6021 Australia
Teléfono	+61 8 9445 4000
Fax	+61 8 9445 4040
Sitio web	www.amcmud.com
Email	amc@imdexlimited.com

Teléfono de emergencia

Asociación / Organización	No Disponible
Teléfono de urgencias	1800 039 008 or +61 3 9573 3112,+800 2436 2255 +613 9573 3112
Otros números telefónicos de emergencia	No Disponible

SECCIÓN 2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación de la sustancia o de la mezcla

ESTIMACIÓN DE RIESGO DE CHEMWATCH

	Min	Max
Inflamabilidad	1	4
Toxicidad	1	4
Contacto Corporal	3	4
Reactividad	1	4
Crónico	2	4

0 = mínimo
1 = Bajo
2 = Moderado
3 = Alto
4 = Extremo

Diamante de NFPA 704



Nota : Los números de categoría de riesgo que se encuentran en la clasificación GHS en la sección 2 de esta Hoja de Seguridad no deben utilizarse para completar el diamante de NFPA 704.

Clasificación	Tóxico Agudo por Ingestión, Categoría 5, Irritación o corrosión cutáneas, categoría 2, Lesiones oculares graves o irritación ocular, categoría 1, Sensibilización cutánea, categoría 1, STOT - SE (Resp. Irr) Categoría 3, Peligroso para el medio ambiente acuático — Peligro crónico, categoría 4
---------------	---

Elementos de la etiqueta

AMC WATER TREATMENT

Pictogramas de peligro		
PALABRA SEÑAL	PELIGRO	
Indicación de peligro (s)		
H303	Puede ser nocivo en caso de ingestión	
H315	Provoca irritación cutánea.	
H318	Provoca lesiones oculares graves.	
H317	Puede provocar una reacción alérgica en la piel.	
H335	Puede irritar las vías respiratorias.	
H413	Puede ser nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.	
Consejos de prudencia: General		
P101	Si se necesita consejo médico, tener a mano el envase o la etiqueta.	
P102	Mantener fuera del alcance de los niños.	
Consejos de prudencia: Prevención		
P271	Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado.	
P280	Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.	
Consejos de prudencia: Respuesta		
P305+P351+P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.	
P310	Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.	
Consejos de prudencia: Almacenamiento		
P405	Guardar bajo llave.	
P403+P233	Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.	
Consejos de prudencia: Eliminación		
P501	Eliminar el contenido/el recipiente de acuerdo con las normas locales.	

SECCIÓN 3 COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Sustancias

Consulte la sección siguiente para la composición de las mezclas

Mezclas

Número CAS	% [peso]	Nombre	Clasificación
497-19-8	<25	<u>CARBONATO-DE-DISODIO</u>	Toxicidad aguda (por inhalación), categoría 4, Irritación o corrosión cutáneas, categoría 2, Lesiones oculares graves o irritación ocular, categoría 2, STOT - SE (Resp. Irr) Categoría 3; H332, H315, H319, H335
No Disponible	10-30	phosphates	No Aplicable
64-02-8	10-30	<u>etilendiaminotetraacetato-de-tetrasodio</u>	Toxicidad aguda (oral), categoría 4, Irritación o corrosión cutáneas, categoría 2, Lesiones oculares graves o irritación ocular, categoría 1, Sensibilización cutánea, categoría 1, STOT - SE (Resp. Irr) Categoría 3, Peligroso para el medio ambiente acuático — Peligro agudo, categoría 3, Peligroso para el medio ambiente acuático — Peligro crónico, categoría 3; H302, H315, H318, H317, H335, H412
	balance	other ingredients not contributing to the classification	

AMC WATER TREATMENT

SECCIÓN 4 PRIMEROS AUXILIOS

Descripción de los primeros auxilios

Contacto Ocular	<p>Si este producto entra en contacto con los ojos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Inmediatamente mantener los ojos abiertos y lavar continuamente con agua corriente. ▶ Asegurar la completa irrigación del ojo manteniendo los párpados separados entre sí y del ojo, y moviéndolos ocasionalmente. ▶ Continuar el lavado hasta que el Centro de Información de Venenos o un médico, autorice la detención, o por lo menos durante 15 minutos. ▶ Transportar al hospital o a un médico sin demora. ▶ La remoción de los lentes de contacto después de sufrir una herida o lesión en el ojo debe hacerla personal competente únicamente.
Contacto con la Piel	<p>Si este producto entra en contacto con la piel:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Remover inmediatamente todo el vestuario contaminado, incluyendo el calzado. ▶ Lavar las áreas afectadas completamente con agua (y jabón si esta disponible). ▶ Buscar atención médica en caso de irritación.
Inhalación	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Si se inhalan humos o productos de la combustión: Llevar al aire fresco. ▶ Recostar al paciente. Mantener caliente y en reposo. ▶ Prótesis como dentaduras postizas, que puedan bloquear las vías respiratorias, deben ser removidas, cuando sea posible, antes de iniciar los procedimientos de primeros auxilios. ▶ Si la respiración es superficial o se ha detenido, asegurar una entrada de aire libre y aplicar resucitación, preferiblemente con un resucitador con válvula de demanda, dispositivo con máscara bolsa-válvula, o máscara de bolsillo según entrenamiento. Efectuar PCR si es necesario. ▶ Transportar al hospital o a un médico inmediatamente.
Ingestión	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Si es ingerido, NO inducir el vómito. ▶ Si ocurre el vómito, reclinar al paciente hacia delante o colocar sobre lado izquierdo (posición cabeza abajo, si es posible) para mantener las vías aéreas abiertas y evitar la aspiración. ▶ Observar al paciente cuidadosamente. ▶ Nunca suministrar líquido a una persona que muestre signos de adormecimiento o con disminución de la conciencia. ▶ Suministrar agua para enjuagar la boca, luego suministrar líquido lentamente y en cantidad que el accidentado pueda beber confortablemente. ▶ Solicitar consejo médico.

Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Tratar sintomáticamente.

Para exposiciones agudas o a corto plazo repetidas a materiales altamente alcalinos:

- ▶ Estrés respiratorio no es común pero se presenta ocasionalmente por edema del tejido blando.
- ▶ A menos que entubación pueda llevarse a cabo bajo visión directa, pueden ser necesaria cricotiroidotomía o traqueotomía.
- ▶ Oxígeno es provisto como se indica.
- ▶ La presencia de shock sugiere perforación e indica una línea intravenosa y administración de fluido
- ▶ Daños de álcalis corrosivos ocurren por necrosis de licuefacción por lo que la saponificación de grasas y solubilización de proteínas permiten la profunda penetración en el tejido.

Álcalis continúan causando daño luego de la exposición.

INGESTIÓN :

- ▶ Leche y agua son los diluyentes de preferencia
- ▶ No más de 2 vasos de agua deben suministrarse a un adulto.
- ▶ Nunca administrar agentes neutralizantes ya que la reacción exotérmica puede complicar la lesión.

* Catarsis y émesis están absolutamente contraindicadas.

* Carbón activado no absorbe álcalis.

* No debe usarse lavado gástrico.

Los cuidados de mantenimiento involucran lo siguiente:

- ▶ Inicialmente impedir alimentación oral.
- ▶ Si la endoscopia confirma daño transmucosal, comenzar con esteroides sólo dentro de las primeras 48 horas.
- ▶ Evaluar cuidadosamente la cantidad de tejido necrosado antes de asegurar la necesidad de intervención quirúrgica.
- ▶ Los pacientes deben ser instruidos en solicitar atención médica siempre que desarrollen dificultad en la ingestión (disfagia).

PIEL Y OJOS:

- ▶ Irrigar la lesión durante 20-30 minutos.
- ▶ Lesiones oculares requieren solución salina.

[Ellenhorn Barceloux: Medical Toxicology]

SECCIÓN 5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción

- ▶ No hay restricción en el tipo de extintor que puede ser usado.
- ▶ Use medios para extinguir apropiados para áreas circundantes.

Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

AMC WATER TREATMENT

Incompatibilidad del fuego	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Evitar contaminación con agentes oxidantes i.e. nitratos, ácidos oxidantes, decolorantes de cloro, cloro de piscina etc., ya que puede ocurrir ignición.
-----------------------------------	--

Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Instrucciones de Lucha Contra el Fuego	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alertar a la Brigada de Bomberos e indicarles la localización y naturaleza del peligro. ▶ Utilizar mascarillas respiratorias y guantes protectores contra incendio únicamente.
Fuego Peligro de Explosión	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sólido con dificultad para la combustión o es difícil de encender. ▶ Evitar la generación de polvo, particularmente nubes de polvo en un espacio confinado o sin ventilación ya que el polvo puede formar una mezcla explosiva con el aire y cualquier fuente de ignición, llama o chispa, causará incendio o explosión. <p>La descomposición puede producir humos tóxicos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> · monóxido de carbono (CO) · dióxido de carbono (CO₂) · óxidos de nitrógeno (NO_x) · óxidos de fósforo (PO_x) · otros productos típicos de pirolisis de incineración de material orgánico <p>Puede emitir humos venenosos. Puede emitir humos corrosivos.</p>

SECCIÓN 6 MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Vea la sección 8

Precauciones relativas al medio ambiente

Ver sección 12

Métodos y material de contención y de limpieza

Derrames Menores	<p>Riesgo ambiental - contener el derrame.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Remover todas las fuentes de ignición. ▶ Limpiar todos los derrames inmediatamente.
Derrames Mayores	<p>Riesgo ambiental - contener el derrame. Riesgo moderado.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ CUIDADO: Notificar al personal en el área.

Recomendación de Equipamiento de Protección Personal, está contenida en la Sección 8 de la SDS

SECCIÓN 7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**Precauciones para una manipulación segura**

Manipuleo Seguro	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Evitar todo el contacto personal, incluyendo inhalación. ▶ Utilizar ropa protectora cuando ocurre el riesgo de la sobre exposición. <p>Contenedores vacíos pueden contener polvo residual, que tiene el potencial de acumular consecuentes depósitos. Tales polvos pueden explotar en la presencia de una apropiada fuente de ignición.</p>
Otros Datos	Observar las recomendaciones de almacenaje y manipulación del fabricante.

Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Contenedor apropiado	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Contenedor de Polietileno o polipropileno. ▶ Verificar que todos los contenedores estén rotulados y libres de filtraciones.
Incompatibilidad de Almacenado	<ul style="list-style-type: none"> ▶ En presencia de humedad, el material es corrosivo al aluminio, zinc y estaño produciendo hidrógeno gaseoso altamente inflamable. ▶ Los fosfatos son incompatibles con agentes oxidantes y reductores. ▶ Los fosfatos son susceptibles de formar gas fosfina altamente tóxico e inflamable en la presencia de agentes reductores fuertes como hidruros. ▶ Evitar ácidos fuertes. ▶ Evitar contacto con el cobre, el aluminio y sus aleaciones.

SECCIÓN 8 CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

AMC WATER TREATMENT

Parámetros de control

LÍMITES DE EXPOSICION OCUPACIONAL (LEO)

DATOS DE INGREDIENTES

No Disponible

LÍMITES DE EMERGENCIA

Ingrediente	Nombre del material	TEEL-1	TEEL-2	TEEL-3
CARBONATO-DE-DISODIO	Sodium carbonate	7.6 mg/m3	83 mg/m3	500 mg/m3
etilendiaminetetraacetato-de-tetrasodio	Ethylenediaminetetraacetic acid, tetrasodium salt, dihydrate	82 mg/m3	900 mg/m3	5,500 mg/m3
etilendiaminetetraacetato-de-tetrasodio	Ethylenediaminetetraacetic acid, tetrasodium salt; (Tetrasodium EDTA)	75 mg/m3	830 mg/m3	5,000 mg/m3

Ingrediente	IDLH originales	IDLH revisada
CARBONATO-DE-DISODIO	No Disponible	No Disponible
phosphates	No Disponible	No Disponible
etilendiaminetetraacetato-de-tetrasodio	No Disponible	No Disponible

DATOS DEL MATERIAL

El objetivo de la ACGIH (y otras Agencias) es recomendar TLVs (o su equivalente) para todas las sustancias para las cuales hay evidencia de efectos a la salud a concentraciones en el aire del lugar de trabajo.

Hasta ahora no se ha establecido TLV, aunque este material puede producir efectos adversos a la salud (como se evidenció en experimentos animales o experiencia clínica).

Irritantes sensoriales son productos químicos que producen efectos laterales temporarios e indeseables en los ojos, nariz o garganta. Históricamente los estándares de exposición ocupacional para estos irritantes han sido basados en observación de respuestas de trabajadores a varias concentraciones en el aire.

Controles de la exposición

Controles de ingeniería apropiados	Los controles de ingeniería se utilizan para eliminar un peligro o poner una barrera entre el trabajador y el riesgo. Controles de ingeniería bien diseñados pueden ser muy eficaces en la protección de los trabajadores y, normalmente para ofrecer este nivel de protección elevado, serán independiente de las interacciones de los trabajadores.
Equipo de protección personal	
Protección de Ojos y cara	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Anteojos de seguridad con protectores laterales. ▶ Gafas químicas.
Protección de la piel	Ver Protección de las manos mas abajo
Protección de las manos / pies	<p>NOTA: El material puede producir sensibilización en la piel en individuos predispuestos. Se debe tener cuidado al remover guantes y otro equipo de protección, para evitar contacto con la piel.</p> <p>La adecuación y durabilidad del tipo de guante depende del uso. Factores tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ frecuencia y duración del contacto, ▶ resistencia química del material del guante, ▶ espesor del guante y ▶ adiestramiento, <p>son importantes en la elección de los guantes.</p> <p>La experiencia indica que los siguientes polímeros son adecuados como materiales de guantes para protección contra sólidos secos no disueltos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ policloropreno ▶ goma de nitrilo ▶ goma de butilo ▶ fluorocaucho ▶ cloruro de polivinilo <p>Los guantes deben ser examinados constantemente por el desgaste y/o degradación.</p>
Protección del cuerpo	Ver otra Protección mas abajo
Otro tipo de protección	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mono protector/overoles/mameluco ▶ Delantal de P.V.C.. ▶ Crema protectora.
Peligro térmico	No Disponible

Material(es) recomendado (s)

Protección respiratoria

AMC WATER TREATMENT

INDICE DE SELECCIÓN DE GUANTES

La selección del guante está basada en una presentación modificada de: "Índice Forsberg de Rendimiento de Ropa".
El(los) efecto(s) de la(s) siguiente(s) sustancia(s) es(son) tenido(s) en cuenta en la selección generada en computadora:
AMC WATER TREATMENT

Material	CPI
NATURAL RUBBER	C
NITRILE	C

* CPI - Índice Chemwatch de Rendimiento

A: Mejor Selección

B: Satisfactorio; puede degradarse después de 4 horas continuas de inmersión

C: Elección Mala a Peligrosa para inmersiones que no sean de corta duración

NOTA: Debido a que una serie de factores influirán el real rendimiento del guante, una selección final debe estar basada en una observación detallada.-

* Donde el guante sea usado durante un tiempo corto, casual o infrecuente,

factores tales como "sentimiento" o conveniencia (por ej. disponibilidad), pueden decidir una elección de guantes que en cambio podrían ser inadecuados si se siguen usando durante mucho tiempo o frecuentemente. Un profesional calificado debería ser consultado.

Filtro Tipo AK-P de capacidad suficiente (AS/NZS 1716 y 1715, EN 143:2000 y 149:2001, ANSI Z88 o el equivalente nacional)

Factor de Protección	Respirador de Medio Rostro	Respirador de Rostro Completo	Respirador de Aire Impelido
10 x ES	AK P1 Línea de aire*	-	AK PAPR-P1 -
50 x ES	Línea de aire**	AK P2	AK PAPR-P2
100 x ES	-	AK P3	-
		Línea de aire*	-
100+ x ES	-	Línea de aire**	AK PAPR-P3

* - Demanda de presión negativa ** - Flujo continuo

Los respiradores pueden ser necesarios cuando la ingeniería y los controles administrativos no previenen adecuadamente los riesgos.

La decisión de utilizar protección respiratoria debería basarse en el juicio profesional que tenga en cuenta la información sobre toxicidad, los datos de medición de exposición, y la frecuencia y la probabilidad de la exposición del trabajador - garantizar los usuarios no están sujetos a altas cargas térmicas que pueden dar lugar a estrés térmico debido a los equipos de protección personal (alimentación, flujo positivo, aparato de cara completa puede ser una opción).

Límites de exposición profesional publicados, cuando existen, ayudará a determinar si los respiradores seleccionados son adecuados. Estos pueden ser dictados por el gobierno o recomendados por el vendedor.

Respiradores certificado de será útil para proteger a los trabajadores de la inhalación de partículas cuando se selecciona y se ajustan a prueba como parte de un programa de protección respiratoria completa.

Uso máscara de flujo positivo aprobadas si cantidades significativas de polvo se encuentran en suspensión en el aire.

Trate de evitar la creación de condiciones de polvo.

SECCIÓN 9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Apariencia	No Disponible		
Estado Físico	Dividido Sólido	Densidad Relativa (Water = 1)	No Disponible
Olor	No Disponible	Coefficiente de partición n-octanol / agua	No Disponible
Umbral de olor	No Disponible	Temperatura de Autoignición (°C)	No Aplicable
pH (tal como es provisto)	No Disponible	temperatura de descomposición	No Disponible
Punto de fusión / punto de congelación (° C)	No Disponible	Viscosidad	No Aplicable
Punto de ebullición inicial y rango de ebullición (° C)	No Aplicable	Peso Molecular (g/mol)	No Aplicable
Punto de Inflamación (°C)	No Aplicable	Sabor	No Disponible
Velocidad de Evaporación	No Aplicable	Propiedades Explosivas	No Disponible
Inflamabilidad	No Aplicable	Propiedad Oxidantes	No Disponible
Límite superior de explosión (%)	No Aplicable	Tension Superficial (dyn/cm or mN/m)	No Aplicable
Límite inferior de explosión (%)	No Aplicable	Componente Volatil (%vol)	No Aplicable
Presión de Vapor	No Aplicable	Grupo Gaseoso	No Disponible
Hidrosolubilidad (g/L)	Miscible	pH como una solución (1%)	No Disponible

AMC WATER TREATMENT

Densidad del vapor (Air = 1)	No Aplicable	VOC g/L	No Disponible
------------------------------	--------------	---------	---------------

SECCIÓN 10 ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad	Consulte la sección 7
Estabilidad química	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Presencia de materiales incompatibles. ▶ El producto es considerado estable.
Posibilidad de reacciones peligrosas	Consulte la sección 7
Condiciones que deben evitarse	Consulte la sección 7
Materiales incompatibles	Consulte la sección 7
Productos de descomposición peligrosos	Vea la sección 5

SECCIÓN 11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información sobre los efectos toxicológicos

Inhalado	El material puede causar irritación respiratoria en algunas personas. La respuesta del cuerpo a dicha irritación puede causar daño posterior en el pulmón. Las personas con funciones respiratorias deficientes, enfermedades respiratorias y condiciones tales como efisema o bronquitis crónica, pueden incurrir en incapacidad posterior si se inhalan concentraciones excesivas de partículas.
Ingestión	La ingestión accidental del material puede ser dañina para la salud del individuo. Los fosfatos son absorbidos pobremente por el intestino y el envenenamiento por esta vía es poco probable. Efectos incluyen vómito, letargo, fiebre, diarrea, baja presión, pulso lento, cianosis, espasmos de las muñecas, coma y espasmos corporales severos.
Contacto con la Piel	El material puede causar inflamación ligera pero significativa en la piel, ya sea después de contacto directo o después de un tiempo pasado el contacto. La repetida exposición puede causar dermatitis de contacto, la cual es caracterizada por enrojecimiento, hinchazón y ampollamiento. Heridas abiertas, piel erosionada o irritada no debe ser expuesta a este material El ingreso al torrente sanguíneo a través por ejemplo de cortaduras, abrasiones o lesiones, puede producir herida sistémica con efectos dañinos. Examinar la piel antes de usar el material y asegurar que cualquier daño externo es protegido apropiadamente.
Ojo	Si es aplicado a los ojos, este material causa daño severo en los ojos.
Crónico	La exposición a largo plazo a irritantes respiratorios puede dar lugar a enfermedad de las vías respiratorias involucrando dificultad respiratoria y problemas sistémicos relacionados. El contacto de la piel con el material usualmente causa una reacción de sensibilización en algunas personas comparado con la población general. La acumulación de sustancia, en el cuerpo humano, puede ocurrir y puede causar preocupación luego de exposición ocupacional repetida o a largo plazo. Exposiciones a largo plazo a altas concentraciones de polvo pueden causar cambios en la función del pulmón; neumoconiosis; causadas por partículas inferiores a 0.5 micrones penetrando y permaneciendo en el pulmón. El primer síntoma es la falta de respiración; sombras en el pulmón muestran los rayos X. Los quelatos son ocasionalmente usados en terapias para varias formas de envenenamiento. Una reacción sistémica conocida como el "síndrome de quelación excesiva" consiste principalmente en malestar general, fatiga, sed, seguido por escalofríos y fiebre. El fosfato dibásico de sodio puede causar cálculos renales, pérdida de minerales en los huesos y daño de la función de la glándula tiroides.

AMC WATER TREATMENT	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	No Disponible	No Disponible
CARBONATO-DE-DISODIO	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	Dérmico (rata) DL50: >2000 mg/kg ^[2]	Eye (rabbit): 100 mg/24h moderate
	Inhalación (conejo de indias) LC50: 0.4 mg/l/2h ^[2]	Eye (rabbit): 100 mg/30s mild
	Oral (rata) DL50: 2800 mg/kg ^[2]	Eye (rabbit): 50 mg SEVERE Skin (rabbit): 500 mg/24h mild
etilendiaminotetraacetato-de-tetrasodio	TOXICIDAD	IRRITACIÓN
	Oral (rata) DL50: 630 mg/kg ^[2]	Eyes (rabbit): 1.9 mg

AMC WATER TREATMENT

	Eyes (rabbit):100 mg/24h-moderate Skin (rabbit):500 mg/24h-moderate
Leyenda:	1 Valor obtenido a partir de sustancias Europa ECHA registrados - Toxicidad aguda 2 * El valor obtenido de SDS del fabricante a menos que se especifique lo contrario datos extraídos de RTECS - Register of Toxic Effects of Chemical Substances (Registro de Efectos Tóxicos de Sustancias Químicas)

toxicidad aguda	✓	Carcinogenicidad	⊖
Irritación de la piel / Corrosión	✓	reproductivo	⊖
Lesiones oculares graves / irritación	✓	STOT - exposición única	✓
Sensibilización respiratoria o cutánea	✓	STOT - exposiciones repetidas	⊖
Mutación	⊖	peligro de aspiración	⊖

Leyenda: ✗ - Los datos disponibles, pero no llena los criterios de clasificación
 ✓ - Los datos necesarios para realizar la clasificación disponible
 ⊖ - Datos no disponible para hacer la clasificación

SECCIÓN 12 INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Toxicidad

AMC WATER TREATMENT	PUNTO FINAL	DURACIÓN DE LA PRUEBA (HORA)	ESPECIES	VALOR	FUENTE
	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible
CARBONATO-DE-DISODIO	PUNTO FINAL	DURACIÓN DE LA PRUEBA (HORA)	ESPECIES	VALOR	FUENTE
	LC50	96	Pescado	300mg/L	4
	EC50	48	crustáceos	=176mg/L	1
	EC50	96	No Disponible	242mg/L	4
	NOEC	16	crustáceos	424mg/L	4
etilendiaminotetraacetato-de-tetrasodio	PUNTO FINAL	DURACIÓN DE LA PRUEBA (HORA)	ESPECIES	VALOR	FUENTE
	LC50	96	Pescado	486mg/L	4
	EC50	72	No Disponible	=1.01mg/L	1
	EC10	72	No Disponible	=0.48mg/L	1
	NOEC	71	No Disponible	0.0003802mg/L	4
Leyenda:	Extraído de 1. Datos de toxicidad de la IUCLID 2. Sustancias registradas de la ECHA de Europa - Información ecotoxicológica - Toxicidad acuática 3. EPIWIN Suite V3.12 (QSAR) - Datos de toxicidad acuática (estimados) 4. Base de datos de ecotoxicología de la EPA de EE. UU. - Datos de toxicidad acuática 5. Datos de evaluación del riesgo acuático del ECETOC 6. NITE (Japón) - Datos de bioconcentración 7. METI (Japón) - Datos de bioconcentración 8. Datos de vendedor				

Sobre la base de evidencia disponible concerniente ya sea a toxicidad, persistencia, potencial acumulación y/o destino y comportamiento ambiental observado, el material puede presentar un peligro, inmediato o de larga duración y/o retardado, a la estructura y/o funcionamiento de ecosistemas naturales.

Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
 NO permitir que el producto se ponga en contacto con aguas superficiales o con áreas debajo del nivel del agua. No contaminar el agua cuando se limpie o arregle el equipo.

NO descargar en cloacas o vías fluviales.

Persistencia y degradabilidad

Ingrediente	Persistencia	Persistencia: Aire
CARBONATO-DE-DISODIO	BAJO	BAJO

Potencial de bioacumulación

AMC WATER TREATMENT

Ingrediente	Bioacumulación
CARBONATO-DE-DISODIO	BAJO (LogKOW = -0.4605)

Movilidad en el suelo

Ingrediente	Movilidad
CARBONATO-DE-DISODIO	ALTO (KOC = 1)

SECCIÓN 13 CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN**Métodos para el tratamiento de residuos**

Eliminación de Producto / embalaje	
	<p>Si el contenedor no ha sido limpiado lo suficientemente bien como para asegurar que no quedó ningún resto del producto original, o si el contenedor no puede ser usado para almacenar el mismo producto, entonces perforar los contenedores, para evitar su reutilización, y enterrar en un reservorio autorizado.</p> <p>Los requisitos de la legislación para la eliminación de residuos pueden variar según el país, estado y/o territorio. Cada usuario debe remitirse a las leyes vigentes en su área.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ NO permita que el agua proveniente de la limpieza o de los procesos, ingrese a los desagües. ▶ Puede ser necesario recoger toda el agua de lavado para su tratamiento antes de descartarla.

SECCIÓN 14 INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**Etiquetas Requeridas**

Contaminante marino	no
---------------------	----

Transporte terrestre (UN): NO REGULADO PARA TRANSPORTE DE MERCADERIAS PELIGROSAS

Transporte aéreo (ICAO-IATA / DG): NO REGULADO PARA TRANSPORTE DE MERCADERIAS PELIGROSAS

Transporte Marítimo (IMDG-Code / GGVSee): NO REGULADO PARA TRANSPORTE DE MERCADERIAS PELIGROSAS

Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol y del Código IBC

No Aplicable

SECCIÓN 15 INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

CARBONATO-DE-DISODIO(497-19-8) SE ENCUENTRA EN LAS SIGUIENTES LISTAS REGULATORIAS

No Aplicable

ETILENDIAMINOTETRAACETATO-DE-TETRASODIO(64-02-8) SE ENCUENTRA EN LAS SIGUIENTES LISTAS REGULATORIAS

No Aplicable

Inventario de Productos Químicos	Estado
Australia - AICS	Y
Canadá - DSL	Y
Canadá - NDSL	N (etilendiaminotetraacetato-de-tetrasodio; CARBONATO-DE-DISODIO)
China - IECSC	Y
Europa - EINEC / ELINCS / NLP	Y
Japón - ENCS	Y
Corea - KECI	Y
Nueva Zelanda - NZIoC	Y
Filipinas - PICCS	Y
EE.UU. - TSCA	Y

Leyenda:
 Y = Todos los ingredientes están en el inventario
 N = No determinado o uno o más ingredientes no están en el inventario y no están exentos de su listado (ver ingredientes específicos entre paréntesis)

SECCIÓN 16 OTRA INFORMACIÓN**Otros datos****Componentes con múltiples números CAS**

Nombre	Número CAS
CARBONATO-DE-DISODIO	497-19-8, 7542-12-3, 1314087-39-2, 1332-57-6
etilendiaminotetraacetato-de-tetrasodio	64-02-8, 10378-23-1, 13235-36-4, 194491-31-1

La clasificación de la preparación y sus componentes individuales ha llevado a las fuentes oficiales y autorizadas, así como también la revisión independiente por el Comité de Clasificación Chemwatch, usando referencias de la literatura disponible.

La Hoja de Seguridad SDS es una herramienta de la comunicación del peligro y se debe utilizar para asistir en la Evaluación de riesgo. Muchos factores determinan si los peligros divulgados son riesgos en el lugar de trabajo u otras localidades.

Definiciones y Abreviaciones

PC-TWA: media ponderada por tiempo de concentración admisible
 PC-STEL: Concentración admisible: límite de exposición a corto plazo
 IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
 ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales
 STEL: Límite de Exposición a Corto Plazo
 TEEL: Límite temporal de exposición a emergencias.
 IDLH: inmediatamente peligroso para la vida o las concentraciones de salud
 OSF: factor de seguridad de olores
 NOAEL: sin efecto adverso observado
 LOAEL: nivel de efecto adverso observado más bajo
 TLV: valor de límite umbral
 LOD: límite de detección
 OTV: valor de umbral de olor
 BCF: Factores de BioConcentration
 BEI: índice de exposición biológica

Este documento esta protegido por derechos de autor. Aparte de cualquier arreglo justo con el propósito de estudio privado, investigación, revisión o crítica, como lo permitido bajo el Acta de Derechos Autor, ninguna parte puede ser reproducida por cualquier procedimiento sin el permiso escrito de CHEMWATCH.

9.5 Anexo 5: etiqueta para el muestreo de lodos de perforación diamantina

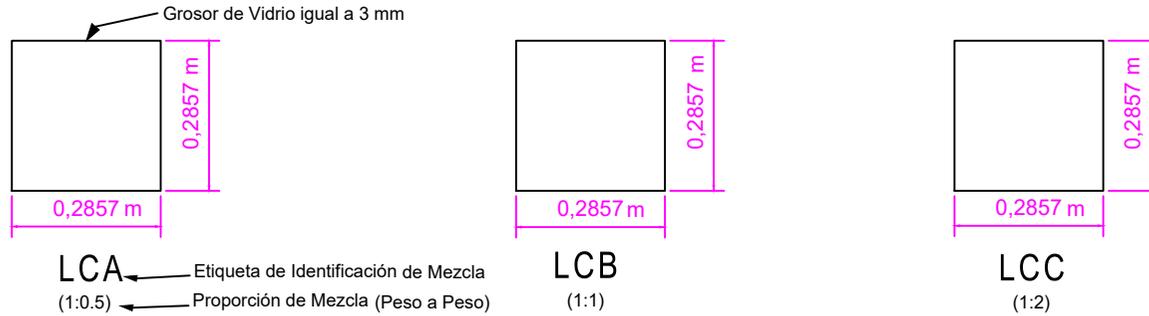
	Universidad Nacional Federico Villarreal Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental	
Código de muestra: _____		
Tipo de muestra: _____		
Conservación / Preservación: _____ SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
Fecha: _____ Hora: _____		
Monitorista: _____		
Distrito: _____ Provincia: _____		
Departamento: _____		
Observaciones / Parámetros: _____		

9.6 Anexo 6: plano del sistema para la experimentación

A continuación, se presentan los planos en formato A4 del sistema usado en la experimentación.

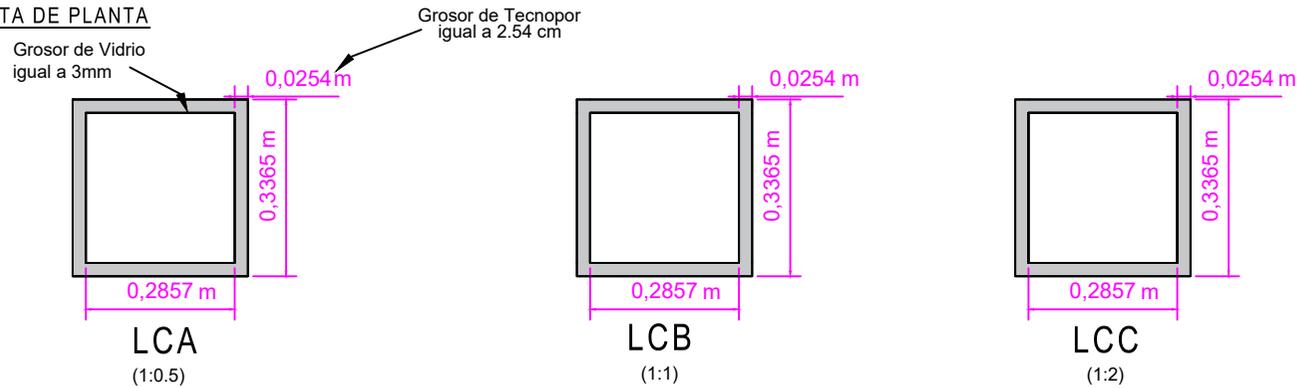
DISEÑO DE SISTEMA SIN REVESTIMIENTO DE TECNOPOR

VISTA DE PLANTA



DISEÑO DE SISTEMA CON REVESTIMIENTO DE TECNOPOR

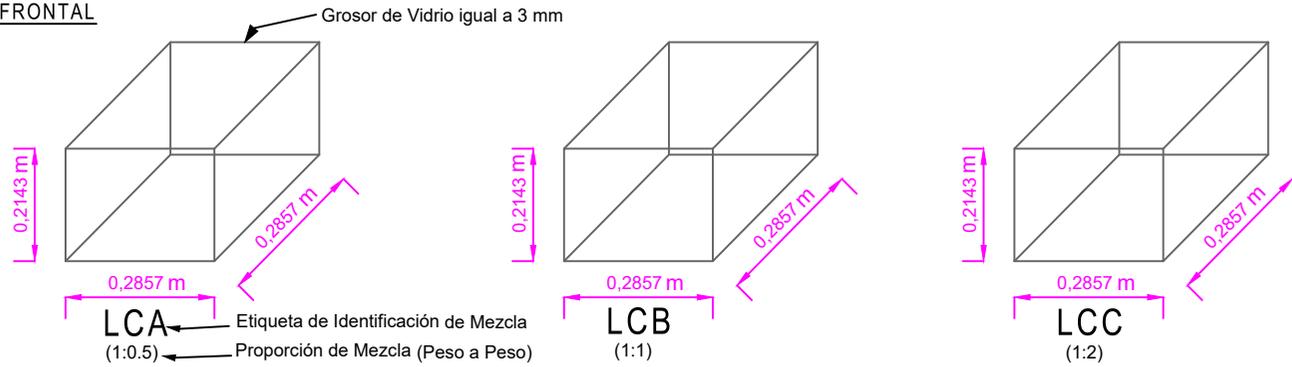
VISTA DE PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL				
FACULTAD:				INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA ACADÉMICA:				INGENIERÍA AMBIENTAL
ELABORADO POR:		DESCRIPCIÓN:		
JUAN TICLLA HUAMAN		DISEÑO DE SISTEMA		
TESIS:				PLANO:
"BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESENTES EN LODOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA MEDIANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE"				P-01
ASESOR (a):		DIBUJO:	ESCALA:	
Mg. CARMEN LUZ VENTURA BARRERA		J.T.H.	1:7	
		FECHA:		
		NOVIEMBRE - 2019		

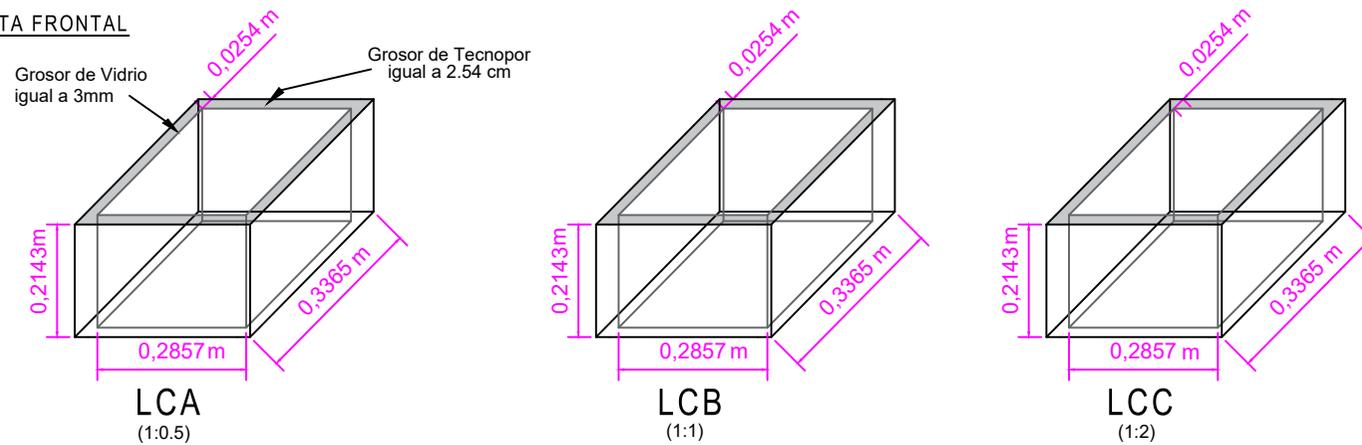
DISEÑO DE SISTEMA SIN REVESTIMIENTO DE TECNOPOR

VISTA FRONTAL



DISEÑO DE SISTEMA CON REVESTIMIENTO DE TECNOPOR

VISTA FRONTAL



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL			
FACULTAD: INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO			
ESCUELA ACADÉMICA: INGENIERÍA AMBIENTAL			
ELABORADO POR: JUAN TICLLA HUAMAN		DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE SISTEMA	
TESIS: "BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PRESENTES EN LODOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA MEDIANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE"			PLANO: P-02
ASESOR (a): Mg. CARMEN LUZ VENTURA BARRERA	DIBUJO: J.T.H.	ESCALA: 1:7	
FECHA: NOVIEMBRE - 2019			