

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**Remoción de coliformes fecales de biosólidos de  
la planta de tratamiento de aguas residuales  
“Totora” con hipoclorito de calcio  
[Ca (ClO)<sub>2</sub>], Ayacucho 2014.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIÓLOGA, EN LA ESPECIALIDAD DE MICROBIOLOGÍA**

**Presentado por la:  
Bach. MEZA LÁZARO, Magali**

**AYACUCHO – PERÚ  
2019**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Bachiller: Magali Meza Lázaro**  
**R.D.N° 033-2019-UNSCH-FCB-D**

En la ciudad de Ayacucho, a las cuatro de la tarde del día veinte y cinco de enero del año dos mil diecinueve, en el auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNSCH, se reunieron los miembros del jurado calificador conformado por: Dr. Jesús De la Cruz Arango (presidente). Dra. Elya Salina Bustamante Sosa (miembro - jurado). Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz (miembro - jurado). Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez (miembro - asesor) y Mg. José Alarcón Guerrero (miembro - cuarto jurado), actuando como secretario de docentes Mg. Pedro Ayala Gómez, para recepcionar la tesis titulada: Remoción de coliformes fecales de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales "Tотора" con hipoclorito de calcio [Ca (ClO)<sub>2</sub>], Ayacucho 2014, presentado por la Bachiller Magali Meza Lázaro. El presidente luego de verificar la documentación presentada, invitó a la sustentante dar inicio al acto de sustentación, aclarando que la sustentante dispone de cuarenta y cinco minutos de tiempo como dispone el reglamento de grados y títulos.

Concluida la sustentación, el presidente invitó a los miembros del jurado evaluador para que realicen las preguntas y/o solicitar aclaraciones sobre la exposición del trabajo.

Terminado esta etapa, invitó a la sustentante y al público asistente a abandonar el auditorio para que los miembros jurados puedan realizar las deliberaciones del presente acto académico, cuyos resultados son los siguientes:

<b>MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR</b>	<b>EXPOSICIÓN</b>	<b>RESPUESTA A PREGUNTAS</b>	<b>PROMEDIO</b>
Dra. Elya Salina Bustamante Sosa	16	15	16
Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz	17	15	16
Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez	18	17	17
Mg. José Alarcón Guerrero	17	17	17
		<b>PROMEDIO</b>	<b>17</b>

La sustentante alcanzó la nota promedio general aprobatoria de diecisiete (17) en seguida, el presidente ordena el regreso de la sustentante y público asistente al auditorio para dar a conocer el resultado de las evaluaciones y terminar el acto académico, siendo las 6:00 pm. En fe del cual firman:




---

Dr. Jesús De la Cruz Arango  
Presidente





---

Dra. Elya Salina Bustamante Sosa  
Miembro - Jurado





---

Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz  
Miembro - Jurado





---

Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez  
Miembro - Asesor




---

Mg. José Alarcón Guerrero  
Miembro - Cuarto jurado




---

Mg. Pedro Ayala Gómez  
Secretario - Docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

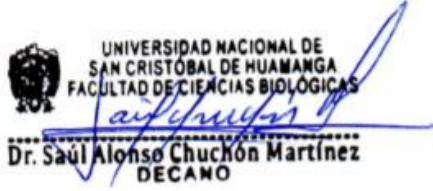
DECANATURA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS N° 002-  
2021-FCB-D

Yo, SAÚL ALONSO CHUCHÓN MARTÍNEZ, Decano de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **“Remoción de coliformes fecales de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales “Tоторa” con hipoclorito de calcioV[Ca (ClO)2], Ayacucho 2014”**, presentado por la Bach. MAGALI MEZA LÁZARO; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 9%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-C.

En tal sentido, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 17 de junio del 2021.

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
Dr. Saul Alonso Chuchón Martínez  
DECANO

# Remoción de coliformes fecales de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales “Tоторa” con hipoclorito de calcio $[Ca(ClO)_2]$ , Ayacucho 2014.

*por Magali Meza Lázaro*

---

**Fecha de entrega:** 17-jun-2021 07:11a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1607999007

**Nombre del archivo:** 1A\_Meza\_L\_zaro\_Magali\_Pregrado\_2021\_TURNITIN.docx (283.16K)

**Total de palabras:** 12179

**Total de caracteres:** 63764

# Remoción de coliformes fecales de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales "Totorá" con hipoclorito de calcio [Ca (ClO)2], Ayacucho 2014.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://tierra.rediris.es">tierra.rediris.es</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1%
10	busquedas.elperuano.pe Fuente de Internet	<1%
11	lookformedical.com Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	revista.cnice.edu.cu Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
15	www.regionloreto.gob.pe Fuente de Internet	<1%
16	Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo. "Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño", Water Intelligence Online, 2017 Publicación	<1%
17	www.redalyc.org Fuente de Internet	<1%
18	Jorge Silva-Leal, Diego Bedoya-Rios, Patricia Torres-Lozada. "Efecto del secado térmico y el	<1%

tratamiento alcalino en las características  
microbiológicas y químicas de biosólidos de  
plantas de tratamiento de aguas residuales  
domésticas", Química Nova, 2013

Publicación

---

19

Submitted to Universidad Catolica San Antonio de  
Murcia

Trabajo del estudiante

---

<1%

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Con inmensa gratitud a mis padres:  
Teodora y Leandro, a mi hija Mayara  
y a mi esposo Alberth, por el apoyo  
incondicional.



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, *Alma Mater* en la cultura de la humanidad, fuente de sabiduría y enseñanza, por haberme brindado mi formación profesional.

A la plana de docentes de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas – UNSCH, forjadores de hombres al servicio de la sociedad, quienes con sus enseñanzas y sus conocimientos crearon mi espíritu de superación.

Al Dr. Saúl A. Chuchón Martínez, asesor del presente trabajo, por su constante asesoramiento y apoyo incondicional en la ejecución del presente trabajo de investigación.

Un especial reconocimiento a la Dra. Elya S. Bustamante Sosa, al Dr. Carlos E. Carrasco Badajoz, por guiarme en el desarrollo del presente trabajo, quienes tuvieron la predisposición y paciencia de absolver mis dudas e inquietudes.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	7
2.2.1. Lodo cloacal	7
2.2.2. Biosólido	7
2.2.3. Bacteria	7
2.2.4. Coliformes fecales	7
2.2.5. Número más probable (NMP)	7
2.2.6. Microorganismos indicadores	7
2.2.7. Remoción	7
2.2.8. Planta de tratamiento de agua residual doméstica o municipal	8
2.2.9. Tanques Imhoff	8
2.2.10. Sólido sedimentable	8
2.2.11. Lechos de secado	8
2.2.12. Subproducto	8
2.2.13. Tratamiento del biosólido	8
2.2.14. Límite máximo permisible (LMP)	8
2.2.15. Parámetros de calidad	8
2.2.16. Ph	8
2.2.17. Humedad	8
2.2.18. Hipoclorito de calcio	8
2.3. Bases teóricas	9
2.3.1. Planta de tratamiento de agua residual	9
2.3.2. Biosólidos	10
2.3.3. Hipoclorito de calcio	13

2.3.4. Bacterias coliformes	15
2.4. Marco legal	18
2.4.1. Organismos internacionales	18
2.4.2. Organismos nacionales	19
III. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. Localización de la zona de estudio	23
3.1.1. Ubicación política	23
3.1.2. Ubicación geográfica	23
3.2. Población y muestra	24
3.2.1. Población	24
3.2.2. Muestra	24
3.2.3. Unidad experimental	24
3.2.4. Sistema de muestreo	24
3.3. Metodología y recolección de datos	24
3.3.1. Diseño experimental	24
3.3.2. Construcción del lecho de secado	25
3.3.3. Preparación de soluciones amortiguadoras	25
3.3.4. Preparación de lechadas de hipoclorito de calcio	25
3.3.5. Determinación de los indicadores	26
3.4. Análisis de datos	28
IV. RESULTADOS	29
V. DISCUSIÓN	41
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES	49
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	53

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros considerados para el tratamiento biológico de aguas residuales.	13
Tabla 2. Criterios microbiológicos considerados para la caracterización de biosólidos según normas.	13
Tabla 3. Valores promedios de pH en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR "Totorá", Ayacucho 2014.	31
Tabla 4. Logaritmo de los valores promedios del número de bacterias coliformes fecales (NMP/100g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR "Totorá", Ayacucho 2014.	34
Tabla 5. Porcentaje de remoción por horas de las bacterias coliformes fecales (NMP/100g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR "Totorá", Ayacucho 2014.	37
Tabla 6. Valores promedios de humedad (%) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR Totorá, Ayacucho 2014.	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Croquis de un tanque Imhoff.	12
Figura 2. Esquema de la estructura de la matriz de lecho de secado.	25
Figura 3. Tendencia de los valores promedio de pH de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio durante 250 horas en la PTAR “Tоторa”, Ayacucho 2014.	32
Figura 4. Tendencia lineal del pH en biosólidos tratados con concentraciones crecientes de hipoclorito de calcio en la PTAR “Tоторa”, Ayacucho 2014.	33
Figura 5. Tendencia de los valores de coliformes fecales en (Log NMP/g) de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio hasta las 250 horas en la PTAR “Tоторa”, Ayacucho 2014.	35
Figura 6. Valores promedios del número de coliformes fecales (Log NMP/g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio en cuatro diferentes tiempos en la PTAR “Tоторa”, Ayacucho 2014.	36
Figura 7. Tendencia de los valores de humedad (%) de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio hasta las 250 horas en la PTAR “Tоторa”, Ayacucho 2014.	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Valores promedios de pH, humedad, Coliformes fecales en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio en un tiempo de 250 horas.	55
Anexo 2. Análisis de varianza y test de Tukey para comparar el valor de pH en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.	56
Anexo 3. Análisis de varianza para la tendencia lineal del pH en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.	57
Anexo 4. Análisis de varianza y test de Tukey para comparar el valor de los coliformes fecales (Log NMP/g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.	58
Anexo 5. Análisis de varianza para la tendencia lineal de coliformes (NMP/g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.	59
Anexo 6. Análisis de varianza y test de Tukey para comparar el valor de humedad % en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.	60
Anexo 7. Valores Máximos Admisibles por la EPA Norma CFR 40 parte 503 para biosólidos.	61
Anexo 8. Diseño experimental.	62
Anexo 9. Metodología e interpretación de los resultados para la determinación de bacterias coliformes fecales.	63
Anexo 10. Proceso de obtención de materiales para la construcción del lecho de secado.	64
Anexo 11. Proceso para determinar la humedad de la muestra.	65
Anexo 12. Proceso para determinar el pH de la muestra.	66
Anexo 13. Índice del NMP 95% de confianza para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan 5 tubos con diluciones (10 mL; 1,0 mL y 0,1mL).	67
Anexo 14. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos según Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-2001.	68
Anexo 15. Tecnologías de estabilización de biosólidos.	69

Anexo 16.	Tecnologías para la higienización de biosólidos	71
Anexo 17.	Parámetros de higienización según decreto supremo N° 015-2017-VIVIENDA.	73
Anexo 18.	Condiciones mínimas para la estabilización o reducción del potencial de atracción de vectores de lodos de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR).	74
Anexo 19.	Vista panorámica de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá, Ayacucho 2014.	77
Anexo 20.	Esquema gráfico de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá.	78
Anexo 21.	Tanques Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá, Ayacucho 2014.	79
Anexo 22.	Lechos de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá, Ayacucho 2014.	80
Anexo 23.	Proceso de la obtención de muestra para la experimentación.	81
Anexo 24.	Proceso de preparación de muestras para la experimentación.	82
Anexo 25.	Proceso de la preparación de medios para el procesamiento de las muestras.	83
Anexo 26.	Procesamiento de las muestras.	84
Anexo 27.	Matriz de consistencia.	85

## RESUMEN

Al tratar las aguas residuales para su purificación se generan subproductos: como los biosólidos que son el residuo generado por los tratamientos primario y secundario, además de agentes patógenos que ponen en riesgo la salud de los operadores que están en contacto. El presente trabajo de investigación pretende realizar la disminución de la carga de coliformes fecales de los biosólidos generados por la planta de tratamiento de agua residual Totorá mediante la adición de hipoclorito de calcio a diferentes concentraciones, con la finalidad de reducir la actividad biológica y su contenido de coliformes fecales que son indicadores de la presencia de microorganismos causantes de enfermedades, para ello se tomaron muestras cada cinco horas de cada uno de las diferentes concentraciones luego de iniciado el experimento haciendo un total de 225 muestras de 3 cm<sup>2</sup> de biosólido contenido en los simuladores de lecho de secado cada uno, de los resultados hallados se puede mencionar que la remoción de coliformes fecales se ve influenciada por la concentración de hipoclorito de calcio, obteniendo como dosis óptima hipoclorito de calcio al 8%, porque en él se obtuvo valores de 3,954 Log NMP/100g de coliformes fecales a las cinco horas y con ello se cumple lo establecido en la norma 40 CFR parte 503 de EE.UU, tanto para la clase A y B.

**Palabras clave:** Biosólidos, hipoclorito de calcio, bacterias coliformes fecales



## I. INTRODUCCIÓN

Al tratar las aguas residuales para su purificación se generan subproductos tales como los biosólidos que son el residuo generado por los tratamientos primario y secundario; estos biosólidos de agua residual por su alto contenido de agentes dañinos ponen en peligro la salud de los operadores que están en contacto y su alto contenido de humedad del mismo, dificulta su manejo apropiado para llevarlo a disposición final, por lo que estos son almacenados por largos periodos de tiempo contaminando el ambiente. En los últimos años, el enfoque principal del tratamiento de aguas residuales ha sido mejorar la calidad de las aguas residuales mediante la introducción de un tratamiento secundario y terciario o avanzado en la planta de tratamiento; de esta manera, no solo los componentes comunes de las aguas residuales municipales, sino también los componentes específicos, se logra un alto nivel de remoción, pero una consecuencia de estos logros es el incremento en la cantidad de biosólidos generados, de modo que el procesamiento de estos, en el campo del tratamiento de aguas residuales, su uso o disposición representar un tema muy complejo y debido a ello es necesario implementar tecnologías acordes a países en desarrollo como Perú que sean capaces; en primer lugar, el problema del patógeno (es decir, el problema de salud) debe manejarse y manejarse adecuadamente.<sup>1</sup>

Los biosólidos son el principal subproducto del tratamiento de aguas residuales domésticas, la presencia de microorganismos patógenos (parásitos, virus y bacterias) limita su uso y uso, ya que estos microorganismos pueden ser ingeridos y poner en peligro la salud de la población. Por lo tanto, la reducción de patógenos es un aspecto importante porque muchos de los peligros ambientales asociados con el uso de patógenos se consideran riesgos de liberación de patógenos al medio ambiente. El producto final de esta investigación propondrá una solución a la contaminación ambiental provocada por el sistema de tratamiento de biosólidos en la planta de tratamiento de aguas

residuales de Ayacucho a partir del diagnóstico preliminar. El estudio propone una alternativa al actual proceso de tratamiento de biosólidos con base en la normativa establecida por SUNASS, que se beneficiará directamente a la proveedora de servicios SEDA AYACUCHO e indirectamente se beneficiará a la comunidad Totorá. En este caso, para evaluar la calidad de los biosólidos, se han considerado varios métodos, como biodegradación, compostaje, tratamiento térmico, tratamiento con cal, que se han utilizado para eliminar patógenos coliformes de los biosólidos.<sup>2</sup>

Es por esto que este estudio tiene como objetivo eliminar los coliformes fecales de los biosólidos mediante el método de tratamiento con hipoclorito de calcio, que consiste en agregar diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio a una solución de agua más cloruro de calcio (lechada de cal) (cal clorada). Y use las estadísticas de ANOVA para comparar con el contenido de coliformes fecales en cada tratamiento para comparar la efectividad de la dosis, y la significancia estadística se encontró mediante la prueba de Tukey para determinar la dosis terapéutica óptima; esto es para mejorar la calidad de los biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Totorá para disposición final en el marco de la Resolución Ministerial 128-2017-VIVIENDA O reutilización. Por tanto, también se reducen los riesgos para la salud de los operadores responsables de la disposición final de biosólidos, por lo que se proponen los siguientes objetivos:

#### **Objetivo general**

Reducir la carga de bacterias coliformes fecales de los biosólidos generados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá – Ayacucho empleando hipoclorito de calcio  $[Ca(ClO)_2]$  a diferentes concentraciones.

#### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el grado de remoción de bacterias coliformes fecales de los biosólidos generados con cada concentración de hipoclorito de calcio.
2. Evaluar el porcentaje de humedad de los biosólidos durante el tratamiento con hipoclorito de calcio.
3. Determinar el nivel de pH alcanzado en el tratamiento.
4. Determinar la dosis óptima de hipoclorito de calcio para la remoción de coliformes fecales presentes en los biosólidos.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

En un trabajo de investigación realizado en la Ciudad de México, propuso el uso de formas comerciales de cal, como la cal viva (CaO) y la cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>) para el tratamiento de lodos producidos en plantas de aguas residuales, las cuales, según su prueba él concluyó que se reduciría el contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en los lodos. Sin embargo, las propiedades alcalinas de los lodos tratados con cal se pueden utilizar en suelos que han perdido su valor de pH, probar así un método ecológico y productivo para los lodos producidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales de la misma manera que la prueba de conteo de coliformes fecales. Soluciones sexuales. El lodo tratado con cal no crece en presencia de coliformes fecales, por lo que el producto produce no supondrá un peligro para el tratamiento y la eliminación.<sup>3</sup>

En 2006 se realizó en Bogotá una encuesta denominada "Evaluación de Tratamiento Térmico y Tratamiento Alcalino para Desinfección de Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Salitel", y se estudió el efecto del tratamiento térmico basado en el tratamiento en una escala de prueba. El propósito es determinar el nivel de desinfección requerido en biosólidos basado en regulaciones y tipos de aplicación. La conclusión es que la EPA estipula que cuando el pH se mantiene por encima de 12, el tratamiento alcalino producirá biosólidos Clase A, luego se pone una temperatura superior a 52 ° C durante 12 horas, y luego se realiza este proceso, que se debe secar con aire para obtener un material con un contenido de sólidos de al menos 50% (USEPA, 2000). A través de este estudio, se confirmó que aunque el tratamiento alcalino no cumple con los requisitos de temperatura requeridos por la EPA, aún se pueden obtener materiales completamente desinfectados (biosólidos Clase A). También mostró excelentes resultados en la desinfección microbiana sin regeneración del indicador de bacterias.<sup>4</sup>

El uso de la tecnología de secado térmico natural ha mejorado el potencial agrícola de los lodos digeridos anaeróbicos en un lecho desecante, que se utiliza para la deshidratación de lodos digeridos en una laguna anaeróbica que trata las aguas residuales domésticas y su efecto sobre la eficiencia de la deshidratación y eliminación de fósforo. Al agregar 20%, 40% y 65% en peso de diferentes proporciones de cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) para eliminar patógenos y huevos de lombrices, el propósito es aumentar el potencial del material en aplicaciones agrícolas. A través de este estudio, demostraron que la incorporación de cal al lodo digerido húmedo extraído de la laguna puede prevenir la deshidratación, porque los resultados sugieren que el lodo solo debe deshidratarse durante 7 a 9 días antes de agregar cal. Las tres proporciones de cal evaluadas pueden asegurar que el pH se eleve a 12 unidades en un tiempo suficiente para eliminar patógenos y parásitos, por lo que una dosis del 20% en peso es suficiente para asegurar este efecto. Los materiales deshidratados y preesterilizados con cal tienen características que los hacen aptos para uso agrícola, por lo que se recomienda su evaluación en ensayos a nivel de invernadero.<sup>5</sup>

Análisis cuantitativo de los coliformes fecales en los lodos residuales durante el proceso de secado diurno, con el fin de utilizar tecnología de tubos de fermentación múltiple, en la PTAR del norte de Ciudad Juárez, los coliformes fecales durante el proceso de secado diurno Identificación y cuantificación, concluyó que los resultados indican un comportamiento exponencial. La eficiencia de remoción de agua es de 80% y 90% respectivamente El secador solar es técnicamente factible y puede remover agua y eliminar altas concentraciones de bacterias patógenas, como humedad, temperatura, pH, nutrientes y radiación. Es un factor importante para el crecimiento y eliminación de bacterias coliformes fecales.<sup>6</sup>

En el estudio titulado "Eliminar patógenos en biosólidos por estabilización alcalina" realizado por la ciudad de Columbia, que debido al contenido de materia orgánica y nutrientes, los biosólidos secos y húmedos muestra el potencial para uso agrícola y no están restringidos según EPA (2003) Directrices para el control de patógenos y vectores de lodos y biosólidos ", desde la perspectiva de la química física y los metales pesados (como el contenido de hierro, cobre, manganeso y zinc); estos resultados los llevaron a concluir que el 19% de la cal hidratada aumentará el pH por encima de 12 en un período de tiempo suficiente, lo que es suficiente para reducir patógenos y

parásitos. Aunque la calidad de los biosólidos desinfectados con cal apagada muestra su potencial, el valor del pH no tiene limitaciones de aplicación.<sup>7</sup>

Con el fin de cuantificar los indicadores de contaminación fecal en biosólidos utilizados en agricultura, se diseñó una encuesta sobre la presencia de coliformes fecales que obtuvieron un valor de  $1.6 \times 10^5$  MPN / g peso seco en unidades logarítmicas, mientras que la geometría de las células somáticas La concentración promedio de fagos expresada por gramo de peso seco y su unidad logarítmica en biosólidos son  $5.0 \times 10^3$  MPN / g de peso seco, respectivamente, y la media geométrica de la concentración de fagos específicos expresada por gramo de peso seco se basa en su valor relativo.  $7,9 \times 10^1$  NMP / g de peso seco en la unidad de muestra de biosólido.<sup>8</sup>

En el trabajo de Colombia titulado "La influencia del secado térmico y el tratamiento alcalino en las propiedades microbiológicas y químicas de los biosólidos en plantas de tratamiento de aguas residuales", evaluaron la dosificación del tratamiento alcalino como 8% y 10% del peso del hidrato . (En peso) cal y cal viva, los resultados relacionados con la humedad están entre 57% y 64%, lo que indica que el parámetro no se ha reducido durante la prueba, La alta humedad final superior al 50% puede favorecer el crecimiento de microorganismos, por lo que en este proceso la inactivación de microorganismos patógenos es provocada por otros factores (como mantener un valor de pH elevado o formar un biocida como el amoniaco). En cuanto al valor de pH, el tratamiento en todo el proceso varía de 7,9 a 9,4 unidades, y en comparación con la cal viva, el tratamiento con cal apagada muestra una menor capacidad alcalinizante, lo que refleja que cuando la dosificación es menor al 9%, el valor de pH no puede ser garantizado para ser mayor de 12 unidades. Al menos la cantidad de horas recomendadas por la EPA para eliminar microorganismos patógenos, Que es el resultado de coliformes fecales, E. coli, huevos de lombriz y Salmonella bajo tratamiento alcalino, pues los resultados muestran que a partir del día 0 después de la mezcla, todas las dosis han logrado una reducción total de coliformes fecales y E .Tratar los biosólidos con un agente alcalinizante; sin embargo, los huevos de lombriz solo se pueden eliminar entre 0 y 3 días del proceso.<sup>9</sup>

En condiciones de alto pH o baja concentración de  $H^+$ , la actividad enzimática se inhibe y afecta la transferencia química. En particular, cuando el pH afecta la actividad específica de las proteínas de membrana, el efecto del pH sobre la

transferencia química puede ser directo, o cuando el pH provoca un cambio en el estado de ionización de los nutrientes orgánicos, el pH puede ser indirecto . Muy pocas especies sobreviven con un pH inferior a 2 o superior a 10. La mayoría de las bacterias patógenas son neutrófilos, crecen mejor en un ambiente neutro y rara vez crecen un pH alto, entre ellas se encuentran *Streptococcus faecalis* y *Pseudomonas aeruginosa*, que son alcalifílicas. Tronstand Dijera en 1990 que cuando el valor de pH ideal de la operación se cambia a mayor o que este valor, es posible lograr una inactivación enzimática reversible (temporal). Una vez que se restablece el valor de pH, la enzima reanuda su actividad catalítica. Su irreversibilidad se puede observar durante mucho tiempo en condiciones extremas de pH, perdiendo así por completo la actividad biológica. Asimismo, se ha observado que mediante el proceso de peroxidación lipídica, el transporte químico en la membrana celular puede verse alterado por la cantidad de iones hidróxido presentes. La pérdida de la integridad de la membrana se debe a la insaturación de ácidos grasos insaturados (fosfolípidos). Cuando el ion hidróxido elimina el átomo de hidrógeno del ácido graso insaturado, formará un radical lípido libre combinado con oxígeno molecular, que se transformará en otro radical lípido peróxido. El proceso de peroxidación lipídica se puede formar nuevamente mediante un nuevo inductor de iones hidróxido, que absorbe átomos de hidrógeno del segundo ácido graso insaturado y lo transforma en una reacción en cadena. La explicación del mecanismo del cloruro de calcio para controlar la actividad de las enzimas bacterianas es que su alto pH (12,6) se ve afectado por la liberación de iones hidróxido, que pueden cambiar la integridad de la membrana plasmática celular al destruir la membrana plasmática celular. El transporte de componentes orgánicos y nutrientes; y la reacción de saponificación ocurre en el proceso de peroxidación de lípidos al destruir los fosfolípidos o ácidos grasos insaturados de la membrana plasmática de la célula.<sup>10</sup> Estrela. Por tanto, el hipoclorito de calcio controla la actividad enzimática de los microorganismos a través de su valor de pH alcalino para hacerla reversible e inactivación irreversible, dependiendo del tiempo que esté en contacto con los microorganismos, por lo que es eficaz que el hipoclorito de calcio actúe durante un tiempo prolongado. Estos resultados indican que el contacto directo y el contacto indirecto con el hipoclorito de calcio producen efectos diferentes. Sin embargo, la acción directa a largo plazo en condiciones extremas de pH no solo indica la destrucción de bacterias, sino que también

indica que los efectos residuales de los lipopolisacáridos de bacterias gigantes negativas están neutralizados; Si bien la inactivación reversible de la enzima se obtiene por contacto indirecto, en poco tiempo el valor del pH vuelve a su valor y la acción de la enzima vuelve a su actividad normal, la concentración (5%, 10% o 20%) también es factores influyentes que son proporcionales al tiempo de contacto de las bacterias, produciendo efectos antibacterianos o bactericidas.<sup>11</sup>

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Lodo cloacal**

Es causada por el proceso de separación sólido-líquido (decantación, flotación) en la planta de tratamiento de aguas residuales, y no ha sido tratada ni estabilizada.<sup>12</sup>

### **2.2.2. Biosólido**

Son lodos estabilizados, por su contenido orgánico, nutrientes y características obtenidas tras la estabilización, pueden ser de fácil utilización.<sup>12</sup>

### **2.2.3. Bacteria**

Las bacterias son microorganismos unicelulares que se multiplican por fisión binaria. La mayoría son de vida libre, con el mecanismo de producción de energía y el material genético necesario para su desarrollo y crecimiento. Las bacterias componen el reino procariota (nucleófilo nuclear y nuclear primordial).<sup>13</sup>

### **2.2.4. Coliformes fecales**

Es un subtipo del grupo de coliformes y se encuentra abundantemente en los intestinos y heces de humanos y animales.<sup>14</sup>

### **2.2.5. Número más probable (NMP)**

Basado en algunas fórmulas de probabilidad, este número es una estimación de la densidad promedio de coliformes en la muestra. Cuando se utiliza la tecnología de fermentación de múltiples tubos, los resultados del tubo de replicación y el estudio de dilución se expresan en términos del número más probable (MPN) de microorganismos existentes.<sup>14</sup>

### **2.2.6. Microorganismos indicadores**

Tienen comportamientos similares a los patógenos (concentración y respuesta a factores ambientales y barreras artificiales), pero son más rápidos, baratos y fáciles de identificar.<sup>14</sup>

### **2.2.7. Remoción**

Acción y efecto de remover.<sup>15</sup>

### **2.2.8. Planta de tratamiento de agua residual doméstica o municipal**

Infraestructura y procesos que hacen la depuración de aguas residuales domésticas o municipales.<sup>16</sup>

### **2.2.9. Tanques Imhoff**

Esta es una unidad de procesamiento principal cuyo propósito es eliminar los sólidos en suspensión.<sup>15</sup>

### **2.2.10. Sólido sedimentable**

Las partículas presentes en las aguas residuales tienen la característica de ser fáciles de sedimentar.<sup>17</sup>

### **2.2.11. Lechos de secado**

Donde se deshidrata el lodo estable del tanque de agua Imhoff.<sup>17</sup>

### **2.2.12. Subproducto**

Subproductos obtenidos en cualquier actividad económica o proceso industrial.<sup>17</sup>

### **2.2.13. Tratamiento del biosólido**

Permite modificar las propiedades físicas, químicas o biológicas de los biosólidos para reducir o eliminar cualquier proceso, método o tecnología que genere peligros potenciales para la salud y el medio ambiente.<sup>17</sup>

### **2.2.14. Límite máximo permisible (LMP)**

Es una medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan las emisiones, exceder las emisiones ocasionará o puede dañar la salud, el bienestar humano y el medio ambiente. El MINAM y las organizaciones que integran el sistema de gestión ambiental están legalmente obligados a cumplir con este reglamento.<sup>18</sup>

### **2.2.15. Parámetros de calidad**

Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades fisicoquímicas y biológicas utilizadas para determinar la calidad del agua.<sup>18</sup>

### **2.2.16. Ph**

Es el factor de fuerza que hace que la solución sea ácida o alcalina.<sup>19</sup>

### **2.2.17. Humedad**

La cantidad de agua, vapor o cualquier otro líquido en la superficie o en el cuerpo.<sup>19</sup>

### **2.2.18. Hipoclorito de calcio**

Producto químico que tiene como ingredientes cal hidratada y cloro.<sup>19</sup>



## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Planta de tratamiento de agua residual**

La planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR) es una herramienta importante para el cuidado del medio ambiente. La planta de tratamiento de aguas residuales consta de una serie de procesos unitarios, que permitirán alcanzar las metas operativas y de calidad de las aguas residuales.

El proceso de tratamiento unitario se puede dividir en procesos físicos, químicos y biológicos.

Además de adoptar un proceso de tratamiento unificado, la planta de tratamiento de aguas residuales también tiene cuatro etapas principales de tratamiento, a saber:

- Etapa preliminar: Eliminar los desechos gruesos (como ramas) y la grasa que pueden causar problemas de funcionamiento y rendimiento.
- Etapa primaria: eliminar parte de los sólidos en suspensión y parte de la materia orgánica en suspensión procesos físicos (como la sedimentación).
- La segunda etapa: a través de procesos biológicos (como lodos activados) para eliminar la mayor parte de la materia orgánica y los sólidos en suspensión.
- La tercera etapa: eliminar los sólidos en suspensión residuales; desinfectar y eliminar nutrientes y otros contaminantes mediante tratamiento avanzado (como oxidación, filtración volumétrica, adsorción, etc.).

Se debe considerar que las aguas residuales deben ser caracterizadas antes de la instalación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales, ya que no todos los afluentes tienen las mismas proporciones y concentraciones. Por lo tanto, cada proceso unitario de tratamiento de aguas residuales elimina específicamente ciertos componentes, como:

- Sólidos suspendidos
- Patógeno
- material organico
- nutrición
- Contaminantes prioritarios (compuestos cancerígenos)
- Tensioactivos y agentes tensioactivos
- Metales pesados
- Compuestos inorgánicos disueltos

Los sólidos presentes en las aguas residuales tienen muchos componentes: orgánicos, podemos encontrar compuestos con carbono, hidrógeno y oxígeno, de los cuales se combinan con nitrógeno, azufre y fósforo, y se descomponen. Actividad bacteriana inorgánica, como calcio, sodio y sulfato.<sup>26</sup>

Los patógenos que generalmente se encuentran en las aguas residuales son virus, bacterias, hongos, protozoos y gusanos. Las bacterias más comunes son: Escherichia coli que causa gastroenteritis y diarrea; Salmonella, salmonelosis que causa; Salmonella typhi, que causa fiebre tifoidea; Vibrio cholerae, que causa cólera; entre otras.<sup>20</sup>

### **2.3.2. Biosólidos**

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) define los biosólidos, también conocidos como lodos de depuradora y lodos de depuradora, como "residuos sólidos, semisólidos o líquidos producidos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Los biosólidos se incluyen en la primera y segunda etapas del tratamiento de las aguas residuales ". Escorias o sólidos extraídos durante el tratamiento avanzado o avanzado, y cualquier sustancia derivada de los lodos, excepto la grava o cenizas producidas durante la incineración".<sup>21</sup>

Los EPA de todo el mundo utilizan el término "lodo" como sinónimo de biosólidos. Estos se definen como basura o residuos semisólidos generados en la planta de tratamiento de agua, lo que también marca la diferencia entre diferentes tipos de lodos.<sup>21</sup>

Según EPA 625 / R-92/013 en 1999, según los estándares microbiológicos, los biosólidos se pueden clasificar como:

Lodos residuales tipo A: También se le llama de excelente calidad porque su contenido de patógenos está por debajo del nivel detectable y se puede aplicar al suelo sin estar restringido por patógenos. La densidad de coliformes fecales puede ser menor que el número más probable de 1000 por gramo de sólidos totales (base seca) (MPN / g). O la densidad de la bacteria Salmonella puede ser menor a 3 MPN / 4 g, y el número de huevos de lombriz por 4 g de sólidos totales es menor a 1, en base seca.

Lodos residuales tipo B: Es un material que contiene microorganismos patógenos, pero puede asegurar que el contenido de patógenos se reduce a un nivel tolerable en condiciones específicas de uso, minimizando así la densidad de patógenos y coliformes. La posibilidad de contacto con animales es menos de  $2 \times 10^6$  MPN por gramo de sólidos totales.

Lodos residuales tipo C: Existen ciertos contaminantes; se clasifica como no peligroso en base a su reactividad, corrosividad e inflamabilidad.<sup>21</sup>

### **2.3.2.1. Generación de biosólidos**

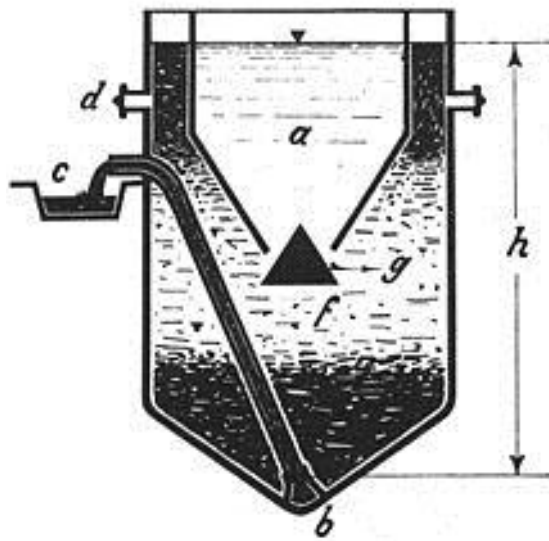
A medida que se eliminan los contaminantes en el tratamiento de aguas residuales, se producen subproductos, principalmente basura, arena y limo. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales se consideran actualmente residuos peligrosos.

La generación de lodos primarios en el tratamiento de aguas residuales depende del tipo de equipo de tratamiento y de su modo de operación. El lodo primario se produce por sedimentación primaria en el proceso de remoción de sólidos depositables en el tanque Imhoff. La cantidad depende de la carga superficial o del tiempo de retención hidráulica, en esta etapa, debido a la mayor eliminación de sustancias coloidales y precipitación química, se produce más lodo.<sup>22</sup>

El tanque de agua Imhoff es un modelo de doble función para la recepción y tratamiento de aguas residuales. Los tanques de agua Imhoff se pueden ver en muchas formas, incluso rectangulares o incluso circulares, pero siempre tienen una o más cámaras superiores a través de las cuales pueden pasar las aguas residuales durante la sedimentación. Una excepción de otra cámara inferior, en esta cámara inferior, el material recibido por gravedad se mantiene en condiciones tranquilas para la digestión anaeróbica, y se obtienen diversas ventajas de la forma del tanque de almacenamiento:

- Los sólidos sedimentados llegan a la cámara inferior en menos tiempo.
- La forma de la ranura y la pared inclinada de la cámara de precipitación de la ranurada obligan al gas digerido a viajar a lo largo de una trayectoria ascendente sin perturbar la precipitación..

Lleva el nombre del ingeniero de aguas alemán Karl Imhoff (1876-1965). Alrededor de 1925, la digestión por calefacción separada había probado ser conveniente y económica, hoy en día se usa en todas las plantas grandes junto con tanques de sedimentación para eliminar continuamente los lodos para la digestión. Sin embargo, el tanque de almacenamiento Imhoff todavía tiene su lugar en el tratamiento primario de aguas residuales, especialmente debido a su operación simple.<sup>23</sup>



**Figura 1.** Croquis de un tanque Imhoff

El agua que pasa por el alcantarillado entra en la cámara a, y el sólido desciende lentamente y llega al espacio f. La reacción anaeróbica ocurre en el espacio f, es decir, no hay intervención de oxígeno. El lodo se deposita en la parte inferior del espacio f, permaneciendo más o menos unos 30 días, o hasta que sea digerido y extraído periódicamente por las tuberías incluidas c y llevado al tanque de secado de lodos. El agua sale por la salida d y entra en el siguiente proceso de tratamiento. El gas del jugo digestivo sube por las ventosas, porque las paredes superpuestas impiden que pasen por la cámara de sedimentación.<sup>23</sup>

### 2.3.2.2. Caracterización de los biosólidos

La concentración de nutrientes en los lodos determina su aplicación en el suelo y los compuestos nocivos que deben eliminarse para un manejo adecuado, así como la composición química (incluida la concentración de metales pesados) y el contenido de patógenos y parásitos que poseen.<sup>24</sup>

Determinación espectrofotométrica de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno (demanda química y bioquímica de oxígeno); para sólido, utilizar el método gravimétrico o el método de volumen para determinar el nitrógeno total, fósforo total, cloruro de estaño en el método Kjeldahl, el valor de referencia de cada parámetro se determina en la Tabla 1. Análisis de metales pesados por absorción atómica.<sup>24</sup>

**Tabla 1.** Parámetros considerados para el tratamiento biológico de aguas residuales.

Indicadores	Máximo	Mínimo
DQO total (mg/L)	90 000	6 000
DBO total (mg/L)	30 000	2 000
Nitrógeno total (mg/L)	1 500	200
Fósforo total (mg/L)	300	40
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100 000	7 000
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	60 000	4 000
pH	8,5	7,0
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>

El desarrollo del estándar 40 CFR Parte 503 (EPA, 2003) establece límites para el control de metales pesados y calidad microbiana, y propone métodos de tratamiento de estabilización que pueden cumplir con estos requisitos. Como se muestra en la Tabla 2, en México, Brasil y otros países, también es posible regular el uso y disposición de biosólidos con características similares a las normas estadounidenses.<sup>24</sup>

**Tabla 2.** Criterios microbiológicos considerados para la caracterización de biosólidos según normas.

Parámetro	und	EE.UU (1)	México (2)	Brasil (3)	Chile (4)
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/g	Clase A: <1x10 <sup>3</sup>	Clase A: <1x10 <sup>3</sup>	ClaseA:<1x10 <sup>3</sup> ClaseB:<2x10 <sup>6</sup>	ClaseA:<1x10 <sup>3</sup>
		Clase B: <2x10 <sup>6</sup>	Clase B: <2x10 <sup>6</sup>		
			Clase C: <2x10 <sup>6</sup>		
<b>Salmonella sp</b>	NMP/g	Clase A: < 3/4	Clase A: <3 Clase B: <3 Clase C: <300	Ausencia en 10 g	ClaseA:<3/4
			Clase A: <1		
		Clase A: < 1/4	Clase B: <10 Clase C: <35		
<b>Huevos de helmintos</b>	HH/g	Clase A: < 1/4		Clase A: <1/4 Clase B: <10	Clase A:< ¼
<b>Virus</b>	UFC/g	Clase A: < 1/4	-----	Clase A: <1/4	-----

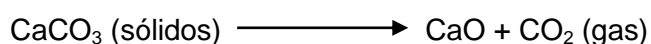
Título 40 del Código de Regulaciones Federales (CFR) de los EE. UU. - La protección del medio ambiente es parte del CFR, que involucra la misión de la EPA de proteger la salud humana y el medio ambiente mediante el establecimiento de límites de calidad microbiana; norma oficial mexicana NOM-004-ECOL-2001, "Lodos y biosólidos - Las especificaciones de protección ambiental y los límites máximos permisibles para el uso y disposición final de contaminantes" determinan la calidad microbiológica de los biosólidos; de manera similar, Brasil estableció el PML de la calidad microbiológica de los biosólidos mediante la Resolución No. 375 del 29 de agosto de 2006, de la siguiente manera Como se muestra en la tabla.<sup>24</sup>

### 2.3.3. Hipoclorito de calcio

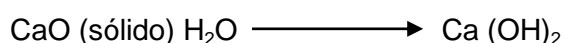
El hipoclorito de calcio, también conocido como "cal clorada", es un compuesto con la fórmula química (Ca (ClO) 2). Tiene un alto efecto sobre bacterias, algas, mohos, hongos y microorganismos nocivos para la salud humana. utilizado en el tratamiento de aguas. Además, es un blanqueador de aspecto granulado y color

beige claro, emite un olor similar al hipoclorito de sodio en solución acuosa, el peso molecular del hipoclorito de calcio es de 142,98 g / mol y la densidad de 0,614. g / mL tiene un alto poder bactericida, puede ser utilizado con fines sanitarios por su alto contenido de cloro libre capaz de oxidar materia orgánica y microorganismos patógenos relacionados con enfermedades que se presentan en el suministro de agua. Otro objetivo principal es desinfectar las redes de suministro de agua en plantas embotelladoras, cervecerías y plantas de tratamiento de agua y aguas residuales..<sup>25</sup>

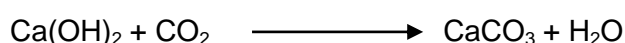
El hipoclorito de calcio o cal clorada es un polvo alcalino blanco. Consiste en una base fuerte que se obtiene de la calcinación del carbonato de calcio hasta que se convierte en óxido de calcio (cal instantánea).



Al hidratarse el óxido de calcio, se forma el hidróxido de calcio



En presencia del gas carbónico, se transforma en carbonato de calcio



Las características del hipoclorito de calcio o de la cal clorada provienen de la disociación de sus iones en iones de calcio (Ca ++: 54,11%) e iones de hidróxido (OH: 45,895). El efecto de los iones sobre microorganismos y tejidos determina su reparación enzimática y propiedades antibacterianas..<sup>25</sup>

### **2.3.3.1. Reactividad y estabilidad del hipoclorito de calcio**

El calor de una fuerte reacción con el agente reductor o el combustible puede provocar la combustión. Térmicamente inestable, a altas temperaturas, acelerará la descomposición con la liberación de cloro, calor y oxígeno. Higroscópico. El contacto con el ácido libera cloro gaseoso (tóxico). No es inflamable, pero ayuda a quemar. Es corrosivo para la mayoría de los metales en presencia de humedad. Forma compuestos explosivos con amonio y aminas. Incompatible con materiales orgánicos, componentes que contienen nitrógeno y materiales combustibles..<sup>19</sup>

### **2.3.3.2. Propiedad antimicrobiana del hipoclorito de calcio**

Para las propiedades antibacterianas, una gran cantidad de estudios durante las últimas décadas han demostrado que los cambios en el pH del medio interferirán con el crecimiento de bacterias, porque cambiarán la actividad de las enzimas y afectarán el transporte de nutrientes a través de la membrana, lo que es esencial

para el crecimiento de bacterias. Desarrollo de la función metabólica y proliferación celular.<sup>19</sup>

La capacidad oxidante del cloro o sus compuestos radica en la capacidad antimicrobiana del hipoclorito de calcio debido a su alto contenido de cloro (30-75%). En presencia de agua, el cloro de cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>) o hipoclorito (CaOCl) reacciona para formar ácido hipocloroso (HOCl). Los oxidantes tienen un gran potencial redox, que actúa sobre los microorganismos y luego pasa a través de la membrana plasmática, la propia membrana plasmática es un fosfolípido y oxida las enzimas respiratorias que contienen grupos sulfhidrilo (-SH). Las moléculas no polares tienen mejor solubilidad en la membrana que las moléculas polares, por lo que el ácido hipocloroso tiene un mayor poder bactericida que los iones hipoclorito.<sup>19</sup>

#### **2.3.4. Bacterias coliformes**

*Escherichia coli* se refiere a coliformes en forma de *Escherichia coli*. Se refiere a la *Escherichia coli* descubierta por el bacteriólogo alemán Theodor von Escherich en 1860. El grupo de coliformes constituye un grupo heterogéneo, que involucra principalmente el intestino grueso. Hábitat intestinal para la mayoría de las especies. El grupo de coliformes incluye todas las bacterias gramnegativas aerobias o anaerobias facultativas de tipo no espora, que pueden fermentar lactosa y producir gas en un máximo de 48 horas. A 35 ° C ± 1°C. El grupo se compone principalmente de cuatro géneros: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*.<sup>18</sup>

##### **2.3.4.1. Bacterias coliformes fecales**

Los coliformes fecales, también conocidos como coliformes termotolerantes, están compuestos de bacterias gramnegativas que pueden producir gas y fermentar lactosa en 48 horas. Cuando se incuba a 44,5 ° C, este grupo no incluye especies específicas, pero la más destacada es *Escherichia coli*, que es un pequeño grupo de microorganismos, que son indicadores de calidad, dado que se originan en las heces, en su mayoría están representados por *Escherichia coli*, pero también se pueden encontrar otros microorganismos poco comunes, como *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. Estos últimos forman parte de bacterias coliformes resistentes al calor, pero su origen suele estar relacionado con la vegetación y ocasionalmente aparecen en los intestinos.<sup>18</sup>

Los coliformes fecales constituyen los coliformes totales, pero a diferencia de otros microorganismos de esta flora, son indol positivos, su rango óptimo de temperatura de crecimiento es amplio (hasta 45 ° C), y son mejores indicadores de saneamiento de alimentos y agua que las heces de origen humano o animal están contaminadas porque las heces contienen estos microorganismos, estos microorganismos están presentes en la flora intestinal, de los cuales 90% a 100% son E. En muestras de agua contaminada este porcentaje bajó a 59%.<sup>18</sup>

*Escherichia coli* es un bacilo corto gramnegativo, clasificado como Enterobacteriaceae (Enterobacteria), y existe como una bacteria simbiótica en el intestino delgado de humanos y animales. Sin embargo, algunas cepas patógenas de *E. coli* pueden causar diarrea. Estos bacilos del intestino grueso se clasifican de acuerdo con las características de sus factores patógenos únicos, y cada grupo causa enfermedades a través de diferentes mecanismos. Las propiedades de adhesión del intestino grueso y delgado a las células epiteliales están codificadas por genes localizados en plásmidos, mientras que las toxinas están mediadas por plásmidos o fagos. Este grupo de bacterias consta de las siguientes cepas: *Escherichia coli* enterotoxigénica (ETEC), *Escherichia coli* enteropatógena (EPEC), *Escherichia coli* hemorrágica (EHEC), *Escherichia coli* enteroinvasiva (EIEC), *Escherichia coli* enteroagregativa (*Escherichia coli* adhesión intestinal) (DAEC). Hay otras cepas que no se han identificado bien. Entre las cepas anteriores, las cuatro primeras están relacionadas con intoxicaciones causadas por ingerir alimentos y agua contaminados.<sup>18</sup>

#### **2.3.4.2. Bacterias coliformes fecales como indicadores de contaminación**

Los coliformes fecales se utilizan como indicador de contaminación fecal en aguas y lodos, debido a que sus características indicadoras incluyen otros mayor densidad y persistencia que microorganismos patógenos presentes en las heces. La destrucción de *Salmonella* determina indirectamente la destrucción de bacterias en las heces. Para evaluar la eficiencia de la estabilización ácida; en los lodos producidos por el tratamiento de aguas residuales, la densidad de coliformes fecales puede llegar a 10<sup>10</sup> NMP / g de sólidos totales, que es hasta tres unidades logarítmicas superiores a la densidad del lodo principal original de los Estados Unidos.<sup>20</sup>

En los sistemas de tratamiento y depuración de agua potable, el control de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos es muy importante, sin embargo,



donde las personas usan o reutilizan el agua, los factores de riesgo más importantes están relacionados con la exposición a agentes biológicos, incluidos los patógenos. Bacterias, gusanos, protozoos y enterovirus. Es importante señalar que, además de los patógenos que tradicionalmente se encuentran en el agua y causan enfermedades transmitidas por el agua, estas enfermedades también son cada vez más comunes con la presencia de microorganismos nuevos y resurgidos. Las enfermedades emergentes se reportan a enfermedades (dengue, cólera, resistencia microbiana) cuya incidencia ha aumentado en humanos en las últimas dos décadas); Las enfermedades reemergentes se han referido a enfermedades (malaria, tuberculosis, peste) que han reaparecido después de que la tasa de incidencia se ha reducido considerablemente, este tipo de microorganismos no se limita a ninguna parte del mundo, ni se limita a países en desarrollo o desarrollado; Representa una amenaza universal y requiere una respuesta coordinada de todos los servicios de salud en todos los países.<sup>20</sup>

El riesgo de contaminación a nivel humano y ambiental hace necesario controlar la presencia de microorganismos en el agua. Determinar el tipo y concentración de microorganismos proporciona una herramienta importante para comprender la calidad del agua y tomar decisiones relacionadas con el agua. Agua, control de drenaje, tratamiento de agua y En materia de protección de los ecosistemas, en general se cree que es difícil determinar la existencia de todos los organismos patógenos involucrados en el proceso de contaminación ambiental, ante estas dificultades, dicha determinación implica varios días de análisis, altos costos y laboratorios especializados. Necesidad de evaluar de forma rápida y confiable la presencia de patógenos en el agua, por lo que es necesario trabajar con organismos indicadores.<sup>20</sup>

Los microorganismos indicadores se indican a comportamientos similares como patógenos (concentración y respuesta a factores ambientales y barreras artificiales), pero una vez que se demuestra que el grupo de indicadores existe, puede ser más rápido, más barato y más fácil de identificar. Se puede inferir que los patógenos Existe la misma concentración, y su comportamiento para diferentes factores (como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistema de desinfección) es similar al comportamiento del indicador. Los microorganismos indicadores de contaminación fecal deben reunir las siguientes características:

- Es una parte normal de la flora intestinal de las personas sanas.
- Solo en las heces de animales isotérmicos.
- Cuando hay presencia de patógenos intestinales.
- Muéstrate mucho para promover su aislamiento y reconocimiento.
- No debe reproducirse fuera de los intestinos de animales isotérmicos..
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o ligeramente mayor que el tiempo de supervivencia de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o mayor que la resistencia de los patógenos fecales).
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe causar enfermedad.

Ningún microorganismo puede cumplir todos los criterios del índice ideal, solo unos pocos microorganismos pueden cumplir algunos de estos requisitos. A continuación, se describen los patógenos y microorganismos que se han propuesto como indicadores de los mismos.<sup>33</sup>

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias intestinales, que se asientan en el tracto gastrointestinal humano y se excretan a través de las heces. La más utilizada son las coliformes, por ser un buen indicador de contaminación, es un contaminante común en el tracto gastrointestinal de humanos y animales de sangre caliente. Existe en grandes cantidades en el tracto gastrointestinal, permanece en el agua más tiempo que las bacterias patógenas y su comportamiento es el mismo que el de los patógenos en el sistema humano.<sup>20</sup>

## **2.4. Marco legal**

### **2.4.1. Organismos internacionales**

Los organismos internacionales que toman responsabilidad de regular el manejo de los biosólidos mediante sus normativas correspondientes son:

- Agencia de protección ambiental (EPA).
- Organización Mundial para la Salud (OMS).
- Comisión Federal para la Prevención de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), México.
- Norma oficial mexicana. (NOM).

En Estados Unidos y la Unión Europea existen normativas muy similares al respecto, que han sido imitadas en muchos otros países (principalmente en Europa) y se controlan sus tasas de aplicación. Estados Unidos recomienda que

se tomen en cuenta el contenido de nutrientes de los biosólidos y las necesidades de los cultivos al calcular la tasa de aplicación. Además, también puede regular otros metales pesados como arsénico, selenio y molibdeno. La mayoría de normativas estipulan los mismos indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales y huevos de lombrices) y determinan las necesidades de tratamiento de los lodos (digestión anaeróbica y aeróbica, térmico secado, estabilización química, etc.) para que cuando se transformen en Biosólidos se pueden aplicar a la tierra.

#### **2.4.2. Organismos nacionales**

De acuerdo a lo hallado en el libro Manual de derecho ambiental de Andaluz se halló lo siguiente:<sup>26</sup>

##### **2.4.2.1. Ley general de salud (Ley Nº 26842)**

En el Capítulo 8, el artículo 103 menciona que la protección del medio ambiente es responsabilidad del Estado y de las personas naturales y jurídicas, y las personas naturales y jurídicas están obligadas a mantenerla dentro de los estándares establecidos por las autoridades sanitarias para mantener la salud de las personas.

El artículo 104º del Capítulo 8 se refiere a: prohibir a cualquier persona natural o jurídica verter desechos o contaminantes a la salud, el aire o el suelo sin tomar las medidas de depuración de acuerdo con las instrucciones de las normas de salud y seguridad.

En el Capítulo 8, el artículo 107 menciona: el abastecimiento de agua, el tratamiento de aguas residuales, el tratamiento de excrementos, la reutilización de aguas residuales y el tratamiento de residuos necesarios cumplir con las normas dictadas por la autoridad sanitaria competente, que supervisará su cumplimiento.

##### **2.4.2.2. Ley general del ambiente (Ley Nº 28611)**

Se menciona en el artículo 114: Es derecho de todas las personas tomar agua para consumo humano. El Estado tiene la responsabilidad de velar por la vigilancia y protección del agua utilizada para el abastecimiento de la población. Se menciona en el artículo 120: El estado adopta una entidad legal responsable de proteger la calidad de los recursos hídricos en el país. Asimismo, el estado fomenta el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, partiendo de la premisa de que se obtiene la calidad de reutilización necesaria sin afectar la salud humana, el medio ambiente o las actividades de reutilización.

Se menciona en el artículo 121: El Estado expide permisos previos de descarga de acuerdo con la capacidad de carga del organismo receptor para descargar aguas residuales domésticas, industriales o cualquier otra actividad que realicen personas naturales o jurídicas, siempre que la descarga no se produzca de acuerdo con las correspondientes normas de calidad ambiental De acuerdo con las leyes y normativas vigentes, se reducirá la calidad del agua como receptor del cuerpo, y no afectará su reutilización para otras multas.

#### **2.4.2.3. Ley general de residuos sólidos (Ley N° 27314)**

Se menciona en el artículo 6: Diversos ministerios y comisiones u organismos reguladores o supervisores correspondientes gestionarán, evaluarán, fiscalizarán y sancionarán el manejo y disposición de los residuos sólidos de la industria, agricultura, fuentes agroindustriales, actividades de construcción, servicios de saneamiento o instalaciones especiales. , Sin perjuicio de las funciones técnicas, reglamentarias y de vigilancia que desempeñen otros organismos.

#### **2.4.2.4. Decreto supremo N° 015-2017-VIVIENDA**

En el artículo 14-Parámetros de higiene 14.1. Menciona que los biosólidos Clase A y Clase B deben cumplir con los parámetros sanitarios y las regulaciones en 14.4. Si se considera necesario, el Ministerio de Vivienda, Edificación y Salud y el Ministerio de Agricultura y Riego pueden solicitar el monitoreo de otros parámetros sanitarios como alternativa al indicador de contaminación fecal por E. coli y pueden autorizar el calor. <1000NMP / 1g ST (si es necesario).

#### **2.4.2.5. Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA**

En el Capítulo 9; Artículo 15: Tratamiento de lodos producidos en plantas de tratamiento de aguas residuales; 15.1 Los lodos producidos en plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser estabilizados y deshidratados como parte del proceso de tratamiento de la línea de producción de lodos, que es su transporte. Disposición final o reutilización requisitos. 15.2. Cuando la relación de SV a ST es menor o igual al 60% (0.6).

#### **2.4.2.6. Reglamento nacional de edificaciones, norma OS.090**

Estos estándares se utilizan a las instalaciones que requieren plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos por los que deben pasar las aguas residuales antes de que se descarguen un receptor o se reutilicen.

#### **2.4.2.7. El Código Penal**

En él se clasifican los siguientes delitos causados por disposición inadecuada de residuos sólidos: contaminación por vertimiento de residuos sólidos, infracción a las normas de protección ambiental y superación de los límites establecidos, que pueden provocar o causar la destrucción o alteración de la flora y fauna. Y recursos biológicos acuáticos.

Los artículos 304 y 305 mencionan que los residuos o desechos generados durante el proceso de producción, extracción, transformación, aprovechamiento o consumo ingresan ilegalmente (finalmente o en tránsito) al territorio nacional, representando una amenaza para el equilibrio ambiental; no existe una preocupación particular por este tema. . Insumos para los procesos de producción que están clasificados como peligrosos o tóxicos por la legislación.

El artículo 307-A se refiere al almacenamiento, comercialización o vertido de residuos industriales o domésticos en un lugar no autorizado o sin cumplir con la normativa de protección de la salud y el medio ambiente.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización de la zona de estudio

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de microbiología y fisicoquímica de la planta de tratamiento de aguas residuales "Totora" en SEDA Ayacucho.

##### 3.1.1. Ubicación política

Región : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Jesús Nazareno

Lugar : Planta de tratamiento de aguas residuales "Totora"

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tortola se encuentra a 3,50 kilómetros del centro de la ciudad de la carretera Vantaa-Ayacucho (Huanta-Ayacucho) y 12 minutos de la Plaza Mayor de Huamanga (Plaza Mayor de Huamanga) al norte de la capital provincial del mismo nombre.

Coordenadas proyectadas (UTM)

NORTE : 585,654 E – 8 547,489 N

SUR : 585,762 E – 8 546,611 N

ESTE : 585,996 E – 8 547,037 N

OESTE : 585,442 E – 8 547,220 N

Desde el punto de vista topográfico, la planta de tratamiento de aguas residuales "Totora" se ubica entre 2606 metros sobre el nivel del mar y 2617 metros sobre el nivel del mar, fue construido en 1974 y tiene capacidad para aproximadamente 60.000 habitantes. Sin embargo, la planta ha sido ampliada y mejorada, desde diciembre de 2004, su capacidad de procesamiento ha variado de 274L / seg a 435L / seg.

## **3.2. Población y muestra**

### **3.2.1. Población**

Biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual "Totora".

### **3.2.2. Muestra**

225 cuadrículas de 3cm x 3cm de biosólido deshidratado.

### **3.2.3. Unidad experimental**

Las muestras fueron tomadas cada  $24$  horas luego de iniciado el experimento, haciendo un total de 225 muestras analizadas de  $3\text{ cm}^2$  de biosólido contenido en los simuladores de lecho de secado cada uno.

### **3.2.4. Sistema de muestreo**

Se trabajó con biosólidos generados en los tanques Imhoff 1, Imhoff 2, Imhoff 3 e Imhoff 4 de la planta de tratamiento de aguas residuales Totora, los cuales fueron recolectados al momento de ser evacuados hacia los lechos de secado, estas muestras fueron colectadas y transportadas en baldes de plástico con capacidad de 10 L con tapas de seguridad hasta el área de experimentación donde se armaron los lechos de secado piloto a partir de:

- La tubería de 18 pulgadas, la grava No. 3 y la grava de construcción se utilizan como lecho de secado para la limpieza. Una vez que la tubería se coloca sobre la madera revestida del marco y se completa el lavado y secado de la grava y la grava, la grava y la capa de grava se coloca en la cama de secado.
- La primera capa es la capa correspondiente a la grava, y la altura de esta capa es de 30 cm. Posteriormente, la capa de grava se coloca sobre la capa de grava previamente colocada.
- Después de colocar una capa de arena y grava, coloque una capa de barro con una altura de 30 cm.
- Para un mejor control del muestreo, se realizó una cuadrícula en la capa de lodo. El tamaño de la rejilla es de  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ , y se retira con una espátula de aluminio.

## **3.3. Metodología y recolección de datos**

### **3.3.1. Diseño experimental**

Los tratamientos fueron dispuestos de la siguiente manera:

Composición de los tratamientos:

Tratamiento 1 con hipoclorito de calcio a 0 %.

Tratamiento 2 con hipoclorito de calcio a 4 %.

Tratamiento 3 con hipoclorito de calcio a 6 %.

Tratamiento 4 con hipoclorito de calcio a 8 %.

Tratamiento 5 con hipoclorito de calcio a 10 %.

Repeticiones: tres repeticiones con cada tratamiento.

Tiempo de secado: durante 250 horas.

### 3.3.2. Construcción del lecho de secado

Un tubo de PVC de 45,72 cm (18 pulgadas) como sustrato para el proceso del experimento, como se muestra en la Figura 2: La grava y la grava se lavan 3 veces con agua corriente del grifo y se colocan en una matriz de PVC. La altura de la grava o grava es de 30 cm, y la altura de la arena o grava es de 30 cm. El volumen calculado de cada una es de 0,097 metros cúbicos, luego agregue 15 cm de lodo, luego agregue 330 ml de cal y agua (lechada), el volumen calculado es 0.0048 metros cúbicos. Deje 40 cm de espacio libre en la matriz de PVC para el inflado y deje un drenaje al final de la matriz.

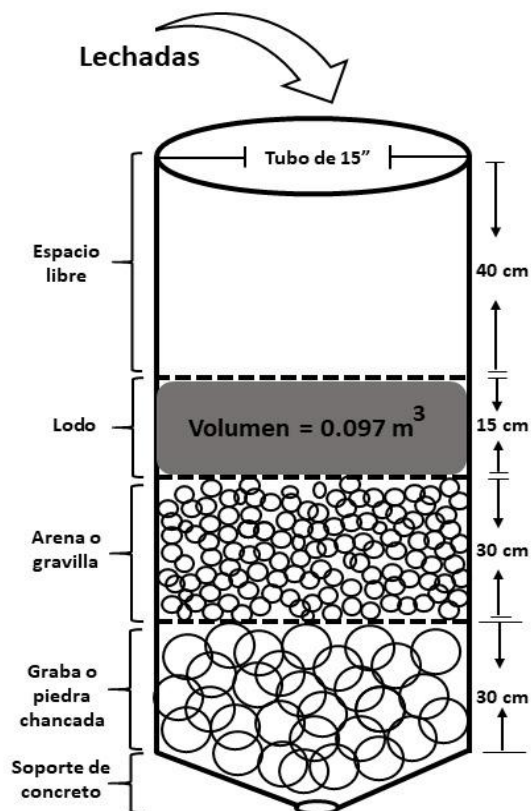


Figura 2. Esquema de la estructura de la matriz de lecho de secado

### 3.3.3. Preparación de soluciones amortiguadoras

#### a) Solución madre amortiguadora

Prepare agua para diluir muestras de biosólidos a partir de las soluciones madre



tampón A y B.

- Solución A: Prepare una solución tampón de fosfato ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), disuelva 34,0 g de dihidrogenofosfato de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) en 500 ml de agua destilada, ajuste el pH a 7,2 con hidróxido de sodio 1 N ( $\text{NaOH}$ ) y luego fijelo a 1 L.
- Solución B; preparar una solución de cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), pesar 81.1 g ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y disolver en 500 ml de agua destilada, luego agregar a 1 L.
- Ambas soluciones se esterilizan en autoclave a  $121^\circ\text{C}$  durante 15 minutos.

#### **b) Agua de dilución**

Está compuesto por una mezcla de 1,25 mL de tampón A y 5,0 mL de tampón B en 1 L de agua destilada y esterilizado en autoclave a  $121^\circ\text{C}$  durante 15 minutos.

#### **3.3.4. Preparación de lechadas de hipoclorito de calcio**

- Se prepararon lechadas de hipoclorito de calcio a concentraciones de 4%, 6%, 8% y 10%, (Se preparó 1 L de solución de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  al 4%, haciendo uso de la fórmula:

$$\% = (\text{masa de soluto} / \text{masa de solución}) \times 100$$

Considerando que la densidad del producto es 0,614g/mL, como 1 L es 1000 mL, la masa de la solución fue 614 g. Así que si reemplazamos en la fórmula:

$$4 = (\text{masa de soluto} / 614) \times 100$$

$$\text{Masa de soluto} = 4 \times 614 / 100 = 24,56 \text{ g}$$

Estos 24,56 g están contenidos en una cantidad de solución al 15% (p/p) dado por:

$$15 = (24,56 / p) \times 100$$

$$p = 24,56 \times 100 / 15 = 163,7 \text{ g}$$

En tanto para la solución al 4% se pesó 163,7 g de hipoclorito de calcio y se añadió agua destilada hasta completar 1 L.

Se mezcló la lechada de cal de cada concentración con el biosólido contenido en cada balde.

#### **3.3.5. Determinación de los indicadores**

##### **a) Determinación de humedad**

- Colocar los crisoles vacíos en un horno a  $120^\circ\text{C}$  durante dos horas, y luego transferirlos inmediatamente al desecador por unas dos horas, hasta que el crisol tenga un peso constante (W).
- Vierta la muestra hasta en un 50% de la capacidad del crisol.

- Pesar el crisol con la muestra (W1) y colocarlo en un horno a 60°C durante unas 2 horas, enfriarlo y volver a pesarlo. Repetir esta operación varias veces hasta obtener un peso constante (cuando la diferencia entre dos pesajes consecutivos es inferior al 0,01%, se considera un peso constante) (W2).
- Para obtener los resultados, se realizaron los siguientes cálculos, teniendo en cuenta el peso del crisol menos el peso del crisol para obtener W1 y W2:

$$H = \frac{W1 - W2}{W} \times 100$$

#### **b) Determinación de pH**

- Para evaluar el valor de pH en cada muestra, use el instrumento usando el método del equipo de medición de pH.
- El valor de pH se obtiene de un extracto líquido de biosólidos.
- Para obtener el extracto, pesar 30 g de biosólidos y mezclar con 30,0 ml de agua destilada, dejar reposar 24 horas y luego filtrar.
- Antes de usar el dispositivo, saque el electrodo de la solución protectora, lávelo con agua destilada y séquelo con un paño suave, luego colóquelo en el tampón inicial con pH 4, luego en el segundo tampón con pH 7, y finalmente Ponlo en un tampón con un pH de 2. El tercer tampón de pH 10 para ajustar la respuesta del electrodo de vidrio al dispositivo.
- Introduzca el electrodo del dispositivo de medición de pH en la muestra y establezca el equilibrio agitándolo suavemente.
- Registre el valor, limpie el electrodo del dispositivo e introdúzcalo en la solución protectora y apague el dispositivo.

#### **c) Determinación de coliformes fecales**

##### **Preparación del medio A-1**

- Pesar 31,5 g de medio en polvo deshidratado A-1 y disolverlo en agua diluida calentando.
- Ajustarlo a 1 L y verificar el valor de pH (6,9 +/- 2).
- Dispensarlos en un volumen de 9.0 mL en un tubo de ensayo con campana de Durham invertida y tapón correspondiente.
- Esterilícelo en autoclave a 121 ° C durante 10 minutos.

##### **Prueba directa (medio A - 1)**

La prueba directa del medio líquido A-1 es un método de un solo paso sin confirmación.

- Como son muestras semisólidas, pese las muestras y agregue diluyente

hasta obtener una dilución de 10<sup>-1</sup>.

- Para ello, pese 10 g de muestra y colóquela en un frasco que contenga 90 mL de agua de dilución estéril.
- Homogeneizar, tomar 10 ml de muestra en otra botella con 90 ml de agua de dilución estéril y agitar a baja velocidad (aproximadamente 800 rpm) durante 2 minutos para lograr una dilución 1/10.
- A continuación, prepare la dilución decimal correspondiente del homogeneizado resultante lo antes posible para minimizar la precipitación.
- Luego, inocular 5 tubos de ensayo que contengan medio A-1 para cada dilución, con un volumen de muestra de 1 mL, e incubar a 35 ° C durante 3 horas. Una vez transcurrido el tiempo, transfiera el tubo de ensayo a un baño de agua a 44,5 ° C e incube durante 21 +/- 2 horas.
- Transcurrido el tiempo, se interpretarán los resultados; un resultado positivo de la prueba indica que se ha formado gas en el tubo de ensayo secundario o en la campana de Durham, por lo que se calculan los coliformes fecales presentes en 10 g de biosólidos.
- Después de 24 horas de incubación, la presencia de turbidez y gas en cualquier tubo de ensayo indica una reacción positiva del coliforme de origen fecal.
- Para su informe, la MPN se calcula a partir de un tubo de ensayo positivo con medio A-1.<sup>27</sup>

#### **Cálculo y registro del NMP**

Para utilizar el número de probabilidad máxima (MPN) para calcular y registrar el número de resultados positivos para microorganismos coliformes fecales, se utiliza la tabla del Anexo 12, que indica el valor de MPN de la serie de siembra y los resultados combinados de los cinco estudios. 10, 1.0 y 0.1 Para resultados positivos y negativos en el volumen de ml de muestra, el límite de confianza de cada valor de MPN es 95%. Y calculado según la siguiente fórmula:

$$\text{NMP/100 ml} = (\text{valor de tabla NMP/100 ml}) \times 10 / \text{mayor volumen estudiado}$$

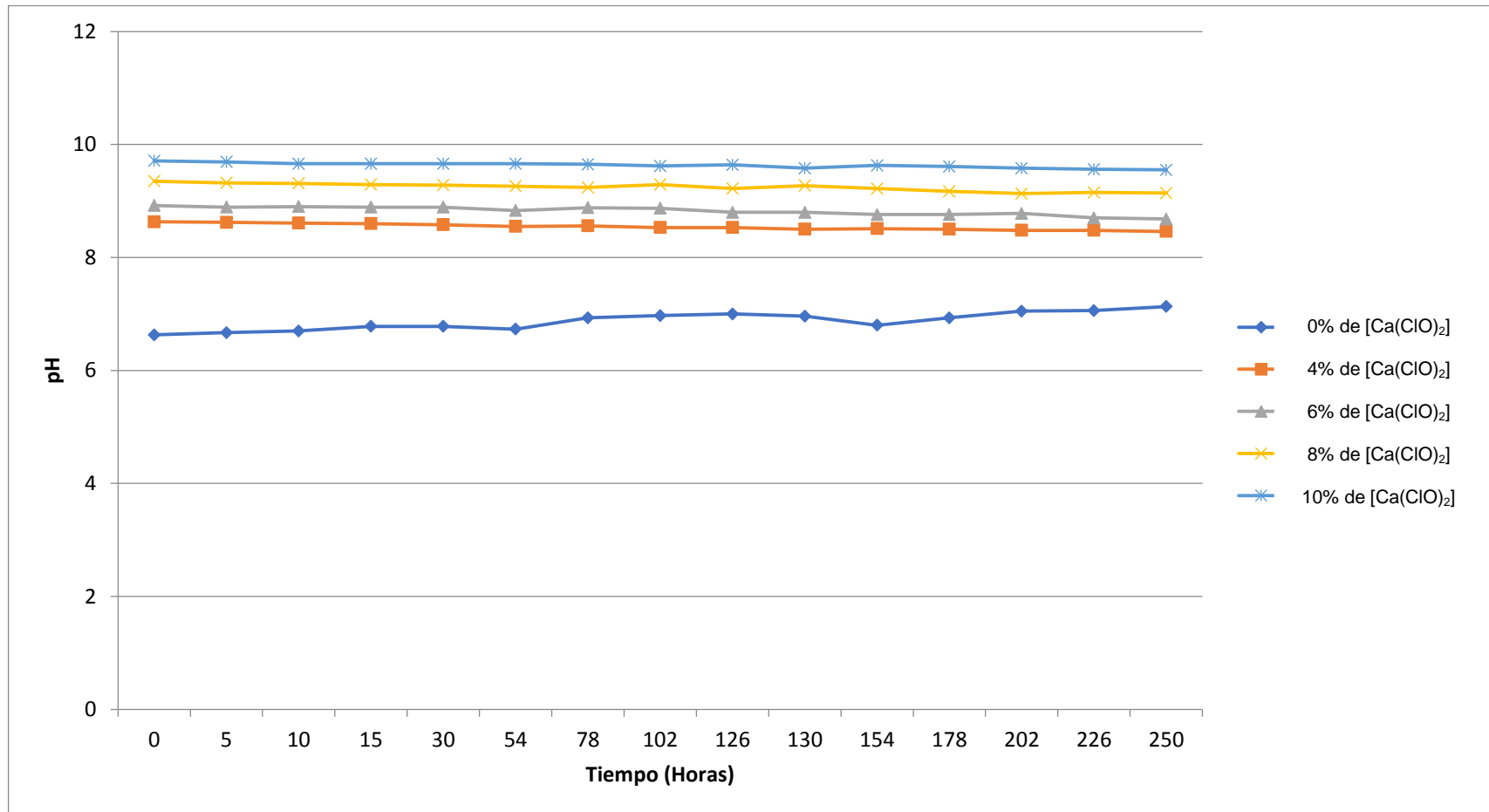
#### **3.4. Análisis de datos**

El análisis de varianza (estadístico ANOVA) para comparar la eficacia de las dosis para encontrar la significación estadística y aplicar la prueba de Tukey. Esta es la prueba más utilizada y favorita de los estadísticos porque puede controlar mejor las dos en las estadísticas. error ( $\alpha$  y  $\beta$ )<sup>28</sup>.

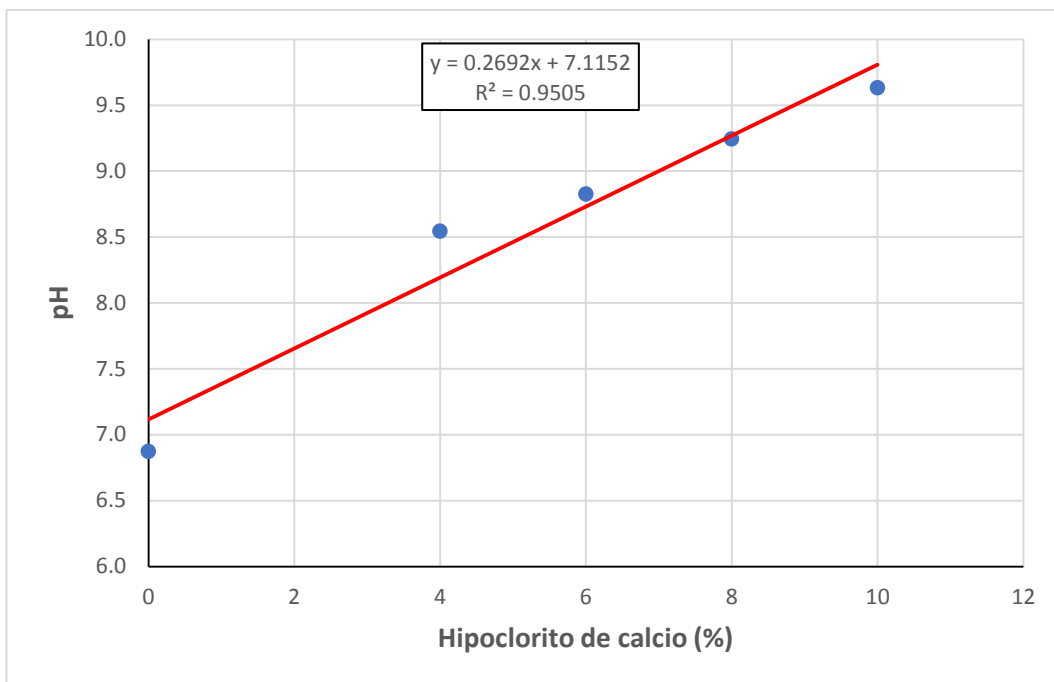
#### **IV. RESULTADOS**

**Tabla 3.** Valores promedios de pH en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR “Totora”, Ayacucho 2014.

Tiempo en (Horas)	Hipoclorito del calcio (%)				
	0	4	6	8	10
0	6,63	8,63	8,92	9,35	9,71
5	6,67	8,62	8,89	9,32	9,69
10	6,70	8,61	8,90	9,31	9,66
15	6,78	8,60	8,89	9,29	9,66
30	6,78	8,58	8,89	9,28	9,66
54	6,73	8,55	8,83	9,26	9,66
78	6,93	8,56	8,88	9,24	9,65
102	6,97	8,53	8,87	9,29	9,62
126	7,00	8,53	8,80	9,22	9,64
130	6,96	8,50	8,80	9,27	9,58
154	6,80	8,51	8,76	9,22	9,63
178	6,93	8,50	8,76	9,17	9,61
202	7,05	8,48	8,78	9,13	9,58
226	7,06	8,48	8,70	9,15	9,56
250	7,13	8,46	8,68	9,14	9,55



**Figura 3.** Tendencia de los valores promedio de pH de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio durante 250 horas en la PTAR “Tоторa”, Ayacucho 2014.

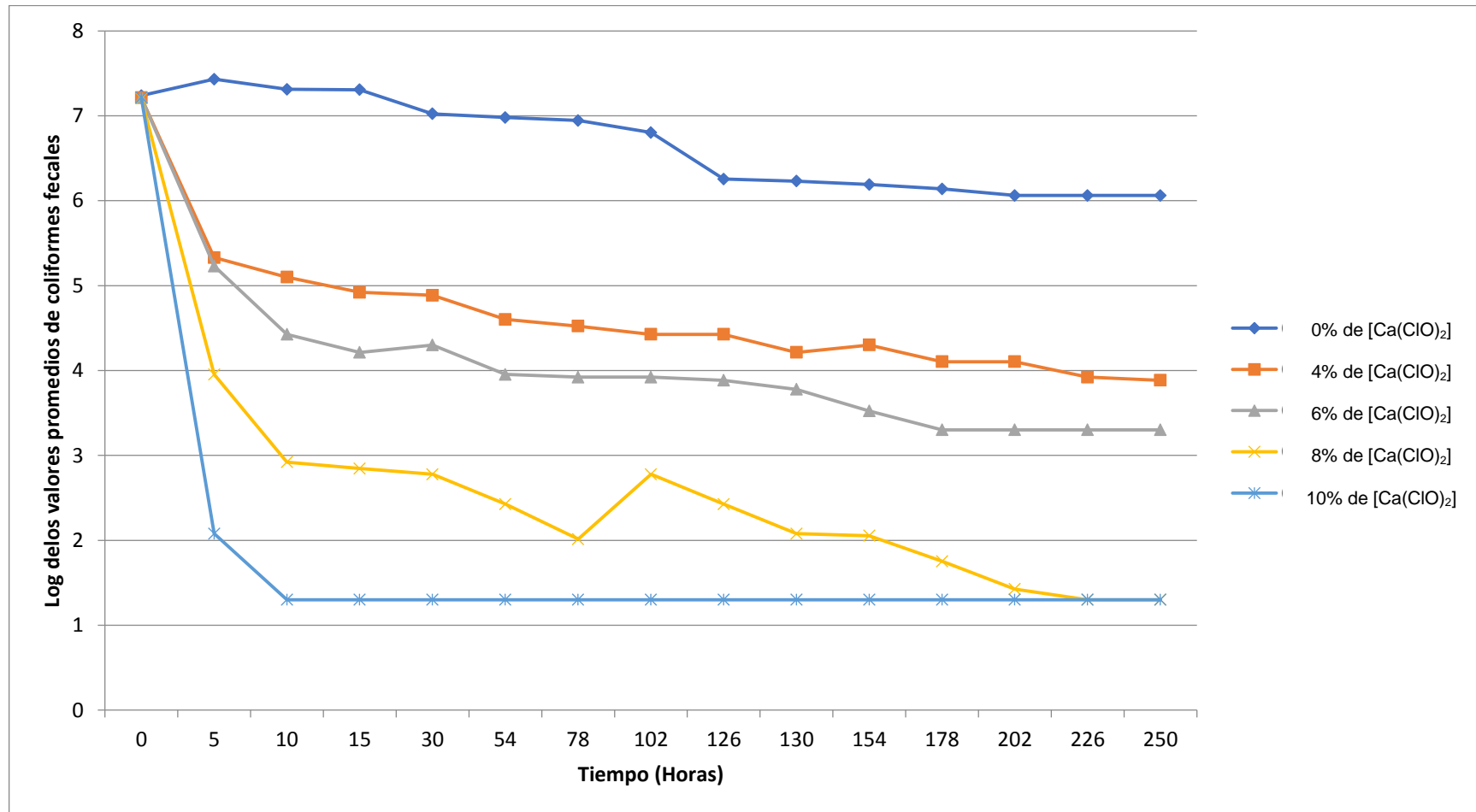


**Figura 4.** Tendencia lineal del pH en biosólidos tratados con concentraciones crecientes de hipoclorito de calcio en la PTAR “Tоторa”, Ayacucho 2014.

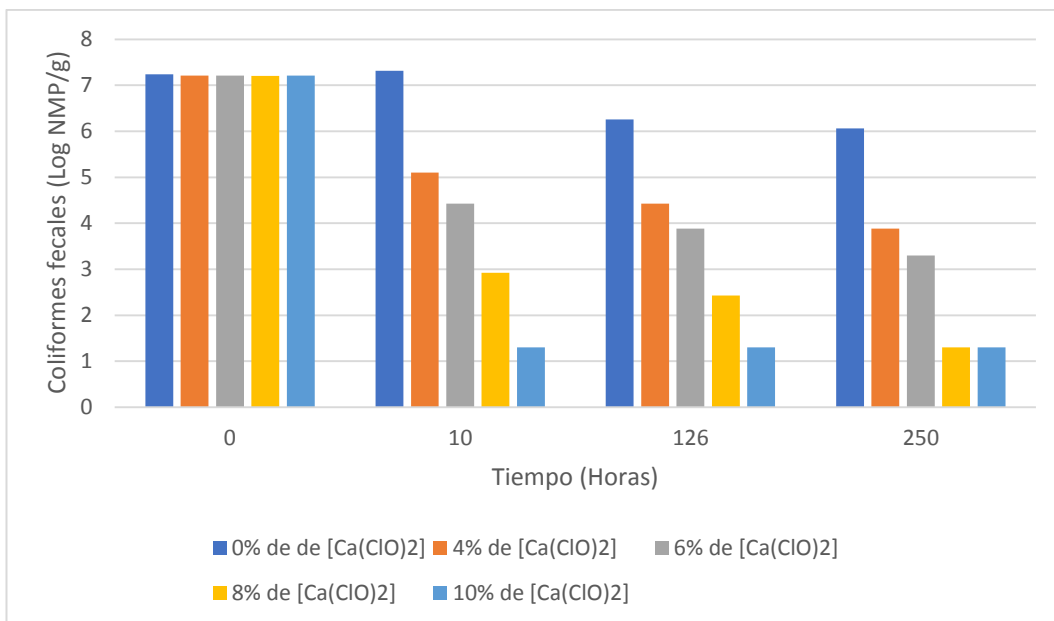
**Tabla 4.** Logaritmo de los valores promedios del número de bacterias coliformes fecales (NMP/100g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR “Totora”, Ayacucho 2014.

<b>Tiempo en (Horas)</b>	<b>Hipoclorito del calcio (%)</b>				
	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
0	7,237	7,213	7,213	7,204	7,213
5	7,431	5,329	5,230	3,954	2,079
10	7,312	5,099	4,426	2,921	1,301
15	7,306	4,921	4,213	2,845	1,301
30	7,023	4,885	4,301	2,778	1,301
54	6,980	4,602	3,954	2,426	1,301
78	6,944	4,523	3,921	2,014	1,301
102	6,803	4,426	3,921	2,778	1,301
126	6,255	4,426	3,885	2,426	1,301
130	6,230	4,213	3,778	2,079	1,301
154	6,190	4,301	3,523	2,054	1,301
178	6,138	4,103	3,301	1,753	1,301
202	6,061	4,103	3,301	1,426	1,301
226	6,061	3,921	3,301	1,301	1,301
250	6,061	3,885	3,301	1,301	1,301





**Figura 5.** Tendencia de los valores de coliformes fecales en (Log NMP/g) de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio hasta las 250 horas en la PTAR “Totora”, Ayacucho 2014.



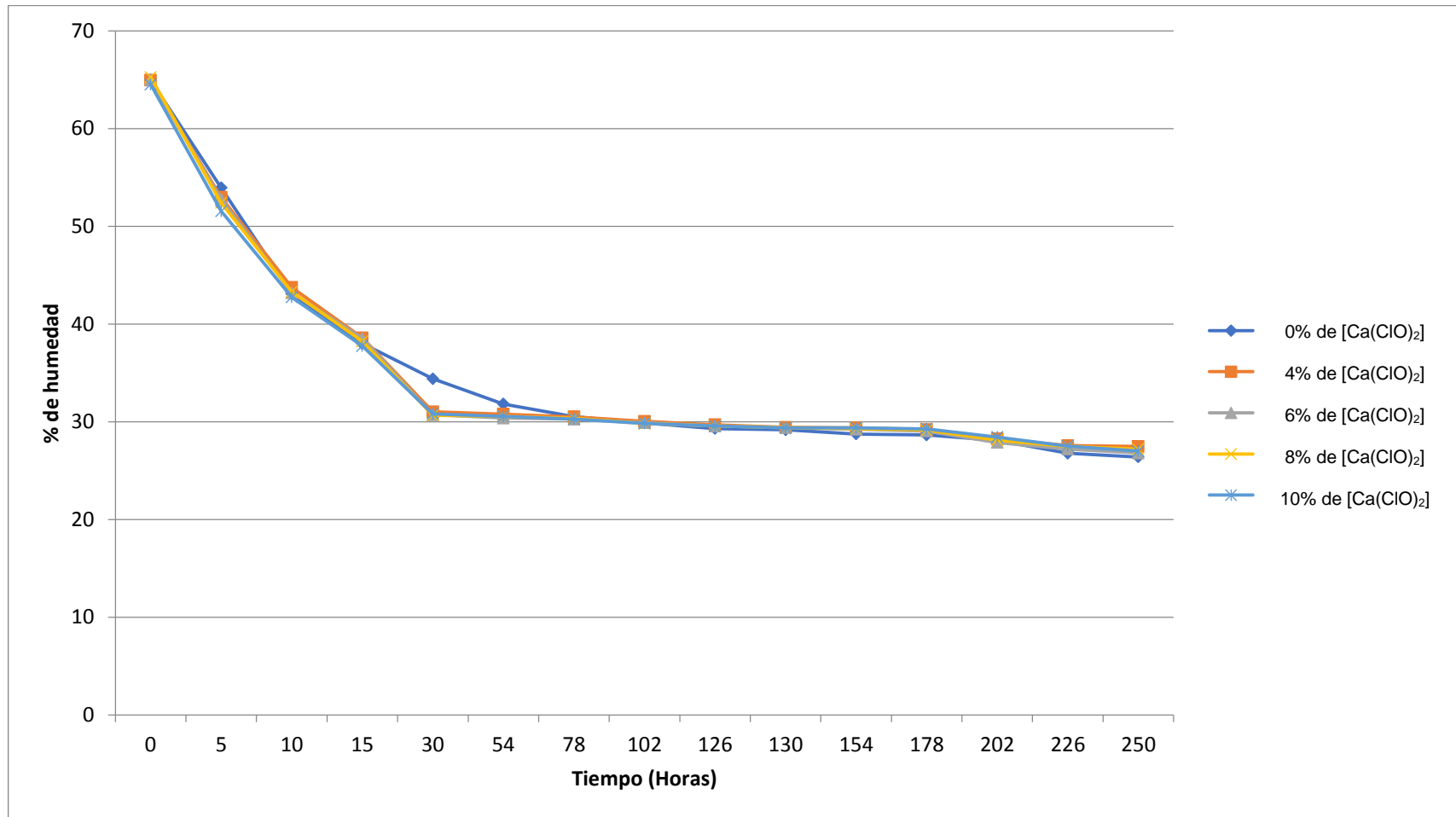
**Figura 6.** Valores promedios del número de coliformes fecales (Log NMP/g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio en cuatro diferentes tiempos en la PTAR “Totora”, Ayacucho 2014.

**Tabla 5.** Porcentaje de remoción por horas de las bacterias coliformes fecales (NMP/100g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR “Totora”, Ayacucho 2014.

<b>Tiempo en (Horas)</b>	<b>Hipoclorito del calcio (%)</b>				
	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
0	---	---	---	---	---
5	-2,68	26,12	27,49	45,11	71,18
10	1,60	4,32	15,37	26,13	37,42
15	0,08	3,49	4,81	2,60	0,00
30	3,87	0,73	-2,09	2,36	0,00
54	0,61	5,79	8,07	12,67	0,00
78	0,52	1,72	0,83	16,98	0,00
102	2,03	2,14	0,00	-37,93	0,00
126	8,06	0,00	0,92	12,67	0,00
130	0,40	4,81	2,75	14,30	0,00
154	0,64	-2,09	6,75	1,20	0,00
178	0,84	4,60	6,30	14,65	0,00
202	1,25	0,00	0,00	18,65	0,00
226	0,00	4,44	0,00	8,77	0,00
250	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00

**Tabla 6.** Valores promedios de humedad (%) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR Totorá, Ayacucho 2014.

Tiempo de tratamiento (Horas)	Hipoclorito del calcio (%)				
	0	4	6	8	10
0	64,92	64,94	65,01	65,26	64,50
5	53,94	52,96	52,76	52,40	51,55
10	43,07	43,74	43,19	43,29	42,73
15	38,00	38,59	38,53	38,22	37,75
30	34,40	31,01	30,71	30,65	30,81
54	31,81	30,78	30,38	30,56	30,56
78	30,52	30,50	30,26	30,34	30,28
102	29,88	30,04	29,90	29,81	29,83
126	29,30	29,69	29,57	29,56	29,56
130	29,17	29,43	29,38	29,39	29,38
154	28,74	29,38	29,23	29,30	29,38
178	28,64	29,20	29,05	29,15	29,27
202	28,09	28,25	27,87	28,12	28,43
226	26,77	27,55	27,21	27,48	27,51
250	26,40	27,47	26,80	27,19	27,00



**Figura 7.** Tendencia de los valores de humedad (%) de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio hasta las 250 horas en la PTAR “Totorá”, Ayacucho 2014.

## V. DISCUSIÓN

En la tabla 3, dentro de las 250 horas posteriores al inicio del experimento, los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio muestran un valor de pH medio, en forma general se observa que los valores promedios de pH se incrementa ligeramente en las muestras que tienen mayores concentraciones de hipoclorito de calcio en forma secuencial, es así que en el experimento se registra valores promedio de pH que oscila de 6,63 a 7,13 en los biosólidos sometidos a una concentración de 0% de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas de iniciado el experimento; valores promedio de pH que oscila de 8,63 a 8,46 en los biosólidos sometidos a una concentración de 4% de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas de iniciado el experimento; valores promedio de pH que oscila de 8,92 a 8,68 en los biosólidos sometidos a una concentración de 6% de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas de iniciado el experimento; valores promedio de pH que oscila de 9,35 a 9,14 en los biosólidos sometidos a una concentración de 8% de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas de iniciado el experimento; valores promedio de pH que oscila de 9,71 a 9,55 en los biosólidos sometidos a una concentración de 10% de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas de iniciado el experimento. Barrea<sup>24</sup>, menciona que la variabilidad de pH se debe a que el hipoclorito de calcio es un agente alcalino y que a mayor dosis aumenta el nivel de pH. En el anexo 2, se muestra los valores sometidos a un análisis de varianza donde el p-valor es menor a 0.05, por lo que se realizó el test de Tukey para encontrar la diferencia de los grupos de valor de pH en las muestras de biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio, donde estadísticamente se demuestra que las medias de los cinco grupos son diferentes a nivel de confianza del 95%.

La Figura 3 muestra la tendencia del pH promedio de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio en la PTAR "Totorá", durante 250 horas de iniciado el experimento. Resalta que los valores de pH se ven ligeramente influenciada por la cantidad de horas de iniciado el experimento, ya que en el experimento de los biosólidos sometidos con hipoclorito de calcio al 0% el valor de pH inicial fue de 6,63 y luego de transcurrido las 250 horas el valor de pH fue de 7,13 notándose un incremento de 0,5 valor de pH; en el experimento de los biosólidos sometidos con hipoclorito de calcio al 4% el valor de pH inicial fue de 8,63 y luego de transcurrido las 250 horas el valor de pH fue de 8,46 notándose una disminución de 0,17 valor de pH; en el experimento de los biosólidos sometidos con hipoclorito de calcio al 6% el valor de pH inicial fue de 8,92 y luego de transcurrido las 250 horas el valor de pH fue de 8,68 notándose una disminución de 0,24 valor de pH; en el experimento de los biosólidos sometidos con hipoclorito de calcio al 8% el valor de pH inicial fue de 9,35 y luego de transcurrido las 250 horas el valor de pH fue de 9,14 notándose una disminución de 0,21 valor de pH; en el experimento de los biosólidos sometidos con hipoclorito de calcio al 10% el valor de pH inicial fue de 9,71 y luego de transcurrido las 250 horas el valor de pH fue de 9,55 notándose una disminución de 0,16 valor de pH;

En la figura 4, se muestra la tendencia lineal del pH en biosólidos tratados con concentraciones crecientes de hipoclorito de calcio en la PTAR "Totorá", se observa que los valores de pH se ven influenciada por las concentraciones crecientes de hipoclorito de calcio, ya que resalta que con pH inicial de 6,63 al agregarse una dosis de hipoclorito de calcio al 4% el pH muestra niveles de 8,63; al agregarse una dosis de hipoclorito de calcio al 6% el pH muestra niveles de 8,92; al agregarse una dosis de hipoclorito de calcio al 8% el pH muestra niveles de 9,95; al agregarse una dosis de hipoclorito de calcio al 10% el pH muestra niveles de 9,71. Esta influencia fue demostrada por Silva<sup>11</sup> en su trabajo de investigación el tratamiento con hipoclorito de calcio varió entre valores de pH de 7,9 a 9,4 unidades durante todo el proceso. En el anexo 3 se muestra el análisis de varianza del ajuste lineal realizado, obteniéndose significancia estadística ( $p < 0,05$ ), por lo que podemos afirmar que dicho ajuste es adecuado.

En la tabla 4, se muestra el logaritmo de los valores promedios del número de bacterias coliformes fecales (NMP/100g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR

“Totora”. Según el valor encontrado, se puede observar que el valor promedio de los coliformes fecales en los biosólidos tratados con hipoclorito cálcico al 0% fluctúa entre 7.237 y 6.061 Log NMP por 100 g; con una dosis de hipoclorito cálcico al 4% El valor promedio de coliformes presentes en los biosólidos tratados está entre 7.213 y 3.885 Log NMP / 100g; El valor promedio de coliformes fecales presentes en biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 6% está entre 7,213 y 3,301 Log NMP / 100g; heces presentes en biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 8% El valor promedio de coliformes está entre 7,204 y 1,301 Log NMP / 100g; el valor promedio del coliforme fecal presente en los biosólidos tratados con una dosis de hipoclorito de calcio al 10% está entre 7.213 y 1.301 Log NMP / 100g entre. En el análisis de varianza (Anexo 4), se encontró estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), por lo que se afirma que existe diferencia de los valores de coliformes fecales en los biosólidos tratados con concentraciones diferentes de hipoclorito de calcio. Al realizar el test de Tukey (Anexo 4) se demuestra que estadísticamente, el tratamiento con 10% de hipoclorito registró los menores valores de bacterias coliformes fecales, Los resultados de este estudio mostraron que incluso después de 250 horas, no se agregó la suspensión de hipoclorito de calcio (0%), presentó niveles del orden de  $10^6$  NMP/100g de bacterias coliformes fecales. Con relación a los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 4% presentó niveles de  $10^3$  NMP/100g, los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 6% presentó niveles de  $10^3$  NMP/100g, los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 8% y 10% presentó niveles de 10 lo cual indica que las bacterias coliformes fecales fueron removidas en las 250 horas de proceso. Estos resultados reiteran que la aplicación de hipoclorito de calcio en el lecho de secado es suficiente para asegurar la desinfección de los biosólidos y hacerlos aptos para otros usos, pues García 3 propone un método comercial de utilizar cal para tratar los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo: cal viva (CaO) y cal apagada (Ca (OH) 2), entre las cuales la conclusión extraída de los resultados de la prueba es el contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en el lodo, disminuyen, sin embargo las propiedades alcalinas del lodo tratado con cal, Se pueden utilizar en suelos que han perdido su valor de pH, así como una solución ecológicamente eficiente para los lodos producidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales, al igual que la prueba de conteo de coliformes fecales en lodos tratados con cal. En presencia de coliformes fecales, el



producto no será peligroso en su manipulación y eliminación, en tanto recomienda que este producto puede ser utilizado por plantas que presenten problemas de sobreproducción de lodos, pues los lodos tratados con cal pueden ser utilizados como material de relleno en barrancos rellenos sanitarios, sin que se tengan problemas de contaminación. Así como Torres<sup>5</sup>, demuestra la eficiencia de la adición de hipoclorito de calcio que en su estudio investigativo hace mención como cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), 20%, 40% y 65% en peso. Se utiliza para la deshidratación y remoción de patógenos y huevos de lombrices en lodos, con el propósito de incrementar el potencial del material en aplicaciones agrícolas. Llegar a la conclusión de que la incorporación de cal en el lodo digerido en húmedo eliminado de la laguna evitaría la deshidratación, porque los resultados sugirieron que el lodo solo debería deshidratarse durante 7 a 9 días antes de agregar cal hidratada. Dado que las tres proporciones de cal evaluadas aseguran que el pH se pueda elevar a 12 unidades en un tiempo lo suficientemente largo para eliminar patógenos y parásitos, una dosis del 20% en peso es suficiente para asegurar este efecto. Araque también recomienda el uso de este producto para removedor de patógenos existentes en los biosólidos producidos por plantas de tratamiento de aguas residuales, pues en su conclusión, se mencionó que la EPA estipula que cuando el valor de pH se mantiene por encima de 12 y 3, el tratamiento alcalino producirá Clase A biosólidos. Días, luego ponerlo a una temperatura superior a 52 ° C durante 12 horas, para luego realizar este proceso, el cual necesita ser secado con aire para obtener un material con un contenido de sólidos de al menos 50% (USEPA 2000). A través de su investigación, Araque verificó que aunque el tratamiento alcalino no cumple con los requisitos de temperatura requeridos por la EPA, aún se pueden obtener materiales completamente saludables (biosólidos Clase A). También mostró excelentes resultados en la desinfección microbiana sin regeneración del indicador de bacterias.

En la figura 5, se muestra la tendencia de los valores de coliformes fecales en (Log NMP/g) de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio hasta las 250 horas de iniciado el experimento, donde se observa que los valores promedio de Log NMP/100g no se ve influenciada por el tiempo de experimentación, ya que la muerte de las bacterias coliformes fecales presentes en los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 0% no muestra descenso alguno sino hasta la hora 126; la muerte de las bacterias coliformes fecales

presentes en los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 4% muestra un descenso significativo hasta la hora 226; la muerte de las bacterias coliformes fecales presentes en los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 6% muestra un descenso significativo hasta la hora 178; la muerte de las bacterias coliformes fecales presentes en los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 8% muestra un descenso significativo hasta la hora 78 y la muerte de las bacterias coliformes fecales presentes en los biosólidos tratados con hipoclorito de calcio al 10% muestra un descenso significativo hasta la hora 10. Por lo que los resultados nos muestran que a mayor tiempo de exposición no garantiza la remoción de bacterias coliformes fecales.

La Figura 6 muestra el número promedio de bacterias coliformes fecales (Log NMP/g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio en cuatro diferentes tiempos en la PTAR "Tоторa". La figura muestra los valores de Coliformes fecales presentes en los biosólidos según las concentraciones de hipoclorito con el cual fueron tratados ajustado a una tendencia lineal. Se observa que a mayor concentración del hipoclorito menores son los valores de bacterias Coliformes fecales en las muestras de biosólidos, siendo el valor de determinación ( $R^2$ ) de 0,988, lo que nos indica que en un 98,8% la variación del número de bacterias Coliformes fecales está explicado por la concentración del hipoclorito aplicado; así mismo en el Anexo 5 se muestra el análisis de varianza del ajuste lineal realizado, obteniéndose significancia estadística ( $p < 0,05$ ), por lo que podemos afirmar que dicho ajuste es adecuado y Debido a la baja dosis de hipoclorito de calcio usado en el estudio preexperimental, tiene un efecto bactericida, pero para cumplir con el reglamento de aprovechamiento de los recursos sugeridos por la EPA no cumple. Las dosis de 8% y 10% pueden asegurar el efecto deseado Desde la perspectiva del costo y la eficiencia de remoción de coliformes fecales de biosólidos, la dosis de 8% (peso) de hipoclorito de calcio es suficiente. Asegurar el tratamiento sanitario de los biosólidos producidos en los tanques Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tоторa en Ayacucho.

En la tabla 5. Se muestra los valores en porcentaje de remoción por horas de las bacterias coliformes fecales (NMP/100g) presentes en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas en la PTAR "Tоторa". De la tabla se puede concluir que el porcentaje de remoción de

las bacterias coliformes fecales de los biosólidos no se ve influencia por el tiempo.

En la tabla 6, se muestran los valores promedios de humedad (%) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio a lo largo de 250 horas de iniciado el experimento. En el anexo 6 se muestra el análisis de varianza donde no se halló significancia estadística ( $p > 0,05$ ), por lo que se afirma que los valores de humedad son semejantes en los biosólidos tratados y no se ven afectadas por las diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio, pero guardan una relación en cuanto a la remoción de bacterias Coliformes fecales. Como mencionó Silva (Silva11) sobre los resultados de humedad, la humedad se mantuvo en el rango de 57% a 64%, lo que indica que el parámetro no disminuyó durante la prueba, y la alta humedad final superó el 50%, lo que promovió la Regeneración de microorganismos y por tanto, la inactivación de microorganismos patógenos en este proceso es provocada por otros factores, como mantener un valor de pH elevado o formar biocidas como el amoníaco. Esto también concuerda con el estudio de López 10, a saber, análisis estadístico y simple observación del comportamiento biológico. Los datos durante el período de seguimiento que, en condiciones de campo, la presencia de microorganismos en el suelo y el agua de escorrentía tendía a desaparecer con el tiempo..

En la figura 7, se muestra la tendencia de los valores de humedad (%) de los biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio hasta las 250 horas en la PTAR "Tоторa", donde se observa que el porcentaje de humedad no se ve influenciada por la concentración de hipoclorito de calcio aplicado, teniendo una disminución en función al tiempo de experimentación, por lo que se muestra una disminución acelerada hasta la hora 30 y en adelante la disminución del porcentaje de humedad es lenta.

## VI. CONCLUSIONES

1. Utilizar hipoclorito de calcio al 4%, 6%, 8% y 10% para reducir la carga de coliformes fecales en los biosólidos producidos por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá por debajo del nivel recomendado por la agencia de protección ambiental.
2. La remoción de coliformes fecales de los biosólidos producidos por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá se ve afectado por el aumento en la concentración de hipoclorito de calcio. Porque en comparación con la concentración más baja de hipoclorito de calcio, la concentración más alta de hipoclorito de calcio una tasa de eliminación más alta tiene ( $p < 0,05$ ).
3. Está comprobado que el porcentaje de humedad de los biosólidos no se ve afectado por la concentración de hipoclorito de calcio durante el tratamiento.
4. A medida que aumenta la dosis de hipoclorito de calcio, también aumenta el pH de la solución de tratamiento.
5. Se ha determinado que la dosis óptima de hipoclorito de calcio para eliminar los coliformes fecales presentes en los biosólidos es del 8% o más.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Realizar investigaciones en la que se determine e identifique los subproductos derivados del hipoclorito de calcio, de modo que nos permita saber exactamente la naturaleza de dichos compuestos, así como de su posible poder bactericida.
2. Realizar investigaciones sobre caracterización microbiológica de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de agua residual.
3. Realizar investigaciones sobre caracterización fisicoquímica de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de agua residual.
4. Probar el efecto bactericida del hipoclorito de calcio a otras concentraciones.
5. Realizar investigaciones de los biosólidos tratados como potenciador agrícola.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pepper L, Brooks P, Gerba P. Patógenos de los biosólidos. Avances en agronomía. México: McGraw-Hill; 2006. Cap 9, aplicación de biosólidos en tierra; 1-41.
2. Meckes M, Rhodes E. Evaluación de indicadores bacteriológicos de desinfección de biosólidos calcinados. Ingeniería y Ciencias Ambientales 3<sup>a</sup> ed. México: McGraw-Hill; 2004.
3. García M. Método alternativo para tratar lodos de plantas de agua residual [Internet]. 2003. [acceso julio 2015], 11(42): 267-274. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/cmfn42/original1.pdf>.
4. Araque M. Evaluación de los tratamientos térmicos alcalinos en la desinfección del lodo generado en la PTAR el Salitre. [Internet].2006 [acceso Agosto 2014] Bogotá: Servicio de publicaciones e intercambio científico, Universidad de Bogotá, D.C. disponible en: <https://bit.ly/3k8BMRT>
5. Torres P, Marmolejo L, Botina A. Mejoramiento del potencial agrícola de lodos digeridos anaeróbicamente con el uso de cal. [Internet]. 2006. [acceso diciembre 2015] Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19978>.
6. Figueroa C. Cuantificación de coliformes fecales en lodos residuales durante el secado proceso de secado solar. [Internet]. 2007 nov. [acceso diciembre 2015] Disponible en: <https://bit.ly/31hHXMg>
7. Torres P, Madera C, Silva J. Eliminación de patógenos en biosólidos por estabilización alcalina. Rev. Int. Ing. Sanit y Ambient [revista en la Internet]. 2009 dic [citado Ago 2014]; 24(4): 151-160. Disponible en: <https://bit.ly/2HfLwLA>
8. López I, Acevedo D, Ordoñez C. Seguimiento a patógenos presentes en biosólido empleado como enmienda para revegetalizar un talud. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 9,Nº17. 2010. pp. 29(4)
9. Silva J. Bedoya D. Torres P. Efecto del secado térmico y el tratamiento alcalino en las características microbiológicas y químicas de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Rev. Quim Nova, Vol. 36, Nº 2, 207-214, [Internet] 2013. Colombia. [acceso octubre 2014] Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422013000](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000).
10. Lares J. Cuantificación de *Salmonella spp.* durante el proceso de secado solar generados en plantas tratadoras de aguas residuales. [Internet]. 2007. [acceso marzo 2016] Disponible en: <https://bit.ly/3j6uvRp>
11. Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spano JC, Marchesan M, Pecora JD. Mecanismo de acción del hipoclorito de sodio. Braz dent J.2002;13(2):113-117.
12. EPA. Agencia de Protección Ambiental; Control de los patógenos y la atracción de los vectores en las aguas residuales en barrido 40 CFR parte 503, Oficina de Recursos Hídricos / Oficina Ciencia y tecnología Subdivisión de Estimación de Lodos / Riesgos: Washington; 1999.
13. Ramón S. Joan de Pablo R. Ingeniería Ambiental: contaminación y tratamiento. Barcelona: Mancombo; 1989.
14. Campos. C. Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola. Barcelona: Mediterrania SL; 1999. 250 p.
15. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 05.168. Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Lima: Unatsabar; 2005

16. Tchobanoglous G, Burton F, Stensel D. Ingeniería del tratamiento y reutilización de aguas residuales. Nueva York: McGraw-Hill; 2003.
17. Mahamud M, Gutiérrez A, Sastre H. Biosólidos generados en la depuración de aguas: (II). Métodos de Tratamiento. Ingeniería del Agua, Vol. 3, 1996.
18. Madigan, M.; Martinku, J. Parker, J. Biología de los microorganismos. 8ª ed. Madrid: Prentice Hall; 1997. 986 p.
19. Barrea K. Evaluación de la acción antimicrobiana de hipoclorito de sodio y hipoclorito de calcio en diferentes modelos experimentales. Universidad Federal de Rio Grande. Brasil, 2015.
20. Kornacki J.L. & Johnson J.L. Enterobacteriaceae, Coliformes, y *Escherichia coli* como Indicadores de Calidad y Seguridad. En: Compendio de Métodos para el Examen Microbiológico de Alimentos. 4ª ed. Washington: 2001. 69-82 p.
21. U.S. Agencia de Protección Ambiental. 1999. Regulaciones ambientales y tecnología: control de patógenos y atracción de vectores en lodos de aguas residuales. EPA/625/R-92/013. oficina de investigación y desarrollo, U.S. Agencia de Protección Ambiental, Washington DC. [Internet]. [acceso Junio 2014] Obtenido de <https://bit.ly/3nXjsxL>
22. Velez, JA. Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. Universidad Nacional de Medellín-Colombia, 2007.
23. Barrios JA, Jiménez B, Salgado G, Sanabria L, et al. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida. Universidad Autónoma de México. México, 2000.
24. Henze M. Biological wastewater treatment: principles, modelling and design. IWA Publishing, 1 ed Londres; 2010.
25. Harrinson J, Hand R. El efecto delirante y materia orgánica sobre la propiedad antibacteriana del hipoclorito de calcio. [Internet]. [acceso Junio 2016] disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/odontologia/revista/v2n1/2-1-6.pdf>.
26. Andaluz, C. Manual de derecho ambiental. (Editorial Iustitia, 2013).
27. APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial. Díaz de Santos S.A., 17 ed. Madrid 1992.
28. Martín A, Luna JD. Bioestadística para las ciencias de la salud. 5ª ed. Madrid: Norma-Capitel; 2004.

## **ANEXOS**



**Anexo 1.** Valores promedios de pH, humedad, Coliformes fecales en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio en un tiempo de 250 horas.

<b>Hipoclorito del calcio (%)</b>	<b>pH</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Coliformes fecales (log NMP/g)</b>	<b>Coliformes fecales (NMP/g)</b>
0	6,9	34,9100	6,604	8675000
4	8,5	34,9010	4,624	1135778
6	8,8	34,6567	4,098	1107800
8	9,2	34,7134	2,594	1067515
10	9,6	34,5691	1,743	1088914

**Anexo 2.** Análisis de varianza y test de Tukey para comparar el valor de pH en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.

**Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	246,24	18	13,68	925,1	<0,0001
Hipoclorito del calcio (%)	246,14	4	61,53	4161,2	<0,0001
Tiempo de tratamiento (Horas)	0,11	14	0,01	0,51	0,9264
Error	3,27	221	0,01		
Total	249,51	239			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06828

Error: 0,0148 gl: 221

Hipoclorito del calcio (%).	Medias	n	E.E.	
10	9,63	45	0,02	A
8	9,24	45	0,02	B
6	8,82	45	0,02	C
4	8,54	45	0,02	D
0	6,87	60	0,02	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 3.** Análisis de varianza para la tendencia lineal del pH en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Regresión	235,381	1	235,381	3965,038	,000 <sup>b</sup>
Residuo	14,129	238	0,059		
Total	249,510	239			

a. Variable dependiente: pH

b. Predictores: (Constante), Hipoclorito del calcio (%)

**Anexo 4.** Análisis de varianza y test de Tukey para comparar el valor de los coliformes fecales (Log NMP/g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.

**Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	950,28	18	52,79	165,66	<0,0001
Hipoclorito del calcio (%)	740,4	4	185,1	580,84	<0,0001
Tiempo de tratamiento (Hor.	209,88	14	14,99	47,04	<0,0001
Error	70,43	221	0,32		
Total	1020,7	239			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,31699

Error: 0,3187 gl: 221

Hipoclorito del calcio (%).	Medias	n	E.E.	
0	6,6	60	0,07	A
4	4,62	45	0,08	B
6	4,1	45	0,08	C
8	2,59	45	0,08	D
10	1,74	45	0,08	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 5.** Análisis de varianza para la tendencia lineal de coliformes (NMP/g) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Regresión	732,911	1	732,911	606,169	,000 <sup>b</sup>
Residuo	287,763	238	1,209		
Total	1020,673	239			

a. Variable dependiente: Coliformes fecales (log NMP/g)

b. Predictores: (Constante), Hipoclorito del calcio (%)

**Anexo 6.** Análisis de varianza y test de Tukey para comparar el valor de humedad (%) en biosólidos tratados con cinco concentraciones de hipoclorito de calcio.

**Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26684	18	1482,4	2262,8	<0,0001
Hipoclorito del calcio (%).	4,46	4	1,12	1,7	0,1503
Tiempo de tratamiento (Hor.	26679	14	1905,7	2908,9	<0,0001
Error	144,78	221	0,66		
Total	26828	239			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,45450

Error: 0,6551 gl: 221

Hipoclorito del calcio (%).	Medias	n	E.E.	
0	34,91	60	0,1	A
4	34,9	45	0,12	A
8	34,71	45	0,12	A
6	34,66	45	0,12	A
10	34,57	45	0,12	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 7.** Valores Máximos Admisibles por la EPA Norma CFR 40 parte 503 para biosólidos.

<b>Constituyentes</b>	<b>Concentración Máxima (mg/Kg)</b>	<b>Calidad tipo A</b>	<b>Microbiológica tipo B</b>
Arsénico	75		
Cadmio	85		
Cobre	4300		
Plomo	840		
Mercurio	57		
Molibdeno	75		
Níquel	420		
Selenio	100		
Zinc	7500		
Coliformes fecales (UFC/g)		<10 <sup>3</sup>	<2x10 <sup>6</sup>
<i>Salmonella sp.</i> (UFC/g)		3/4	-
Huevos de Helmintos/g		1/4	-

## Anexo 8. Diseño experimental

Los tratamientos fueron dispuestos de la siguiente manera

Horas	Tratamientos														
	0			4			6			8			10		
0	00a	00b	00c	40a	40b	40c	60a	60b	60c	80a	80b	80c	100a	100b	100c
5	05a	05b	05c	45a	45b	45c	65a	65b	65c	85a	85b	85c	105a	105b	105c
10	010a	010b	010c	410a	410b	410c	610a	610b	610c	810a	810b	810c	1010a	1010b	1010c
15	015a	015b	015c	415a	415b	415c	615a	615b	615c	815a	815b	815c	1015a	1015b	1015c
30	030a	030b	030c	430a	430b	430c	630a	630b	630c	830a	830b	830c	1030a	1030b	1030c
54	054a	054b	054c	454a	454b	454c	654a	654b	654c	854a	854b	854c	1054a	1054b	1054c
78	078a	078b	078c	478a	478b	478c	678a	678b	678c	878a	878b	878c	1078a	1078b	1078c
102	0102a	0102b	0102c	4102a	4102b	4102c	6102a	6102b	6102c	8102a	8102b	8102c	10102a	10102b	10102c
126	0126a	0126b	0126c	4126a	4126b	4126c	6126a	6126b	6126c	8126a	8126b	8126c	10126a	10126b	10126c
130	0130a	0130b	0130c	4130a	4130b	4130c	6130a	6130b	6130c	8130a	8130b	8130c	10130a	10130b	10130c
154	0154a	0154b	0154c	4154a	4154b	4154c	6154a	6154b	6154c	8154a	8154b	8154c	10154a	10154b	10154c
178	0178a	0178b	0178c	4178a	4178b	4178c	6178a	6178b	6178c	8178a	8178b	8178c	10178a	10178b	10178c
202	0202a	0202b	0202c	4202a	4202b	4202c	6202a	6202b	6202c	8202a	8202b	8202c	10202a	10202b	10202c
226	0226a	0226b	0226c	4226a	4226b	4226c	6226a	6226b	6226c	8226a	8226b	8226c	10226a	10226b	10226c
250	0250a	0250b	0250c	4250a	4250b	4250c	6250a	6250b	6250c	8250a	8250b	8250c	10250a	10250b	10250c

a: repetición uno del tratamiento.

b: repetición dos del tratamiento.

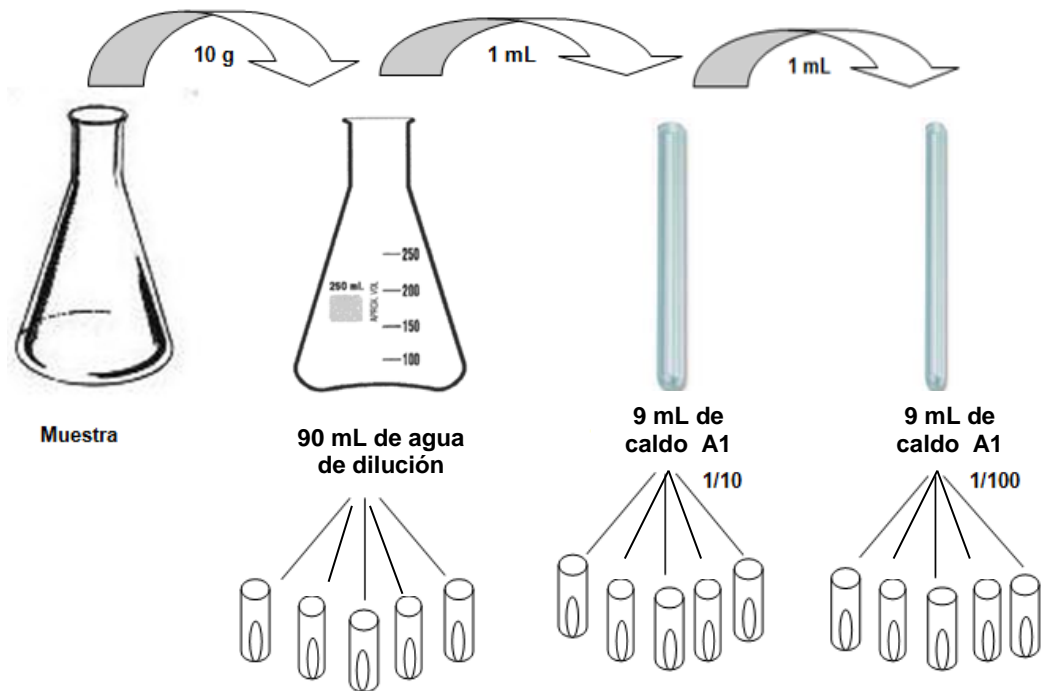
c: repetición tres del tratamiento.

0, 4, 6, 8 y 10: corresponden a las concentraciones de hipoclorito de calcio

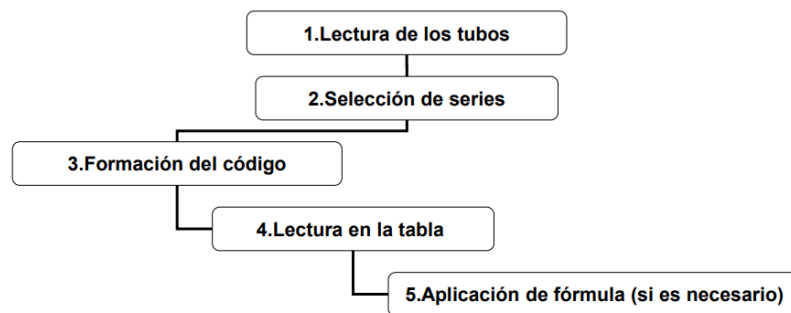


**Anexo 9.** Metodología e interpretación de los resultados para la determinación de bacterias coliformes fecales

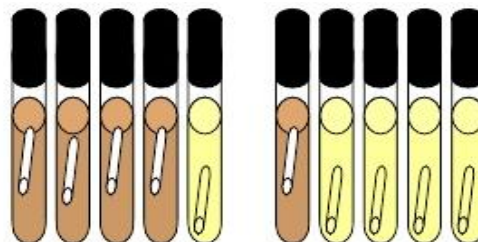
a) Metodología para la determinación de bacterias coliformes fecales



b) Interpretación de resultados; formación del código de NMP



Se da por resultado positivo aquellos tubos turbios y con producción de gas.



**Anexo 10.** Proceso de obtención de materiales para la construcción del lecho de secado

a) Lavado de gravilla y grava



b) Colocación de la capa de grava y gravilla



c) Colocación de la capa de biosólido y cuadrícula sobre el biosólido

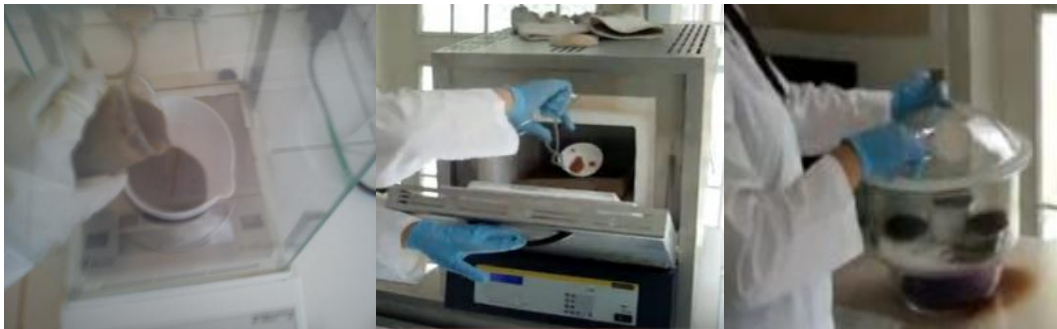


## Anexo 11. Proceso para determinar la humedad de la muestra

a) Secado del crisol y peso sin la muestra



b) Peso del crisol más la muestra húmeda y secado



c) Peso del crisol más la muestra seca



## Anexo 12. Proceso para determinar el pH de la muestra

a) Tarado de la balanza.



b) Peso de la muestra, mezclado con agua destilada y agitación de la misma



c) Lectura en el equipo medidor de pH.



**Anexo 13.** Índice del NMP al 95% de confianza para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan 5 tubos con diluciones (10 mL; 1,0 mL y 0,1mL).

Combinación de positivo	Índice NMP/100mL	95% de Confianza Límites(Exacto)		Combinación de positivo	Índice NMP/100mL	95% de Confianza Límites(Exacto)	
		Inferior	Superior			Inferior	Superior
0-0-0	<1,8	-----	6,8	4-0-3	25	9,8	70
0-0-1	1,8	0,090	6,8	4-1-0	17	6,0	40
0-1-0	1,8	0,09	6,9	4-1-1	21	6,8	42
0-1-1	3,6	0,70	10	4-1-2	26	9,8	70
0-2-0	3,7	0,70	10	4-1-3	31	10	70
0-2-1	5,5	1,8	15	4-2-0	22	6,8	50
0-3-0	5,6	1,8	15	4-2-1	26	9,8	70
1-0-0	2,0	0,10	10	4-2-2	32	10	70
1-0-1	4,0	0,70	10	4-2-3	38	14	100
1-0-2	6,0	1,8	15	4-3-0	27	9,9	70
1-1-0	4,0	0,71	12	4-3-1	33	10	70
1-1-1	6,1	1,8	15	4-3-2	39	14	100
1-1-2	8,1	3,4	22	4-4-0	34	14	100
1-2-0	6,1	1,8	15	4-4-1	40	14	100
1-2-1	8,2	3,4	22	4-4-2	47	15	120
1-3-0	8,3	3,4	22	4-5-0	41	14	100
1-3-1	10	3,5	22	4-5-1	48	15	120
1-4-0	10	3,5	22	5-0-0	23	6,8	70
2-0-0	4,5	0,79	15	5-0-1	31	10	70
2-0-1	6,8	1,8	15	5-0-2	43	14	100
2-0-2	9,1	3,4	22	5-0-3	58	22	150
2-1-0	6,8	1,8	17	5-1-0	33	10	100
2-1-1	9,2	3,4	22	5-1-1	46	14	120
2-1-2	12	4,1	26	5-1-2	63	22	150
2-2-0	9,3	3,4	22	5-1-3	84	34	220
2-2-1	12	4,1	26	5-2-0	49	15	150
2-2-2	14	5,9	36	5-2-1	70	22	170
2-3-0	12	4,1	26	5-2-2	94	34	230
2-3-1	14	5,9	36	5-2-3	120	36	250
2-4-0	15	5,9	36	5-2-4	150	58	400
3-0-0	7,8	2,1	22	5-3-0	79	22	220
3-0-1	11	3,5	23	5-3-1	110	34	250
3-0-2	13	5,6	35	5-3-2	140	52	400
3-1-0	11	3,5	26	5-3-3	170	70	400
3-1-1	14	5,6	36	5-3-4	210	70	400
3-1-2	17	6,0	36	5-4-0	130	36	400
3-2-0	14	5,7	36	5-4-1	170	58	400
3-2-1	17	6,8	40	5-4-2	220	70	440
3-2-2	20	6,8	40	5-4-3	280	100	710
3-3-0	17	6,8	40	5-4-4	350	100	710
3-3-1	21	6,8	40	5-4-5	430	150	1100
3-3-2	24	9,8	70	5-5-0	240	70	710
3-4-0	21	6,8	40	5-5-1	350	100	1100
3-4-1	24	9,8	70	5-5-2	540	150	1700
3-5-0	25	9,8	70	5-5-3	920	220	2600
4-0-0	13	4,1	35	5-5-4	1600	400	4600
4-0-1	17	5,9	36	5-5-5	>1600	700	-----
4-0-2	21	6,8	40				

**Anexo 14.** Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos según Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-2001.

CLASE	PATÓGENOS		PARÁSITOS
	Coliformes fecales NMP/G en base seca	<i>Salmonella sp.</i> NMP/G en base seca	Huevo de helminthos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
B	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

## **Anexo 15. Tecnologías de estabilización de biosólidos**

De acuerdo con el inciso 10.1 del artículo 10 del presente reglamento, los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se considerarán estabilizados y aptos para su aprovechamiento como biosólidos, cuando la relación de sólidos volátiles (SV) a sólidos totales (ST) es menor o igual que sesenta por ciento (60%) (0,6). Las tecnologías que permiten cumplir con parámetro indicado son:

- a) Proceso de tratamiento de aguas residuales que permitan la permanencia de lodo por varios años: lagunas de estabilización, lagunas anaerobias, facultativas, aireadas y lagunas utilizando el proceso de fitodepuración.
- b) Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia de lodo en ambiente aeróbico: lodos activados por aireación extendida, filtro percolador con recirculación del efluente.
- c) Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia de lodo en ambiente anaerobio: Tanques Imhoff, RAFAML (reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos), otros sistemas anaerobios debidamente justificados en los que se demuestre un tiempo prolongado de permanencia de lodos.
- d) Procesos de digestión anaerobia y aerobia de lodos: digestor de lodo y compostaje de lodo; observación: para la eficiencia de estos procesos los lodos pueden ser mezclados con sustratos complementarios que no tengan efecto negativo a la calidad de biosólidos.
- e) Otros procesos: es necesario que se pruebe la eficiencia en relación a la estabilización de los lodos frente a la autoridad sanitaria.

Los lodos residuales que se extraen de procesos de tratamiento de aguas residuales señalados en los literales a),b) y c) en condiciones de operación de acuerdo con el diseño, se consideran como estabilizados sin necesidad de comprobar la relación sólidos volátiles (SV) a sólidos totales (ST).

Los procesos señalados en el literal d) corresponden a una estabilización por separado que se exige aplicar a aquellos lodos que se extraen de las instalaciones del tratamiento de aguas residuales antes de su estabilización o en condiciones que no permiten el control operacional. Estas características se aplican a los siguientes tipos de lodos de PTAR: Lodo primario: separado de aguas residuales crudas en el sedimentador primario.

- Lodo secundario con poco tiempo de retención del lodo: lodo activado convencional, filtro percolador sin recirculación del efluente.
- Lodos provenientes de plantas de tratamiento sobrecargadas o no operado de acuerdo con el diseño (por falta de energía u otros problemas operacionales).
- Excretas de instalaciones de saneamiento in situ; tanque séptico; letrinas con o sin arrastre hidráulico, con o sin hoyo impermeabilizado; letrinas de compostaje seco con contenedor, de una o doble cámara.

Dichos lodos, después de su extracción, deben pasar necesariamente por una estabilización por separado, conforme los procesos señalados en el literal d) u otros procesos de acuerdo con el literal e).

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento mediante resolución ministerial que regula las condiciones mínimas para el manejo de lodos residuales, así como lo referido a las instalaciones donde se realizan la disposición final de los lodos, conforme al segundo párrafo de la séptima disposición complementaria final del decreto legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.



## Anexo 16. Tecnologías para la higienización de biosólidos

### I. Se consideran biosólidos clase A

A aquellos que cumplan con los dos (2) requisitos de higienización siguientes:

Concentración de *Escherichia coli* menor a 1 000 NMP (número más probable) por gramo de sólidos totales (ST) o concentración de *Salmonella spp.* Menor a 1NMP por 10 gramos de sólidos totales (ST).

1. Es obligatorio la prueba de al menos uno de los dos parámetros conforme al artículo 11 del presente reglamento.
2. En caso el laboratorio no cuente con un sistema de medición para ambos parámetros, alternativamente se podrá medir el parámetro coliformes termotolerantes, que deberán ser menor a 1000NMP por gramo de sólidos totales (ST).

Concentración de huevos de helmintos viables menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales (ST) cuyo cumplimiento se podrá demostrar alternativamente mediante la aprobación por la DGAA de las condiciones de operación de uno de los procesos señalados a continuación.

- a) Compostaje térmico:** método de compostaje en pilas estáticas aireadas y volteadas para mantener una temperatura de 55 °C o más por un período mínimo de 14 días.
- b) Secado térmico o solar:** contacto directo o indirecto de lodo con gases a mayor temperatura o energía solar para reducir la humedad a un 10% como máximo (>90% materia seca).
- c) Digestión anaerobia termofílica:** los valores del tiempo de residencia medio y temperatura serán de 20 días en temperaturas de 50 °C como mínimo.
- d) Tratamiento alcalino:** acondicionamiento con cal para que el pH se mantenga a un nivel de pH 12 durante un periodo no inferior de 72 horas.
- e) Procesos de tratamiento equivalente:** cuyo uso sea previamente aprobado por el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento en relación a su eficiencia en la inactivación de huevos de helmintos viables en los lodos o biosólidos frente a la autoridad sanitaria.

### II. Se considerarán biosólidos clase B

A aquellos que han llegado al nivel exigido de su higienización por procesos de estabilización, conforme a lo señalado en el Anexo I. El nivel de higienización se

podrá demostrar alternativamente mediante la aprobación por la DGAA de las condiciones de operación de alguno de los procesos señalados a continuación.

**a) Secado al aire:** procesos de secado sobre una cama de arena en lechos de poca profundidad. El proceso debe comprender un tiempo mínimo de tres meses de secado.

**b) Mineralización:** proceso de secado de lodo combinado con la Fito depuración (lechos de lodo sembrado con micrófitos) que permitan la permanencia de lodo por tiempo prolongado de varios meses hasta años.

Como indicador adicional de estabilización el presente reglamento aplica, conforme al artículo 10 del presente reglamento, la ausencia de impurezas visibles y no degradables en el biosólido, tal como plásticos, vidrios y metales.

Estas características se deben controlar en las PTAR con infraestructura o instalaciones apropiadas de pretratamiento, operación adecuada y evitando la mezcla con complementos contaminados con impurezas.

**Anexo 17.** Parámetros de higienización según decreto supremo N° 015-2017-VIVIENDA.

<b>Parámetros de higienización de biosólidos</b>				
<b>Indicador</b>	<b>Clase A</b>			<b>Clase B</b>
<b>Indicadores de contaminación fecal</b>	Escherichia coli	<1000		El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el Anexo I, en su defecto, mediante alguna de las tecnologías indicadas para la higienización, en la sección B del Anexo II del presente reglamento
	NMP/1g ST			
<b>Indicador de Huevo de Helmintos</b>	Salmonella sp	<1 NMP/10g		
	ST			
	Huevos viables de Helmintos	<1/4g	ST ó prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

**Anexo 18.** Condiciones mínimas para la estabilización o reducción del potencial de atracción de vectores de lodos de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR)

El proceso de estabilización es aplicable para aquellos lodos con contenido de materia orgánica susceptible de descomposición, donde la relación de sólidos volátiles (SV) a sólidos totales (ST) es menor o igual que 60% (0,6).

Los prestadores de servicios de saneamiento podrán aplicar alguna de las siguientes opciones para el control de atracción de vectores o cualquier otra en la que se demuestre que dicho control es efectivo.

**Opción 1: aplicación de procesos biológicos de tratamiento para la estabilización**

La aplicación de procesos biológicos de tratamiento necesario para aquellos lodos con alta concentración de materia orgánica (relación de SV a ST) es mayor que 60% (0,6). Estos lodos se considerarán estabilizados con atracción de vectores reducida cuando la relación de SV a ST es menor o igual que 60% (0,6). Las tecnologías que permiten cumplir con el parámetro indicado son:

- Proceso de tratamiento de aguas residuales que permitan la permanencia de lodo por varios años: lagunas de estabilización, lagunas anaerobias, facultativas, aireadas y lagunas con macrófitas.
- Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia de lodo en ambiente aeróbico: lodos activados por aireación extendida, filtro percolador con recirculación del efluente.
- Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia de lodo en ambiente anaerobio: Tanques Imhoff, RAFAML (reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos), otros sistemas anaerobios debidamente justificados en los que se demuestre un tiempo prolongado de permanencia de lodos.
- Procesos de digestión anaerobia y aerobia de lodos: digestor anaerobio de lodo, digestor aerobio de lodo que permite cumplir una edad total del lodo, (tiempo de permanencia del lodo en el reactor de lodos activados y adicionalmente el tanque digestor airada) similar a la edad del lodo en un sistema de tratamiento de lodos activados por aireación extendida y compostaje de lodo. Los procesos señalados para la digestión anaerobia y aerobia de lodos corresponden a tecnologías independientes al proceso de tratamiento de aguas residuales. Su implementación tiene por finalidad

continuar con el proceso de estabilización de lodos separados del proceso de tratamiento de las aguas residuales en condiciones no estabilizadas o donde no se cuenta con condiciones operativas que permitan el control operacional del grado de estabilización esperado. Dichas tecnologías se aplican para los siguientes tipos de lodos de PTAR:

- Lodo primario separado de aguas residuales crudas en el sedimentador primario.
- Lodo secundario con poco tiempo de retención del lodo, por ejemplo: PTAR de lodo activado convencional, filtro percolador sin recirculación del efluente.
- Lodos provenientes de plantas de tratamiento sobrecargadas o no operado de acuerdo con el diseño (por falta de energía u otros problemas operacionales).
- Excretas de instalaciones de saneamiento in situ; tanque séptico; letrinas con o sin arrastre hidráulico, con o sin hoyo impermeabilizado; letrinas de compostaje seco con contenedor, de una o doble cámara.

#### **Opción 2: aplicación de procesos alternativos de tratamiento para la estabilización**

El proceso de estabilización de lodos con alto contenido en materia orgánica puede demostrarse, alternativamente a los procesos biológicos, conforme a los procesos que se indican a continuación:

- a) Secado al aire:** proceso de secado sobre cama de arena en lechos de poca profundidad. El proceso debe comprender un tiempo mínimo de tres (3) meses de secado.
- b) Secado avanzado:** se considera que la habilidad para atraer vectores de cualquier lodo se reduce adecuadamente si su contenido de sólidos se incrementa al 90%. El incremento debe conseguirse removiendo agua y no mediante la dilución con sólidos inertes.

La manera en que se manejan los lodos secos, incluyendo su almacenamiento antes de la disposición final, puede propiciar la atracción de vectores. Si estos se exponen a una humedad alta, la superficie exterior tendrá un alto contenido de humedad y probablemente atraerá vectores. Esto debe ser prevenido adecuadamente.

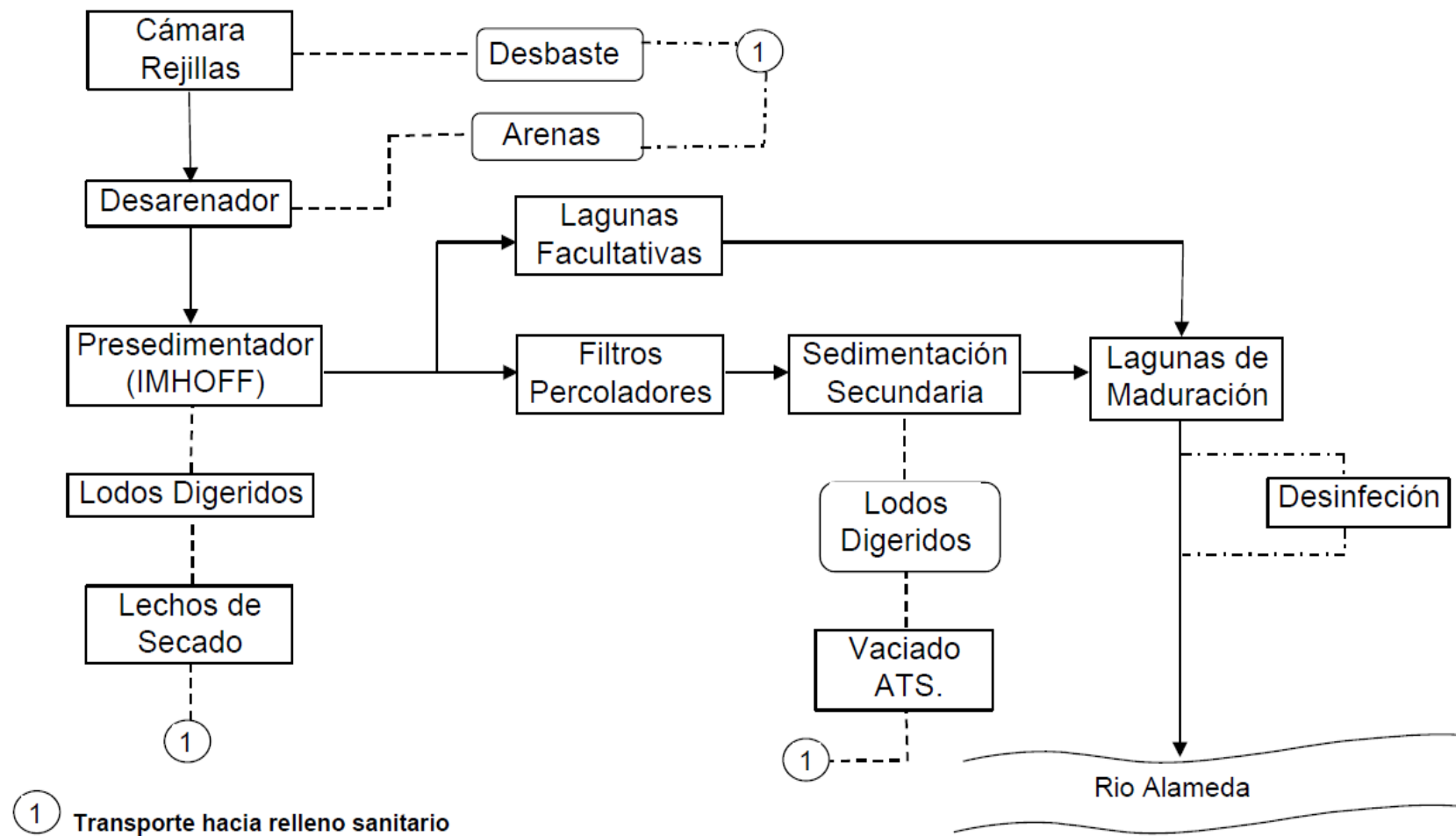
- c) Mineralización:** proceso de secado de lodo combinado con la fitodepuración (lechos de lodo sembrado con micrófitos) que permitan la permanencia de lodo por tiempo prolongado de varios meses hasta años.

- d) Estabilización con cal:** procedimiento en el cual se agrega cal, viva o apagada, para lograr lo siguiente:
- a.** Elevar el pH por lo menos hasta 12 medido a 25 °C, y sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por 2 horas; y
  - b.** Mantener un pH de al menos 11,5 sin la adición de más materia alcalina durante otras 22 horas
- e) Proceso de tratamiento equivalente:** cuyo uso sea previamente aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

**Anexo 19.** Vista panorámica de la planta de tratamiento de aguas residuales Totora, Ayacucho 2014.



**Anexo 20.** Esquema gráfico de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales Totora.





**Anexo 21.** Tanques Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales Totora, Ayacucho 2014.



**Anexo 22.** Lechos de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá, Ayacucho 2014.





**Anexo 23.** Proceso de la obtención de muestra para la experimentación.



**Anexo 24.** Proceso de la preparación de muestras para la experimentación.





**Anexo 25.** Proceso de la preparación de medios para el procesamiento de las muestras.



Anexo 26. Procesamiento de las muestras.



## Anexo 27. Matriz de consistencia

**TÍTULO:** Remoción de coliformes fecales de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales Totora con hipoclorito de calcio  $[Ca(ClO)_2]$ , Ayacucho 2014.

**AUTOR:** Magali Meza Lázaro

**ASESOR:** Saúl Alonzo Chuchón Martínez

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLE E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál será la concentración óptima de hipoclorito de calcio para reducir o eliminar las bacterias coliformes fecales de los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales Totora Ayacucho?	<p><b>Objetivos generales</b> Reducir la carga de bacterias coliformes fecales de los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales Totora Ayacucho empleando hipoclorito de calcio <math>[Ca(ClO)_2]</math> a diferentes concentraciones.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar el grado de remoción de coliformes fecales de los biosólidos con cada tratamiento de hipoclorito de calcio.</li> <li>• Evaluar el porcentaje de humedad de los biosólidos durante el tratamiento.</li> <li>• Determinar el nivel de pH alcanzado en el tratamiento.</li> </ul> <p>Determinar la dosis óptima de hipoclorito de calcio para la remoción de coliformes fecales presentes en los biosólidos.</p>	<p>Los Biosólidos incluyen los sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas.</p> <p>El hipoclorito de calcio es un compuesto químico ampliamente utilizado en tratamiento de aguas por su alta eficacia contra bacterias, algas, mohos, hongos y microorganismos peligrosos para la salud humana.</p> <p>Los coliformes fecales son usados como indicadores de contaminación fecal debido a que sus características incluyen una mayor densidad, y persistencia que otros microorganismos patógenos presentes en las heces fecales, la destrucción de estos determina indirectamente la destrucción de las bacterias de otros géneros.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> El hipoclorito de calcio al 10% es eficaz para la remoción total de los coliformes fecales presentes en los biosólidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totora.</p> <p><b>Hipótesis específicos</b> La remoción de coliformes fecales será mejor a mayor dosis de hipoclorito de calcio.</p> <p>El hipoclorito de calcio influye en la disminución del porcentaje de humedad del biosólido.</p>	<p><b>Variable independiente</b> Concentración de hipoclorito de calcio al 4%, 6%, 8% y 10%</p> <p><b>Variable dependiente</b> Bacterias Coliformes fecales: NMP/g</p> <p><b>Variables intervinientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de hidrógeno: unidades de pH</li> <li>• Contenido de agua: % humedad</li> </ul>	<p><b>Muestra:</b> Se consideró los biosólidos generados en los tanques Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora.</p> <p><b>Procedimiento de recolección de datos:</b> construcción de lecho de secado, preparación de soluciones, determinación de parámetros</p> <p><b>Análisis estadístico:</b> Los datos fueron procesados con el estadístico de Tukey y se presentan en cuadros y gráficos con la finalidad de comparar los valores obtenidos con cada tratamiento.</p>