



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:  
BIOSÓLIDO CON CAL HIDRAULICO PARA EL USO DE  
RECUBRIMIENTOS EN RELLENOS SANITARIOS**

**TUTOR  
ING, PABLO PAREDES RAMOS**

**AUTORES  
TARIRA ZAMBRANO DANNY ARTURO  
VELARDE GARCÍA GENESIS JOHANNA**

**2022**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>	
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> Biosólidos con cal hidráulico para el uso de recubrimientos en rellenos sanitarios	
<b>AUTOR/ES:</b> Tarira Zambrano Danny Arturo. Velarde García Génesis Johanna	<b>REVISORES O TUTORES:</b> Ing. Paredes Ramos Pablo Mario
<b>INSTITUCIÓN:</b> <b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b>	<b>Grado obtenido:</b> TERCER NIVEL
<b>FACULTAD:</b> INGENERIA CIVIL, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION.	<b>CARRERA:</b> INGENERIA CIVIL
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2022	<b>N. DE PAGS:</b> 104
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Ingeniería y Construcción	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> ARCILLA, BIOSÓLIDO, CAL HIDRÁULICO, RELLENO SANITARIO, CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.	
<b>RESUMEN:</b> <p>El continuo crecimiento de la población y la demanda de recursos naturales como el agua hacen que el manejo óptimo de los Biosólidos, el cual es el subproducto de las plantas de tratamiento de aguas residuales lo convierta en una práctica importante, dado que es responsabilidad del ingeniero evitar los efectos adversos de su impacto en el medio ambiente. Además de su composición biológica, ya que su disposición inadecuada puede tener impactos sobre la flora, los recursos hídricos, los animales y la población en general.</p>	

<p>El proyecto consiste en tres ensayos de diferentes proporciones del material biosólidos mezclado con cal hidráulico y arcilla para el uso como capa de recubrimiento diario en los rellenos sanitarios en la zona 8, provincia del Guayas, debido a que se desea disminuir la cantidad de arcilla, ya que es un material fundamental en la construcción, gracias a su alto componente de barrera hidráulica, el cual permita reducir las filtraciones de agua, logrando que los materiales solidos que se encuentran dentro de los rellenos sanitarios no causen gases tóxicos al ambiente, además de malos olores y enfermedades patológicas en los moradores. Implantando con responsabilidad y amabilidad al medio ambiente.</p> <p>La carrera de ingeniería civil en la actualidad debe ir de la mano con el medio ambiente, para que podamos obtener obras eco-amigables y visualizar proyectos que permitan la disminución de la contaminación ambiental en el planeta.</p>		
<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b>	<b>E-mail:</b>
Tarira Zambrano Danny Arturo	0968346175	dtariraz@ulvr.edu.ec
Velarde García Génesis Johanna	0968915190	gvelardeg@ulvr.edu.ec
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	Título. Mgtr. Ing. Milton Gabriel Andrade Laborde  Sub - decano de la facultad de ingeniería, Industria y construcción  Teléfono: 259- 6500 Ext. 260  E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec	

# CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

## BIOSÓLIDO CON CAL HIDRAULICO PARA EL USO DE RECUBRIMIENTOS EN RELLENOS SANITARIOS

por Tarira Y Velarde

Fecha de entrega: 20-jul-2022 07:58p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1873193734

Nombre del archivo: TESIS\_FINAL\_-\_TARIRA\_-\_VELARDE.docx (11.89M)

Total de palabras: 17641

Total de caracteres: 99082

### BIOSÓLIDO CON CAL HIDRAULICO PARA EL USO DE RECUBRIMIENTOS EN RELLENOS SANITARIOS

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>7</b> % INDICE DE SIMILITUD	<b>4</b> % FUENTES DE INTERNET	<b>2</b> % PUBLICACIONES	<b>5</b> % TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Santo Tomas</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>2</b>	<b>organiroxs.com</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>suia.ambiente.gob.ec</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>Submitted to Esumer Institucion Universitaria</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>Submitted to ECCI</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>repository.eia.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>7</b>	<b>revistas.utm.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Firma:

  
Paredes R. Pablo Mario


C.C. 0911828150


## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

El (Los) estudiante(s) egresado(s) Danny Arturo Tarira Zambrano; Génesis Johanna Velarde García, declara, que la autoría del presente proyecto de investigación, Biosólidos con cal hidráulico para el uso de recubrimientos en rellenos sanitarios corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma:   
Tarira Zambrano Danny Arturo  
C.I. 0923650782

Firma:   
Velarde García Génesis Johanna  
C.I. 1311515173

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación Biosólidos con cal hidráulico para el uso de recubrimientos en rellenos sanitarios designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería civil, industria y construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Biosólidos con cal hidráulico para el uso de recubrimientos en rellenos sanitarios, presentado por los estudiantes Danny Arturo Tarira Zambrano; Génesis Johanna Velarde García, como requisito previo, para optar al Título de Ingenieros Civiles, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



Paredes Ramos Pablo Mario

C.C. 0911828150

## **AGRADECIMIENTO**

Primero le doy gracias a Dios por permitirme despertar cada mañana, a mis padres, ya que han sido la fuente de inspiración y empuje en la evolución de mi vida. A mi tutor el ing. Pablo paredes y mis compañeros que me asesoraron en el transcurso de la actual investigación.

Agradezco a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, La Facultad de Ingeniería Industria y Construcción, a todos los docentes a lo largo de estos 5 años por haberme compartidos en sus cátedras sus conocimientos sobre la carrera de Ingeniería civil para poder enfrentar los retos y metas en la vida profesional.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico en primer lugar, a Dios quien ha estado conmigo en cada paso que doy guiándome y cuidándome, A mis padres, el cual son los pilares fundamentales quienes a lo largo de toda mi carrera universitaria me han dado su apoyo en cada momento.

Les estaré eternamente agradecidos.

**Tarira Zambrano Danny Arturo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios quien es mi primer amor y el ultimo en mi vida por darme esta oportunidad de estudiar, pues fue el Señor que me puso aquí, tantas noches con lágrimas pidiendo en oración con tanta fe para poder estar sentada en un curso y escuchar clases , estudiando y aprendiendo he aquí culminando mis estudios a la mano del Señor , agradecida por darme vida y salud para poder llegar a esta etapa de la vida , y decir la “Victoria es tuya ”agradecida por darme los mejores padres que con tanto esfuerzo me ayudaron a llegar a etapa universitaria apoyándome y dándome su amor incondicional para lograr otra etapa en la vida .

Agradezco a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por abrirme las puertas de tan honorada institución, al Ing. Pablo Paredes quien fue mi tutor y mi guía en todo el proceso de la tesis.

## **DEDICATORIA**

Se lo dedico con todo el amor a mi abuelita Lola Barragán quien en vida fue mi pilar fundamental para seguir adelante en mi estudios, me acompañó mis primeros semestres pero no terminamos juntas en esta etapa , pero sé que donde quiera que este , estaría muy orgullosa de su nieta ; a mi madre Lilian García que es mi motor e inspiración , mi compañera de estudio y mi mejor amiga , esta mujer hermosa me acompañaba en mis madrugadas estudiando aunque estuviera cansada esperándome en el sofá hasta terminar mi deberes , mi padre John Velarde quien fue el hombre que me acompañó en mi primer día en la Universidad y nunca olvidare ese detalle tan único que mi papa me regalo, fui la única del curso que llego con su papito a la universidad y ahora también me acompaña finalizando esta etapa, no tengo palabras de lo agradecida que estoy con Dios de tener los mejores padres y los mejores hermanos que también me apoyaron emocionalmente en cada uno de estos semestres.

Este proyecto se lo dedico a las personas que más amo en esta vida MI FAMILIA.

**Velarde García Génesis Johanna**



## INDICE GENERAL

CAPÍTULO I	2
DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Formulación del Problema .....	2
1.4 Objetivo General .....	2
1.5 Objetivo Específicos .....	3
1.6 Hipótesis.....	3
1.7 Variable dependiente .....	3
1.8 Variable Independiente .....	3
1.9 Línea de Investigación .....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEORICO.....	4
2.1.1 Antecedentes Históricos.....	4
2.1.2 Aguas residuales.....	4
2.1.3 Lodos residuales .....	5
2.1.3.1 <i>Tratamiento de lodos residuales</i> .....	6
2.1.3.2 <i>Caracterizaciones generales de los lodos residuales.</i> .....	7
2.1.3.2.1 Características físicas. ....	7
2.1.3.2.2 Características Químicas. ....	8
2.1.3.2.3 Características Microbiológicas. ....	9
2.1.3.3 Métodos comunes de eliminación de lodos residuales .....	10
2.1.4 Biosólidos .....	11
2.1.4.1 Clasificación de los biosólidos .....	12
2.1.4.1.1 Los biosólidos de grado A .....	12
2.1.4.1.2 Los biosólidos de grado B .....	13
2.1.4.2 <i>Disposición de biosólidos.</i> .....	13
2.1.4.3 <i>Contaminante de los biosólidos</i> .....	14
2.1.4.4 <i>Usos generales del biosólido</i> .....	14
2.1.4.5 <i>Uso de Biosólidos en restauración de suelos</i> .....	15
2.1.4.5.1 Difusión de Biosólidos en la restauración de suelos .....	15
2.1.4.5.2 Uso de Biosólido como aditivos orgánicos en la restauración de suelos .....	16
2.1.4.6 <i>Uso de biosólido en el ámbito de la construcción</i> .....	17
2.1.5 Cal.....	18

2.1.5.1	<i>Cal Hidráulico</i> .....	19
2.1.5.2	<i>Aplicaciones de la Cal Hidráulico</i> .....	19
2.1.5.3	<i>Proceso de la Cal Hidráulico</i> .....	20
2.1.6	Arcilla.....	21
2.1.6.1	<i>Propiedades de la arcilla</i> .....	21
2.1.6.2	<i>Tipo de arcilla</i> .....	22
2.1.6.3	<i>Tipo de ensayos de laboratorio que se realizan en las arcillas</i> .....	23
2.1.6.4	<i>La arcilla en recubrimientos de rellenos sanitarios</i> .....	23
2.1.7	Rellenos Sanitarios .....	24
2.1.7.1	<i>Planificación de Rellenos Sanitarios</i> .....	25
2.1.7.2	<i>Capa diaria de recubrimiento en los Rellenos Sanitarios</i> .....	25
2.1.7.3	<i>Tipos de Rellenos Sanitarios</i> .....	25
2.1.8	Contaminación del suelo .....	27
2.1.9	Construcción Innovadora.....	27
MARCO LEGAL.....		28
2.1.10	Reglamento Interministerial de Gestión de Desechos Sanitarios .....	28
2.1.10.1	<i>Las ministras del Ambiente y de Salud Pública</i> .....	28
2.1.10.1.1	Que, el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador	28
2.1.10.1.2	Que, el numeral 27 del artículo 66 de la Constitución de la República del Ecuador .....	28
2.1.10.1.3	Que, el numeral 6 el artículo 83 de la Constitución de la República del Ecuador .....	28
2.1.10.1	<i>Expedir la norma para la ubicación, diseño, construcción, operación, cierre y abandono de un relleno de seguridad Sección I del objeto, ámbito de aplicación y definiciones</i> .....	28
2.1.10.1.1	Art. 1.- Objeto. - .....	29
2.1.10.1.2	3.7. Cobertura.....	29
2.1.10.1.3	3.10. Coeficiente de permeabilidad.....	29
2.1.10.1.4	3.36. Prueba Proctor modificada.....	29
2.1.10.2	Título III de los requisitos para el diseño y construcción de un relleno de seguridad 00.....	29
2.1.10.2.1	Art. 6.- Requisitos generales para el diseño y construcción de un relleno y celda de seguridad. ....	29
2.1.11	Análisis de la Normatividad Ecuatoriana Legislación Ambiental (TULSMA). .....	30
2.1.11.1	Biosólidos .....	30
2.1.12	Normativa a Nivel Internacional .....	30
2.1.12.1	<i>Reglamento de Biosólidos Parte 503 (Part 503 Biosolids Rule)</i> . ....	30

2.1.12.1.1	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, US EPA) .....	30
2.1.12.2	<i>República de Colombia Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio</i> .....	32
2.1.12.2.1	Decreto Número 1287 10 jul 2014 .....	32
2.1.12.3	<i>Norma Oficial México NOM-004-SEMARNAT-2002</i> .....	36
2.1.12.3.1	NORMA OFICIAL MEXICANA, PROTECCION AMBIENTAL. - LODOS Y BIOSOLIDOS. -ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL. ....	36
CAPÍTULO III		38
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		38
3.1.1	Marco Metodológico .....	38
3.1.1.1	<i>Método deductivo</i> .....	38
3.1.2	Enfoque de la Investigación.....	39
3.1.2.1	<i>Enfoque Cuantitativo</i> .....	39
3.1.3	Alcance de la Investigación.....	39
3.1.3.1	<i>Ventajas</i> .....	40
3.1.4	Técnicas de Investigación .....	40
3.1.4.1	<i>Ensayos de Laboratorio</i> .....	40
3.1.5	Población y Muestra.....	41
3.1.5.1	<i>Población</i> .....	41
3.1.5.2	<i>Muestra</i> .....	41
3.1.6	Recolección del biosólido y Análisis de Resultados .....	41
3.1.6.1	<i>Recolección del Biosólidos en la PTAR Los Merinos-Guayaquil</i> .....	42
3.1.6.2	<i>Materiales y Herramientas</i> .....	44
3.1.6.2.1	Materiales .....	44
3.1.6.2.2	Herramientas .....	45
3.1.6.3	<i>Armado de las Mezclas</i> .....	47
3.1.6.3.1	Armado 1.....	47
3.1.6.3.2	Armado 2.....	48
3.1.6.3.3	Armado 3 .....	48
3.1.6.4	<i>Pruebas de Permeabilidad</i> .....	49
3.1.6.4.1	Procedimiento 1 .....	49
3.1.6.4.2	Procedimiento 2 .....	54
3.1.6.4.3	Procedimiento 3 .....	58
3.1.6.5	<i>Análisis de Resultados de Permeabilidad</i> .....	63
3.1.6.5.1	Primer ensayo de permeabilidad.....	63

3.1.6.5.2	Segundo ensayo de permeabilidad.....	63
3.1.6.5.3	Tercer ensayo de permeabilidad .....	64
3.1.6.6	<i>Muestra de Porcentaje de Permeabilidad</i> .....	65
3.1.6.6.1	Muestra 1 .....	66
3.1.6.6.2	Muestra 2 .....	67
3.1.6.6.3	Muestra 3 .....	68
3.1.6.7	<i>Grafica Representativo de los Tres Ensayos de Permeabilidad</i> .....	69
3.1.6.8	<i>Análisis de densidad, masa y volumen de la muestra del 10 %</i> .....	69
3.1.6.8.1	Calculo del peso del material .....	69
3.1.6.8.2	Cálculo de la Densidad de cada material .....	70
3.1.6.8.2.1	Proceso para encontrar la densidad del Biosólido.....	70
3.1.6.8.2.2	Proceso para encontrar la densidad de la Cal Hidráulico.....	71
3.1.6.8.2.3	Proceso para encontrar la densidad de la Arcilla.....	72
3.1.6.8.3	Calculo del volumen de cada material.....	72
3.1.6.8.3.1	Proceso para encontrar el volumen del biosólido .....	72
3.1.6.8.3.2	Proceso para encontrar el volumen de la cal Hidráulico .....	73
3.1.6.8.3.3	Proceso para encontrar el volumen de la Arcilla .....	73
3.1.6.8.3.4	Volumen total de cada material .....	74
3.1.7	Análisis Económico .....	75
3.1.7.1	<i>Precio de la Cal Hidráulica</i> .....	76
3.1.7.2	<i>Precio de la Biosólido</i> .....	76
3.1.7.3	<i>Precio de la Arcilla</i> .....	77
3.1.7.4	<i>Precio del volumen para 1 m<sup>3</sup></i> .....	77
3.1.8	Análisis Ambiental .....	78
3.1.8.1	<i>Matriz del Beneficio de la Reutilización del Biosólido en el Medio Ambiente</i> .....	79
3.1.8.2	<i>Beneficio ambiental de utilizar biosólido con cal hidráulico para uso de recubrimiento en rellenos sanitarios</i> .....	79
	Conclusiones .....	80
	Recomendaciones .....	81
Anexos		88
	Anexo 1: Planta de tratamiento de aguas residuales Los Merinos - ciudad de Guayaquil.....	88
	Anexo 2: Resultados de los 3 ensayos de permeabilidad .....	89

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Aguas residuales .....	5
<b>Figura 2:</b> Lodo residual .....	6
<b>Figura 3.</b> <i>Tratamientos de lodos activados y residuales</i> .....	6
<b>Figura 4:</b> <i>Biosólido</i> .....	12
<b>Figura 5:</b> <i>Cal</i> .....	18
<b>Figura 6:</b> <i>Cal hidráulico</i> .....	20
<b>Figura 7:</b> <i>Arcilla</i> .....	21
<b>Figura 8:</b> <i>Relleno sanitario</i> .....	24
<b>Figura 9:</b> Relleno sanitario manual .....	26
<b>Figura 10:</b> Relleno Sanitario Semi-Mecanizado.....	26
<b>Figura 11:</b> Relleno Sanitario Mecanizado .....	26
<b>Figura 12:</b> Contaminación del suelo .....	27
<b>Figura 13:</b> PTAR Los Merinos.....	42
<b>Figura 14:</b> Pasteurización del biosólido .....	42
<b>Figura 15:</b> Digestión anaerobia y Aerobia .....	43
<b>Figura 16:</b> Expulsión del Biosólido.....	43
<b>Figura 17:</b> Obtención del Biosólido .....	44
<b>Figura 18.</b> Material Biosólido .....	44
<b>Figura 19:</b> Material Cal Hidráulica .....	44
<b>Figura 20:</b> Material Arcilla .....	45
<b>Figura 21:</b> Bascula digital .....	45
<b>Figura 22:</b> Recipientes .....	45
<b>Figura 23:</b> Espátula .....	46
<b>Figura 24:</b> Molde para prueba de compactación Proctor modificado .....	46
<b>Figura 25:</b> Martillo.....	46
<b>Figura 26:</b> Equipo de permeabilidad .....	47
<b>Figura 27:</b> Papel Filtrador .....	47
<b>Figura 28:</b> Implantación de los materiales para la medición del peso.....	49
<b>Figura 29:</b> <i>Cálculo del peso de los materiales 20 % biosólidos con cal y 80% arcilla</i> .....	49
<b>Figura 30:</b> Preparación de muestra de los materiales 20 % biosólidos con cal y 80% arcilla.....	50
<b>Figura 31:</b> Peso del cilindro sin material.....	50
<b>Figura 32:</b> Recolección e implantación de la muestra de los materiales al cilindro.....	51
<b>Figura 33:</b> Compactación mecánica .....	51
<b>Figura 34:</b> <i>Tallado de la Probeta</i> .....	52
<b>Figura 35:</b> Peso del cilindro con el material. ....	52
<b>Figura 36:</b> Unión del collar con el molde.....	53
<b>Figura 37:</b> Aplicación de agua constante sobre la mezcla .....	53
<b>Figura 38:</b> Implantación de los materiales para la medición del peso .....	54
<b>Figura 39:</b> Cálculo del peso de los materiales 40 % biosólidos con cal y 60% arcilla.....	54
<b>Figura 40:</b> Preparación de muestra de los materiales 40 % biosólidos con cal y 60% arcilla ...	55
<b>Figura 41:</b> Peso del cilindro sin material.....	55
<b>Figura 42:</b> Implantación de la muestra de los materiales al cilindro.....	56
<b>Figura 43:</b> Compactación mecánica y tallado de probeta .....	56
<b>Figura 44:</b> Peso del cilindro con el material. ....	57
<b>Figura 45:</b> Unión del collar con el molde.....	57

<b>Figura 46:</b> Aplicación de agua constante sobre la mezcla .....	58
<b>Figura 47:</b> Implantación de los materiales para la medición del peso: .....	58
<b>Figura 48:</b> Cálculo del peso de los materiales 60 % biosólidos con cal y 40% arcilla.....	59
<b>Figura 49:</b> Preparación de muestra de los materiales 60 % biosólidos con cal y 40% arcilla...	59
<b>Figura 50:</b> Peso del cilindro sin material.....	60
<b>Figura 51:</b> Implantación de la muestra de los materiales al cilindro.....	60
<b>Figura 52:</b> Compactación mecánica .....	61
<b>Figura 53:</b> Peso del cilindro con el material .....	61
<b>Figura 54:</b> Unión del collar con el molde.....	62
<b>Figura 55:</b> Aplicación de agua constante sobre la mezcla .....	62
<b>Figura 56:</b> Primer Resultado de Permeabilidad.....	63
<b>Figura 57:</b> Segundo Resultado de Permeabilidad .....	64
<b>Figura 58:</b> Tercer Resultado de Permeabilidad. ....	65
<b>Figura 59:</b> Formula de coeficiente de Permeabilidad .....	65
<b>Figura 60:</b> Promedio de permeabilidad de los tres ensayos .....	69

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Linea de investigación de FIIC.....	3
<b>Tabla 2:</b> Características físicas del lodo residual .....	8
<b>Tabla 3:</b> Caracterización química del lodo residual.....	9
<b>Tabla 4:</b> Recuento de aerobios mesófilos y coliformes en el lodo residual .....	10
<b>Tabla 5:</b> Contaminantes de los Biosólidos .....	14
<b>Tabla 6:</b> Uso de biosólidos .....	15
<b>Tabla 7:</b> Análisis de toxicidad .....	16
<b>Tabla 8 :</b> Uso de biosólido en el ámbito de la construcción .....	17
<b>Tabla 9:</b> Limites de Patógenos en biosólidos .....	31
<b>Tabla 10:</b> Usos permitidos para biosólidos de clase A y B.....	31
<b>Tabla 11:</b> Variable de caracterización de Biosólidos para su uso .....	33
<b>Tabla 12:</b> Valores máximos permisibles de categorización de biosólidos para su uso .....	34
<b>Tabla 13:</b> Límites máximos permisibles para metales pesados en Biosólidos .....	36
<b>Tabla 14:</b> Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos .....	37
<b>Tabla 15:</b> Aprovechamiento de Biosólidos .....	37
<b>Tabla 16:</b> Primer Armado de Muestras .....	47
<b>Tabla 17:</b> Segundo Armado de Muestras .....	48
<b>Tabla 18:</b> Tercer Armado de Muestras.....	48
<b>Tabla 19:</b> Peso, área y volumen del cilindro de la primera muestra .....	66
<b>Tabla 20:</b> Calculo de la Primera muestra de porcentaje de humedad .....	66
<b>Tabla 21:</b> Peso, área y volumen del cilindro de la segunda muestra.....	67
<b>Tabla 22:</b> Calculo de la segunda muestra de porcentaje de humedad .....	67
<b>Tabla 23:</b> Peso, área y volumen del cilindro de la Tercera muestra.....	68
<b>Tabla 24:</b> Calculo de la tercera muestra de porcentaje de humedad .....	68
<b>Tabla 25:</b> Masa de los materiales .....	70
<b>Tabla 26:</b> Densidad del Biosólido .....	71
<b>Tabla 27:</b> Densidad de la Cal Hidráulico.....	71
<b>Tabla 28:</b> Densidad de la Arcilla.....	72

<b>Tabla 29:</b> Volumen del Biosólido .....	73
<b>Tabla 30:</b> Volumen de la cal Hidráulico.....	73
<b>Tabla 31:</b> Volumen de la Arcilla .....	74
<b>Tabla 32:</b> Volumen detallado de Cada Material .....	74
<b>Tabla 33 :</b> Volumen, Área y Longitud de la Muestra .....	75
<b>Tabla 34:</b> Presupuesto para 1m <sup>3</sup> volumen de la muestra .....	77
<b>Tabla 35:</b> Beneficio Ambiental .....	79

## **INTRODUCCION**

A nivel mundial, la degradación del medio ambiente es un problema, debido a la falta de preocupación y de cultura sobre este tema que cada día avanza más en la sociedad, el crecimiento de la población y las necesidades del agua para el uso doméstico e industrial dan paso al crecimiento de las aguas residuales, actualmente las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) cada día son más necesarias debido a la carencia de fuentes de las aguas limpias.

Debido al incremento de biosólidos que nacen de los tratamientos de agua residuales, se desea evaluar la reutilización del biosólidos mezclado con la cal hidráulico para el uso de las capas de recubrimientos diarios en rellenos sanitarios.

La presente investigación desea evaluar el contenido de materia orgánica (biosólidos), debido a que el flamante proyecto estudia el uso de biosólidos y su mezcla con la cal hidráulico para ser usados como recubrimientos diarios en los rellenos sanitarios, por ende, permita lograr la disminución de la arcilla.

Es claro que se debe fortalecer el uso de materiales reutilizables para la construcción, dado que es necesario para las siguientes generaciones; aunque las evoluciones de las sociedades y del mundo es inevitable e ineludible, también es necesario encontrar soluciones y herramientas que vayan de la mano con el cuidado del medio ambiente y el progreso de las sociedades futuras.



# **CAPÍTULO I**

## **DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

### **1.1 Tema**

Biosólidos con cal hidráulico para el uso de recubrimientos en rellenos sanitarios

### **1.2 Planteamiento del Problema**

El cambio y mejora en una sociedad no es un problema, al contrario, es indudablemente vital que las sociedades progresen y se adapten de acuerdo con las circunstancias que las ameriten. Sin embargo, el problema comienza cuando el ser humano no es consciente de que el planeta, la naturaleza y los recursos no le pertenecen, de hecho, la humanidad debe considerarse como huésped del ecosistema, el cual, debe tener que comportarse y cuidar los recursos naturales y darles el uso a materiales reutilizables.

El crecimiento de una población en las ciudades, y los aumentos de plantas de tratamientos de aguas para dichas ciudades, dan como consecuencia el crecimiento de los lodos residuales, el cual por medios de fases de estabilización de dichos lodos residuales se da un subproducto llamado biosólidos, por consiguiente, son desechados en vertederos o rellenos sanitarios sin beneficios alguno.

Hoy en día en el Ecuador la mala implementación de las capas de recubrimientos diarios en los rellenos sanitarios se da por no respetar los principios básicos como el control de fluidos y lixiviados resultantes de la descomposición de sólidos, así como de gases que pueden ser nocivos para los acuíferos y el medio ambiente.

### **1.3 Formulación del Problema**

¿Cómo podríamos mejorar las capas de recubrimiento diario de rellenos sanitarios mediante la reutilización de biosólidos con cal hidráulico?

### **1.4 Objetivo General**

Proponer el biosólido con cal hidráulico, para el uso de recubrimientos en rellenos sanitarios.

## 1.5 Objetivo Específicos

- Reutilizar el biosólido producido de la planta de tratamiento de aguas residuales los Merinos para el uso de capas de recubrimientos en rellenos sanitarios.
- Analizar el comportamiento de la arcilla con la mezcla del biosólido y cal hidráulico en base a su permeabilidad en diferentes proporciones.
- Describir el beneficio ambiental al reutilizar el biosólido como material de recubrimiento en rellenos sanitarios.

## 1.6 Hipótesis

¿El biosólido mezclado con la cal hidráulico lograra ser un excelente acompañante de la arcilla para los recubrimientos de rellenos sanitarios?

## 1.7 Variable dependiente

Biosólidos con cal hidráulico.

## 1.8 Variable Independiente

Uso de recubrimientos en rellenos sanitarios.

## 1.9 Línea de Investigación

**Tabla 1:** Línea de investigación de FIIC.

<i>Dominio</i>	<i>Línea institucional</i>	<i>Líneas de Facultad</i>
<i>Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.</i>	Territorio	Ordenamiento territorial.

**Nota:** Esta tabla hace mención la línea de investigación que respalda este proyecto

**Fuente:** (Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.)

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1.1 *Antecedentes Históricos*

Los seres humanos a lo largo de su historia se han preocupado por los patógenos transferidos a través del agua contaminada, sin embargo, la repugnancia humana al agua que huele y se ve de mal aspecto, el cual, debe haberse desarrollado en el curso de la evolución biológica y cultural humana.

El principal subproducto de las plantas de tratamiento de aguas residuales son los lodos, ya que el volumen generado es grande comparado con otros subproductos y requiere un tratamiento adicional, proviene de las etapas de tratamiento primario y secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales. (García Bello, 2021).

A nivel mundial, la producción de lodos es motivo de preocupación, por lo que es importante encontrar alternativas al uso sobre estos lodos. Usualmente en América Latina, las plantas de tratamiento de aguas residuales se desarrollan biosólidos de manera rápida, dado que es el resultado del tratamiento para estabilizar la menoración de estos lodos, por lo que son usados: en los bosques, mantillo final o intermedio para rellenos sanitarios, materia prima en la preparación de materia orgánica y abonos, además, de uso en agricultura, ganadería y siembra en biorremediación de suelos, etc. (Gómez , 2020).

Para entender la utilidad de los biosólidos, el cual, es provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, es indispensable contextualizar las bases teóricas involucradas, en las cuales se presentan aspectos relevantes, por ejemplo, la fuente, disposición actual, criterios regulatorios, clasificación y aplicaciones disponibles. Por tal motivo, en este capítulo se describirán todos los aspectos antes mencionados, dando paso a los criterios necesarios para el proyecto.

#### 2.1.2 *Aguas residuales*

Las aguas residuales locales o aguas domésticas: proviene de servicios de salud humana, que contienen heces, orina, nutrientes y materiales orgánicos, incluso contaminantes derivados de productos, además, acceso a redes de higiene.

- Aguas blancas: Proviene de la penetración de lluvia y tienen bajos niveles de contaminación, aunque pueden contener polvo, arcilla y ramas.
- Aguas residuales industriales: Es creada por las operaciones que se realizan en fábricas o instalaciones industriales, y tienen componentes heterogéneos debido a sus propiedades dependiendo del campo que se produzca.
- Las aguas residuales agrícolas: Se crea en las zonas rurales a través del trabajo agrícola completado, y los principales contaminantes son los nutrientes de pesticidas, pesticidas y fertilizantes químicos utilizados para mejorar la calidad de la tierra. (Bastidas Cevallos & Martínez Quimbiulco, 2022)..



**Nota:** Tratamiento de aguas residuales, elemento necesario en una economía circular.

**Figura 1** Aguas residuales

**Fuente:** (Rodríguez, 2018)

### 2.1.3 Lodos residuales

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en las plantas domésticas, la mayor parte de los lodos se producen debido al alto caudal de aguas residuales tratadas. Este lodo suele consistir en materia orgánica sumergida en agua y depende del tipo y funcionamiento de la planta de tratamiento. El lodo se procesa después de una serie de pasos como cribado, desincrustado y desengrasado, por lo que es necesario un tratamiento adecuado para eliminar los contaminantes u otros aspectos nocivos. Por lo tanto, existen varios tratamientos principales de lodos, llamados tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y sus procesos físicos como químicos (Andrade & Solórzano, 2021).



**Nota:** Los lodos consisten en una mezcla de agua y sólidos separada del agua residual, como resultado de procesos naturales o artificiales.

**Figura 2:** Lodo residual

**Fuente:** (Universidad D Cordoba, 2014)

### 2.1.3.1 Tratamiento de lodos residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales juegan un papel importante en el tratamiento, desinfección y reutilización de las aguas residuales domésticas. En general, los procesos de tratamiento de aguas residuales son los siguientes:

- Tratamiento primario (eliminación de sólidos en suspensión): Procesos físicos como tamizado, sedimentación y flotación.
- Tratamiento secundario (eliminación de materia orgánica disuelta): Procesos biológicos que incluyen la oxidación biológica de materia orgánica en tanques de aireación (por ejemplo, tanques de lodos activados).
- Tratamiento terciario (eliminación de nutrientes): Procesos biológicos como la digestión anaeróbica acompañada de nitrificación y desnitrificación. Los procesos físicos y químicos implicaron la coagulación con sales de aluminio y hierro (De La Portilla López, 2021).



**Nota:** El tratamiento de lodos se encarga de que los lodos resultantes del tratamiento primario o producido en las plantas tratadoras de aguas residuales,

**Figura 3.** Tratamientos de lodos activados y residuales

**Fuente:** (Tito, 2020)

### ***2.1.3.2 Caracterizaciones generales de los lodos residuales.***

El resultado del proceso de estabilización entre la relación de la materia orgánica que se presenta en los lodos, el cual nace principalmente en las (PTAR) contiene diferentes propiedades tanto físicas, como químicas y microbiológicas, además no tiene en cuenta los residuos que fue removido de ciertos procesos de sus etapas anteriores.

*Es lo que resulta de un proceso de estabilización entre una relación de materia orgánico que se evidencia en los lodos y se observa principalmente en el tratamiento de aguas. Estos tienen diferentes características como físicas, químicas y microbiológicas, así como Los residuos que se eliminan de determinados equipos por fases no se consideran (Ávila Benito, 2020).*

Con lo expuesto en el argumento anterior, estos lodos tratados contienen una mejor calidad en sus propiedades, el cual es utilizado para distintos usos (Ávila Benito, 2020).

#### ***2.1.3.2.1 Características físicas.***

Las propiedades físicas determinan el manejo de los lodos y esta es una de las variables preferidas en la elección de un sistema de aguas residuales. Lo más importante de los lodos es:

- **Temperatura:** Ajusta la solubilidad de las sustancias en las aguas residuales y permite la regulación de la actividad química y biológica
- **Gravedad Específica:** Es la unidad de densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) y se utiliza para determinar el volumen y la masa de los lodos vertidos.
- **Concentración de sólidos:** Mide la fracción de masa de sólidos totales en relación con la masa total de lodo en un volumen dado
- **Capacidad de sedimentación:** Este es el índice de volumen de lodo (IVL) y se representa en milímetros por un gramo de lodo que se asienta en 30 minutos.
- **Humedad:** Suele expresarse de dos formas: en base húmeda y base seca.
- **Valor calorífico:** La energía total liberada durante la combustión por los reactivos (aire combustible) a 298 K y una presión atmosférica, utilizando la relación de peso de los reactivos.

- PH: El parámetro que afecta la presencia de microorganismos responsables de la estabilidad de la materia orgánica durante la bioestabilización (Torres Valencia, 2019).

**Tabla 2:** *Características físicas del lodo residual*

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>
<i>Humedad</i>	%	89,98
<i>Proteínas</i>	%	0,52
<i>Acidez</i>	%	1,34
<i>TVB-N</i>	%	48,51
<i>Densidad</i>	gr/ml	1,118
<i>pH</i>		7,2
<i>Conductividad</i>	dS/m	1,51
<i>Eléctrica</i>		
<i>Materia Orgánica</i>	%	3,8

**Nota:** La tabla muestra las alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Fuente:** (Castillo, Balarezo, Vines, & Zambrano, 2020)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### **2.1.3.2.2 Características Químicas.**

Es importante conocer los compuestos y otras variables que limitan el uso de lodos para determinados fines, por esta razón, los compuestos más interesantes son los metales tóxicos, la bioacumulación, los nutrientes y la materia orgánica:

- Nutrientes: Se compone principalmente de macronutrientes como el carbono, nitrógeno, azufre, potasio y fósforo, además de micronutrientes como zinc, hierro y cobre; Todos utilizados por las plantas para el crecimiento.
- Metales pesados: Conformados por compuestos químicos inorgánicos que, en bajas cantidades, son esenciales o nocivos para las plantas o los animales.

- Materia orgánica: La porción de materia orgánica en los biosólidos es elevada, pero esta varía dependiendo del condicionamiento al que se someta el lodo antes de su aplicación.
- Materia orgánica: La proporción de materia orgánica dentro de los biosólidos es alta, pero varía según las condiciones a las que se expone el lodo antes de adaptación (Torres Valencia, 2019).

**Tabla 3:** *Caracterización química del lodo residual*

*Concentración límite (mg/kg en base seca)*

<i>Metales</i>	<b>Valor</b>	<b>USEPA</b>	<b>Direct. Europea</b>	<b>Norma Ofi.Mex.</b>	
				<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>
<i>Cadmio</i>	0,3	39	20	39	85
<i>Mercurio</i>	< 0,25	17	16	17	17
<i>Plomo</i>	< 0,25	300	750	300	840
			Acidez	TVB-N	Materia Orgánica
	Humedad	Proteínas			
	<b><i>Parámetro</i></b>				

**Nota:** Se presentan en la tabla las alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Fuente:** (Castillo, Balarezo, Vincés, & Zambrano, 2020)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### ***2.1.3.2.3 Características Microbiológicas.***

Los lodos residuales que contienen bacterias, virus, protozoos, parásitos y otros microorganismos; Algunos de ellos pueden causar enfermedades, pero otros son útiles.

Los principales tipos de microorganismos presentes en los diferentes tipos de lodos son:



- Bacterias: Son organismos unicelulares de diversas formas (cocos, bacilos, flagelos, hifas), pertenecientes al grupo de bacterias que se encuentran en los lodos de depuradora, y son heterótrofas.
- La saprofitas: Se alimentan de materia muerta o en descomposición, por lo que son elementos importantes para el reciclaje de nutrientes.
- Hongos: Son heterótrofos, cuando se alimentan obtienen su alimento de materia orgánica muerta o como parásitos que se alimentan de hospedadores vivos.
- Parásitos: Son organismos que dependen de otro organismo, llamado huésped, porque necesitan recibir alimentos que han sido preparados para su consumo. Los parásitos en los lodos de aguas residuales provienen de los intestinos de humanos y animales que vierten sus heces en las aguas residuales (Torres Valencia, 2019).

**Tabla 4:** Recuento de aerobios mesófilos y coliformes en el lodo residual

<i>Criterio</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>US EPA</i>	<i>Norma Ofi.Mex.</i>
<i>Aerobios mesófilos</i>	UFC/gr	7X10 <sup>6</sup>	-	
<i>Coliformes Totales</i>	UFC/gr	6,7X10 <sup>4</sup>	-	
<i>Coliformes Fecales</i>	UFC/gr	2,4X10 <sup>4</sup>	Clase A 100 Clase B <2x10 <sup>6</sup>	Clase A < 100 Clase B < 100 Clase C < 100

**Nota:** En la tabla 4 se muestran las alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales

**Fuente:** (Castillo, Balarezo, Vines, & Zambrano, 2020)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 2.1.3.3 Métodos comunes de eliminación de lodos residuales

El manejo seguro de los lodos residuales es un desafío global, sin embargo, los principales métodos de eliminación y uso completo actualmente incluyen la incineración, el relleno sanitario, el vertido al mar y el uso de la tierra, por consiguiente, este uso final es de gran importancia como enmienda del suelo, reciclaje y reutilización de nutrientes, debido a que, posee carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y oligoelementos que necesitan las plantas, además de su potencial como fuente de materia orgánica. Tradicionalmente se

desecha en vertederos municipales sin beneficio alguno, al presente, se buscan usos alternativos amigables con el medio ambiente, ya que representan una gran cantidad de biomasa potencialmente valiosa (Bastidas Cevallos & Martínez Quimbiulco, 2022).

- **Energía:** Estos lodos producen un subproducto llamado biogás, además de liberar energía y metabolizar la materia orgánica en metano, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua. El lodo convertido se puede utilizar para producir electricidad, convirtiendo así la energía química del biogás del 38% al 39% en energía eléctrica.
- **Construcciones:** En los materiales de construcción sugieren utilizar los lodos restantes como materia prima para materiales como cemento, acero, hierro y ladrillos. Por lo tanto, contribuye al fortalecimiento de su estructura mecánica por auto integración en ella, los metales pesados se eliminan por el hecho de que para fabricar estos materiales se requiere horneado a alta temperatura, por esta razón puede ser un peligro, el cual, debe manejarse durante el procesamiento.
- **Agricultura:** En la agricultura los lodos decantados no contienen elementos tóxicos, metales pesados ni microorganismos patógenos que supongan una amenaza para las plantas y por tanto para el ser humano. En la composición de estos sólidos, hay minerales que ayudan a promover el crecimiento, la reproducción y la fructificación de las plantas, que se pueden utilizar como fertilizante natural para que las plantas obtengan un ambiente de crecimiento ideal, mejoren los rendimientos y reduzcan el uso de fertilizantes de productos químicos el cual tienen un efecto nocivo sobre el medio ambiente. Por ende, se utiliza como materia prima para la producción de biofertilizantes.

Es menos probable que los nutrientes de los lodos sedimentados de origen orgánico sean arrastrados por las aguas superficiales o subterráneas porque son menos solubles (debido al patrón de enlace covalente), una característica que difiere de los fertilizantes inorgánicos (Bastidas Cevallos & Martínez Quimbiulco, 2022).

#### 2.1.4 *Biosólidos*

Con una mejor comprensión del origen de los biosólidos y gracias a los conceptos vistos anteriormente, es posible comprender mejor la definición relevante de biosólidos. De acuerdo Gómez Morales 2020, (como se citó en Dauguer 2003) ”Los *biosólidos* son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos

*provenientes del tratamiento de las aguas residuales* (pág. 6)”. La estabilización se lleva a cabo para reducir la patogenicidad, su fermentabilidad y la capacidad para atraer vectores. Gracias a este proceso, los biosólidos son aptos para usos agrícolas, forestales, y para la rehabilitación de suelos degradados (Vasquez & Vargas, 2018).



**Nota:** *Los biosólidos, conocidos también como aguas residuales tratadas, son un subproducto de aguas de desecho y estiércol humano especialmente tratado, estabilizado y desinfectado.*

**Figura 4:** *Biosólido*

**Fuente:** (Williams, 2021)

### **2.1.4.1 Clasificación de los biosólidos**

Los biosólidos se clasifican en:

- Grado A
- Grado B

#### **2.1.4.1.1 Los biosólidos de grado A**

Conocidos como calidad excepcional, tienen una densidad bacterianas inferior a 1000 NMP/g de sólidos totales, debido a su alto valor nutricional (materia orgánica, fósforo, nitrógeno, así como oligoelementos como zinc, níquel, cobre), que se puede usar, sin prohibición, como un suplemento orgánico sin humedad en la agricultura, corrigiendo la estructura y textura del suelo, mejorando la absorción de agua y nutrientes para las plantas, garantizando un mejor crecimiento de los cultivos y reducir los costos debido al uso de fertilizantes.

También, puede ser utilizado como acondicionador de suelos en áreas verdes como cementerios, medianeras, canchas de golf, espacios abiertos, parques, jardines frontales,

patios, ornamentales y árboles. Además, pueden realizar los mismos usos que los biosólidos con clasificación B (Manjarrés, Castellanos , Galvis , & Merchan, 2021).

#### ***2.1.4.1.2 Los biosólidos de grado B***

Biosólidos Clase B: Por otro lado, estos biosólidos tiene una densidad de coliformes fecales menor a  $2 \times 10^6$  NMP/g de sólidos totales, lo que indica que debe ser manipulado además de tener limitaciones en ciertas restricciones de uso.

Pueden ser utilizados principalmente en la rehabilitación de suelos degradados, en capas biológicas para el tratamiento y drenaje de gases, como soportes físicos y como sustratos biológicos en sistemas de filtración, absorción y desorción, además, como insumo en la producción de materiales de construcción, por ende, en la estabilización de taludes en proyectos de redes viales, en operaciones de rehabilitación y paisajismo. En la cobertura de rellenos sanitarios y en operaciones de recuperación de energía por su alto poder calorífico, los residuos biosólidos constituyen una excelente fuente para el desarrollo de alternativas a la combustión y para la valorización energética (Manjarrés, Castellanos , Galvis , & Merchan, 2021).

#### ***2.1.4.2 Disposición de biosólidos.***

El producto biosólido del tratamiento de aguas residuales o lodos residuales ha representado un problema para operarios de las plantas de tratamiento en los municipios, la contaminación con metales, organismos patógenos, y en general por la dificultad para convertir este producto en una materia prima útil. La tecnología ha avanzado en los últimos años, permitiendo ahora convertir esos lodos en biosólidos, disminuyendo olores desagradables, mejorando su composición y secado, ofreciendo un producto útil para la comunidad, ya sea como fertilizante agrícola u ornamental, sustrato para canchas de golf, remediación de suelos de minería o rellenos sanitarios, material de construcción e incluso producción energética.

ETAPA EP sensible ante la necesidad de un manejo sustentable de agua de la ciudad, y considerando las tendencias actuales de la industria de manejo de biosólidos, está convencida que debe optarse por una gestión de los biosólidos que permitan su tratamiento, recuperación, reutilización y aprovechamiento como un recurso que genere beneficios a la empresa y a la comunidad. Por lo tanto, ETAPA EP ve la necesidad de

identificar alternativas al uso de los biosólidos y disminuir o eliminar la dependencia de la disposición en un relleno sanitario o en un mono relleno (Julio, 2019).

### 2.1.4.3 Contaminante de los biosólidos

Existe una gran variedad sobre los contaminantes de los biosólidos, entre los cuales tenemos:

**Tabla 5:** Contaminantes de los Biosólidos

<i>Contaminante</i>	<i>Descripción</i>
<i>Metales</i>	Se compone de Cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) cobre (Cu) zinc (Zn) y níquel (Ni) estos se encuentran en proporciones bajas, aunque están presentes. Las concentraciones mayores se obtienen de aguas residuales industriales.
<i>Materia Orgánica</i>	El riesgo a volverse peligroso radica en la eutrofización que pueden tener las aguas superficiales y subterráneas estos podrían considerarse como fertilizantes importantes tal como sucede con la materia orgánica.
<i>Contaminante Orgánico</i>	Tienden a acumularse en los lodos, plaguicidas, colorantes, los cuales son motivos de preocupación por el impacto ambiental que estos generan y a su vez con la salud humana, aunque la OMS afirma que no es un riesgo potencial para la salud humana, las investigaciones aun ni dan un panorama claro frente al tema
<i>Agentes Patógenos</i>	Los patógenos encontrados son los virus, protozoos, cestodos y los nematodos, desechos hospitalarios y funerarios pueden elevar su contenido. Para que el vertido sea seguro es importante y se recalca la eliminación, eficaz de dichos contaminantes independientemente del proceso que tenga

**Nota:** Descripción de los tipos de contaminantes. Por Ávila L, 2020 a partir de Zuluaga (2007)

**Fuente:** (Ávila Benito, 2020)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 2.1.4.4 Usos generales del biosólido

El Biosólido es un material muy poco reutilizable, debido a sus propiedades físicas, químicas y microbióticas, por ende, lo lleva a diversos usos específicos como son:

**Tabla 6:** *Uso de biosólidos*

*USO DE BIOSÓLIDOS*

<i>Uso Agrícola</i>
<i>Uso Forestal</i>
<i>Suelos Degradados</i>
<i>Áreas de Ornato y recreacon</i>
<i>Materia prima en elaboración de abonos</i>
<i>Coberturas de rellenos sanitarios</i>
<i>Inoculantes en biorremediación de suelos</i>
<i>Elaboración de materiales de construcción</i>

**Nota:** La tabla 6 describe los usos del biosólido por Ávila L, 2020 a partir Molina et al (2017) y Zuluaga (2007)

**Fuente:** (Ávila Benito, 2020)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

#### **2.1.4.5** *Uso de Biosólidos en restauración de suelos*

Los desechos sólidos son un subproducto de las operaciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales y se caracterizan por contener todas las sustancias extraídas (PTAR). En las distintas regiones como los países en evolución, se ha descuidado la gestión de los desechos biosólidos y, a menudo, se los deja sin tratar porque se tiran directamente en el suelo o en las masas de agua. Para hacer frente al agotamiento de los recursos naturales debido al crecimiento de la población, los biosólidos en sí mismos podrían ser una solución disponible para dicho agotamiento (Ávila Benito, 2020).

##### **2.1.4.5.1** *Difusión de Biosólidos en la restauración de suelos*

La difusión de biosólidos en el suelo brinda beneficios significativos al proporcionar materia orgánica, nitrógeno, fósforo y los micronutrientes. Esenciales al entorno del suelo. Sin embargo, los biosólidos pueden poseer altas concentraciones de

contaminantes, según la fuente y el tratamiento de los desechos, por lo que su uso como fertilizante aumenta el riesgo de contaminación del suelo (Quinchía & Carmona, 2004).

**Tabla 7:** *Análisis de toxicidad*

<i>Metales</i>	<i>Método de Análisis</i>	<i>Biosólido TCLP-Lixiviación mg/l</i>	<i>Límite de detección mg/l</i>	<i>Regulación EPA 40 CFR 261 mg/l</i>
<i>Arsénico</i>	Polarografía	Menor 0,0005	0,0005	5,0
<i>Bario</i>	A.A.*	menor 0,05	0,04	100,0
<i>Cadmio</i>	A.A.	menor 0,0005	0,0005	1,0
<i>Cromo</i>	A.A.	4,34	0,003	5,0
<i>Mercurio</i>	A.A.VF**	menor 0,065	0,065	0,2
<i>Níquel</i>	A.A	0,491	0,005	
<i>Plomo</i>	A.A	1,04	0,001	5,0
<i>Plata</i>	A.A.	menor 0,01	0,01	5,0
<i>Selenio</i>	Polarografía	menor 0,005	0,005	1,0
<i>Corrosividad, pH</i>		8,35		Entre 2 y 12
<i>Ignición</i>		NO		
<i>Reactividad</i>		NO		
<i>Inflamabilidad</i>		NO		

\*A.A. Absorción atómica

\*\* VF Técnica de vapor frío.

**Nota:** Análisis de toxicidad por lixiviación, reactividad, corrosividad e inflamabilidad del biosólido utilizado para el ensayo de disposición superficial en suelos.

**Fuente:** (Quinchía & Carmona, 2004)

**Elaborado:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

#### **2.1.4.5.2** *Uso de Biosólido como aditivos orgánicos en la restauración de suelos*

La materia orgánica ayuda a las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo. Por lo tanto, la incorporación de aditivos orgánicos como biosólidos puede ayudar a restaurar la fertilidad del suelo. Con fines de restauración, se utilizan como fuente de materia orgánica que puede estimular la actividad microbiana en el suelo, por lo que lo utilizan como acondicionadores del mismo. Entre los beneficios que se obtienen de las propiedades bioquímicas del suelo cuando se incorpora como enmienda orgánica se encuentran:

Agregar suplementos orgánicos como biosólidos al suelo aumenta el contenido de carbono de la biomasa microbiana. Estos aumentos pueden deberse al crecimiento de microorganismos del suelo en respuesta a la presencia de C y/o suplementos microbianos disponibles a través de biosólidos, ya que proporcionan nuevas fuentes de energía que influyen directamente en las poblaciones y actividades microbianas del suelo.

La incorporación de biosólidos estimuló el crecimiento de C-CO<sub>2</sub>, lo que indica un aumento en la mineralización de C y la actividad microbiana en general, debido a la cantidad de C agregado al suelo, mostrando un efecto positivo en esta propiedad bioquímica debido a la adición de estos biosólidos.

### 2.1.4.6 *Uso de biosólido en el ámbito de la construcción*

En el ámbito de la construcción existe la reutilización del biosólido en estos factores.

**Tabla 8 :** *Uso de biosólido en el ámbito de la construcción*

<i>Tecnología</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Material de cobertura para rellenos sanitarios</i>	Costos bajos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad del material y distancia hasta el relleno sanitario.</li> <li>• Requerimientos de permisos para transporte y disposición.</li> <li>• Incremento del volumen de lixiviados si el biosólido presenta alto porcentaje de humedad.</li> </ul>
<i>Elaboración de materiales de construcción (ladrillos, cerámicas, cementos)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reincorporación de materiales residuales en procesos productivos.</li> <li>• Reducción de riesgos por exposición al material residual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El biosólido debe tener una humedad inferior al 20%.</li> <li>• Representa altos costos de implementación.</li> </ul>

**Nota:** Se presenta las ventajas y desventajas a nivel mundial, nacional y regional de las diferentes tecnologías a la hora de incorporar el biosólido en el proceso

**Fuente:** (Torres Valencia, 2019)

**Elaborado por.** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)



### 2.1.5 Cal

La cal ha sido importante durante miles de años, y su uso principal en la arquitectura antigua probablemente se deba a su abundante disponibilidad. Se obtiene por deshidratación, por cocción, caliza más o menos pura. Origen de la calcinación, la “cal viva”, cuyo componente primordial es el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), elemento que reacciona violentamente al contacto con el agua, alcanza una temperatura de hasta  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , razón por la cual la encontramos tan a menudo en el mercado. Como la "cal apagada", que se compone principalmente de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (Roselló, Oriol & Alcindor, Mónica, 2012) (Sánchez Bonilla & Oropesa Hernández, 2019).

Se ha trabajado tradicionalmente con la cal aérea, el cual, se obtiene calentando piedras de carbonato cálcico muy puras. Estas cales nos advierten que cuando queremos conseguir productos más impermeables o más duraderos, el cual se debe mezclar esta cal aérea con puzolana natural de un tipo extra, que no es más que cerámica quemada a temperaturas bajas, en forma de polvo.

Si la cal proviene de quemar una roca menos pura, con mayor contenido de arcilla, marga, etc., entonces se obtiene cal donde ya se ha formado algo de silicato de calcio (y aluminato de calcio) sobre la propia cocción de la cal. Por tanto, en este apartado, la mera adición de agua formará compuestos estables de tipo silicato de calcio hidratado. Esta capacidad de formar hidrólisis, la llamamos hidrodinámica. El resto de materiales, que no contienen compuestos arcillosos, reaccionarán con el dióxido de carbono en la conocida reacción de carbonatación (aérea) (Rosell Amigó & Bosch González, , 2018).



**Nota:** La cal es el producto de la materia prima que se llama piedra caliza, la cual tiene el componente de carbonato cálcico y carbonato magnésico.

**Figura 5:** Cal

**Fuente:** (Mycal , 2019)

### **2.1.5.1 Cal Hidráulico**

El proceso de cal hidráulica se inició en Francia en 1821. El cálculo de caliza con un contenido de arcilla del 8 al 20 % produce cal hidráulica natural, el cual es caracterizado por su habilidad de endurecerse al aire y también en lugares donde falta CO<sub>2</sub>, por ejemplo, bajo el agua. Esta propiedad de fraguado sin CO<sub>2</sub> se denomina hidrodinámica.

*“La cal hidráulica fue creada en Francia en 1821. La cocción de una roca caliza con un contenido entre un 8 y un 20% de arcillas da lugar a la cal hidráulica natural. Esta cal se caracteriza por su capacidad para fraguar en ambientes aéreos, así como en lugares con escasez de CO<sub>2</sub>, como por ejemplo debajo del agua. A dicha propiedad de fraguado sin CO<sub>2</sub> se la denomina hidraulicidad”* (Mariño, 2018, pág. 20).

De acuerdo con el argumento anterior, la cal hidráulica fue descubierta a principios del siglo XIX, por consiguiente, ha sido un material indispensable para las construcciones dado a sus características de fraguar en distintos ambientes. Por consiguiente, la cal hidráulica puede ser natural, el cual, se adquiere a partir de calizas que contienen silicatos, o sintética, agregando productos hidráulicos a la cal viva, esta cal hidráulica generalmente no se clasifica por composición, sino por resistencia (compresión, a los 28 días) (Mariño, 2018).

Posee la capacidad de endurecerse en un ambiente con poco aire, además que sus propiedades hidráulicas se deben a la presencia de silicatos y alúmina. También se le conoce como cemento romano; cuando el Imperio Romano requería cal para "fraguara" bajo el agua, como en la construcción de ríos y lagos, se notó que esta se obtenía agregando arcilla. Así se descubrió la cal hidráulica (Velázquez Vertti & Cuan Alarcón, 2019).

### **2.1.5.2 Aplicaciones de la Cal Hidráulico**

La cal hidráulica se ha utilizado como aglomerante en morteros patrimoniales desde la antigüedad. La selección y preparación del adhesivo, la elaboración y aplicación del primer mortero de cal se hizo por ensayo, el cual, los conocimientos adquiridos se transmitieron de generación en generación.

Sus propiedades higroscópicas y porosas en su superficie ayudan a regular la humedad ambiental, manteniendo una temperatura ambiente moderada. Excelente

resistencia a la compresión y a la tracción. El mortero de cal hidráulica potencia su utilidad). (SAENZ BELLO, 2019)



**Nota:** *Cal hidráulico natural (NHL) son el resultado de la roca caliza*

**Figura 6:** *Cal hidráulico*

**Fuente:** (Arkiplus, 2022)

### **2.1.5.3**      *Proceso de la Cal Hidráulico*

El proceso de calcinación con cal hidráulico requiere una temperatura de 1200°C, el cual, está formada por compuestos hidráulicos y cal apagada, resultantes de la calcinación de calizas arcillosas y su posterior hidratación mediante la adición de la cantidad de agua necesaria para que reaccionen con la cal viva, conservando los silicatos y aluminatos anhidros; al hidratarse forman sustancias insolubles y son químicamente muy estables. También se puede considerar cal mezclada con puzolana o escoria de alto horno hidráulico.

Entre los estudios realizados con esta sustancia, quienes evaluaron el efecto de la edad en las propiedades mecánicas de la lechada hidráulico o de aire, quienes compararon las propiedades físicas, mecánicas, de microestructura y otras del mortero de cal hidráulica, cal natural, cal aérea con cemento y cal aérea con escoria (Sánchez Bonilla & Oropesa Hernández, 2019).

La cal hidráulico de origen natural, en forma de polvo, hidratada, para uso en la construcción es el producto obtenido por el proceso de hidratación, que convierte la cal viva hidráulico en un polvo seco, constituido principalmente por hidróxido de calcio e hidróxido de magnesio, contiene la cantidad justa de calcio en silicoaluminio hidráulico, lo que asegura la dureza del mortero que se preparan bajo el agua (Artigas, 2018).

### 2.1.6 *Arcilla*

La arcilla ha sido estudiada en el campo científico: químicos, farmacéuticos, geólogos, edafólogos, etc. Sin embargo, desde hace muchos años atrás son objeto de estudio de los arqueólogos, ya que las analizan por su importancia para el conocimiento de la cerámica en el pasado, por su plasticidad, ya sea secas o cocidas, adquieren consistencia.

El entendimiento en arcilla es importante en estudios de suelos, ya que es tema desafiante para los estudiantes y profesionales de geografía, los cuales son de ciencias sociales, a quienes les resulta difícil ingresar al mundo del intercambio catiónico y la red de minerales (García & Áñvarez, 2019)



**Nota:** *La arcilla es una material muy versátil que no solo se usa en la construcción sino también a nivel cosmético.*

**Figura 7:** *Arcilla*

**Fuente:** (Uncomo, 2017)

#### **2.1.6.1**      *Propiedades de la arcilla*

La arcilla tiene una estructura de multicapa con una superficie de alta calidad y carga eléctrica. Estas dos cualidades les otorgan la capacidad de absorber agua, estabilización e intercambio iónico, entre otras propiedades, debido a su composición específica, ciertas arcillas pueden considerarse otras propiedades, especialmente cuando se consumen internamente (García N. , 2021).

Entre las propiedades de la arcilla tenemos:

- Porosidad: Es la fracción volumétrica de una sustancia que está llena por vacíos, por lo que la porosidad se puede expresar como el volumen de vacíos sobre el volumen total de sólidos.
- Plasticidad: Se refiere a la elasticidad del material, y en el caso de la arcilla, aumenta la plasticidad cuando se le agrega agua.
- Absorción: Es la capacidad que tiene una sustancia de llenar sus vacíos con líquidos o gases.
- Color: En el caso de la arcilla, el color depende de la oxidación del hierro.
- Secado: Es el proceso que resulta al ser expuesto al aire, en el cual se disminuye el contenido de humedad del elemento, de manera que depende de los factores climáticos y la altitud en que se encuentre.
- Cocción: Una vez secos los elementos, deben sufrir diversos procesos de calentamiento en el interior del horno, alterando la temperatura para ganar resistencia a las altas temperaturas superiores a los 1000°C.

### **2.1.6.2 Tipo de arcilla**

Desde la antigüedad, la arcilla se ha utilizado en la elaboración de mercaderías cerámicas como, ladrillos, tejas, pavimentos, etc., por consiguiente, su homogeneidad depende de las propiedades de la arcilla utilizada, aunque la composición química de la arcilla puede ser similar, su composición mineralógica es muy diversa, por lo tanto, también su plasticidad (Gomez, Sanchez, Ocampo, & Restrepo, 2012).

Por su composición de minerales, de acuerdo a (Javier Nazar, 2021, pág. 28) quien cito a (Juárez y Rico, 2005, pág. 37). *“La arcilla está constituida por silicatos de aluminio hidratados, y en algunas ocasiones los silicatos de magnesio, hierro u otros metales”*. Estas arcillas poseen diferentes propiedades químicas las cuales se dividen en tres grandes grupos como son:

- La caolinita
- montmorillonitas
- Illita.

### ***2.1.6.3 Tipo de ensayos de laboratorio que se realizan en las arcillas***

La arcilla se clasifica de acuerdo con los estándares internacionales del Sistema Estándar de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO (Pantoja, 2022).

- **Prueba Proctor Estándar.**

La prueba se basa en compactar el suelo utilizado en tres capas en una sola capa moldes de forma y tamaño uniforme, igual a 25 cuchillos por molde, con un carnero de 2,5 kg, son libres de caer desde una altura 30,5 [cm].

Esta prueba tiene como objetivo evaluar la conducta de la arcilla desde entonces con energía de presión, hay un valor de "humedad óptima", se puede lograr la máxima intensidad de secado. La prueba Proctor estándar también se conoce como la prueba AASHTO T-99. (Asociación de Oficiales de Carreteras y Transporte del Estado – Asociación, Administración de Carreteras y Transporte de EE. UU.).

- **Método de Tamiz.**

Para determinar el tamaño de la partícula, la prueba se fundamenta en catalogar y separar los materiales de diversas maneras. El volumen es una fracción del volumen descendente. Retención de masa de partículas en diferentes tamices, se expresa en función de la masa inicial de la sustancia.

- **Coefficiente de Permeabilidad.**

Las muestras se prepararon en el laboratorio de acuerdo con el procedimiento descrito.

De acuerdo con ASTM D5084-16a. La conductividad hidráulica se obtuvo por medio de un altímetro variable, el volumen constante del suelo es de 220,6 cm<sup>3</sup>, elige el método teniendo esto en cuenta. Proporciona una mayor delicadeza para el barro y aguanieve. Por lo tanto, mediante la prueba, pese la muestra, el nivel del agua en el tubo de medición disminuye y el intervalo de la prueba.

### ***2.1.6.4 La arcilla en recubrimientos de rellenos sanitarios***

Los materiales arcillosos se manejan ampliamente como equipos de barreras hidráulicas, debido, a sus grandes propiedades impermeabilizantes y selladoras, el cual, lo convierte en un material importante para aislar los desechos en los rellenos sanitarios, con el fin de evitar la contaminación de las aguas subterráneas y el suelo. Para ello, estos

materiales deben alcanzar una serie de propiedades desde el punto de vista mecánico y geoquímico: baja conductividad hidráulica, capacidad de hincharse en medios acuosos y capacidad de retención de contaminantes infectados.

Durante muchos años, la corporación científica ha reconocido que la arcilla es la que mejor presenta estas propiedades, debido a que su estructura multicapa lleva una carga negativa permanente, lo que le otorga una alta calidad superficial y una gran capacidad de intercambio catiónico (Telma, Pettinari, Parolo, & Mesquin, 2017).

### 2.1.7 *Rellenos Sanitarios*

En la actualidad los rellenos sanitarios son muy utilizados a nivel mundial para los beneficios de las sociedades, según (Bach. INOFUENTE CANAZA, 2022) *“Es una técnica de disposición final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo (pág., 33)”*. Este método consiste en tratar las capas de residuos compactados en suelo impermeables para evitar la contaminación del acuífero y cubrirlo con capas de suelo, por lo que una forma de eliminarlo debe ser la eliminación de residuos compatible con el medio ambiente, además de que se aplicó por primera vez en 1912.



**Nota:** *Los rellenos sanitarios son obras de infraestructura que involucran métodos seguros para la disposición final de residuos sólidos urbanos, industriales y rurales.*

**Figura 8:** *Relleno sanitario*

**Fuente:** (coprocesamiento.org, 2020)

### **2.1.7.1 Planificación de Rellenos Sanitarios**

Al planificar y construir un Relleno Sanitario se prepara cuidadosamente antes de estudiar la composición, la superficie, el suelo y el clima para no alterar el entorno natural ni afectar negativamente a la población circundante, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales adyacentes, se recomienda su uso en lugares con baja permeabilidad del suelo y aislamiento adecuado. (Melendres Palma, 2021).

### **2.1.7.2 Capa diaria de recubrimiento en los Rellenos Sanitarios**

Durante el recubrimiento diario de un relleno sanitario, se basa en una capa:

Capa impermeable de 20 cm – 15 cm compactado al final de la jornada laboral

- No mezclada con residuos
- Prevención de enfermedades
- Control de olores y viento
- Reducir la posibilidad de incendio
- Prevenir la abstracción
- Mejorar el rendimiento de los vertederos
- Reducir la cantidad de lixiviados
- La cantidad de material necesaria es de un metro cúbico de tierra para 4 o 5 metros cúbicos de residuos sólidos, lo que representa del 20 al 25% del volumen de residuos comprimidos.

De acuerdo a (Meléndrez Palma, & Ramirez M, 2021) quien cito a (CNC 2019) “En Ecuador existen 72 rellenos sanitarios, de los cuales solo 42 poseen licencia ambiental (pág., 11)”. A nivel Nacional algunos rellenos sanitarios no poseen el control ambiental adecuado para sus funciones. (Melendres Palma, 2021).

### **2.1.7.3 Tipos de Rellenos Sanitarios**

Existen varias maneras de construir los rellenos sanitarios:

- Relleno Sanitario manual: Es capaz de operar diariamente en pequeñas localidades con menos de 15 toneladas de residuos por día, debido a las pocas condiciones económicas que necesitan para tener un grupo de personas y utilizar herramientas manuales para sus actividades.





**Nota:** *micro relleno sanitario manual*

**Figura 9:** Relleno sanitario manual

**Fuente:** (Editor, 2011)

- Relleno sanitario semi – mecanizado: Tiene la capacidad para aprovechar la cantidad de residuos sólidos domiciliarios generados por la población menor de 50 toneladas/día utilizando equipos mecánicos y herramientas manuales para el tratamiento de residuos sólidos.



**Nota:** *Diseño de rellenos sanitarios Semi-Mecanizado*

**Figura 10:** Relleno Sanitario Semi-Mecanizado

**Fuente:** (Potella, 2018)

- Relleno sanitario mecanizado: Como una fábrica capaz de aprovechar los residuos sólidos superiores a 50 toneladas/días generados por la población de las principales ciudades utilizando equipos mecánicos especiales (Quinga Toapanta & Vilema Quinllin , 2022).



**Nota:** *Un relleno sanitario es una medida de control final de la eliminación de residuos en tierra*

**Figura 11:** Relleno Sanitario Mecanizado

**Fuente:** (Ecologia. info, 2022)

### 2.1.8 *Contaminación del suelo*

La contaminación del suelo es a menudo el resultado de hábitos poco saludables de diversas actividades agrícolas y métodos inadecuados de tratamiento de efluentes y desechos sólidos, por lo que el suelo está cada vez más contaminado con productos químicos. Las sustancias pueden ingresar a la cadena alimentaria, a las aguas superficiales y subterráneas y, finalmente, ser tomadas por el ser humano. La relación entre suelo y salud es clara, y el polvo es inhalado, ya sea en suelos naturales o en parques y jardines, como el polvo que comemos o se pega al cuerpo, riesgo directamente relacionado con enfermedades asociadas al asma, dermatitis, y otras enfermedades de los riñones y del corazón, o procesos relacionados con la acumulación de metales pesados en el organismo (Leon Rojas, 2019).



**Nota:** *La contaminación del suelo se produce por causa de los vertederos de basura.*

**Figura 12:** *Contaminación del suelo*

**Fuente:** (Martinez, 2015)

### 2.1.9 *Construcción Innovadora*

La innovación es cambio y apertura para mejorar productos, procesos y servicios. Ya sea introduciendo nuevas ideas o cambiando radicalmente la forma en que operamos, la innovación es clave para resolver los problemas que enfrentan muchas empresas hoy en día, de acuerdo a, (Rivera, Hermosilla , Delgadillo, & Echeverria, 2021) “*Las carreras de ingeniería requieren la incorporación de la formación de habilidades de innovación, que deben ser construidas de acuerdo a las metodologías educativas establecidas (pág., 79)*”. Las universidades de ingeniería civil también deben adaptar sus planes de estudio a las necesidades actuales y formar profesionales que resuelvan problema, por ejemplo, proteger el medio ambiente y sus recursos. Además de la innovación e integración de ideas y tecnologías en los sectores público, privado y académico. (Rivera, Hermosilla , Delgadillo, & Echeverria, 2021).

## MARCO LEGAL

2.1.10 *Reglamento Interministerial de Gestión de Desechos Sanitarios*

**Acuerdo Ministerial 5186**

**Registro Oficial 379 de 20-nov.-2014**

**Estado: Vigente**

**No. 0005186**

**2.1.10.1 *Las ministras del Ambiente y de Salud Pública***

**2.1.10.1.1 *Que, el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador***

Reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados;

**2.1.10.1.2 *Que, el numeral 27 del artículo 66 de la Constitución de la República del Ecuador***

Determina que se reconoce y garantiza a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza;

**2.1.10.1.3 *Que, el numeral 6 el artículo 83 de la Constitución de la República del Ecuador***

Establece que son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley, respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible;

### **ACUERDA:**

**2.1.10.1 *Expedir la norma para la ubicación, diseño, construcción, operación, cierre y abandono de un relleno de seguridad Sección I del objeto, ámbito de aplicación y definiciones***

#### **2.1.10.1.1 Art. 1.- Objeto. -**

La presente norma tiene por objeto establecer los requisitos y especificaciones para la ubicación, diseño, construcción, operación, cierre y abandono de un relleno de seguridad destinado para el confinamiento de desechos peligrosos, con el fin de garantizar la protección de la población y del ambiente.

#### **2.1.10.1.2 3.7. Cobertura.**

Material natural o sintético, o ambos, que se coloca en forma de capas en la parte superior de los desechos peligrosos y especiales para garantizar su aislamiento de la intemperie.

#### **2.1.10.1.3 3.10. Coeficiente de permeabilidad.**

Velocidad de descarga de agua en condiciones de flujo laminar a través de un área transversal unitaria de un medio poroso bajo un gradiente hidráulico unitario y en condiciones estándar de temperatura (normalmente 20 °C).

#### **2.1.10.1.4 3.36. Prueba Proctor modificada.**

Ensayo para determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima necesaria para alcanzar esta densidad. Se emplea un molde cilíndrico de 2.320 cm<sup>3</sup> de capacidad y una maza de 4,535 kg que se deja caer desde una altura de 457 mm. Se compactan 5 capas de material dando 25 golpes por cada capa. Según las normas ASTM D-1557 o UNE 103-501-94

### **2.1.10.2 Título III de los requisitos para el diseño y construcción de un relleno de seguridad**

#### **2.1.10.2.1 Art. 6.- Requisitos generales para el diseño y construcción de un relleno y celda de seguridad.**

La cobertura de la celda debe estar constituida por un material o materiales y en las cantidades suficientes que permitan el confinamiento y aislamiento total de los desechos peligrosos con el ambiente, de acuerdo con el tipo de desecho peligroso a confinar. Además, la cobertura debe evitar la liberación de los desechos confinados y minimizar el escape de gases y vapores de la celda y no permitir la formación del lixiviado debido a la lluvia.

### 2.1.11 *Análisis de la Normatividad Ecuatoriana Legislación Ambiental (TULSMA).*

#### **2.1.11.1 Biosólidos**

La norma que establece los principios básicos del manejo de residuos o desechos sólidos es el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA). De acuerdo con el Anexo I de dicha legislación, los lodos provenientes de tratamiento de aguas residuales para su disposición deben cumplir con la normatividad vigente de desechos sólidos peligrosos o no peligrosos, según su composición. De tal forma, es indispensable conocer la composición de los biosólidos generados en la PTAR y prever la calidad de lodos en PTAR, para determinar el manejo según su peligrosidad.

Al no contar con una norma ecuatoriana que permita revisar los límites de caracterización de los biosólidos, se revisarán las tendencias normativas a nivel internacional y posibles prácticas de gestión para la disposición y/o aprovechamiento de estos biosólidos.

### 2.1.12 *Normativa a Nivel Internacional*

#### **2.1.12.1 *Reglamento de Biosólidos Parte 503 (Part 503 Biosolids Rule).***

##### **2.1.12.1.1 *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, US EPA)***

En esta sección se identifica las normas ambientales que pueden afectar directa o indirectamente la gestión de biosólidos, dentro del período de planeación del proyecto. Dado que la normativa ecuatoriana no contempla una regulación específica para la disposición y/o aprovechamiento del biosólido, se analiza como eje de referencia la normativa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, US EPA), en su Reglamento de Biosólidos Parte 503 (Part 503 Biosolids Rule). En este reglamento, se clasifican los biosólidos en Clase B y Clase A, caracterizando los usos y disposiciones de cada clase. En caso de implementar esta regulación, se tendrá una definición más estructurada de las opciones potenciales para la recuperación y aprovechamiento de productos derivados de biosólidos.

**Tabla 9:** *Limites de Patógenos en biosólidos*

CLASE	Indicador o Patógeno	Límites de Densidad Estándar (en peso seco)	Usos
CLASE A	Salmonella	<3 NMP / 4g de biosólidos totales	Aplicación en tierra y disposición en superficie
	Coliformes Fecales	< 1000NMP / g	Aplicación en tierra y disposición en superficie
	Virus Entéricos	< 1 UFP / 4g de solidos totales	Aplicación en tierra y disposición en superficie
	Huevos de Helmintos viables	< 1 / 4g de solidos totales	Aplicación en tierra y disposición en superficie
CLASE B	Densidad de Coliformes Fecales	< 2'000.000 NMP /g de solidos totales	Aplicación en tierra y disposición en superficie

NMP = Número más probable

UFP = Unidad formadora de Placa

**Nota:** esta tabla muestra los límites de patógenos de los biosólidos

**Fuente:** (EPA (United States Environmental Protection Agency), 2020)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

**Tabla 10:** *Usos permitidos para biosólidos de clase A y B*

Clase	Usos permitidos	Restricciones
A Y A EQ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prados y jardines</li> <li>• Espacios contacto publico</li> <li>• Paisajismo urbano</li> <li>• Agricultura</li> <li>• Forestal</li> <li>• Rehabilitación de suelos</li> <li>• Disposición en relleno</li> <li>• Disposición en superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin restricciones</li> </ul>

<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultura</li> <li>• Forestal</li> <li>• Rehabilitación del suelo</li> <li>• Disposición del suelo</li> <li>• Disposición en superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivos de alimentos: no cosechar hasta 14 a 38 meses después de la aplicación.</li> <li>• Cultivos de forraje: no cosechar hasta 30 días después de la aplicación.</li> <li>• Acceso público: restringido de 30 días a un año.</li> <li>• Césped: no cosechar hasta un años después de la aplicación</li> </ul>
----------	---	--

**Nota:** esta tabla muestra los usos permitidos para biosólidos de Clase A y B

**Fuente:** (EPA (United States Environmental Protection Agency), 2020)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Adicionalmente, se presentarán las tendencias en Latinoamérica de reglamentación de reúso y aprovechamiento de biosólidos en países de la región como Colombia y México.

### ***2.1.12.2 República de Colombia Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio***

#### ***2.1.12.2.1 Decreto Número 1287 10 jul 2014***

"Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales",

#### **El Presidente de la República de Colombia**

En ejercicio de las facultades Constitucionales y Legales, y en especial las conferidas en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, y el numeral 14.23 del artículo 14 la Ley 142 de 994.

#### **CONSIDERANDO:**

Que el tratamiento de aguas residuales municipales combina una serie de procesos de tipo físico, químico y biológico, considerados tratamientos primarios y secundarios en su mayoría, cuyo resultado es la producción de residuos o 'subproductos llamados lodos, los cuales deben ser sometidos a procesos de estabilización para reducir la carga contaminante, y al final se obtiene un producto denominado "biosólidos".

Que estos biosólidos poseen características físicas, químicas y microbiológicas que deben ser evaluadas para determinar sus posibles usos o una adecuada disposición final.

Que por estas razones es necesario establecer, criterios para el uso' de los biosólidos resultantes del tratamiento de aguas residuales municipales.

Que en mérito de lo expuesto,

## DECRETA

**Artículo 1. Objeto.** El presente decreto tiene por objeto establecer los criterios para el uso de los Biosólidos producidos a partir de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

**Parágrafo.** Este decreto no aplica a los lodos que tengan características de peligrosidad.

**Artículo 3. Definición Biosólidos.** Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso. No son biosólidos las escorias y cenizas producto de la oxidación o reducción térmica de lodos, así como los residuos que se retiran de los equipos e instalaciones de la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales, ni los provenientes de dragados o de limpieza de sumideros.

**Artículo 4. Caracterización de los biosólidos.** Los biosólidos deberán caracterizarse de conformidad con lo dispuesto en la Tabla

**Tabla 11:** Variable de caracterización de Biosólidos para su uso

CRITERIOS	VARIABLE
QUIMICOS-METALES	Arsénico (As)
	Cadmio (Cd)
	Cromo (Cu)
	Cobre (Cr)
	Mercurio (Hg)
	Molibdeno (Mb)
	Níquel (Ni)
	Plomo (Hg)
	Selenio (Se)
	Zinc (Zn)
CRITERIOS	VARIABLE
	Coliformes Fecales
	Huevos de Helminthos viables
	<i>Salmonella sp.</i>
	Virus Entéricos

**Nota:** esta tabla muestra las variables de caracterización de Biosólidos para su uso

**Fuente:** (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, DECTREO 1827, 2014)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)



**Parágrafo.** Como variable alterna al de Virus Entéricos, se podrá utilizar el de Fagos Somáticos.

**Artículo 5.** Valores máximos permisibles para la categorización de los biosólidos. Los biosólidos deberán cumplir con los valores máximos permisibles establecidos en la tabla 2 y se clasifican en una de las siguientes categorías: Categoría A y Categoría B.

**Tabla 12:** Valores máximos permisibles de categorización de biosólidos para su uso

CRITERIOS	VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	CATEGORIA BISOLIDO Valores máximos permisibles	
			A	B
QUIMICOS-METALES Concentración es máximas	Arsénico (As)	mg/Kg de biosólido (base seca)	20,0	40,0
	Cadmio (Cd)		8,0	40,0
	Cromo (Cu)		1.000,0	1750,0
	Cobre (Cr)		1.000,0	1500,0
	Mercurio (Hg)		10,0	20,0
	Molibdeno (Mb)		18,0	75,0
	Níquel (Ni)		80,0	420,0
	Plomo (Hg)		300,0	400,0
	Selenio (Se)		36,0	100,0
	Zinc (Zn)		2.000,0	2800,0
MICROBIOLÓGICOS	Coliformes Fecales	Unidades Formadoras de colonias UFC/g de biosólido (base seca)	<1,00 E (+3)	<2,00 E (+6)
	Huevos de Helmintos viables	Huevos de Helmintos viables viables/4g de biosólido (base sea)	<1,0	<10,0
	Salmonella sp.	Unidades Formadoras de colonias UFC/en 25 g de biosólido (base seca)	Ausencia	<1,00 E (+3)
	Virus Entéricos	Unidades Formadoras de placas UFC/ 4 g de biosólido (base seca)	<1,0	

**Nota:** En la tabla se muestra los valores máximos permisibles de categorización de biosólidos para su uso.

**Fuente:** (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, DECTREO 1827, 2014)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

**Parágrafo 1.** Para efecto de la reducción de la capacidad de fermentación, atracción de vectores y patógenos, se deberá cumplir con al menos una de las opciones enumerados en el Anexo 1.

**Parágrafo 2.** Los biosólidos que no cumplan con los valores máximos permisibles establecidos para su clasificación en las Categorías A y S, podrán usarse en:

- a. En la operación de rellenos sanitarios como cobertura diaria.
- b. En la disposición conjunta con residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios y de manera independiente en sitios autorizados.
- c. En procesos de valorización energética.

Los biosólidos que no se usen de acuerdo con lo aquí dispuesto, deberán disponerse o ser tratados hasta cumplir con los valores establecidos en las categorías A y S para viabilizar su uso.

**Artículo 8. Alternativas de uso de los biosólidos.** De acuerdo con la categoría y clasificación, los biosólidos pueden destinarse para los siguientes usos:

**Categoría A.**

- a. En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.
- b. Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.
- c. En agricultura.
- d. Los mismos usos de la Categoría B.

**Categoría B.**

- a. En agricultura, se aplicará al suelo.
- b. En plantaciones forestales.
- c. En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
- d. Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original. Los procesos de elaboración y características de los productos finales y su uso, queda sujeto a la regulación establecida por el ICA. '.
- e. Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de 'filtración. Absorción y adsorción.
- f. Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- g. En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial, secundaria o terciaria.
- h. Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras. j. En procesos de valorización energética.

**Artículo 11. Mezcla.** La mezcla de biosólidos con materiales de complemento, deberán cumplir con los valores máximos permisibles para la categorización de los biosólidos establecidos en el artículo 5 de este decreto

**2.1.12.3 Norma Oficial México NOM-004-SEMARNAT-2002**

**2.1.12.3.1 NORMA OFICIAL MEXICANA, PROTECCION AMBIENTAL. -  
LADOS Y BIOSOLIDOS. -ESPECIFICACIONES Y LIMITES  
MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU  
APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.**

**4. Especificaciones**

4.1 Las personas físicas o morales interesadas en llevar a cabo el aprovechamiento o disposición final de los lodos y biosólidos a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, deberá de recabar la “constancia de no peligrosidad de los mismos” en términos del trámite SEMARNAT-07-007

4.3 Para que los biosólidos puedan ser aprovechados, deben cumplir con la especificación 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8; y lo establecido en las tablas 1, 2 y 3 de la presente Norma Oficial Mexicana.

4.4 Los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de vectores, demostrando su efectividad. Para lo cual se pueden aplicar cualquiera de las opciones descritas, de manera enunciativa pero no limitativa, en el Anexo 1 u otras que el responsable demuestre que son útiles para ello. Se deben conservar los registros del control por lo menos durante los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su generación.

4.5 Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

4.6 Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en la tabla

**Tabla 13:** *Límites máximos permisibles para metales pesados en Biosólidos*

<b>CONTAMINANTE (determinación en forma total)</b>	<b>EXELENTE mg/kg en base seca</b>	<b>BUENOS mg/kg en base seca</b>
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

**Nota:** En la tabla se muestra los Límites permisibles de metales pesados en biosólidos

**Fuente:** (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, DECTREO 1827, 2014)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

4.7 Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la tabla.

**Tabla 14:** Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos

**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS  
Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS**

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de Helmintos/g En base seca
<b>A</b>	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
<b>B</b>	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
<b>C</b>	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

NMP número más probable

**Nota:** En la tabla se muestra los Límites máximos permisibles para patógenos, parásitos en lodos y biosólidos

**Fuente:** (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, DECTREO 1827, 2014)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

4.8 El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la tabla y su contenido de humedad hasta el 85%.

**Tabla 15:** Aprovechamiento de Biosólidos

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
<b>EXCELENTE</b>	<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos con contacto público directo durante sus aplicaciones</li> <li>• Los establecidos para clase C</li> </ul>
<b>EXCELENTE O BUENO</b>	<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación</li> <li>• Los establecidos para clase C</li> </ul>
<b>EXCELENTE O BUENO</b>	<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos forestales</li> <li>• Mejoramientos de suelos</li> <li>• Usos agrícolas</li> </ul>

**Nota:** La tabla muestra los aprovechamientos de los biosólidos

**Fuente:** (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, DECTREO 1827, 2014)

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1.1 *Marco Metodológico*

La metodología de la investigación según (Azüero, 2019), quien citó a (Arias, 2012) es un “conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas” (pág., 112). Mientras se ejecuta una tarea para desarrollar una actividad, la metodología se presenta a base de preguntas, las cuales son: ¿Cómo se desarrollará el tema de investigación? y ¿Cómo se recogerá, analizará y clasificará los datos? (Azüero, 2019).

Para desarrollar un proyecto de investigación se emplea datos previamente obtenidos mediante estudios, análisis y ensayos, con el fin de plantear los diferentes puntos de vista hasta llegar a una conclusión concreta y verificada. Por otro lado, el delimitar la clase de metodología a usar, ya sea cualitativa o cuantitativa, determinar qué estudio o instrumento se basará el proyecto, para así obtener un resultado claro, ya que, permitirá la comprobación del objetivo general, el cual, es proponer si el biosólido con cal hidráulico sirve para uso de recubrimientos en rellenos sanitarios.

El proyecto tiene como prioridad, estudiar los materiales, sus definiciones, clasificaciones como propiedades físicas y químicas, antes de comenzar la siguiente etapa que es la realización de los ensayos científicos, este proceso se enfocara en tres análisis de permeabilidad, el cual consiste, con sus respectivas mezclas conformadas con los siguientes porcentajes:

- 80% de arcillas, y 20% de mezcla de biosólido con cal hidráulico
- 60% de arcillas y 40% de mezcla de biosólido con cal hidráulico
- 40% de arcillas y 60% de mezcla de biosólido con cal hidráulico

#### **3.1.1.1 *Método deductivo***

Según el método deductivo, se parte de un juicio general a un juicio particular, en el que el primer juicio es el punto de partida para hacer inferencias mentales para llegar a nuevas conclusiones lógicas sobre los hechos.

Este método se basa en deducir características específicas a partir de generalizaciones, principios y definiciones universales. El objetivo del proyecto fue

determinar si, bajo esta forma de razonamiento lógico deductivo, podría afirmarse el objetivo a cumplir.

### **3.1.2 Enfoque de la Investigación**

#### **3.1.2.1 Enfoque Cuantitativo**

Según Otero el enfoque cuantitativo “*Utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos y los analiza para llegar a responder sus preguntas de investigación*” (pág., 3). Estos estudios se basan en la observación y evaluación de los fenómenos estudiados y sacando conclusiones sobre lo ya estudiado. El investigador que utiliza este enfoque está en competencias de comprobar las conclusiones a las que llega y está en condiciones de proponer nuevos estudios.

El presente proyecto consiste en reutilizar el material biosólido de forma efectiva, ya que nacen de los tratamientos de agua residuales, por lo que tiende al análisis mediante exámenes minuciosos y pormenorizado para conocer su naturaleza, características, y su estado, además de los factores que intervienen entorno a ello, para lograr observar cómo interactúa este material en el medio natural.

Las indagaciones por llegar a una conclusión si el biosólido con cal hidráulico lograra ser un excelente material como acompañante de la arcilla para el uso de recubrimientos en los rellenos sanitarios, se realiza mediante un método experimental, el cual consisten en ensayos de permeabilidad, es decir, un análisis riguroso para estudiar las reacciones físicos y químicos, cumpliendo así con el proceso metodológico.

### **3.1.3 Alcance de la Investigación**

El proyecto biosólidos con cal hidráulico como acompañante de arcilla para el uso de recubrimiento de relleno sanitario es un trabajo de investigación experimental, es decir, se refiere a un tipo de investigación sobre el cual se realizará estudios científicos mediante ensayos de permeabilidad con los materiales mencionados (biosólidos, cal hidráulica y arcilla).

La investigación experimental permitirá el estudio claro y preciso de las muestras de cada uno de los materiales, analizando así su comportamiento físico, químico y biológico, además de analizar el comportamiento ante el entorno natural comprobando si

dicha hipótesis de estudio lograra ser un excelente acompañante de la arcilla como material de relleno sanitario.

### **3.1.3.1 Ventajas**

El método experimental, es útil, dado que, permite observar y estudiar los comportamientos de los materiales de manera más clara y precisa, este comportamiento puede repetirse; como también manipular las variables con la finalidad de tener otros análisis experimentales y analizar el más favorable.

El proyecto se enfoca en tres ensayos de permeabilidad y cada uno de ellos con diferentes proporciones del material, es decir, diferente porcentaje de cada uno de los materiales (biosólido, arcilla y cal hidráulica); con el objetivo de analizar y comparar cuál de los tres ensayos es mejor opción para uso de recubrimientos en rellenos sanitarios.

La manipulación de variables es lo que determina qué variable en particular cambia durante los ensayos, determinando de manera más puntual las reacciones físicas y químicas que se producen al momento de mezclar cada uno de los materiales y comprobar si cumplen o no cumplen con el objetivo general.

### **3.1.4 Técnicas de Investigación**

Para preparar un proyecto de investigación, es necesario elegir adecuadamente el tema a defender, el cual consiste con el tema de investigación apropiado, objetivos claros, planteamiento de problema a resolver, estudio de antecedentes y la metodología a usar para cumplir con los mencionados objetivos, el cual es propuesto en el proyecto.

En esta etapa de la investigación da a conocer el uso de técnicas y herramientas que proporcionara al investigador la realización de su investigación:

- Ensayos de laboratorio

#### **3.1.4.1 Ensayos de Laboratorio**

Las indagaciones por llegar a una conclusión si el biosólido con cal hidráulico lograra ser un excelente material como acompañante de la arcilla para el uso de recubrimientos en los rellenos sanitarios, se realiza mediante un método experimental, es decir que el proyecto se basa en un ensayo de laboratorio para llegar a una conclusión , el

cual consisten en la realización de tres ensayos de permeabilidad con diferentes proporciones de material , con el objetivo de analizar cuál de las opciones es la más favorable para uso de recubrimiento sanitarios , este análisis riguroso permite analizar si el material es permeable o no , además de estudiar todo lo relacionado al tema de humedad del material cumpliendo así con el proceso metodológico.

### **3.1.5 Población y Muestra**

#### **3.1.5.1 Población**

Es un grupo de personas o cosas sobre las que quieres saber algo, en la investigación “El universo o población puede incluir humanos, animales, registros médicos, nacimientos, muestras de laboratorio, accidente de tráfico, etc.

La población dentro del proyecto son todos los biosólidos producidos de la PTAR Los Merinos Ciudad de Guayaquil.

#### **3.1.5.2 Muestra**

Para el proceso de cuantificación, la muestra es un subconjunto de la población relevante, el cual se recolectarán los datos, dichos datos deben identificarse con anticipación, y también deben ser representativos de esa población.

El objetivo de la muestra es que los resultados sean generalizados o extrapolados a la población, es decir, los valores atípicos mencionados con anterioridad al hablar de experimentos).

Por consiguiente, se tomó tres muestras representativas, para dar seguimiento al estudio previsto al tema.

### **3.1.6 Recolección del biosólido y Análisis de Resultados**

Antes de realizar la recolección del biosólido se tomó las medidas de seguridad pertinentes como: uso los equipos de protección personal y bioseguridad para prevenir riesgos biológicos que puedan estar presentes en dicha instalación.



### 3.1.6.1 *Recolección del Biosólidos en la PTAR Los Merinos-Guayaquil*

El Biosólido se obtuvo de la PTAR Los Merinos - Guayacanes Samanes, ubicada al norte de la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas con sus coordenadas geográficas 2° 07'14 " y 79°52'56 " ,



**Nota:** *Ubicación de la PTAR*  
**Figura 13:** *PTAR Los Merinos*

**Fuente:** (Google Earth, s.f.)

**Modificado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Los lodos residuales son llevados por medios de tubos hacia la piscina o torta de lodos, en donde se da la separación del lodo residual con el agua.



**Nota:** *Piscina de lodos*

**Figura 14:** *Pasteurización del biosólido*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Se desarrolla el proceso de estabilización de los lodos residuales, los cuales son  
Proceso de digestión anaeróbica y digestión aeróbica para la estabilización de los  
biosólidos



**Nota:** *Proceso de digestión anaeróbica y digestión aeróbica*

**Figura 15:** *Digestión anaerobia y Aerobia*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Finalmente son expulsados los biosólidos, directamente hacia el contenedor de  
basura sin beneficio alguno.



**Nota:** *expulsión de los biosólido*

**Figura 16:** *Expulsión del Biosólido*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Como se puede observar en la imagen 17, el biosólido posee una forma de tierra  
negra, la cual contiene un alto porcentaje de Humedad y poco olor fuerte, por consiguiente,  
se extrajo unos 20 kg de biosólido para los respectivos ensayos de permeabilidad en el  
laboratorio del Ingeniero Freddy Vanegas Bustamante.



**Nota:** Extracción del *Biosólidos*  
**Figura 17:** *Obtención del Biosólido*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.2 *Materiales y Herramientas*

#### 3.1.6.2.1 *Materiales*



**Nota:** *Biosólidos*  
**Figura 18.** *Material Biosólido*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)



**Nota:** *Cal Hidráulico*  
**Figura 19:** *Material Cal Hidráulica*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)



**Nota:** *Arcilla*

**Figura 20:** *Material Arcilla*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.2.2 *Herramientas*



**Nota:** *Balanza*

**Figura 21:** *Bascula digital*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).



**Nota:** *Recipientes*

**Figura 22:** *Recipientes*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).



**Nota:** *Espátula*

**Figura 23:** *Espátula*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).



**Nota:** *Cilindro*

**Figura 24:** *Molde para prueba de compactación Proctor modificado*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).



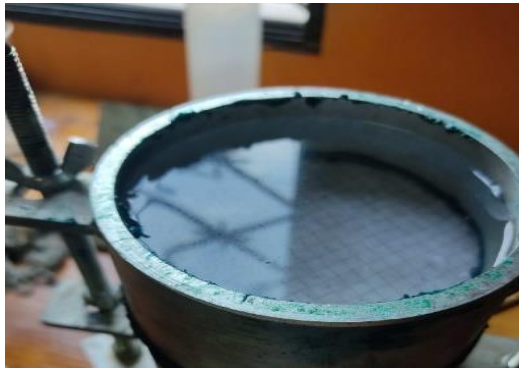
**Nota:** *Martillo*

**Figura 25:** *Martillo*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).



**Nota:** Equipo de permeabilidad  
**Figura 26:** Equipo de permeabilidad  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).



**Nota:** Papel filtrador  
**Figura 27:** Papel Filtrador  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.3 Armado de las Mezclas

#### 3.1.6.3.1 Armado 1

El Primer ensayo de permeabilidad con los siguientes armados de las muestras de materiales:

**Tabla 16:** Primer Armado de Muestras

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON LOS SIGUIENTES PORCENTAJES:

10 % DE BIOSÓLIDO	300 g
10 % DE CAL	300 g
80% DE ARCILLA	2 400 g
TOTAL, DEL MATERIAL	3 000 g

**Nota:** Esta tabla Indica el primero armado de las muestras para el ensayo de permeabilidad

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

### 3.1.6.3.2 Armado 2

Segundo ensayo de permeabilidad con los siguientes armados de las muestras de materiales:

**Tabla 17:** *Segundo Armado de Muestras*

ensayo de permeabilidad con los siguientes porcentajes:	
20 % de biosólido	500 g
20 % de cal	500 g
20% de arcilla	1 500 g
total, del material	2 500 g

**Nota:** Esta tabla Indica el segundo armado de las muestras para el ensayo de permeabilidad

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

### 3.1.6.3.3 Armado 3

Tercer ensayo de permeabilidad con los siguientes armados de las muestras de materiales:

**Tabla 18:** *Tercer Armado de Muestras*

Ensayo de permeabilidad con los siguientes porcentajes:	
30 % de Biosólido	600 g
30 % de Cal	600 g
40% de Arcilla	800 g
Total, del material	2 000 g

**Nota:** Esta tabla Indica el tercer armado de las muestras para el ensayo de permeabilidad

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

### 3.1.6.4 Pruebas de Permeabilidad

#### 3.1.6.4.1 Procedimiento 1

Una vez calculado el peso de cada uno de los materiales empezamos con ayuda de una báscula digital y una espátula, pesando cada uno de estos materiales con sus respectivos pesos en gramos.



**Nota:** Colocación de los materiales en la balanza

**Figura 28:** Implantación de los materiales para la medición del peso

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Al terminar de colocar en la báscula digital cada uno de los materiales con sus respectivos pesos en gramos, la herramienta nos procede dar un valor, el cual consiste en el peso total de los tres materiales juntos (Biosólido, cal y arcilla): Total: 3000.



**Nota:** cálculo del peso de los materiales

**Figura 29:** Cálculo del peso de los materiales 20 % biosólidos con cal y 80% arcilla

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Las tres muestras recién pesadas en la báscula se trasladan a un recipiente, con el objetivo de mezclar cada uno de los materiales y convertirla en una mezcla homogénea. El agua brindara un mayor manejo y facilidad en la hora de mezclar.





**Nota:** Mezcla de los materiales

**Figura 30:** Preparación de muestra de los materiales 20 % biosólidos con cal y 80% arcilla

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

*Retirado el material de la báscula se pesa el cilindro sin material*

*Peso del cilindro sin material = 1853.6g*

*Redondeado = 1854*



**Nota:** *Peso del cilindro sin material.*

**Figura 31:** *Peso del cilindro sin material*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Una vez obtenido una mezcla homogénea, se procede a la recolección de este con ayuda de una espátula y se procede colocarlo al molde para prueba de compactación Proctor modificado



**Nota:** recolección del material

**Figura 32:** *Recolección e implantación de la muestra de los materiales al cilindro.*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Colocado el material dentro del cilindro se procede a dar compactaciones con el martillo y esto se procede por capas, el total de capas son cinco y cada una de estas se emplea 26 golpes que permitirá la compactación distribuida de manera homogénea.

Culmina hasta llegar a un punto donde el material se ve firme y sin espacios, con ayuda de una espátula se moldea el material sobrante.



**Nota:** Compactación del material

**Figura 33:** *Compactación mecánica*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

A continuación, se realiza el tallado de la probeta.



**Nota:** Tallado del material  
**Figura 34:** Tallado de la Probeta  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

**Nota:** Por consiguiente, se pesa el cilindro con el material.

*Peso de cilindro + material = 3383.8g*



**Nota:** Peso del material con cilindro  
**Figura 35:** Peso del cilindro con el material.  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Se le coloca papel filtrado que dentro de la norma de Proctor forma parte del procedimiento esto permitirá un mayor filtrado y purificación evitando el paso de desperdicios innecesarios dentro del proceso, finalizando se procede asegurar el cilindro con sus respectivas formalidades.



**Nota:** Unión de la pobeta con el anillo  
**Figura 36:** *Unión del collar con el molde*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Asegurado el cilindro y analizado de que ya no existe cualquier tipo de fuga, se procede con el último proceso del ensayo al llevarlo al equipo de permeabilidad.

Estar pendiente en el ensayo para ver si permeabilizo o no el material estudiado.



**Nota:** Armado del cilindro  
**Figura 37:** *Aplicación de agua constante sobre la mezcla*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

### 3.1.6.4.2 Procedimiento 2

Una vez calculado el peso de cada uno de los materiales empezamos con ayuda de una báscula digital y una espátula, a pesar cada uno de estos materiales con sus respectivos pesos en gramos.



**Nota:** Colocación de los materiales en la balanza

**Figura 38:** Implantación de los materiales para la medición del peso

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Al terminar de colocar en la báscula digital cada uno de los materiales con sus respectivos pesos en gramos, la herramienta nos procede dar un valor que es el peso total de los tres materiales juntos (Biosólido, cal y arcilla) y procedemos anotar en una libretita.

Peso Total de materiales: 2500.0g



**Nota:** cálculo del peso de los materiales

**Figura 39:** Cálculo del peso de los materiales 40 % biosólidos con cal y 60% arcilla

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Las tres muestras recién pesadas en la báscula se trasladan a un recipiente, con el objetivo de mezclar cada uno de los materiales y convertirla en una mezcla homogénea. El agua brindara un mayor manejo y facilidad en la hora de mezclar.



**Nota:** Mezcla de los materiales

**Figura 40:** Preparación de muestra de los materiales 40 % biosólidos con cal y 60% arcilla

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

*Retirado el material de la báscula se pesa el cilindro sin material*

*Peso del cilindro sin material = 1930g*



**Nota:** *Peso del cilindro sin material.*

**Figura 41:** *Peso del cilindro sin material*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Una vez obtenido una mezcla homogénea, se procede a la recolección de este con ayuda de una espátula y se procede colocarlo al molde para prueba de compactación Proctor modificado.



**Nota:** recolección del material

**Figura 42:** Implantación de la muestra de los materiales al cilindro

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Colocado el material dentro del cilindro se procede a dar compactaciones con el martillo y esto se procede por capas. El total de capas son cinco y cada una de estas se emplea 26 golpes que permitirá la compactación distribuida de manera homogénea.

Culmina hasta llegar a un punto donde el material se ve firme y sin espacios, con ayuda de una espátula se moldea el material sobrante.



**Nota:** Compactación y tallado del material

**Figura 43:** Compactación mecánica y tallado de probeta

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

*Por consiguiente, se pesa el cilindro con el material*

*Peso de cilindro + material = 3425.6 g*

*Redondeado: 3426 g*



**Nota:** *Peso del material con cilindro*

**Figura 44:** *Peso del cilindro con el material.*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

Se le coloca papel filtrado que dentro de la norma de Proctor forma parte del procedimiento esto permitirá un mayor filtrado y purificación evitando el paso de desperdicios innecesarios dentro del proceso, finalizando se procede asegurar el cilindro con sus respectivas formalidades.



**Nota:** *Unión de la pobeta con el anillo*

**Figura 45:** *Unión del collar con el molde*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).



Asegurado el cilindro y analizado de que ya no existe cualquier tipo de fuga, se procede con el último proceso del ensayo al llevarlo al equipo de permeabilidad. Nota: Estar pendiente en el segundo ensayo para ver si permeabilizo o no el material estudiado



**Nota:** Armado del cilindro

**Figura 46:** Aplicación de agua constante sobre la mezcla

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022).

### 3.1.6.4.3 Procedimiento 3

Una vez calculado el peso de cada uno de los materiales empezamos con ayuda de una báscula digital y una espátula, a pesar cada uno de estos materiales con sus respectivos pesos en gramos.



**Nota:** Colocación de los materiales en la balanza

**Figura 47:** Implantación de los materiales para la medición del peso:

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Al terminar de colocar en la báscula digital cada uno de los materiales con sus respectivos pesos en gramos, la herramienta nos procede dar un valor que es el peso total de los tres materiales juntos (Biosólido, cal y arcilla) y procedemos anotar en una libretita.

*Total: 2 000g*

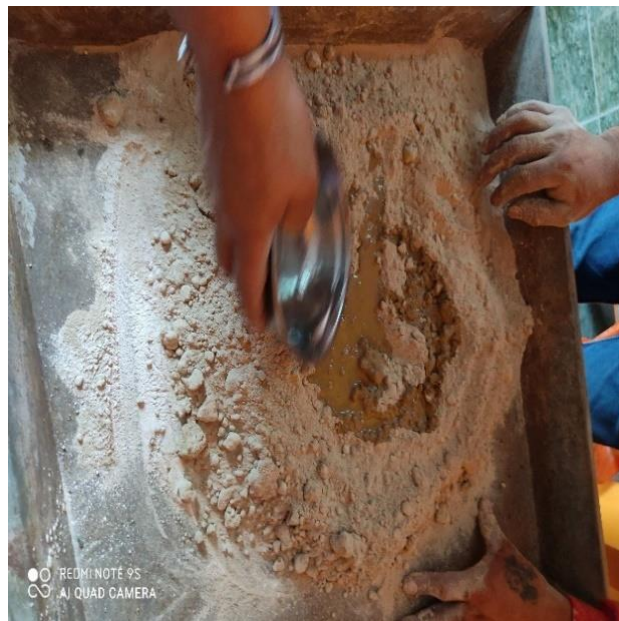


**Nota:** *cálculo del peso de los materiales*

**Figura 48:** *Cálculo del peso de los materiales 60 % biosólidos con cal y 40% arcilla*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Las tres muestras recién pesadas en la báscula se trasladan a un recipiente, con el objetivo de mezclar cada uno de los materiales y convertirla en una mezcla homogénea. El agua brindara un mayor manejo y facilidad en la hora de mezclar.



**Nota:** *Mezcla de los materiales*

**Figura 49:** *Preparación de muestra de los materiales 60 % biosólidos con cal y 40% arcilla*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Retirado el material de la báscula se pesa el cilindro sin material

Peso del cilindro sin material = 1853.6 g

Redondeado: 1854



**Nota:** *Peso del cilindro sin material*

**Figura 50:** *Peso del cilindro sin material*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Una vez obtenido una mezcla homogénea, se procede a la recolección de este con ayuda de una espátula y se procede colocarlo al molde para prueba de compactación Proctor modificado.



**Nota:** *recolección del material*

**Figura 51:** *Implantación de la muestra de los materiales al cilindro*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Colocado el material dentro del cilindro se procede a dar compactaciones con el martillo y esto se procede por capas. El total de capas son cinco y cada una de estas se emplea 26 golpes que permitirá la compactación distribuida de manera homogénea.

Culmina hasta llegar a un punto donde el material se ve firme y sin espacios, con ayuda de una espátula se moldea el material sobrante.



**Nota:** Compactación del material

**Figura 52:** Compactación mecánica

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

A continuación, se pesa el cilindro con el material

Peso de cilindro + material = 3265.5g

Redondeado = 32656 g



**Nota:** Peso del material con cilindro

**Figura 53:** Peso del cilindro con el material

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

*Se le coloca papel filtrado que dentro de la norma de Proctor forma parte del procedimiento esto permitirá un mayor filtrado y purificación evitando el paso de desperdicios innecesarios dentro del proceso, finalizando se procede asegurar el cilindro con sus respectivas formalidades.*



**Nota:** Unión de la pobeta con el anillo

**Figura 54:** Unión del collar con el molde

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

*Asegurado el cilindro y analizado de que ya no existe cualquier tipo de fuga, se procede con el último proceso del ensayo al llevarlo al equipo de permeabilidad.*

*Estar pendiente en el ensayo para ver si permeabilizo o no el material estudiado*



**Nota:** Armado del cilindro

**Figura 55:** Aplicación de agua constante sobre la mezcla

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### **3.1.6.5 Análisis de Resultados de Permeabilidad**

#### **3.1.6.5.1 Primer ensayo de permeabilidad**

- ❖ Permeable / No Permeable: Permeable
- ❖ Tiempo de permeabilidad: Larga duración, Implantación constante del agua, desde las 11: 00 AM sábado 25 de junio.
- ❖ Percolo a las 16 :00 PM del domingo 26 de junio
- ❖ Tono de color: Amarillo pálido

Explicación del tono de color: Debido a que tiene una menor proporción de cal 10 % que es el material purificador dentro del ensayo, más una pequeña proporción de biosólido 10%, pero dentro de entre ensayo existe una gran cantidad de arcilla 80%, por consiguiente, vuelve la arcilla el material dominante, este material dominante es de color marrón que al mezclarse con los demás materiales y con el agua, logro un tono más fuerte.



**Nota:** Resultado del 1er ensayo

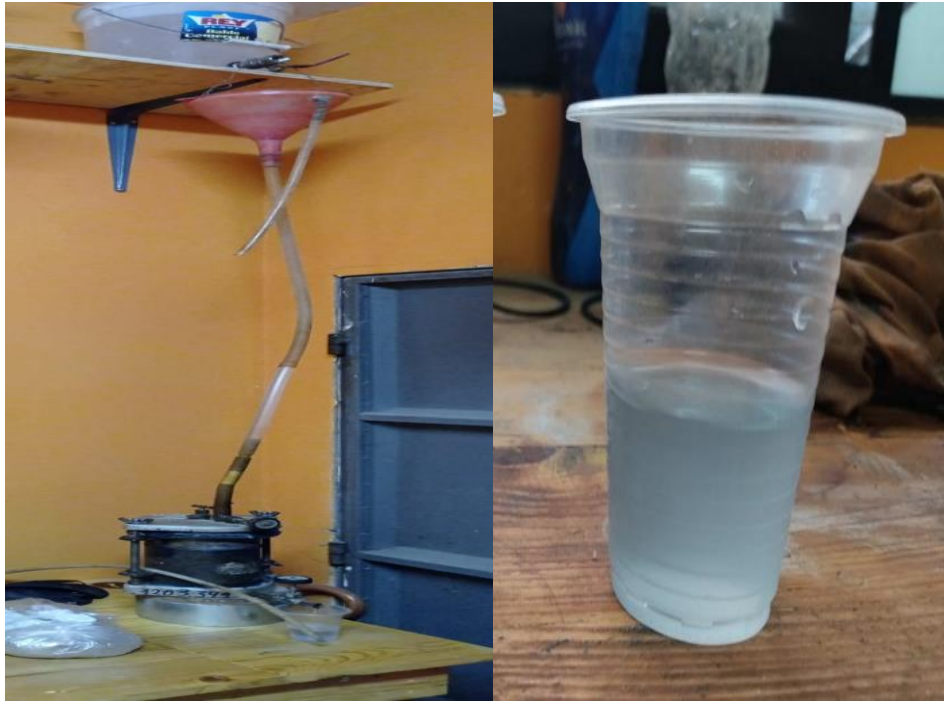
**Figura 56:** Primer Resultado de Permeabilidad  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

#### **3.1.6.5.2 Segundo ensayo de permeabilidad**

- ❖ Permeable / No Permeable: Permeable
- ❖ Tiempo de permeabilidad: Larga duración, Implantación constante del agua, desde las 11: 30 AM sábado 25 de junio.
- ❖ Percolo a las 17 :00 PM del domingo 26 de junio

- ❖ Tono de color: Azulado Transparente

Explicación del tono de color: Debido a sus proporciones de cal 20 % que es el material purificador dentro del ensayo, más la proporción de biosólido 20%, estos dos materiales son equitativos, pero dentro de entre ensayo existe una gran cantidad de arcilla 60 %, el cual la cal actúa a mayor escala en la purificación al igual que la arcilla.



**Nota:** Resultado del 2do ensayo  
**Figura 57:** Segundo Resultado de Permeabilidad  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### **3.1.6.5.3 Tercer ensayo de permeabilidad**

- ❖ Permeable / No Permeable: Permeable
- ❖ Tiempo de permeabilidad: Corta duración, Implantación constante del agua, desde las 16: 30 PM jueves 30 de junio.
- ❖ Percolo a las 19:00 PM del jueves 30 de junio
- ❖ Tono de color: Rosado pálido

Explicación del tono de color: Dentro de este ensayo la proporción de biosólido con cal son de 30 % de cada uno (Biosólido y cal hidráulica) siendo el material con mayores proporciones a diferencia de la arcilla, el cual solo contiene el 40% de material.

El tono del ensayo es debido a las propiedades del biosólido su presencia de metales, da como resultado un tono rosado que al mezclarse con la cal lo vuelve más claro y no intenso.



**Nota:** Resultado del 3er ensayo  
**Figura 58:** Tercer Resultado de Permeabilidad.  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.6 Muestra de Porcentaje de Permeabilidad

$$k = \frac{V \times L}{\Delta H \times A \times t(\text{seg})}$$

**Nota:** Formula de pe Permeabilidad  
**Figura 59:** Formula de coeficiente de Permeabilidad  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)



### 3.1.6.6.1 Muestra 1

**Tabla 19:** *Peso, área y volumen del cilindro de la primera muestra*

	Pulg	cm	gr
<i>Longitud de la muestra</i>	6	15,24	
<i>Área de la Muestra</i>	28,27	182,4	
<i>Peso de recipiente</i>			1853,6

**Nota:** *Detalla el área peso y volumen que tiene la muestra para el primer ensayo de permeabilidad*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

**Tabla 20:** *Calculo de la Primera muestra de porcentaje de humedad*

#### Muestra 10 %

$\Delta H:$	130				
	<i>T real (horas)</i>	<i>T relativo (min)</i>	<i>W<sub>rw</sub></i>	<i>Volumen (cm<sup>3</sup>)</i>	<i>K 10<sup>^</sup></i>
25/6/2022	10:00				
26/6/2022	18:00	1920	8,50	8,50	4,74 E-08
27/6/2022	18:00	3360	10,70	19,20	6,12 E-08
<b>Promedio</b>					5,43 E-08

**Nota:** *Detalla el porcentaje de humedad que contiene la primera muestra al aplicarse las cargas de agua constante.*

- Observaciones: baja permeabilidad
- Calculado por: Danny Tarira & Génesis Velarde, 2022

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.6.2 Muestra 2

**Tabla 21:** Peso, área y volumen del cilindro de la segunda muestra

	Pulg	cm	gr
<i>Longitud de la muestra</i>	6	15,24	
<i>Área de la Muestra</i>	28,27	182,4	
<i>Peso de recipiente</i>			1930

**Nota:** Detalla el área peso y volumen que tiene la muestra para el segundo ensayo de permeabilidad

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

**Tabla 22:** Calculo de la segunda muestra de porcentaje de humedad

#### Muestra 20 %

<i>ΔH:</i>					
		130			
	T real (horas)	T relativo (min)	W <sub>rw</sub>	Volumen (cm <sup>3</sup> )	K 10 <sup>^</sup>
<i>25/6/2022</i>	10:00				
<i>26/6/2022</i>	10:00	1440	17,10	17,1	1,27 E-07
<i>27/6/2022</i>	10:00	2880	14,50	131,6	1,18 E-07
<i>Promedio</i>					1,22 E-07

**Nota:** Detalla el porcentaje de humedad que contiene la segunda muestra al aplicarse las cargas de agua constante.

- Observaciones: baja permeabilidad
- Calculado por: Danny Tarira & Génesis Velarde, 2022

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.6.3 Muestra 3

**Tabla 23:** Peso, área y volumen del cilindro de la Tercera muestra

	Pulg	cm	gr
<i>Longitud de la muestra</i>	6	15,24	
<i>Área de la Muestra</i>	28,27	182,4	
<i>Peso de recipiente</i>			1853,6

**Nota:** Detalla el área peso y volumen que tiene la muestra para el tercer ensayo de permeabilidad

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

**Tabla 24:** Calculo de la tercera muestra de porcentaje de humedad

#### Muestra 30 %

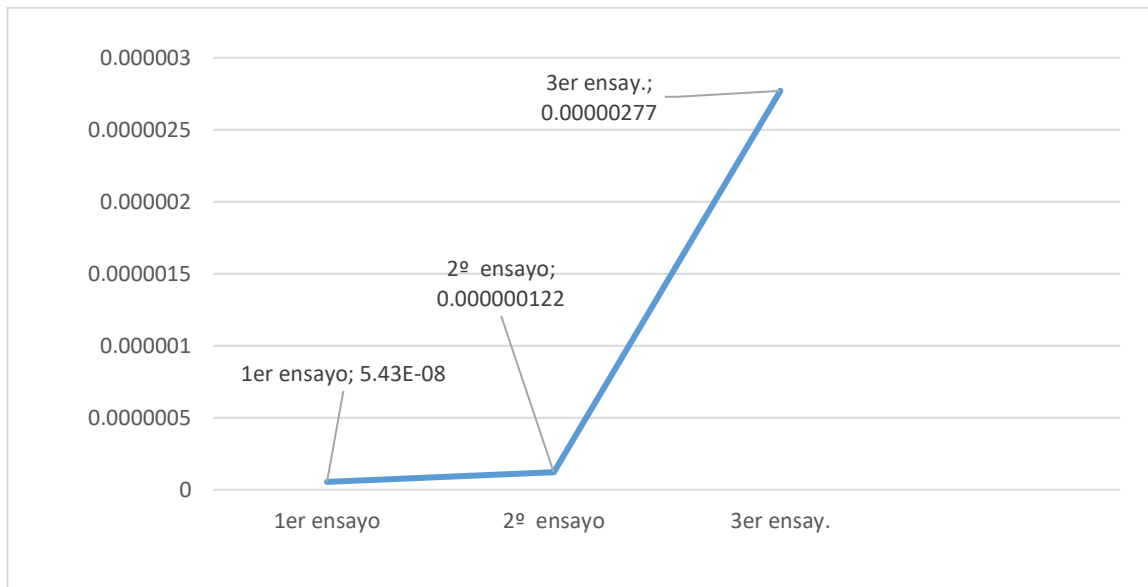
$\Delta H:$	130				
	<i>T real (horas)</i>	<i>T relativo (min)</i>	<i>Wrw</i>	<i>Volumen (cm3)</i>	<i>K 10^</i>
29/6/2022	09:00				
29/6/2022	09:15	15	2,40	2,4	1,71 E-06
29/6/2022	09:30	30	5,90	8,3	2,96 E-06
29/6/2022	09:45	45	5,60	13,9	3,31 E-06
29/6/2022	09:00	60	3,50	17,4	3,11 E-06
<b>Promedio</b>					2,77 E-06

**Nota:** Detalla el porcentaje de humedad que contiene la segunda muestra al aplicarse las cargas de agua constante.

- Observaciones: baja permeabilidad
- Calculado por: Danny Tarira & Génesis Velarde, 2022

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.7 Grafica Representativo de los Tres Ensayos de Permeabilidad



**Nota:** Muestra de Promedio de Permeabilidad de los tres ensayos.

**Figura 60:** Promedio de permeabilidad de los tres ensayos

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.8 Análisis de densidad, masa y volumen de la muestra del 10 %

A continuación, se encuentra las Densidades de los materiales: Biosólido 300 g (10%), Cal Hidráulico 300 g (10%) y Arcilla 2400 g (80%), de un total de 3000 g (100%). Debido a que fueron los ensayos más efectivos para la impermeabilidad del material.

#### 3.1.6.8.1 Calculo del peso del material

Los cálculos respectivos del peso de cada material se aplican con la respectiva formula:

$$\text{Masa} = \text{Peso} / \text{Gravedad}$$

$$\text{Material Biosólido (10\%)} = 300\text{g} = 0,3 \text{ Kg}$$

$$M = P / 9,81 = 0,3 \text{ Kg} / 9,81 = 0,030581 \text{ Kg}$$

$$\text{Material Cal Hidráulico (10\%)} = 300\text{g} = 0,3 \text{ Kg}$$

$$M = P / 9,81 = 0,3 \text{ Kg} / 9,81 = 0,030581 \text{ Kg}$$

$$\text{Material Arcilla (80\%)} = 2400\text{g} = 2,40 \text{ Kg}$$

$$M = P / 9,81 = 2,40 \text{ Kg} / 9,81 = 0,2446 \text{ Kg}$$

**Tabla 25:** Masa de los materiales

<b>Masa de los materiales utilizados</b>		
<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Unidad de medida</i>
<b>Masa del Biosólido</b>	kg	0,030581
<b>Masa de la cal hidráulica</b>	kg	0,030581
<b>Masa de la arcilla</b>	kg	0,2446

**Nota:** La tabla detalla la masa que contiene cada material del primer ensayo

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### **3.1.6.8.2 Cálculo de la Densidad de cada material**

Métodos de Formulación para el desarrollo:

- Volumen del Cilindro
- Densidad = Masa / Volumen
- Regla de 3

#### **3.1.6.8.2.1 Proceso para encontrar la densidad del Biosólido**

Masa del Material Biosólido = 0,030581 Kg

V Cilindro = 15,24 cm x 182,4 cm<sup>2</sup> = 2779.77 cm<sup>3</sup>

V. cilindro = 2779.77 cm<sup>3</sup> x (1000000/ 1m<sup>3</sup>) = 0,0027 m<sup>3</sup>

V Cilindro = 0,0027 m<sup>3</sup>

D = M / V = 0,030581 Kg / 0,0027 m<sup>3</sup> = 11,32 Kg / m<sup>3</sup>

**Tabla 26:** *Densidad del Biosólido*

<b>Densidad Material Biosólido (0,3 kg)</b>		
<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Unidad de medida</i>
<b>Masa del Biosólido</b>	kg	0,030581
<b>Volumen del Cilindro</b>	m <sup>3</sup>	0,0027
<b>Densidad del Biosólido</b>	Kg / m <sup>3</sup>	11,326

**Nota:** *La tabla detalla el proceso que se realiza para encontrar la densidad del biosólido sobre el volumen del cilindro*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### **3.1.6.8.2.2 Proceso para encontrar la densidad de la Cal Hidráulico**

Masa Material de la Cal Hidráulico = 0,030581 Kg

V Cilindro = 15,24 cm x 182,4 cm<sup>2</sup> = 2779.77 cm<sup>3</sup>

V. cilindro = 2779.77 cm<sup>3</sup> x (1000000/ 1m<sup>3</sup>) = 0,0027 m<sup>3</sup>

V Cilindro = 0,0027 m<sup>3</sup>

D = M / V = 0,030581 Kg / 0,0027 m<sup>3</sup> = 11,32 Kg / m<sup>3</sup>

**Tabla 27:** *Densidad de la Cal Hidráulico*

<b>Densidad Material Cal Hidráulico (0,3 kg)</b>		
<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Unidad de medida</i>
<b>Masa de la Cal Hidráulico</b>	kg	0,030581
<b>Volumen del Cilindro</b>	m <sup>3</sup>	0,0027
<b>Densidad de la Cal Hidráulico</b>	Kg / m <sup>3</sup>	11,326

**Nota:** *La tabla detalla el proceso que se realiza para encontrar la densidad de la cal Hidráulico sobre el volumen del cilindro*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.6.8.2.3 Proceso para encontrar la densidad de la Arcilla

Masa del Material Arcilla = 0,2436 Kg

V Cilindro = 15,24 cm x 182,4 cm<sup>2</sup> = 2779.77 cm<sup>3</sup>

V. cilindro = 2779.77 cm<sup>3</sup> x (1000000/ 1m<sup>3</sup>) = 0,0027 m<sup>3</sup>

V Cilindro = 0,0027 m<sup>3</sup>

D = M / V = 0,2436 Kg / 0,0027 m<sup>3</sup> = 90,22 Kg / m<sup>3</sup>

**Tabla 28:** Densidad de la Arcilla

Densidad Material Arcilla (2,40 kg)		
Descripción	Unidad de medida	Unidad de medida
Masa de la Arcilla	kg	0,2446
Volumen del Cilindro	m <sup>3</sup>	0,0027
Densidad de la Arcilla	Kg / m <sup>3</sup>	90,22

**Nota:** La tabla detalla el proceso que se realiza para encontrar la densidad de la Arcilla sobre el volumen del cilindro

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Por consiguiente, obtenidas la masa y la densidad de los materiales se encuentra el volumen total del material.

### 3.1.6.8.3 Calculo del volumen de cada material

Formula del volumen de cada material

Volumen = masa / densidad

#### 3.1.6.8.3.1 Proceso para encontrar el volumen del biosólido

Volumen = masa / densidad

V. Biosólido = 0,030581 Kg / 11,32 Kg / m<sup>3</sup> = 0,0027 m<sup>3</sup>

10 % del volumen = 0,0027 m<sup>3</sup> x 0,10 = 0,00027 m<sup>3</sup>

**Tabla 29:** *Volumen del Biosólido*

**Volumen Material Biosólido (0,3 kg)**

<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Unidad de medida</i>
<b>Masa del Biosólido</b>	kg	0,030581
<b>Volumen del Biosólido</b>	m <sup>3</sup>	0,00027
<b>Densidad del Biosólido</b>	Kg / m <sup>3</sup>	11,32

**Nota:** *La tabla detalla el proceso que se realiza para encontrar el volumen del biosólido*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### **3.1.6.8.3.2 Proceso para encontrar el volumen de la cal Hidráulico**

Volumen = masa / densidad

$$V. \text{ cal hidráulico} = 0,030581 \text{ Kg} / 11,32 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 0,0027 \text{ m}^3$$

$$10 \% \text{ del volumen} = 0,0027 \text{ m}^3 \times 0,10 = 0,00027 \text{ m}^3$$

**Tabla 30:** *Volumen de la cal Hidráulico*

**Volumen de Material Cal Hidráulico (0,3 kg)**

<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Unidad de medida</i>
<b>Masa de la Cal Hidráulico</b>	kg	0,030581
<b>Volumen de la Cal Hidráulico</b>	m <sup>3</sup>	0,00027
<b>Densidad de la Cal Hidráulico</b>	Kg / m <sup>3</sup>	0,1132

**Nota:** *La tabla detalla el proceso que se realiza para encontrar el volumen de la cal Hidráulico*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### **3.1.6.8.3.3 Proceso para encontrar el volumen de la Arcilla**

Volumen = masa / densidad

$$V. \text{ Arcilla} = 0,2436 \text{ Kg} / 90,22 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 0,0027 \text{ m}^3$$

$$80 \% \text{ del volumen} = 0,0027 \text{ m}^3 \times 0,80 = 0,0002160 \text{ m}^3$$



**Tabla 31:** *Volumen de la Arcilla*

**Volumen Material Arcilla (2,40 kg)**

<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Unidad de medida</i>
<b>Masa de la Arcilla</b>	kg	0,2436
<b>Volumen de la Arcilla</b>	m <sup>3</sup>	0,002160
<b>Densidad de la Arcilla</b>	Kg / m <sup>3</sup>	90,22

**Nota:** *La tabla detalla el proceso que se realiza para encontrar el volumen de la Arcilla*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

#### **3.1.6.8.3.4 Volumen total de cada material**

Obtenidos los volúmenes de cada material de la muestra, procedemos con el análisis económico para 1m<sup>3</sup> de capa de recubrimiento diario en rellenos sanitarios.

**Tabla 32:** Volumen detallado de Cada Material

**Volumen Material Total (100%)**

<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Unidad de medida</i>
<b>Volumen del Biosólido</b>	m <sup>3</sup>	0,00027
<b>Volumen de la Arcilla</b>	m <sup>3</sup>	0,002160
<b>Volumen de la cal hidráulico</b>	m <sup>3</sup>	0,00027
<b>Volumen Total</b>	m <sup>3</sup>	0,0027

**Nota:** *La tabla detalla los volúmenes encontrados de cada material respectivamente.*  
**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.7 *Análisis Económico*

De acuerdo a los datos obtenidos del ensayo de permeabilidad, el cual es de: Biosólido 300 g (10%), Cal Hidráulico 300 g (10%) y Arcilla 2400 g (80%), de un total de 3000 g (100%). Debido a que fueron la más efectiva para el ensayo de impermeabilidad, se realiza su respectivo análisis de presupuesto sobre el gasto que se realizó para dicha proporción.

Se ejerció el prototipo con dichos valores obtenidos para 0.0027 m<sup>3</sup> de volumen del material de biosólido mezclado con cal hidráulica y la arcilla para mencionado uso, el cual será analizado con una regla de 3 para 1 m<sup>3</sup>, reemplazando las coberturas diarias en los rellenos sanitarios en la ciudad de Guayaquil, establecido por la norma ecuatoriana reglamento interministerial de gestión de desechos sanitarios.

Obtenidas las respectivas densidades, masa y volumen de los materiales mezclado, además de los datos de la muestra donde se efectuó el respectivo ensayo, se procede con el análisis económico respectivamente.

Datos obtenidos del Laboratorio:

- Área del cilindro = 182,4 cm<sup>2</sup> = 0,01824 m<sup>2</sup>
- Longitud del Cilindro = 15 cm = 0,15 m
- Volumen del Cilindro = 0,0027 m<sup>3</sup>

**Tabla 33 :** *Volumen, Área y Longitud de la Muestra*

Volumen de la Muestra		
<i>Descripción</i>	<i>Unidad (cm)</i>	<i>Unidad (m)</i>
Área del cilindro	182,4 cm <sup>2</sup>	0,01824 m <sup>2</sup>
Longitud del cilindro	15 cm	0,15 m
Volumen del cilindro		0,0027 m <sup>3</sup>

**Nota:** *La tabla describe el área, longitud y volumen de la muestra donde se realizó el 1er ensayo de permeabilidad, el cual fue de 10 % de biosólido*

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

Para el presupuesto realizado se aplicó una regla de 3, debido a que cada proporción de material que se utilizó en el ensayo del 10% de material biosólido, 10% cal hidráulico y 80% de arcilla.

Por consiguiente, aplicamos la regla de 3 para conocer los gastos que se obtuvieron para la muestra de 0.0027m<sup>3</sup>.

- Volumen del material biosólido: 0,00027 m<sup>3</sup> Reutilizable sin costo.
- Volumen de la Arcilla: 0,002160 m<sup>3</sup> Material (arcilla fina)
- Volumen de la Cal hidráulico: 0,00027 m<sup>3</sup>: material importado

### **3.1.7.1 Precio de la Cal Hidráulica**

Formula: Regla de 3

Cal hidráulico:	\$ 2,50	1 kg
Precio de cal hidráulica en la muestra:	x	0,3 kg

$$X = \$ 2,50 \times 0,3 \text{ Kg} / 1 \text{ kg} = \$ \mathbf{0,75}$$

**Nota:** Para la muestra de 0.3 kg Cal Hidráulico = \$ 0,75

Precio para el volumen de 1 m<sup>3</sup> de la cal hidráulico:

Formula: Regla de 3

Valor volumen de Cal hidráulico muestra:	\$ 0,75	0,0027 m <sup>3</sup>
Precio de volumen del 10 %: de 1 m <sup>3</sup> :	x	0,1 m <sup>3</sup>

$$X = \$ 0,75 \times 0,1 \text{ m}^3 / 0,0027 \text{ m}^3 = \$ \mathbf{27,78}$$

### **3.1.7.2 Precio de la Biosólido**

: Material Reutilizable

### 3.1.7.3 Precio de la Arcilla

Formula: Regla de 3

Arcilla: \$ 10,00 50 kg

Precio de la Arcilla en la muestra: x 0,8 kg

$$X = \$ 10,00 \times 0,8 \text{ Kg} / 50 \text{ kg} = \$ \mathbf{0,16}$$

**Nota:** Para la muestra de 0.8 kg de Arcilla = \$ 0,16

Precio para el volumen de 1 m<sup>3</sup> de la Arcilla:

Valor volumen de Arcilla: \$ 0,16 0,0027 m<sup>3</sup>

Precio de volumen del 80 %: de 1 m<sup>3</sup>: x 0,8 m<sup>3</sup>

$$X = \$ 0,16 \times 0,8 \text{ m}^3 / 0,0027 \text{ m}^3 = \$ \mathbf{47,40}$$

### 3.1.7.4 Precio del volumen para 1 m<sup>3</sup>

**Tabla 34:** Presupuesto para 1m<sup>3</sup> volumen de la muestra

Precios de los volúmenes para 1 m<sup>3</sup>

<i>descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Material (u)</i>	<i>Valor</i>
<b>80% Arcilla</b>	0,8	m <sup>3</sup>	\$47.40
<b>10 % Cal Hidráulico</b>	0,1	m <sup>3</sup>	\$27,78
<b>10 % Biosólido</b>	0,1	m <sup>3</sup>	\$ 0,00
<b>100% Mezcla sumatoria</b>	1	m <sup>3</sup>	<b>\$ 75,18</b>

**Nota:** Análisis del precio para 1 m<sup>3</sup> con sus respectivos porcentajes, 10% Biosólido, 10 % cal Hidráulico y 80 % de arcilla.

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.8 *Análisis Ambiental*

Se han identificado los efectos que los biosólidos tienen sobre el medio ambiente, el cual, conducen principalmente a la contaminación del suelo, ya que los residuos antes mencionados no se manipulan ni se aprovechan adecuadamente, por lo consiguiente, son eliminados en los vertederos o rellenos sanitarios y una pequeña parte terminan en zonas vegetativas o agrícolas.

El continuo aumento de la población mundial trae consigo una alta demanda de recursos naturales como es el agua, esto hace que la administración óptima de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales sea una práctica de ingeniería importante y responsable, para así evitar su impacto en el medio ambiente, debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas, debido que a una remoción incorrecta puede afectar las plantas, los recursos hídricos, los animales y la población en general con enfermedades.

La sustitución de materias primas por materiales reciclados reduce la dependencia de dichas materias en la industria de la construcción. La reutilización de los biosólidos como producto de la industria de la construcción lo convierte en un material amigable para el medio ambiente, además de una práctica útil gracias a las nuevas tecnologías a su disposición.

Toca tener en cuenta que cualquier industria, con más producción significa más desperdicio, por lo consiguiente, se crean problemas ambientales peligrosos y tóxicos. Una solución económicamente factible a este problema es incluir el uso de estos residuos para nuevos productos, reduciendo así la carga en los vertederos.

El reciclaje de desechos ahorra recursos naturales y energía, reduce los desechos sólidos, los contaminantes del aire y el agua, además de reducir los gases de efecto invernadero.

### 3.1.8.1 Matriz del Beneficio de la Reutilización del Biosólido en el Medio Ambiente

**Tabla 35: Beneficio Ambiental**

Beneficio del Biosólido en el medio ambiente	
<b>Agua</b>	<i>Una planta de tratamiento de aguas residuales es una instalación cuyo objetivo principal es eliminar completamente los contaminantes presentes en el agua con el fin que este proceso del paso para el agua potable. Uno de los subproductos generados durante la remoción de contaminantes son los biosólidos, y este material es sustentable para otros usos.</i>
<b>Suelo</b>	<i>La aplicación de biosólidos en el suelo proporciona un soporte de nutrientes como agente estabilizador para mantener la productividad del suelo y estimular el crecimiento de las plantas.</i>
<b>Aire</b>	<i>El biosólido aumenta la vegetación de la zona aplicada y dicha vegetación absorbe el dióxido de carbono encontrado en la atmósfera liberando oxígeno más limpio y puro sin contaminación.</i>

**Nota:** Análisis Ambiental dado a la reutilización del biosólidos como material de recubrimiento en rellenos sanitarios

**Elaborado por:** (Tarira, D. y Velarde, G. 2022)

### 3.1.8.2 Beneficio ambiental de utilizar biosólido con cal hidráulico para uso de recubrimiento en rellenos sanitarios

La incorporación de biosólidos en la cobertura diaria produce efectos positivos en los rellenos sanitarios, debido a que estos sitios donde usualmente son suelos pobres, ya que sus altos contenidos de toxicidades originados por la descomposición de la materia orgánica, gases y líquidos contaminados llamados lixiviados produce daños en los suelos como la erosión, pérdida de carbono orgánico, la acidificación, la salinización, etc., La cal hidráulico será el neutralizador en los biosólidos gracias a sus Propiedades presente en su composición, siendo un acondicionador de suelos, aumentando así la vida útil de los rellenos sanitarios, además la mezcla del biosólido con cal hidráulico y arcilla como cobertura diaria en épocas de lluvia es ventajoso gracias a su baja permeabilidad, dado que la cal hidráulico sería el primer filtro y a medida que baja el agua en las siguientes capas va bajando con nutrientes y controlando la acidez, bajando con menos toxinas, favoreciendo el trabajo de tratamiento de lixiviados, pues esto últimos son líquidos peligrosos que se filtran por el suelo comprometiendo a los acuíferos o aguas subterránea

## Conclusiones

1.- En los tres ensayos de permeabilidad realizados se determinó que cada uno de estas pruebas fueron permeables, por consiguiente, el ensayo que tenía menos porcentaje de biosólido (10 %) fue la muestra que a largo plazo percolo menos, a diferencia de las muestras de (20 y 30 %), lo que resulta que entre menos biosólido conjunto a la cal existirá una mayor permeabilidad.

2.-El Biosólido es un material sustentable en el ámbito de la construcción, la reutilización de residuos de este material ahorra recursos naturales y energía, disminuye los residuos sólidos, los contaminantes de agua y suelo, además que reduce los gases de efecto invernadero en la zona aplicada, su gran beneficio sobre todo en el suelo por sus altos contenido de nutrientes lo vuelve beneficioso en el medio natural.

3.- Dentro del proyecto basado al tema de biosólidos, se usó normas vigentes de la República de Colombia, México y Estados Unidos de América, debido a la carencia de normas de Biosólidos en Ecuador, no existe indicios legales que defina o respalde el material biosólido.

4.- El material neutralizador para el 10 % de biosólido, fue 10 % de cal hidráulico, el cual, posee un valor de \$ 27.78 para 1 m<sup>3</sup>, por ende, tiene un precio elevado para una capa de recubrimiento diario en los rellenos sanitarios., comparado con el recubrimiento de capa diario tradicional, lo convierte en un ensayo no favorable.

### **Recomendaciones**

- 1.- Que los futuros investigadores o estudiantes interesados en el tema, utilicen otro material que no sea cal hidráulico para la neutralización del Biosólido, debido a su alto costo.
- 2.- Establecer una normativa legal vigente en Ecuador sobre biosólido proyectando su definición, clasificación, tipos e importancia en los aspectos dentro del ámbito de la construcción.
3. Seguir estudiando y analizando el material Biosólido como alternativa sustentable y eco amigable en el campo de la construcción, ya que es un material que nace día a día a través de la PTAR Los Merinos y muy pronto en la PTAR Las Exclusas, en la ciudad de Guayaquil.



## 4 Bibliografía

- Andrade, I., & Solórzano, D. (2021). *APROVECHAMIENTO DE LODOS DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN EL CARMEN COMO BIOSÓLIDOS PARA EL SECTOR FORESTAL*. Calcuta-Manabi: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1420/1/TTMA14D.pdf?fbclid=IwAR0zaLUZG2TFd8foxKaKQ4NfMaZKFugoPpHMjD5lyWx4kOINe2kathZiKmk>
- Arkiplus. (06 de junio de 2022). *Arkiplus*. Obtenido de Arkiplus: <https://www.arkiplus.com/cal-hidraulica/>
- Artigas, F. (2018). *Aumento de productividad en proceso de fabricación de cal hidráulica de segunda*. Buenos Aires: ITBA. Obtenido de <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1538>
- Ávila Benito, L. C. (02 de FEBRERO de 2020). *SÍNTESIS BIOSÓLIDOS EN COLOMBIA: DEFINICIÓN, VENTAJAS, USOS Y APLICACIONES EN LA INGENIERÍA A TRAVÉS DE UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA*. BOGOTÁ, COLOMBIA: Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/32093/2021avilalaura.pdf?sequence=15&isAllowed=y>
- Azuero, Á. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, 4(8), 110-127. doi:10.35381/r.k.v4i8.274
- Bach. INOFUENTE CANAZA, Z. J. (2022). *"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MEDIANTE UN RELLENO SANITARIO MANUAL, PARA LA CIUDAD DE AZÁNGARO"*. PUNO – PERÚ: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO. Obtenido de [http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/17978/Inofuente\\_Canaza\\_Zayda\\_Judith.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/17978/Inofuente_Canaza_Zayda_Judith.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bardales, J., & Cruzado, D. (2022). *"PROPUESTA DE GENERACIÓN DE BIOSÓLIDOS CON AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA MINA DE CARBÓN PIÑIPATA PARA SU USO EN LA AGRICULTURA EN LA PROVINCIA DE HUALGAYOC, 2020"*. Cajamarca - Perú: UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30190/Bardales%20Gonzales,%20Jose%20Oswaldo-Cruzado%20Villanueva,%20Deisy%20Mariela.pdf?sequence=1>
- Bastidas Cevallos, N., & Martínez Quimbiulco, A. (2022). *Evaluación del efecto de un biofertilizante elaborado a partir del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas de la ciudad de Ibarra potenciado con trichoderma sp. aplicado en phaseolus vulgaris*. Ibarra, Ecuador: Repositorio Digital Universidad Tecnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12439>
- CAPPELARI, E., GIORDANI, C., BERSCH, D., BORGES, R., LAMEGO, F., & FALCAO, R. (2021). Contribuição à análise de pastas de cal hidráulica e cal hidratada para reparos em. *Cimpar*, 763-770. doi:10.4322/CINPAR
- Castillo, J. G., Balarezo, L. D., Vinces, B. M., & Zambrano, A. H. (Enero-Junio de 2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *RIEMAT*, 5(1), 23-27. doi:10.33936/riemat.v5i1.2499

- Chamberg Quiñones,, C. L. (2020). *PROPUESTA DE UN DISEÑO DE RELLENO SANITARIO MANUAL*. Chiclayo , Perú: UNIVERSIDAD DE LAMBAYEQUE. Obtenido de [https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/424/1/Chamberg%20Qui%20c3%b1ones\\_Tesis%20IA.pdf](https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/424/1/Chamberg%20Qui%20c3%b1ones_Tesis%20IA.pdf)
- coprocesamiento.org. (21 de Diciembre de 2020). *coprocesamiento.org*. Obtenido de coprocesamiento.org: <https://coprocesamiento.org/la-ingenieria-de-los-rellenos-sanitarios/>
- Daguer, G. P. (2003). GESTIÓN DE BIOSÓLIDOS EN COLOMBIA. *ACODAL*, 1. doi:ISO 14001.
- De La Portilla López, N. (2021). *EFFECTO DE LA ADICIÓN DE BIOSÓLIDOS EN LAS PROPIEDADES BIOQUÍMICAS DE SUELOS EROSIONADOS*. Mexico: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. Obtenido de [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/112433/Titulo\\_2236.pdf?sequence=1](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/112433/Titulo_2236.pdf?sequence=1)
- Ecologia. info. (2022). *Ecologia. info*. Obtenido de Ecologia. info: <https://decolegia.info/medio-ambiente/relleno-sanitario/>
- Editor. (25 de octubre de 2011). *Inforegion*. Obtenido de Inforegion: <https://www.inforegion.pe/120940/inauguran-en-ayacucho-segundo-microrrelleno-sanitario-manual/comment-page-1/>
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (28 de Septiembre de 2020). *EPA (United States Environmental Protection Agency)*. Obtenido de EPA (United States Environmental Protection Agency): <https://www.epa.gov/biosolids/biosolids-generation-use-and-disposal-united-states>
- Freire, C., Meneses, K., & Cuesta, G. (1 de Julio de 2021). América Latina: ¿Un paraíso de la contaminación ambiental? *Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences*, 55(2), 1-18. doi:org/10.15359/rca.55-2.1
- Garcia Bello, N. E. (2021). *Análisis y propuesta para el uso potencial de biosólidos de PTAR en la fabricación de ladrillos de arcilla*. Bogotá: Univeridad Militar Nueva Granada. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/40215>
- García, N. (2021). *Análisis y propuesta de uso potencial de biosólidos de PTAR en la fabricación de ladrillos de arcilla*. Bogota: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/40215>
- García, P., & Áñvarez, B. (22 de Octubre de 2019). Origen y distribución de arcillas utilizadas en la fabricación de búcaros: bucarofagia en la Edad Moderna. *Physis Terrae*, 1(1), 57-71. doi:10.21814/physisterrae.326
- Gómez , J. (2020). *EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO PARA LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS POR PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. BOGOTÁ D.C: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. Obtenido de <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/8188/1/6152610-2020-2-IQ.pdf>
- Gomez, J., Sanchez, J., Ocampo, A., & Restrepo, J. (Julio de 2012). APLICACIÓN DE REDES NEURONALES EN LA CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS. *EIA*(17), 183-191. doi:ISSN 1794-1237

- Google Earth. (s.f.). *Google Earth*. Obtenido de Google Earth:  
<https://earth.google.com/web/search/laguna+de+oxidacion+guayacanes+samanes/@-2.11948976,-79.88011442,4.05118776a,1063.17419032d,35y,101.88506575h,45.00004733t,-Or/data=CigiJgokCY8ntWTw4wDAEb-QWunfAAHAGViWlvkW-FPAIUITVxYH-VPA>
- Hernández Rodríguez, J. J., Ma. Rivera Mosqueda, C., & Arellano Elizarraraz, R. (2018). ANÁLISIS DE BIOSÓLIDOS PARA SU USO AGRÍCOLA EN UNA HORTALIZA. *Jovenes de la ciencia*, 4, 340-344. Obtenido de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2304/1795>
- Julio. (2019). *Plan Maestro de Gestión de Biosólidos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Cuenca, Fase 1 Prefactibilidad*. Cuenca: GREELEY AND HANSEN. Obtenido de [https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoria%20lodos%20y%20biosolidos/4\\_Informe%20Lodos%20ETAPA.pdf?ver=2021-01-14-214624-173](https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoria%20lodos%20y%20biosolidos/4_Informe%20Lodos%20ETAPA.pdf?ver=2021-01-14-214624-173)
- Leon Rojas, R. C. (2019). *“CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y SUS EFECTOS EN LA SALUD”*: una revisión de la literatura científica. Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26511/Leon%20Rojas,%20Roberto%20Carlos.pdf?sequence=1>
- Manjarrés, E., Castellanos, J., Galvis, J., & Merchan, N. (2021). 9. Uso de biosólidos en Colombia: métodos de estabilización y aplicaciones a nivel agrícola. *UNIVERSIDAD DE BOYACA*, 4, 9-27. doi:10.24267/23462329.792
- Mariño, C. (2018). *DISEÑO DE UN MORTERO CON CEMENTO PORTLAND TIPO I Y HE INCLUIDA CAL HIDRÁULICA PARA SU USO EN IMPRESORAS 3D*. Riobamba – Ecuador: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4777/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2018-0009.pdf>
- Martinez, L. (15 de agosto de 2015). @AMBLUISM. Obtenido de @AMBLUISM: <https://medium.com/@luisfranciscomartinez/la-contaminaci%C3%B3n-del-suelo-974bef3e96b>
- Melendres Palma, A. M. (2021). *Análisis del ciclo de vida de un relleno sanitario ubicado en una ciudad de la sierra ecuatoriana. Representa un beneficio ambiental la recuperación del biogás para generación de electricidad*. Guayaquil - Ecuador: espol. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52617>
- Meléndrez Palma, A. M., & Ramirez M, A. (2021). *Análisis del ciclo de vida de un relleno sanitario ubicado en una ciudad de la sierra ecuatoriana. Representa un beneficio ambiental la recuperación del biogás para generación de electricidad*. Guayaquil: Espol. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52617>
- Ministerio de Ambiente. (16 de Septiembre de 2014). *Ministerio de Ambiente*. Obtenido de Ministerio de Ambiente: <https://www.ambiente.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2014/05/AM-191-Intructivo-para-reciclaje-para-celulares\_final.pdf

- MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, DECTREO 1827. (04 de JULIO de 2014). *REPÚBLICA DE COLOMBIA*. Obtenido de REPÚBLICA DE COLOMBIA: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2014/Documents/JULIO/10/DECRETO%201287%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202014.pdf>
- Mycal . (25 de Junio de 2019). *Mycal* . Obtenido de Mycal : <https://mycal.com.pe/cuales-son-los-tipos-de-cal/>
- Nazar, J. (2021). *“INFLUENCIA DE ARCILLAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICA EN LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN EL TRAMO DE INTI ALTO Y LAS VEGAS, PROVINCIA DE LEONCIO PRADO – HUÁNUCO, 2020”*. HUÁNUCO – PERÚ: UNIVERSIDAD DE HUANUCO. Obtenido de file:///D:/Usuario/Descargas/NAZAR%20CIPRIANO,%20JAVIER.pdf
- Norma TULSMA. (04 de Abril de 2015). *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, ANEXO II*. Obtenido de REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE. LIBRO VI, ANEXO II.: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Normas Oficiales Mexicanas. (15 de AGOSTO de 2003). *Normas Oficiales Mexicanas*. Obtenido de Normas Oficiales Mexicanas: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>
- Otero, A. (08 de Agosto de 2018). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/326905435\\_ENFOQUES\\_DE\\_INVESTIGACION](https://www.researchgate.net/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION)
- Palacios, I. (5 de Mayo de 2018). EVALUACIÓN MULTICRITERIO PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE MACAS, A TRAVÉS DE LA PONDERACIÓN DE SUS VARIABLES CON EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO, AHP. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, III(3), 84. Obtenido de <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/06/7.pdf>
- Pantoja, P. (2022). *Comparación técnica, económica y ambiental entre geomembrana y arcilla para impermeabilizar la capa de cobertura final del relleno sanitario de Tulcán*. . Sangolquí: ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/28515/1/T-ESPE-019436.pdf>
- Potella, T. (12 de Febrero de 2018). *Ecuador Documents*. Obtenido de Ecuador Documents: <https://documents.ec/document/disenio-de-rellenos-sanitarios.html>
- Quinchía, A. M., & Carmona, D. M. (2004). FACTIBILIDAD DE DISPOSICIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMBINADA. *EIA*(2), 89-108. doi:, ISSN 1794-1237
- Quinga Toapanta, M. P., & Vilema Quinllin , L. D. (2022). *PROPUESTA DE UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL CANTÓN GUANO*. Riobamba – Ecuador: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8542/1/Quinga%20Toapanta%20M.%20%E2%80%93%20Vilema%20Quinllin%20L.%20%282022%29%20Propuesta%20de%20ub>

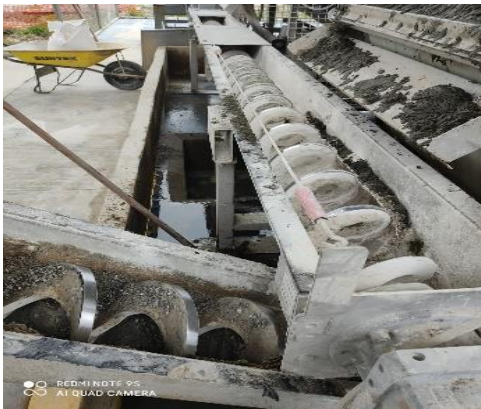
icaci%C3%B3n%20de%20un%20relleno%20sanitario%20para%20el%20Cant%C3%B3n%20Guano%20%28Tesis%20de%20Grado%29.pdf

- Revista Domus. (16 de Enero de 2020). *Revista Domus*. Obtenido de Revista Domus: <https://fliphtml5.com/ffsd/jopj/basic/51-96>
- Rivera, F., Hermosilla, P., Delgadillo, J., & Echeverría, D. (2021). Propuesta de construcción de competencias de innovación en la formación de ingenieros en el contexto de la industria 4.0 y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). *Formación Universitaria*, Vol. 14(2), 75-84. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/formuniv/v14n2/0718-5006-formuniv-14-02-75.pdf>
- Robles Ortega, M. A. (2019). *Evaluación de la operación de la planta de tratamiento de aguas servidas pantanos secos artificiales de Puerto Azul*.
- Rodríguez, D. (10 de Abril de 2018). *Banco Mundial Blogs*. Obtenido de Banco Mundial Blogs : <https://blogs.worldbank.org/es/voices/tratamiento-de-aguas-residuales-elemento-necesario-en-una-economia-circular>
- Rosell Amigó, J. R., & Bosch González, M. (2018). Hormigones de cal: nuevos “viejos” materiales. *VI Jornadas FICAL*, p. 82-92. . doi:978-84-8081-604-5
- Roselló, Oriol, & Alcindor, Mónica. (2012). *La cal, una visión biocultural*. Barcelona: Repositorio UPT Universidad de Portucalense. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11328/3776>
- SAENZ BELLO, J. T. (2019). *DOSIFICACIÓN DE UN MORTERO CON CAL VIVA Y CAL APAGADA*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32369/SaenzBelloJessicaTatiana2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Sánchez Bonilla, I., & Oropesa Hernández, T. (2019). La cal en Tenerife. Especificidades. El horno de El Bueno-Arico y la producción de cal. *I Simposio anual de Patrimonio Natural y Cultural ICOMOS*, 103-112. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160383/S%c3%a1nchez%3bOropesa%20-%20La%20cal%20en%20Tenerife.%20Especificidades.%20El%20horno%20de%20El%20Bueno-Arico%20y%20la%20producci%c3%b3n....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Telma, B., Pettinari, G., Parolo, M., & Mesquin, L. (2017). ARCILLAS ESMECTÍCAS DE LA REGIÓN NORPATAGÓNICA ARGENTINA COMO BARRERAS HIDRÁULICAS DE RELLENOS SANITARIOS Y AGENTES DE RETENCIÓN DE METALES PESADOS. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(1), 141-152. doi:doi.org/10.20937/rica.2017.33.01.13.
- Tito, B. (17 de Octubre de 2020). *Ingeniería Ambiental*. Obtenido de Ingeniería Ambiental: <https://ingenieriaambiental.net/tratamiento-de-lodos/>
- Torres Valencia, L. (2019). *DESARROLLO DE UNA METODOLOGIA PARA LA IDENTIFICACION DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LOS BIOSOLIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE CAÑAVERALEJO(PTAR-C) DE SANTIAGO DE CALI*. SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11376/T08597.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

- Torri, S. (Mayo 2017). *¿Qué es un relleno sanitario?* Buenos Aires: Publicacion on-line del centro de Estudios y Desarrollo de Políticas Públicas, CECePP. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Silvana-Torri/publication/319624681\\_Que\\_es\\_un\\_relleno\\_sanitario/links/59bbd53d458515e9cfc78e2c/Que-es-un-relleno-sanitario.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Silvana-Torri/publication/319624681_Que_es_un_relleno_sanitario/links/59bbd53d458515e9cfc78e2c/Que-es-un-relleno-sanitario.pdf)
- UNCOMO. (20 de enero de 2017). *Uncomo*. Obtenido de Uncomo: <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/belleza/articulo/cuales-son-los-beneficios-cosmeticos-de-la-arcilla-20749.html>
- Universidad D Cordoba. (30 de Junio de 2014). *Universidad D Cordoba*. Obtenido de Blog de agua: <https://blogdelagua.com/actualidad/lodos-de-depuracion-de-aguas-residuales-en-espana/>
- Vargas, F. (2005). LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL COMO FACTOR DETERMINANTE. *Vol. 79*. Obtenido de [https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/resp/v79n2/v79n2a01.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/resp/v79n2/v79n2a01.pdf)
- Vasquez, J., & Vargas, G. (2018). *APROVECHAMIENTO DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPIO DE FUNZA, COMO INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DEL SUELO*. BOGOTÁ- COLOMBIA : Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo%20de%20Grado%20-%20%20Lodos%20Funza.pdf>
- Velázquez Vertti, C., & Cuan Alarcón, M. (2019). *TESAURO: CAL TESAURO: CAL*. Puebla, Mexico: oxical. Obtenido de <https://oxical.mx/tesauro/pdf/Tesauro.pdf>
- Velázquez, Cecilia; Cuan, Mario. (2019). DEFINICIONES RELACIONADAS CON EL PROCESO DE LA CAL DE ALTA ACIÓN DE MONUMENTOS HISTÓRICOS PUREZA Y SU USO EN LA CONSERVACIÓN DE MONUMENTOS HISTÓRICOS. 5. Obtenido de <https://oxical.mx/tesauro/pdf/Tesauro.pdf>
- Williams, P. (7 de Enero de 2021). *USO DE BIOSOLIDOS EN PRODUCCION DE HORTALIZAS*. Obtenido de Horticultural Sciences Department: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1183>

## Anexos

### Anexo 1: Planta de tratamiento de aguas residuales Los Merinos - ciudad de Guayaquil



## Anexo 2: Resultados de los 3 ensayos de permeabilidad

FREDY BANEGAS BUSTAMANTE				PROYECTO: Biosolitos con cal hidraulico para el uso de recubrimientos en rellenos	
Ing. Civil 09-5230				UBICACIÓN:	
C/da. Urbanor Mz L 1 - v. 38 Tel. 2 3 15971 - 0994340172				FECHA: 10/7/2022	
DATOS DE LA MUESTRA					
	pulg	cm	gr		
Longt de muestra	6	15,24			
Area de muestra	28,27	182,4			
Peso recipient (gr)			1853,6		
MUESTRA: 10 %					
ΔH:		130			
	T real (horas)	T relativo (min)	Wrw	Volume n (cm3)	K 10 <sup>a</sup>
25/6/2022	10:00				
26/6/2022	18:00	1920	8,50	8,50	4,74E-08
27/6/2022	18:00	3360	10,70	19,20	6,12E-08
Promedio					5,43E-08
OBSERVACIONES: MUESTRA MUY BAJA PERMEABILIDAD					
CALCULADO POR: DANNY TARIRA & GENESIS VELARDE, 2022					

$$k = \frac{V \times L}{\Delta H \times A \times t(seg)}$$

FREDY BANEGAS BUSTAMANTE				PROYECTO: Biosolitos con cal hidraulico para el uso de recubrimientos en rellenos	
Ing. Civil 09-5230				UBICACIÓN:	
C/da. Urbanor Mz L 1 - v. 38 Tel. 2 3 15971 - 0994340172				FECHA: 10/7/2022	
DATOS DE LA MUESTRA					
	pulg	cm	gr		
Longt de muestra	6	15,24			
Area de muestra	28,27	182,4			
Peso recipient (gr)			1930		
MUESTRA: 20 %					
ΔH:		130			
	T real (horas)	T relativo (min)	Wrw	Volume n (cm3)	K 10 <sup>a</sup>
25/6/2022	10:00				
26/6/2022	10:00	1440	17,10	17,1	1,27E-07
27/6/2022	10:00	2880	14,50	31,6	1,18E-07
Promedio					1,22E-07
OBSERVACIONES: MUESTRA BAJA PERMEABILIDAD					
CALCULADO POR: DANNY TARIRA & GENESIS VELARDE, 2022					

$$k = \frac{V \times L}{\Delta H \times A \times t(seg)}$$

FREDY BANEGAS BUSTAMANTE				PROYECTO: Biosolitos con cal hidraulico para el uso de recubrimientos en rellenos	
Ing. Civil 09-5230				UBICACIÓN:	
C/da. Urbanor Mz L 1 - v. 38 Tel. 2 3 15971 - 0994340172				FECHA: 10/7/2022	
DATOS DE LA MUESTRA					
	pulg	cm	gr		
Longt de muestra	6	15,24			
Area de muestra	28,27	182,4			
Peso recipient (gr)			1853,6		
MUESTRA:30 %					
ΔH:		130			
	T real (horas)	T relativo (min)	Wrw	Volume n (cm3)	K 10 <sup>a</sup>
29/6/2022	9:00				
	9:15	15	2,40	2,4	1,71E-06
	9:30	30	5,90	8,3	2,96E-06
	9:45	45	5,60	13,9	3,31E-06
	10:00	60	3,50	17,4	3,11E-06
Promedio					2,77E-06
OBSERVACIONES: MUESTRA BAJA PERMEABILIDAD					
CALCULADO POR: DANNY TARIRA & GENESIS VELARDE, 2022					

$$k = \frac{V \times L}{\Delta H \times A \times t(seg)}$$