

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

**TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE PROCESOS
ELECTROQUIMICOS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE
HUEVOS HELMINTOS**

AUTOR

MARICELA NATALI LLIVICHUZCA GUAPISACA

DIRECTOR

Ph.D. PABLO ARÉVALO

CUENCA-ECUADOR

ABRIL 2016.

CERTIFICACIÓN

Certifico que la presente investigación titulada: **“Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos helmintos”**, fue desarrollado por: Maricela Natali Llivichuzca Guapisaca, con cédula de identidad 0107145815 bajo mi supervisión.

Cuenca, Abril del 2016.

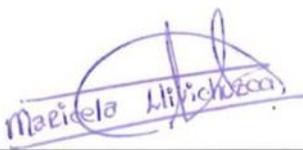
(f) 
Pablo Wilson Arévalo Moscoso Ph.D.
DIRECTOR DEL PROYECTO EXPERIMENTAL.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.

Yo, Maricela Natali Llivichuzca Guapisaca, declaro que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo experimental, son de mi exclusiva responsabilidad y autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana el uso de la misma con fines académicos.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cuenca, Abril del 2016.

(f)  _____

Maricela Natali Llivichuzca Guapisaca.

0107145815

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar agradezco a Dios por haberme regalado la vida

y permitirme cumplir una de las metas propuestas,

Iluminándome mi mente y dándome sabiduría y paciencia

para desarrollar este proyecto.

Luego quiero agradecer a mis padres quienes han sido un pilar

fundamental para desarrollarme como una mujer de bien,

de igual manera mis hermanas, hermanos y sobrina

quienes me apoyaron en todo momento de alegría y tristezas

durante mi vida universitaria.

Agradezco a mis amigas del grupo de investigación Isa y Male,

por su comprensión y por mantener viva la alegría para poder

desarrollar el proyecto a pesar de los problemas que se nos presentó.

Y por último quiero agradecer al Ph. D. Pablo Arévalo Director del

proyecto que siempre estaba impartiendo sus conocimientos y

apoyándome en el desarrollo del proyecto tanto en la parte práctica

como teórica.

RESUMEN.

La presente investigación tiene como finalidad eliminar la concentración de huevos de helmintos para producir un biosólido que cumpla con la normativa vigente y de esta manera colaborar con la reutilización del mismo para diferentes fines. Para su desarrollo se empleó una planta piloto, que consistió en una 3 celdas electrolíticas, cada una con un volumen de 1728 cm³, la muestra fue tomada del filtro banda de la PTAR de lodos de Ucubamba con una humedad del 65-68%, se establecieron condiciones iniciales de la muestra antes del proceso electroquímico como son pH 7.5, conductividad eléctrica de 12,8 mS/cm y humedad de 70,53 las mismas que se lograron con la adición de la solución de Cloruro de Sodio al 12%. Los factores de estudios fueron 3, el tipo de electrodos (hierro y grafito), tiempo de contacto (90 y 120 minutos) y la distancia (5, 5.5 y 6 cm) para determinar su influencia durante el proceso electroquímico.

Se logró un rendimiento del 100%, demostrando la eficiencia del proceso electroquímico en la eliminación de huevos de helmintos, en un tiempo de 90 minutos, con los 2 tipos de electrodos y las 3 distancia, cabe mencionar que la eliminación se debe a la generación de hipoclorito de sodio durante el proceso. En conclusión el factor que influye durante el proceso electroquímico es el tiempo tratamiento, por lo tanto se realizó un muestreo en intervalos de 15 minuto durante 90 minutos, concluyendo que el electrodo grafito es más eficiente en la remoción de huevos de helmintos logrando un rendimiento del 100% en un tiempo de 70 minutos a diferencia del electrodo hierro que necesita 90 minutos.

Palabras claves: huevos de helmintos, lodos deshidratados, planta de tratamiento

INDICE.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XV
INDICE DE ANEXOS.....	XVI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Fundamentos teóricos.....	6
1.3.1 Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR).....	6
1.3.1.1 Productos obtenidos de las PTAR.....	6
1.3.2 Lodos residuales.....	6
1.3.2.1 Características de los lodos.....	7
1.3.2.1.1 Características físicas.....	9
1.3.2.1.2 Características químicas.....	9
1.3.2.1.3 Características Biológicas.....	10
1.3.2.1.3.1 Huevos de Helmintos.....	10
1.3.2.1.3.1.1 Importancia de los huevos de helmintos como indicadores.....	11

1.3.2.1.3.2	Desactivación de huevos de helmintos.	12
1.3.2.1.3.3	Norma establecida de acuerdo a la concentración de huevos de helmintos.	12
1.3.2.1.3.3.1	Norma de descarga residual de acuerdo al Contenido de helmintos.	13
1.3.2.1.3.3.2	Norma establecida para parámetros microbiológicos de acuerdo a la concentración de huevos de helmintos presentes en biosólidos.....	14
1.3.2.1.3.4	Coliformes Fecales.....	15
1.3.2.1.3.5	Salmonella.....	16
1.3.3	Composición de los lodos.	16
1.3.3.1	Composición de lodos (compuestos orgánicos-compuestos inorgánicos).	16
1.3.3.2	Composición del lodo en relación al contenido de patógenos.	17
1.3.4	Tipos de lodos	17
1.3.5	Estabilización de lodos residuales.....	19
	Tipos de tratamiento por estabilización de lodos.....	19
1.3.5.1.1	Digestión anaerobia.....	20
1.3.5.1.2	Digestión aerobia.	21
1.3.5.1.3	Tratamiento químico.	22
1.3.5.1.4	Compostaje.....	22
1.3.6	Espesamiento de los lodos.	22
1.3.6.1	Espesamiento por gravedad.....	22
1.3.6.2	Espesamiento por flotación.....	23
1.3.6.3	Espesamiento por centrifugación.	23
1.3.7	Deshidratación de los lodos.	23
1.3.8	Desinfección de lodos.	24

1.3.8.1	Inactivación de microorganismos patógenos presentes en los lodos residuales.	24
1.3.8.1.1	Factores que influyen durante el proceso de desinfección.	25
•	Microorganismos presentes en las muestra a ser tratada.	25
•	Desinfectante empleado en el proceso de desinfección.	25
•	Tiempo de contacto.	25
•	pH.	25
•	Partículas en suspensión.	26
•	Temperatura del agua.	26
1.3.8.2	Proceso de desinfección con cloro.	26
1.3.8.2.1	Proceso de eliminación de microorganismo patógenos presentes en aguas contaminadas con cloro.	27
1.3.8.2.2	Parámetros que influyen en la eficiencia para el proceso de desinfecciones con cloro.	28
1.3.9	Disposición final de los lodos.	28
1.3.10	Biosólidos.	29
1.3.10.1	Clasificación de los biosólidos.	30
1.3.11	Electroquímica.	31
1.3.11.1	Electrocloración.	31
1.3.11.2	Electrolisis.	32
1.3.11.2.1	Electrolisis del cloro.	32
1.3.11.2.2	Ventajas de la utilización la técnica de electro cloración.	33
1.3.11.3	Reacciones de oxidación-reducción.	33

1.3.11.4	Celda electrolítica.	34
1.3.11.4.1	Componentes de la celda electrolítica.	34
•	Cuba electrolítica:	35
•	Electrolito:.....	35
•	Electrodo:	36
•	Cátodo:	37
•	Ánodo:.....	37
•	Fuente de energía:	37
1.3.11.5	Características del proceso o tratamiento electroquímico.	38
1.3.11.5.1	Generación del hipoclorito de sodio in situ en la celda electrolítica por proceso de electrolisis.	38
1.3.11.5.1.1	Factores que influyen en las reacciones de la electrolisis.	39
1.3.11.5	Factores que influyen en los procesos de generación de hipoclorito in situ en las celdas electrolíticas.	40
•	Electrodos.....	40
•	Conductividad eléctrica.....	40
•	Densidad de corriente.....	41
•	Temperatura.	41
•	pH.....	41
1.3.11.6	Celda galvánica	42
ANÁLISIS DE ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE EL TEMA.....		42
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	49

2.1	Componentes de la celda electrolítica empleada en el proyecto de investigación.....	49
2.1.1	Construcción de la cuba.	49
2.1.2	Fuente de alimentación.	49
2.1.3	Electrodos.....	50
2.1.3.1	Características del electrodo hierro.....	50
2.2	Recolección y Acondicionamiento de la muestra.	52
2.2.1	Recolección de la muestra.....	52
2.2.2	Acondicionamiento de la muestra previo a proceso electroquímico.....	53
2.2.2.1	Determinación y análisis físicos- químicos y microbiológicos de la muestra.....	53
2.2.2.2	Conductividad eléctrica.....	53
2.2.2.3	pH.....	53
2.2.2.4	Humedad.	54
2.2.2.5	Recuento de huevos de helmintos.	54
2.2.2.5.1	Cuantificación de huevos de helmintos aplicando la Técnica Stoll-Hausheer.....	54
2.3	Montaje y funcionamiento de la celda electrolítica.	55
2.3.1	Generación de hipoclorito durante el proceso electroquímico.....	56
2.3.2	Recolección de la muestra después del proceso electroquímico.....	57
2.3.3	Técnica empleada para la cuantificación de hipoclorito de sodio.....	57
2.4	Diseño experimental del proyecto de investigación.....	57
2.4.1	Etapas en el diseño experimental.	57
2.4.2	Diseño experimental.	58

•	Regresión Lineal.	59
•	Modelo del diseño completamente al azar.	60
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	62
3.1	Estudio de la influencia del tiempo de exposición, tipo de electrodo y distancia entre electrodos para el desarrollo del proceso electroquímico.	62
3.1.1	Análisis del factor tiempo en el desarrollo del proceso electroquímico.	62
3.1.2	Análisis del tipo de electrodo durante el proceso electroquímica (hierro, grafito).	65
3.1.3	Análisis de la influencia de la distancia en el proceso electroquímico.	67
2.1	Determinar la eficiencia de los electrodos de hierro y grafito para la remoción de microorganismos patógenos (huevos de helmintos).	69
2.2	Establecer las condiciones óptimas del lodo, mediante el análisis de las variables (humedad, conductividad) para garantizar la eficiencia del proceso electroquímico.	74
2.2.1	Análisis de las variables de humedad y conductividad.	74
	DISCUSIÓN.	79
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	82
4.1	CONCLUSIONES.	82
4.2	RECOMENDACIONES.	83
5.	BIBLIOGRAFIA.	84
	ANEXOS.	90

INDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 1. Características principales de los lodos obtenidos de las PTAR.</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2. Características físicas de los lodos de la PTAR.</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 3. Características Químicas de los lodos de las PTAR.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 4. Concentración de huevos de helmintos presentes en lodos residuales en diferentes países.</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 5. Límites máximos permisibles para parásitos en lodos y biosólidos.</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 6. Concentración de contaminantes patógenos a nivel mundial.</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 7. Tipo de patógenos presentes en los lodos residuales.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 8. Composición de los lodos según el tipo.</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 9. Características de lodos residuales.</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 10. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio en lodos.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 11. Ventajas y desventajas del proceso aerobio en lodos.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 12. Valores del pH para el proceso de desinfección.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 13. Parámetros para la desinfección con cloro.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 14. Dosis y tiempo de contacto para la desinfección con cloro y UV </i>	<i>28</i>
<i>Tabla 15. Aprovechamiento de biosólidos.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 16. Variables aplicadas al proceso.</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 17. Análisis de la influencia del tiempo sobre el % de remoción de huevos de helmintos.</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 18. Resumen del ANOVA.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 19. Diseño completamente al azar.</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 20. Tabla resumen del ANOVA aplicado a los huevos de helmintos.</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 21. % de remoción de huevos de helmintos en función del tiempo.</i>	<i>67</i>

<i>Tabla 22. ANOVA de los diferentes tratamientos para las diferentes distancias empleadas.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 23. ANOVA del electrodo hierro.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 24. ANOVA del electrodo grafito.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 25. Parámetros iniciales o variables de respuestas.....</i>	<i>78</i>

INDICE DE GRAFICOS.

Grafico. 1. Ecuación lineal del análisis de variables tiempo y % de remoción de huevos de helmintos.....	63
Grafico. 2. Tratamiento electroquímico con los factores de estudio, distancia, tipo de electrodo, tiempo.....	70
Grafico. 3. . % Remoción entre los diferentes tipos de tratamientos.	71

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Clasificación de huevos de helmintos.	11
Ilustración 2. Reactivos en función de pH.	27
Ilustración 3. Proceso de electrolisis de NaCl.	32
Ilustración 4. Electrolito	36
Ilustración 5. Electrodo.....	36
Ilustración 6. Cátodo y Ánodo de una celda electrolítica.....	37
Ilustración 7. Batería o fuente de alimentación a la cuba.....	37
Ilustración 8. Influencia de la °T en la producción de hipoclorito.....	41
Ilustración 9. Celdas Voltaicas.....	42
Ilustración 10. Características de la cuba.	49
Ilustración 11. Electrodo empleado para el proceso electroquímico.	52
Ilustración 12. Recolección de la muestra.	52
Ilustración 13. Funcionamiento de la celda electrolítica.....	56
Ilustración 14. Generación de hipoclorito de sodio.....	56
Ilustración 15. Valores de pH en función de la conductividad.	77

INDICE DE ANEXOS.

ANEXO 1.....	91
Marcha Analítica para determinación de la humedad.....	91
ANEXO 2.....	93
Marcha Analítica para determinar el pH. (Suspensión y determinación potenciométrica (lodos y suelos).....	93
ANEXO 3.....	95
Marcha analítica para determinar la conductividad eléctrica.....	95
ANEXO 4.....	97
Método de STOLL-HAUSHEER para la cuantificación de huevos de helmintos presentes en lodos residuales.....	97
ANEXO 5.....	100
Marcha Analítica para determinar el porcentaje de Hipoclorito de Sodio.	100
ANEXO 6.....	106
Resultados del laboratorio externo del recuento de huevos helmintos.....	103

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema.

El problema existente a nivel mundial, debido al incremento poblacional ha producido grandes niveles de contaminación, afectando al entorno natural producido por la gran cantidad de aguas residuales de origen doméstico e industrial, provocando grandes afecciones en la salud de la población.(C Campos, 2004)

El uso del agua residual en la agricultura sin un previo tratamiento representa un riesgo para la salud, debido a que contienen gran cantidad de microorganismos principalmente huevos de helmintos (Manrique, 2006), con el tratamiento de aguas servidas se generan subproductos líquidos, sólidos o semisólidos dependiendo del proceso de purificación se obtienen los denominados lodos, caracterizados por su carga contaminante representados por los altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal, tales como bacterias, protozoarios y helmintos. (Astudillo Guillén & Carpio Arévalo, 2006)

Los huevos de helminto son considerados como los indicadores microbiológicos de mayor importancia en el tratamiento de aguas residuales y generación de lodos (Maya et al, 2008), debido a que pueden permanecer en el medio ambiente por varios meses y por su resistencia a diversas condiciones ambientales.(Avedoy, 2006).

En los países desarrollados en lo referente a manejo de la excreta, lodos residuales y biosólidos se caracterizan debido a que ejerce un control sobre su cantidad, calidad, disposición final y/o aprovechamiento del residuo, en la Unión Europea de los (9'000000 ton de lodos/año), se reutiliza de la siguiente manera, 45% agricultura, 23%

en la generación de energía térmica, 18% relleno en tierra y 14% se utiliza para elaborar composta y otros usos.

Estados Unidos cuenta con un sistema de reducción de volumen y estabilización dentro de las PTAR, se genera anualmente 7,2 millones de toneladas de lodos residuales, al igual que la Unión Europea su mayor aplicación se da en la agricultura con 49%, 45% relleno de tierra o incinerado y un 6% en otros usos (UN-HABITAT), China genera anualmente 2,9 millones de lodos con un 34% para relleno de tierra, Japón genera 2 millones de toneladas de lodos con un 20% para relleno de tierra y 5% para recuperación energética.(Bedoya-Urrego, Acevedo-Ruíz, Peláez-Jaramillo, & del Pilar Agudelo-López, 2013)

En América Latina, Brasil dispone el 45% de lodos como relleno en tierra, el 5,6% en la agricultura y el porcentaje restante es indefinido, México se produce anualmente una cantidad de 640.000 toneladas de lodos residuales.(Remis & Espinosa, 2012)

En el Ecuador solo el 8% de las aguas negras tienen algún nivel de tratamiento, siendo la ciudad de Cuenca, la que cuenta con la mejor capacidad de tratamiento del país cubriendo el 95% de las aguas residuales en la PTAR UCUBAMBA (Cabrera, Garcés, & Paredes, 2012), que a su vez cuenta con una planta alterna de tratamiento de lodos residuales, que incluye el proceso de extracción, conducción, espesamiento, deshidratación, almacenamiento, lo que conlleva a la generación de subproductos principalmente lodos, con una producción total de 2000 toneladas anuales, lodos considerados como peligrosos debido a la concentración de metales pesados y microorganismos patógenos presentes. (Esteller, 2002).

Actualmente el método empleado por la PTAR¹ UCUBAMBA para la disposición final de lodos residuales esta la deshidratación que consiste en reducir la humedad mediante aplicación directa de calor, el problema radica en que reduce solamente en un 20% el volumen, otra técnica de eliminación es la incineración en donde se realiza la combustión mediante quemadores reduciendo el volumen en un 80% y eliminando los compuestos orgánicos tóxicos, sin embargo destruye las bacterias y nutrientes que pudieran ser útiles para usarlo como fertilizante, además el proceso genera dioxinas y furanos provocando contaminación ambiental considerable y altos costos de operación (Remis & Espinosa, 2011), debido a que para eliminar un mismo contaminante normalmente existirá más de una operación unitaria técnicamente viable, y es el factor económico el que marcará la candidata idónea.(Martínez, 2007)

Posteriormente los lodos deshidratados son enviados al relleno sanitario de Pichacay, el mismo que recibe 50 metros cúbicos diarios de lodo, reduciendo su vida útil e incrementando altos costos en el transporte y generación de lixiviados (ETAPA EP), por lo que es necesario estudiar y encontrar la mejor disposición final, la misma que resulte sustentable con el ambiente y al menor costo posible. (Bermeo Barreto & Idrovo Heredia, 2014)

Según el estudio realizado por ETAPA las características de los lodos o biosólidos de acuerdo a la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, respecto al indicador bacteriología y parásitos no cumplen con la norma. En cuanto a la regulación 503 de la US EPA le considero al lodo residual Tipo B de acuerdo a la concentración de patógenos. (Arévalo Moscoso & Lituma Vintimilla, 2010)

¹ PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

En la actualidad en la mayor parte de los países en vías de desarrollo es mínima o inexistente la información sobre calidad microbiológica de los lodos, así también la existencia de pocos estudios sobre la eficiencia de los procesos para remover microorganismos patógenos presentes en el agua residual o en lodos (Chávez et al, 2002), convirtiéndose en el principal obstáculo en la disposición del dicho residuo para tierra agrícola debido a su gran efecto para producir enfermedades virales, bacterianas y parasitológicas. (Audra & Almeida, 2002).

Por esta razón, este proyecto se enfocó a dar un tratamiento a los lodos residuales por medio de procesos electroquímicos, mediante el empleo de una planta piloto dentro de los laboratorios Ciencias de vida de la Universidad Politécnica Salesiana cuyo finalidad es eliminar o remover los parásitos (huevos de helmintos), que constituyen un problema en la salud pública; así como también producir un lodo con características físicas, químicas y biológicas adecuadas para su posible aprovechamiento en la agricultura, generando una nueva propuesta diferente a los métodos convencionales utilizados actualmente.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

- Tratar los lodos residuales provenientes PTAR mediante procesos electroquímicos para disminuir la concentración de Huevos de helmintos.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Estudiar la influencia del tiempo de exposición, tipo de electrodo y distancia entre electrodos para el desarrollo del proceso electroquímico.
- Determinar la eficiencia de los electrodos de hierro y grafito para la remoción de microorganismos patógenos (huevos de helmintos).
- Establecer las condiciones óptimas del lodo, mediante el análisis de las variables (humedad, conductividad) para garantizar la eficiencia del proceso electroquímico.

1.3 Fundamentos teóricos.

1.3.1 Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR).

Las plantas de tratamientos de aguas residuales son unidades de transformación de los efluentes industriales, domésticos o es decir son unidades de transformación de la materia orgánica.(Trejos Vélez & Agudelo Cardona, 2012).

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976)

1.3.1.1 Productos obtenidos de las PTAR.

Entre los materiales removidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se encuentran residuos tamizados, arenas, escorias, sólidos y biosólidos; estos dos últimos se encuentran en forma líquida o semisólida, dependiendo de la operación o proceso utilizado y son generados en mayor volumen. Su procesamiento, reutilización y disposición es quizás el problema más complejo que se enfrenta en el campo del tratamiento de aguas residuales (Metcalf y Eddy, 2003)(Torres Lozada, Madera Parra, & Martínez Puentes, 2008), debido a que es necesario realizar un análisis para determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosas de dicho lodo lo que permitirá precisar si el lodo es considerado como un residuo peligroso o como un residuo no peligroso (NOM052-ECOL-1993).

1.3.2 Lodos residuales.

Según la EPA en 2003 define “Lodo, es el sólido, semisólido, o líquido residual generado durante el tratamiento de residuos domésticos, en una planta de tratamiento. Los lodos residuales incluyen, pero no están limitados a espumas o lodos removidos en proceso de tratamiento primario, secundario o avanzado de agua residual, y material

derivado de lodos residuales. El lodo residual no incluye las cenizas generadas durante la incineración de los mismos o gravas y piedras generados durante el tratamiento preliminar de residuos domésticos en plantas de tratamientos municipales.(EPA, 1993)

Según la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 define: Son sólidos con un contenido variable de humedad proveniente del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal de las plantas potabilizadoras y de las PTAR que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

1.3.2.1 Características de los lodos.

Se considera que los lodos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes, ya que este es un material de alto potencial biológico, debido a la gran cantidad de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros; colocándolo como uno de los abonos y fertilizantes más eficientes. El uso inadecuado puede ocasionar un gran riesgo para la salud. Uno de estos parámetros es el conteo del número de huevos de nematodos por gramo, al igual que de larvas y huevos de céstodos, entre otros

Según (Romero Rojas, 2004) menciona que las características de los lodos varían dependiendo de su origen, edad, y el tipo del proceso del que provienen, considerando que dentro de la planta de tratamiento la cantidad de lodo producido es variable que a su vez depende del proceso de tratamiento empleado considerando las siguientes características:

- Parte fundamental depende de las características del agua residual.
- El grado de tratamiento previo de dicha agua.

- Del tiempo de sedimentación.
- De la densidad de sólidos.
- Del contenido de humedad.
- Del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos.

Los lodos generados en las PTAS² pueden ser categorizados como primarios o secundarios, cada uno con características particulares (Tabla 1). Los lodos primarios se originan en los procesos de separación sólido-líquido (decantación, flotación) y los secundarios son los generados en los procesos biológicos (Ramalho, 1996). Los lodos primarios son relativamente más fáciles de degradar. Mientras que la degradación de los secundarios es más compleja, debido a la pared celular de los microorganismos

Tabla 1. Características principales de los lodos obtenidos de las PTAR

Unidad	% humedad del lodo		Densidad relativa.	
	Intervalo	Típico	Sólidos	Lodo
Sedimentación primaria.	88-96	95	1.4	1.02
Filtro percolador.	91-95	93	1.5	1.025
Precipitación química.	--	93	1.7	1.03
Lodos activados.	90-93	92	1.3	1.005
Tanques sépticos.	--	93	1.7	1.03
Tanques imhoff.	90-95	90	1.6	1.04
Aireación prolongada.	88-92	90	1.3	1.015
Lodo primario digerido anaerobiamente.	90-95	93	1.4	1.02
Laguna aireada	88-92	90	1.3	1.01
Lodo primario digerido aerobiamente.	93-97	96	1.4	1.012

Fuente: Romero Rojas, 2004.

² PTAS: Planta de tratamiento de aguas servidas.

1.3.2.1.1 Características físicas.

La principal características física que hay que considerar para emplear cualquier tratamiento es el contenido de humedad debido a que mientras más alto sea este valor mayor dificultad presenta el lodo en su manejo y almacenamiento y como consecuencia se necesitará una mayor asignación de recursos para su tratamiento y disposición final.

Tabla 2. Características físicas de los lodos de la PTAR

Características físicas
Olor
Color
Apariencia (grasiento, gelatinoso, floculento)
Contenido de humedad.
Contenido de solidos totales, volátiles, suspendidos y sedimentables.
Velocidad de sedimentación de los lodos
Densidad
Tamaño de Partículas.
Comprensibilidad
Temperatura.

Fuente: (Nathalia Teresa Valencia Bonilla, 2008)

1.3.2.1.2 Características químicas.

Este factor depende de la calidad de las aguas domésticas y el tipo de industrias que estén conectadas a la red de alcantarillado incluyendo a aquellas descargas clandestinas de aguas residuales provenientes de las actividades laborales que se desempeñan a lo largo de la recolección de las aguas residuales.

Tabla 3. Características Químicas de los lodos de las PTAR

Características químicas.
Parámetros inorgánicos (arena, arcilla, materia mineral)
Parámetros orgánicos (carbonos, aceites, grasas, etc.)
Metales pesados.
Nutrientes.
Contenido de materia orgánica (DBO, DQO, contenido de tóxicos orgánicos.
Carga superficial de la partícula y su hidratación.
Conductividad eléctrica (concentración de sales)
pH.

Fuente: (Nathalia Teresa Valencia Bonilla, 2008)

1.3.2.1.3 Características Biológicas.

El lodo residual de acuerdo a su naturaleza se encuentra formado por una gran variedad de microorganismos siendo más comunes bacterias, virus, y parásitos los que se encuentran con altas concentraciones. En este parámetro el factor que hace que varía sus características esta dado de acuerdo a el estado de salud y el tamaño de la población.

Es un factor que más afecta a la población por lo que ha surgido la necesidad de tratar los lodos residuales debido a su alto contenido de patógenos y por lo que es necesario realizar una caracterización biológica (identificación y cuantificación de microorganismo), debido a que si el lodo es sometido a un tratamiento específico para disminuir la concentración de microorganismos patógenos no implica que dicho biosólido o subproducto de lodo no sea un riesgo para la salud.

Entre los microorganismo que comúnmente se encuentran en los lodos tenemos Salmonella sp. (especialmente S. Typhi), Coliformes Fecales, Huevos de Helmintos, y en el caso de los virus de mayor preocupación el de la hepatitis A y los calcivirus (Taller Iberoamericano-Campos, 2005).

1.3.2.1.3.1 Huevos de Helmintos

Los huevos de helmintos son un grupo de organismos que incluyen nematodos, trematodos y cestodos y todos los gusanos parásitos (de humanos, animales o vegetales) de forma libre, con forma y tamaño variado. (Lituma Vintimilla, 2010).

Los helmintos representan un elevado riesgo a la salud humana debido a que son altamente persistentes en el agua contaminada y lodos crudos (huevos embrionados o larvas), en elevadas concentraciones y afectando al suelo y vegetación en donde se reúsan estos productos ya sea en forma de riego o como acondicionador del suelo

convirtiéndose en una fuente directa de contaminación, por lo que ha surgido como una alternativa la técnica de desinfección y a su vez es necesario evaluar la eficiencia de la remoción de estos parásitos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.(León, 2002).

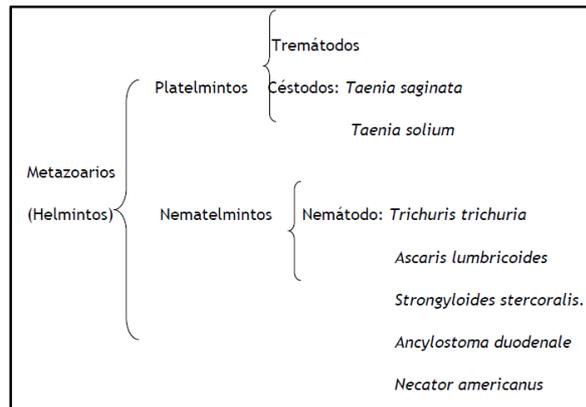


Ilustración 1. Clasificación de huevos de helmintos.

Fuente: (Jimenez, 2007)

1.3.2.1.3.1.1 Importancia de los huevos de helmintos como indicadores.

Son considerados indicadores debido a que pueden garantizar la inocuidad (incapacidad para hacer daño) de los biosólidos, la cantidad de helmintos no varía con el tiempo, gracias su alta resistencia sobreviven hasta por un año a diferencia de las bacterias patógenas y virus que permanecen viables durante un lapso de tiempo determinado (1-3) meses en el agua residual y protozoos viven algunas semanas(Garrido-Hoyos et al., 2005) y una de las características principales son que la concentración o la cantidad de helmintos no varía con el tiempo.(Pullés, 2014)

El uso de huevos de helmintos como indicadores es debido a que la estructura que rodean estos huevos, son capas muy resistentes, impermeables a gran variedad de sustancias, las cuales les proporcionan resistencia mecánica y química, previniendo su destrucción y desecación. (Rendón, Jiménez Cisneros, Barrios Pérez, & others, 2002). Es por eso necesario romper este ciclo durante el proceso de estabilización del lodo,

destruyendo ó inactivando estas estructuras. (Rojas Oropeza, Castro Ortiz, Cabirol, Noyola Robles, & others, 2000)

Uno de los huevos de helmintos más representativo según varios autores es el género *Áscaris sp*, debido a que estos pueden permanecer en suelos por periodos de hasta 7 años, bajo condiciones ambientales adversas, logrando conservar su viabilidad durante meses. (Silva Martínez, Martínez Pereda, & others, 2000).

En estudios realizados en diferentes países de América Latina, se han encontrado concentraciones altas de huevos de helmintos en muestras de biosólido; se estima que el rango de huevos de helmintos oscila entre 70 y 3000 HH/L en aguas y lodos residuales en lo referente a los países en vía de desarrollo, mientras que en países como Estados Unidos es de 1 a 8/L. (Bedoya-Urrego et al., 2013).

1.3.2.1.3.2 Desactivación de huevos de helmintos.

La desactivación de los huevos de helmintos o eliminación de dichos parásitos se ha logrado con los procesos de estabilización alcalina, la eficiencia para la eliminación depende de varios parámetros como tenemos el valor de pH alto, temperatura, tipo y cantidad de cal para abonar añadida y tiempo de almacenaje.

Para la eliminación de unos de los principales huevos de helmintos como tenemos el caso *Ascaris* presente en lodos residuales y material fecal, se recomienda necesario emplear temperaturas altas en valores mayores a los (<40°C), pH alto.

1.3.2.1.3.3 Norma establecida de acuerdo a la concentración de huevos de helmintos.

Según la Norma Mexicana se establece un valor óptimo de acuerdo a la concentración de huevos de helmintos permitidos para descargas de agua residual y biosólidos (Mexicana, 2002).

1.3.2.1.3.3.1 Norma de descarga residual de acuerdo al Contenido de helmintos.

Mediante el estudio realizado por (Nathalia Teresa Valencia Bonilla, 2008), la autora emplea los valores de los límites máximos permisibles por la norma para las descargas vertidas:

- El agua es destinada al directamente suelo de 1Huevo/litro.
- El agua es para riego no restringido no se tiene una cantidad de huevos específico.
- El agua destinada para un riego restringido en 5 Huevos/litro.

Entre los huevos que comúnmente son aislados de lodos, aguas residuales y suelos tenemos los huevos de nematodos (*Áscaris lumbricoides*) y huevos de parásitos pueden ser encontrados en estas matrices, como los de *Trichuris trichiura*, *Toxocara sp*, *Uncinaria sp*, *Hymenolepis nana*, *Hymenolepis diminuta*, *Taenia sp.*, *Enterobius vermicularis*, etc.) y de la misma manera o similar existen huevos de parásitos de origen animal con potencial zoonótico y un gran número de quistes (Caccio et al, 2003), ooquistes, huevos y larvas de nemátodos de vida libre. (Pineda, 2010).

En muchos países a nivel mundial usan el agua previamente tratada para riego considerando a China en el primer lugar con 1.330.000 Hectáreas, seguido de México y posteriormente India en el tercer lugar con 73.000 Hectáreas (García et al, 2007). Jiménez (2007), con un contenido diferente de huevos de helmintos en agua residual y lodos para cada país. (Pineda, 2010). A continuación se presenta una tabla en donde se da conocer las concentraciones de huevos de helmintos en agua residual para diferentes países.

Tabla 4. Concentración de huevos de helmintos presentes en lodos residuales en diferentes países

Pais/ Región.	Huevos de helmintos en aguas residuales. (huevos/litros)	Huevos de helmintos en lodos residuales. (huevos/gr. ST)
Mexico	6 a 98 aumentando a 330 en zonas pobres.	73-177
Brasil	166-202	75
Egipto	-----	Media 7, Máximo 735
Ghana	-----	76
Marruecos	840	-----
Jordán	300	-----
Ucrania	60	-----
Estados Unidos	1-8	2-13
Francia	9	5-7
Alemania	-----	<1
Inglaterra	-----	<6

Fuente: (Pineda, 2010)

1.3.2.1.3.3.2 Norma establecida para parámetros microbiológicos de acuerdo a la concentración de huevos de helmintos presentes en biosólidos.

Actualmente en el Ecuador se dispone normas establecidas para calidad del aire, agua, suelo, pero no se dispone de una ley que norme los parámetros de lodos residuales en lo referente a los parámetros de microbiológicos, por lo tanto para el desarrollo del presente proyecto se tomó como referencia la norma mexicana (Mexicana, 2002).

Según la normativa mexicana (Mexicana, 2002) se nos indica los límites máximos permitidos de contaminantes patógenos en lodos y biosólidos, dichos biosólidos podrán ser empleados en proceso de agricultura como abono orgánico para incrementar la producción debido a su alto contenido de fertilizantes.

Tabla 5. Límites máximos permisibles para parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Parásitos (Huevos de helmintos/gramo en base seca)
A	Menor de 1 (a)
B	Menor de 10
C	Menor de 35

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección de Lodos y Biosólidos.

Mediante un estudio (Silva Martínez et al., 2000) realizado se determinó la concentración de patógenos en los diferentes lodos residuales a nivel mundial a través de una caracterización microbiológica que permite identificar el tipo de lodo según la norma establecida por la EPA los cuales se observan a continuación.

Tabla 6. Concentración de contaminantes patógenos a nivel mundial.

Criterio	Unidad	EE. UU.	México	Brasil	Chile	Argentina	Colombia
Coliformes fecales	NMP/g	Clase A: 1×10^3	Clase A: 1×10^3	Clase A:	Clase A:	Clase A:	Clase A:
		Clase B: 2×10^6	Clase B: 1×10^3	1×10^3	1×10^3	1×10^3* Clase B:	1×10^3 Clase B:
			Clase C: 2×10^6	Clase B:		2×10^6*	2×10^6
				1×10^6			
Salmonella sp	NMP/g	Clase A: $3/4$	Clase A: 3	Ausencia en 10 g	Clase A:	Clase A:	Clase A: ausente
			Clase B: 3		$3/4$	$3/4$	1×10^3
			Clase C: 300				
Huevos de helmintos	HH/g	Clase A: $1/4$	Clase A: 1	Clase A: $1/4$	Clase A:	-	Clase A:
			Clase B: 10	Clase B: 10	$1/4$		$1/4$
			Clase C: 35				
Virus	UFP/g	Clase A: $1/4$	-	Clase A: $1/4$	-	-	-

Fuente: (EPA 2003, Silva Martínez et al., 2000)

1.3.2.1.3.4 Coliformes Fecales

Los coliformes son una familia de bacterias se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. Las bacterias coliformes,

en su mayoría, se encuentran en abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo, por lo que los lodos residuales presentan una gran cantidad de estas bacterias. (Ortiz-Hernández, Gutiérrez-Ruiz, & Sanchez-Salinas, 1995)

1.3.2.1.3.5 Salmonella

Es un bacilo gramnegativo aerobio y anaerobio facultativo, puede producir ácido a partir de la glucosa.

1.3.3 Composición de los lodos.

1.3.3.1 Composición de lodos (compuestos orgánicos-compuestos inorgánicos).

La composición de los lodos producidos PTAR depende de varios factores como tenemos desde la calidad de las aguas domiciliarias, la cantidad proveniente y las características de los riles recibidos considerando la última fase que se refiere al acondicionamiento posterior de los lodos dichos factores determinan la composición y características de dichos lodos, fruto de todo el proceso de recolección y tratamiento de las aguas servidas. (Astudillo Guillén & Carpio Arévalo, 2006).

El agua residual está formado por el 99,9 % de agua y el 0.01 % corresponde a sólidos (Avilés Sacoto, 2011). Los principales compuestos orgánicos que representa el 70% tenemos proteínas (40%-60%), carbohidratos (25%-50%) y grasas y aceites (10%).(Alarcón Tiznado Rodrigo, 2009) y cuanto a los sólidos inorgánicos representan el 30% tenemos los cloruros, metales pesados, nitrógeno, fosforo, azufre, sales y arenas.

1.3.3.2 Composición del lodo en relación al contenido de patógenos.

Los lodos se encuentran formados por diferentes patógenos los que limitan la utilización de los lodos como abonos orgánicos, debido a las altas concentraciones de los mismos.

Tabla 7. Tipo de patógenos presentes en los lodos residuales.

GRUPO	AGENTES	EFEECTO EN LA SALUD
Bacterias	<i>Salmonella Typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A y B</i> <i>Shigella sp</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella sp.</i>	Fiebre tifoidea, paratifoidea Disentería bacilar Cólera Gastroenteritis agudas diarreas Diarreicas
Virus	<i>Virus hepatitis A y E</i> <i>Virus de la Polio</i> <i>Virus de Norwalk</i> <i>Rotavirus</i> <i>Enterovirus</i> <i>Adenovirus</i>	Hepatitis <u>Poliomelitis</u> Gastroenteritis aguda y diarreicas Meningitis Enteritis Infecciones respiratorias
Protozoos	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> intestinales	Disentería amebiana <u>Gastroenteritis.</u>
Helmintos	<i>Taenia saginata</i> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Trichouris trichiuria</i> <i>Toxocara spp.</i>	Cisticercosis <u>Ascariasis</u> <u>Tricocefalosis o tricuriasis</u> Toxoplasmosis

Fuente: (Vera-Reza, Sánchez-Salinas, Ortiz-Hernandez, Peña-Camacho, & Ortega-Silva, 2006)

1.3.4 Tipos de lodos

Existen diferentes tipos de lodos que se obtienen como subproducto del tratamiento de aguas residuales, los cuales se mencionan a continuación:

- **Lodos de decantación primaria.** Son generalmente de consistencia limosa y color de marrón a gris, volviéndose sépticos y generando mal olor con gran facilidad.
- **Lodos de precipitación química.** Son de color negro y su olor, aunque puede llegar a ser desagradable, lo es menos que los correspondientes a una decantación primaria.
- **Lodos de tratamiento secundario.** Son de color marrón, relativamente ligeros, y por estar bien aireados, no suelen producir olor con tanta rapidez como los lodos primarios. Sin embargo, sino se encuentran lo suficientemente

aireados, su color se oscurece y producen un olor tan fuerte como el lodo primario.

- **Lodos de lechos bacterianos.** Son de color marrón y no producen olores molestos si están frescos. Se degradan a una velocidad menor que los lodos procedentes del sistema secundario, salvo en el caso que contengan organismos superiores (por ejemplo gusanos), y en cuyo caso si se pueden dar olores rápidamente.
- **Lodos digeridos:** Son de color negro y tienen olor a tierra. Este lodo tiene origen en los procesos de digestión aeróbica. Generalmente contienen una proporción de materia orgánica entre el 45 y 60 %.

Según Oropeza en el 2006 nos presenta una tabla en donde nos explica la composición de los lodos de acuerdo a las fases de proceso de tratamiento de las aguas residuales considerando la fase primaria, secundaria y lodos digeridos.

Tabla 8. Composición de los lodos según el tipo.

Parametros	Lodos primarios	Lodos Secundarios (Mezcla)	Lodos digeridos
pH.	5.5 -6.5	6.5 -7.5	6.8- 7.6
Humedad	92-96	97.5-98	94-97
SSV (%SS)	70-80	80-90	55-65
Grasas (%SS)	12-14	3-5	4-12
Proteinas	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (%ss)	8-10	6-8	5- 8
Nitrogeno (%SS)	2-5	1-6	3-7
Fosforo (%SS)	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patogenas (NMP/100ml)	10^3 - 10^5	100-1000	10-100
Metales pesados (%ss) Cu, Pb, Zn.	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Fuente: (García, 2006)

Mediante la investigación realizado (Lituma Vintimilla, 2010) con el tema “Biodigestion anaerobia de lodos residuales, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba” nos presenta los siguientes resultados de los análisis realizados a los lodos de la PTAR Ucubamba y según los datos presentados se nos explica que los resultados en cuanto a metales pesados no sobrepasa la norma mientras que para los huevos helmintos y coliformes fecales y totales sobrepasa la norma permitida razón por la cual se enfoca el presente proyecto.

Tabla 9. Características de lodos residuales.

Parámetro	Unidad	Máximo	Promedio	Mínimo
pH.	-	7.22	6.61	6.04
Densidad aparente	gr/cc	1.11	1.07	1.04
Solidos totales	%	18	13.5	9.7
Solidos volátiles	%	4.8	2.9	1.1
Cromo	mg/kg	515	295	15
Cadmio	mg/kg	15	2.9	0.70
Cobre	mg/kg	279	195	10
Níquel	mg/kg	120	32	5
Plomo	mg/kg	270	131	8
Zinc	mg/kg	1421	960	90
Coliformes totales	NMP	2.96 E+08	2.01 E+05	1.30 E+03
Huevos de helmintos.	NMP	179	90	10.1

Fuente: (Lituma Vintimilla, 2010)

1.3.5 Estabilización de lodos residuales.

La estabilización es un proceso que se lleva a cabo debido a su eficacia para reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción convirtiéndose en una de las alternativas más usadas a nivel mundial tanto en Estados Unidos y Unión Europea para tratar los lodos residuales.

Tipos de tratamiento por estabilización de lodos.

- Digestión anaerobia.
- Digestión aerobia.

- Adición de cal (Tratamiento químico)
- Composteo

Para implementar algunas técnicas para el tratamiento de lodos, la elección del método depende de varios factores como tenemos:

- La cantidad.
- Calidad de lodos
- Las condiciones del sitio de acumulación.
- La situación financiera de la PTAR para el posible tratamiento.

1.3.5.1.1 **Digestión anaerobia.**

Consiste en 2 fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O₂). (Cotero, Díaz, & Balderas, n.d.).

En el proceso de digestión anaerobia la materia orgánica en la mezcla de lodos primarios y secundarios se convierte en metano y dióxido de carbono. Se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado, con periodos de tiempo considerables y su resultado es que se obtiene un subproducto bajo en materia orgánica y de microorganismo patógenos. Para su proceso se emplean reactores de dos tipos el de baja carga y el de alta carga, es una técnica que se limita a su aplicación es el costo de construcción es elevado, los digestores requieren una gran cantidad de equipos periféricos, requiere que los lodos sean calentados, el agua en el lodo contiene una elevada concentración de amoníaco. (Limón Macías Juan Gualberto, 2013).

Tabla 10. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio en lodos.

Proceso de la digestión anaerobia	Ventajas	Desventajas
	Excelente en la destrucción de SSV, 40-60 %	Requiere operadores altamente capacitados.
	Los costos de operación disminuyen si el gas metano que se genera es utilizado.	Lenta recuperación del proceso cuando se desestabiliza
	Los biosólidos son óptimos para el uso en la agricultura.	El sobrenante tiene alta carga DBO, DQO, SST y N amoniacal.
	Buena inactivación de patógenos	La limpieza del reactor es complicada
	Bajos requerimientos de energía.	Potencial de emisión en olor, altos costo de inversión.

Fuente: (Metcalf, 2003)

1.3.5.1.2 Digestión aerobia.

Proceso de aireación prolongada que consiste en dotar o suministrar al sistema de O₂ para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular.(García, 2006)

Este método se centra en que se usa típicamente en plantas de tratamiento con capacidades menores a 220 l/s, considerando que su principal ventaja es que es una operación de menor costo de construcción, pero sus desventajas son el costo de operación es más elevado que la anterior y que requiere suministro de aire para estabilizar los lodos.(Water Environment Federation, 2010)

Tabla 11. Ventajas y desventajas del proceso aerobio en lodos.

Proceso de la digestión aerobio.	Ventajas	Desventajas
	Menores costos de inversión inicial	Alto costos de operación por el consumo de energía eléctrica.
	Sobrenante menos agresivo que el anaeróbico.	Disminución del Ph y alcalinidad
	Simplicidad operativa.	Potencial de dispersión de patógenos a través de los aerosoles.
	No emite olores.	Los lodos digeridos usualmente son más complicados de desaguar.
	Reduce la masa total del lodo.	No genera biogás con potencial de generación de energía.

Fuente: (Water Environment Federation, 2010), (Metcalf, 2003)

1.3.5.1.3 Tratamiento químico.

Se realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza durante el tratamiento. (Oropeza, 2006)

La estabilización alcalina con adición de cal presenta la ventaja de una inversión menos costosa y es más fácil de operar que los otros procesos. Sin embargo, este proceso tiene la gran desventaja de que los biosólidos producidos pueden regresar a su estado inestable si el pH cae después del tratamiento, lo que ocasiona el crecimiento de nuevos microorganismos. Otros problemas son los olores y el costo de la cal o material alcalino, que además incrementa la masa de los biosólidos a disponer. (García, 2006).

1.3.5.1.4 Compostaje

El composteo se usa generalmente en los lodos que tiene como disposición final en la agricultura, utilizados como mejoradores o acondicionadores de suelos. Este proceso requiere de mano de obra intensiva y puede generar olores. Además, puede incrementar la masa de biosólidos a disponer y transmitir los patógenos por medio del polvo que genera.

1.3.6 Espesamiento de los lodos.

Es un proceso que aumenta la fracción sólida del lodo de desecho mediante la reducción de la fracción líquida del mismo. Se lleva a cabo mediante procedimientos físicos que se mencionan a continuación.

1.3.6.1 Espesamiento por gravedad.

Es un proceso en el cual el exceso de agua es removido por decantación y los sólidos son concentrados por flotación. (Avilés Sacoto, 2011)

1.3.6.2 Espesamiento por flotación.

Es un proceso en el que los sólidos son separados del líquido mediante la introducción de burbujas finas de aire dentro de la fase líquida, los sólidos son removidos del líquido y flotan hacia la superficie.

1.3.6.3 Espesamiento por centrifugación.

Es un proceso que se aplica para fangos biológicos, con una concentración del fango espesado entre un rango de 4 – 8 %, produce cambios en las características del fango y su consumo energético oscila entre 800-1500wh/m³ fango.

1.3.7 Deshidratación de los lodos.

El proceso de deshidratación consiste en la reducción de volumen, la misma que puede obtenerse por un simple espesamiento mediante la sequedad del producto para alcanzar en algunos casos el 10 o muy excepcionalmente, el 20% de humedad.

Según (Bermeo Barreto & Idrovo Heredia, 2014) nos indica que es una operación unitaria física (mecánica) utilizada para reducir el contenido de humedad del lodo por alguna o varias de las siguientes razones:

- Disminuye en los costos de transporte del lodo hasta el lugar de evacuación final, debido a que si se disminuye la humedad de lodo se podrá llevar un volumen mayor de lodo al relleno sanitario si es el caso.
- Facilita la manipulación del fango líquido o espesado, en algunos casos puede ser manipulado mediante tractores y con cintas transportadoras.
- Favorece en el proceso de incineración debido a que mediante el proceso de deshidratación se aumenta el poder calorífico del lodo.
- Es una fase previa para el proceso de compostaje.

Si el destino final de los lodos deshidratados es los vertederos se exige que los lodos cumplan con una humedad que no supere generalmente al 20%, para evitar problemas de lixiviados y de estabilidad de suelos.

1.3.8 Desinfección de lodos.

Es el proceso mediante el cual se trata de eliminar una gran cantidad de organismos patógenos presentes en los lodos y que pueden suponer un riesgo sanitario en su utilización. Los métodos que se utilizan son la pasteurización que somete a los lodos a temperaturas de 70°C y durante 30 minutos, el compostaje y la estabilización termofílica aerobia o anaerobia que provoca temperaturas de 60°C y un pH de 8 durante 48 horas o 24 horas si el pH es diferente.(Torres Carranza Eduardo, n.d.).

La desinfección es de gran importancia ya que las bacterias, virus y protozoarios son microorganismos (especies de tamaños diminutos) capaces de producir infecciones, transmitir enfermedades y provocar efectos nocivos a la salud humana. Varían en tamaño, forma, complejidad, formas de reproducción y habilidad para alimentarse.(Cano Quiroz & Barrera Díaz, 2014).

1.3.8.1 Inactivación de microorganismos patógenos presentes en los lodos residuales.

Los mecanismos que provocan la inactivación de los patógenos se mencionan a continuación.

- Destrucción de la pared celular de los microorganismos o cuando se produce cambios en la permeabilidad de la célula, permitiendo la penetración de la pared celular.
- Reacción con las enzimas de los microorganismos lo que producen o causa inhibición del metabolismo de la glucosa y provoca la muerte del organismo.

- Oxidación y destrucción de la materia orgánica del agua, eliminando la fuente de alimentación de los microorganismos.

1.3.8.1.1 Factores que influyen durante el proceso de desinfección.

Los principales factores que influyen sobre la eficacia del proceso de la desinfección son los siguientes:

- **Microorganismos presentes en la muestra a ser tratada.**

La reacción de los microorganismos frente a la desinfección depende de la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del desinfectante y de la afinidad química del producto con las sustancias vitales del organismo.

- **Desinfectante empleado en el proceso de desinfección.**

Los desinfectantes tienen diferentes mecanismos de actuación con distinta eficacia, asimismo la concentración del producto influye en el tiempo de contacto necesario para un tratamiento eficiente.

- **Tiempo de contacto.**

El tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua debe ser adecuado para poder desactivar la presencia de microorganismo.

- **pH.**

Los microorganismos patógenos son capaces de vivir en un intervalo de pH establecido considerando los pH medios muy ácidos o muy básicos son ambientes adversos para su supervivencia. Por esta razón este factor es el que condiciona los factores del proceso.

- **Partículas en suspensión.**

Es un factor que si está presente en el agua o lodo residual afecta a la eficiencia del proceso debido a que puede proteger a los patógenos frente a la desinfección.

- **Temperatura del agua**

El incremento de temperatura favorece la eficacia de la desinfección, pero la solubilidad de los gases disminuye al subir la temperatura, por lo que el rendimiento de los desinfectantes gaseosos también disminuye.

1.3.8.2 Proceso de desinfección con cloro.

La acción desinfectante del cloro se produce por su capacidad de traspasar la pared celular del patógeno y atacar su sistema enzimático provocando la muerte del organismo.

Los agentes desinfectante son el ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl⁻). El ácido hipocloroso, se disocia en iones hidrógeno e iones hipoclorito en la siguiente reacción reversible:



El cloro disminuye el pH del agua a causa de los iones hidrógeno que se producen en las reacciones con el agua. Si el pH es inferior a 2 se encuentra en forma molecular, si el pH es 5 el cloro molecular ha desaparecido encontrándose como ácido hipoclorosos, si el pH es menor o igual a 10 se encuentra el ion hipoclorito. (Rodríguez Pérez, 2013)

La desinfección es más eficiente con niveles de pH bajos debido a que favorece la formación de ácido hipocloroso, un agente alrededor de 80 veces más eficaz que el ion hipoclorito.

Tabla 12. Valores del pH para el proceso de desinfección

Reactivos.	pH.
IÓN HIPOCLORITO	> 7.5
ÁCIDO HIPOCLOROSO	< 7.5

Fuente: (Jimenez, 2007)

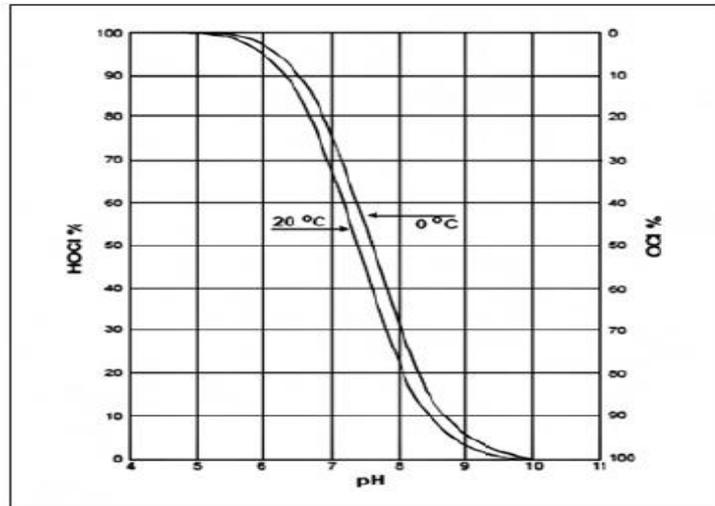


Ilustración 2. Reactivos en función de pH.

Fuente: Jiménez, 2007.

1.3.8.2.1 Proceso de eliminación de microorganismo patógenos presentes en aguas contaminadas con cloro.

El proceso llamado comúnmente como **hervido** es considerado como uno de los métodos más representativos para eliminación de patógenos presentes el agua de cualquier tipo de procedente, se caracteriza debido a su eficacia ya que la exposición de los organismos patógenos transmitidos por el agua (parásitos, virus, bacterias), al calentarse hasta que hierva “burbujeando” durante 3 minutos con una temperatura de 90 y 100 °C se eliminarán los patógenos en su totalidad o inactivara.

1.3.8.2.2 Parámetros que influyen en la eficiencia para el proceso de desinfecciones con cloro.

Durante el proceso de desinfecciones se debe considerar parámetros que puede afectar durante el proceso.

Tabla 13. Parámetros para la desinfección con cloro

Parámetros.	Valores
Turbiedad	< 5 UNT
Ph	< 8
Tiempo de retención.	>30 min

Fuente: Autora.

Tabla 14. Dosis y tiempo de contacto para la desinfección con cloro y UV

Efluentes típicos	Cloro		Luz UV.	
	Dosis (mg/lit)	Tiempo de contacto (min)	Dosis (mWs/cm ²)	Tiempo de contacto (s)
Filtros rociadores	5-20	60-90	15-130	7-14
Lodos activados	2-15	60-90	15-130	7-140
Lodos activados+filtración	1-5	60-90	40-200	14-21

Fuente: (WERF, 1995)

1.3.9 Disposición final de los lodos.

Los lodos una vez que han sido sometidos a algún tratamiento para reducir su nivel alto de contaminación pueden tener varios destinos como los que se mencionan a continuación:

- Abono orgánico o biosólido empleado en la agricultura como abono.
- Recuperación de terrenos agotados.
- Recuperación de energía eléctrica, mecánica y calorífica (incineración)
- Compostaje
- Vertidos directamente al mar, ríos, lagos.
- Relleno de terrenos, escombreras, minas abandonadas, pantanos, etc.

El uso agrícola es una alternativa empleada en muchos países debido a que permite el aprovechamiento del lodo residual cuando cumple con las normas establecidas. El lodo puede servir como un acondicionador del suelo y como abono. En el primer caso ayuda a retener el agua en el suelo y facilita el crecimiento de las raíces, también mejora la textura del suelo. En el segundo caso sirve como fertilizante químico. El lodo se caracteriza por contener Nitrógeno, Fósforo y Potasio, que son necesarios para el crecimiento de las plantas. Sin embargo no siempre es posible hacer esta disposición final ya que cuando las concentraciones de metales pesados en el lodo son elevadas, son un riesgo para la salud humana.

1.3.10 Biosólidos.

Según Rittmann & McCarthy en el año 2001 nos dice “Son sólidos que provienen del tratamiento de aguas residuales domésticas que se han estabilizado por procesos biológicos con ciertas características como baja prevalencia de microorganismos patógenos, estables, y con suficiente concentración de nutrientes para ser utilizado en la agricultura como fertilizante y mejorador de suelos”

Se identifica a los “Biosólidos residuales” como aquellos sólidos remanentes del proceso de tratamiento de agua de desecho urbano, compuestos por materia orgánica residual no descompuesta, o en proceso de descomposición, obtenidos de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). El uso de los Biosólidos residuales en la agricultura está supeditado a los niveles de concentración de los parámetros de patógenos, parásitos y metales pesados, según NOM-004-SEMARNAT-2002, siendo las clases A, B y C como las más idóneas (López, 2012).

1.3.10.1 Clasificación de los biosólidos.

Los lodos se clasifican de acuerdo al origen de las aguas residuales y tenemos de tipo doméstico o industrial. También pueden clasificarse según el tratamiento que se les realiza, ya sea de tipo aeróbico cuando se utiliza la digestión con bacterias, y de tipo anaeróbico, que aunque resulta más costoso, es más eficiente en la remoción de patógenos. Los lodos también pueden ser líquidos, deshidratados o secos, de acuerdo a su contenido de humedad y como resultado de procesos en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Según la normativa mexicana clasifica a los Biosólidos se clasifican en 2 tipos de acuerdo a los metales pesados como excelente y bueno, 3 tipos (A, B y C) en cuanto a su contenido de patógenos mencionados a continuación.

Tabla 15. Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none">• Uso urbano con contacto público directo durante su aplicación.• Los establecidos para clase B y C.
Excelente o Bueno	B	<ul style="list-style-type: none">• Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación.• Los establecidos para la clase C.
Excelente o Bueno	C	<ul style="list-style-type: none">• Usos forestales.• Mejoramiento del suelo• Usos Agrícolas.

Fuente: (López, 2012)

1.3.11 Electroquímica.

La electroquímica estudia los cambios químicos que producen una corriente eléctrica y la generación de electricidad mediante reacciones químicas. La electroquímica estudia la conductividad eléctrica de las distintas sustancias particularmente de las disoluciones de electrolitos débiles y fuertes. (Loren G.Hepler, 1968)

El campo de la electroquímica está dividido de acuerdo al tipo de prototipo en donde se desarrollan el proceso electroquímico y tenemos.

- Celda electrolítica en donde se produce el proceso de electrólisis en donde las reacciones químicas que se producen por acción de una corriente eléctrica.
- Celda o pila galvánica lugar en donde se lleva a cabo un proceso electroquímico es decir se refiere a aquellas reacciones químicas que generan una corriente eléctrica.

1.3.11.1 Electrocloración.

Es una técnica electroquímica de tratamiento de aguas, donde se genera hipoclorito de sodio in situ, mediante electrolisis de cloruro de sodio. Para que el proceso tenga lugar se puede aplicar de dos formas:

- Añadiendo cloruro de sodio al agua o suelo a tratar.
- Empleando el agua de mar.

En el proceso se generan varios agentes desinfectantes muy poderosos en los que tenemos el hipoclorito a partir de la electrolisis, el oxígeno que es producto de la hidrolisis del agua que colabora en la destrucción de organismo secundario el ozono y oxidrilo radical, se produce en las reacciones que ocurren en el ánodo y cátodo, ambos son poderosos desinfectantes.

1.3.11.2 Electrolisis.

Es la reacción química que se produce por la descomposición del electrolito al paso de la corriente continua que se genera cuando introducimos dos electrodos en una disolución electrolítica o en un producto fundido y aplicamos una diferencia de potencial continua entre ellos. Las reacciones químicas producidas por acción de la corriente tiene lugar o se dan en la superficie del electrodo, que son los conductores metálicos introducidos en la disolución.

1.3.11.2.1 Electrolisis del cloro.

La electrólisis del Cloruro de Sodio (NaCl) se lleva a cabo dentro de una celda electrolítica, el electrolito se encuentra formado por una fundición de cloruro de sodio, que posee iones Na⁺ y Cl⁻ y que reacciona con el electrodo inerte como es el grafito, se encuentran conectados a través de un cable conductor a una fuente de corriente de tipo continua; uno de los electrodos se carga de manera negativa (el que esta conectado al polo negativo) y el otro se conectado positivamente (el que esta conectado al polo positivo) de la fuente de alimentación. (Whitten, Gailey, Davis, Ortega, & Muradás, 1992)

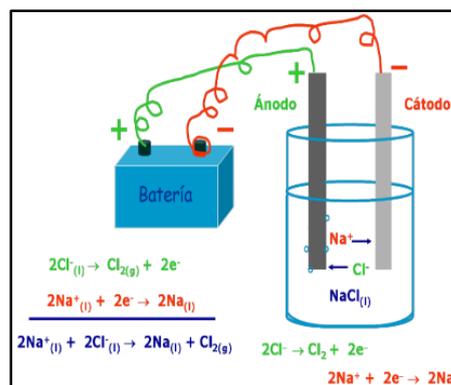
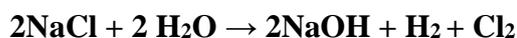


Ilustración 3. Proceso de electrólisis de NaCl.

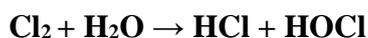
Fuente: (Morante García, 2006)

Cuando se somete al agua residual a proceso de desinfección se obtiene las siguientes reacciones durante el proceso de la hidrólisis:

Al aplicar una diferencia de potencial en los electrodos se produce a partir de la sal y el agua:



Se genera los siguientes reactivos sosa caustica (NaOH), hidrógeno (H₂) y cloro gaseoso (Cl₂) el cual se disuelve en el agua para formar ácido hipocloroso y clorhídrico (HCl).



Cabe mencionar que de los dos átomos de la molécula de cloro solamente uno forma ácido hipocloroso el cual es el agente desinfectante y el otro átomo restante forma ácido clorhídrico que se desperdicia durante el proceso de electrolisis debido a que no es reactivo oxidante.

1.3.11.2 Ventajas de la utilización la técnica de electro cloración.

- Evita el manejo y almacenamiento del cloro químico que es una sustancia altamente corrosiva y presenta un alto riesgo de exposición.
- Reduce los costos de mantenimiento.
- No produce irritaciones en la piel y ojos durante su producción.
- Destrucción continúa de cloraminas en los electrodos.

1.3.11.3 Reacciones de oxidación-reducción.

Las reacciones de reducción-oxidación son aquellas reacciones de transferencia de electrones. Esta transferencia se produce entre un conjunto de elementos químicos, uno oxidante y uno reductor es decir una forma reducida y una forma oxidada respectivamente, en dichas reacciones la energía liberada de una reacción espontánea

se convierte en electricidad o bien se puede aprovechar para inducir una reacción química no espontánea. (Maldonado Rogel & Molina Ayala, 2011)

1.3.11.4 Celda electrolítica.

Es un reactor electroquímico es un reactor combinado con la utilización de la energía eléctrica. (Valcárcel, n.d.)

Durante el proceso ocurren una serie de etapas interrelacionadas en las que se forman tanto hidróxidos insolubles del metal, sobre los que quedan retenidos los contaminantes, como hidroxocomplejos cargados, positiva o negativamente, que permiten la coagulación por neutralización de cargas.

En las proximidades del ánodo se produce la generación de oxígeno por oxidación del agua da lugar a la formación de iones H^+ , que dada su carga son atraídos hacia el cátodo. En el cátodo, la reducción del agua para formar hidrógeno da lugar a la formación de iones hidroxilo (OH^-) que al contrario que los anteriores, son atraídos hacia el ánodo. (Koren y Syversen, 1995; Saur et al., 1996)

Como consecuencia se genera un pH entre cada ánodo y cátodo favoreciendo que aparezcan diferentes especies químicas en el reactor, dicho pH es responsable de las menores cantidades de Al (o Fe) necesarias para conseguir un mismo rendimiento en el proceso, cuando se genera este componente electroquímicamente para la eliminación de los patógenos y metales pesados presentes en las aguas residuales (Rajeshwar e Ibáñez, 1997; Mollah et al., 2001)

1.3.11.4.1 Componentes de la celda electrolítica.

Para que el reactor funcione, se requiere de una fuente externa de energía eléctrica que origina las reacciones electroquímicas como consecuencia del flujo de electrones entre los electrodos metálicos y los compuestos presentes en el efluente, generando

los procesos de reducción en el cátodo (conversión de los protones del agua en hidrógeno), y los de oxidación en el ánodo (que produce iones metálicos y oxígeno, este último proveniente de la hidrólisis del agua). Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Las partes de una celda electrolítica en donde se desarrolla el proceso electroquímico se mencionan a continuación:

- **Cuba electrolítica:**

Se refiere al depósito en donde se lleva a cabo la electrolisis.

- **Electrolito:**

Es la sustancia que carecen de carácter metálico y en disolución son capaz de descomponerse por acción de la corriente eléctrica, esto ocurre con aquellos compuestos iónicos o covalentes que en solución o fundidos se disocian en iones, y conducen la corriente eléctrica. El electrolito siempre va dentro de la celda o cuba electrolítica.

La conducción de corriente eléctrica por una disolución electrolítica siempre está acompañada por una disolución de cambios químicos los mismos que tienen lugar en los extremos del conductor introducido en el proceso.

La cantidad de electrolito descompuesto en una cuba electrolítica, con el paso de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado a través de dicha disolución.

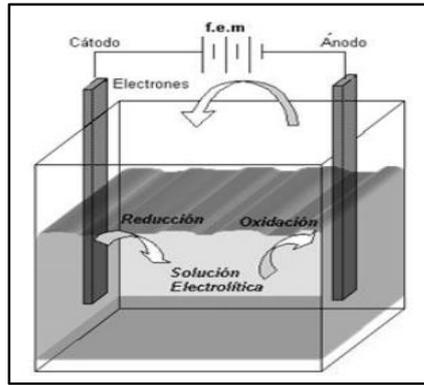


Ilustración 4. Electrolito

Fuente: (Maldonado Rogel & Molina Ayala, 2011)

- **Electrodo:**

Son barras o placas generalmente metálicas que al estar en contacto con el electrolito, logran que éste entre en reacción, puesto que son los terminales de los bornes de una batería o acumulador de corriente continua (fuente).

Pueden ser:

- **Activos:** Cuando además de conducir la corriente eléctrica, reaccionan participando en el proceso y por lo tanto sufren cambios químicos durante el proceso. Ejemplo: Zn, Cu, Ag, Sn

- **Inertes:** Cuando su única función es conducir la corriente eléctrica, reaccionan participando en el proceso y por lo tanto sufren cambios químicos durante el proceso. Ejemplo: Grafito, Pt, Pd.

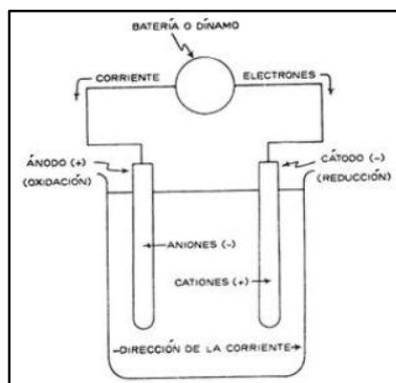


Ilustración 5. Electrodo

Fuente: (Morante, 2002)

- **Cátodo:**

Es el electrodo que lleva electrones a la solución electrolítica o electrolito y es donde ocurre la reducción; su carga es negativa. Los iones que van al cátodo se llaman cationes y son iones positivos.

- **Ánodo:**

Es el electrodo que saca electrones de la solución electrolítica, y es donde ocurre la oxidación, su carga es positiva. Los iones que se dirigen al ánodo, se llaman aniones y son los iones negativos.

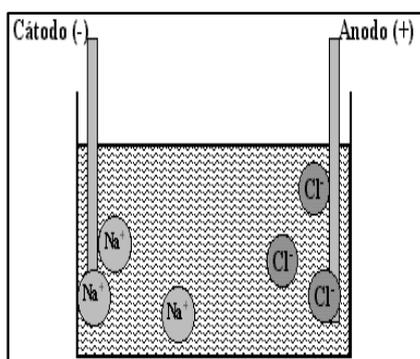


Ilustración 6. Cátodo y Ánodo de una celda electrolítica

Fuente: Autora.

- **Fuente de energía:**

En los procesos electrolíticos se usan generadores de corriente continua (baterías o pilas conectadas en serie), con la finalidad que no produzcan sobrecargas.

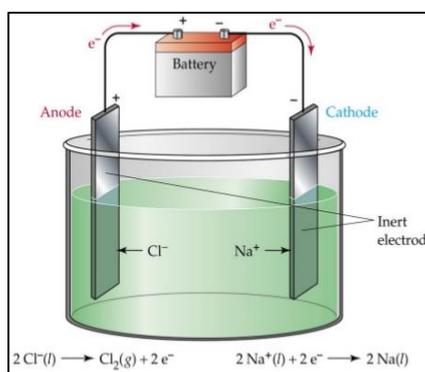


Ilustración 7. Batería o fuente de alimentación a la celda.

Fuente: (galvaniC WasteWater, n.d.)

1.3.11.5 Características del proceso o tratamiento electroquímico.

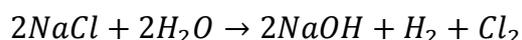
El tratamiento electroquímico es aplicado para suelos contaminados (electroremediación) que involucra la aplicación de baja corriente directa o bajo gradiente de potencial a un par de electrodos, positivo (ánodo) y negativo (cátodo) que son insertados dentro del suelo.

Durante el proceso electroquímico una vez insertados los electrodos que están sometidos a un determinado potencial en una solución acuosa o en un suelo húmedo, el primer fenómeno que ocurre es la electrólisis del agua (Paredes & Brito, 2012) y un efecto más de un campo eléctrico en un suelo húmedo es el calentamiento por electroresistividad, que ocurre cuando se incrementa la potencia aplicada al sistema. (Gilbón, 2001)

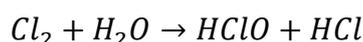
1.3.11.5.1 Generación del hipoclorito de sodio in situ en la celda electrolítica por proceso de electrolisis.

El proceso químico de la electrolisis y los productos generados en el proceso, se describen mediante las siguientes reacciones:

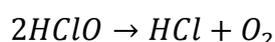
- En el ánodo se produce Cloro gaseoso (Cl_2) mediante la siguiente reacción.



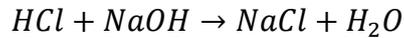
- Este cloro generado in situ se disuelve en el agua o el sustrato formando ácido hipocloroso mediante la siguiente reacción.



- El ácido hipocloroso oxida la materia orgánica, esterilizando así el agua o sustrato.



- Una vez desinfectado el agua o sustrato el ácido clorhídrico (HCl) reacciona con el hidroxilo de sodio (NaOH) a través de una reacción de neutralización para generar sal y agua.



Cabe mencionar que durante este proceso no se produce la pérdida de los reactivos debido a que estos se descomponen, actúan y se regeneran nuevamente.

1.3.11.5.1.1 Factores que influyen en las reacciones de la electrolisis.

Se debe considerar algunos factores para poder establecer las reacciones que se generan los cuales se mencionan a continuación:

2. Puede ser necesario un voltaje adicional para que ocurra una determinada reacción en un electrodo, pero hay que tener en cuenta que las sobretensiones son necesarias para superar interacciones en la superficie del electrodo y son especialmente frecuentes cuando hay gases implicados.
3. Pueden generarse reacciones de electrodo competitivas es decir cuando se empleen electrodos del mismo tipo como por ejemplo inertes que generan durante el proceso 2 reacciones de oxidación y 2 de reducción.
4. La naturaleza del electrodo, como tenemos los electrodos inertes proporcionan una superficie sobre la cual ocurre la semireacción de electrolisis, pero los reactivos deben proceder de la disolución de electrolisis. El electrodo activo participa el mismo en la semireacción de oxidación o reducción.

1.3.11.5 Factores que influyen en los procesos de generación de hipoclorito in situ en las celdas electrolíticas.

Entre los factores tenemos la temperatura, cantidad de sal utilizada y el tipo de sal influyen en la producción de hipoclorito de sodio, algunos de estos factores afectan de manera significativa la tasa de producción.

Dentro de los procesos electroquímicos existen variables típicas que inciden en los procesos químicos entre los principales tenemos la temperatura, el pH, características de los electrodos (ánodo y el cátodo), el tamaño y la geometría de la celda y la densidad de corriente en la superficie de los electrodos durante el proceso.

- **Electrodos.**

En lo referente a la estabilidad física y química los electrodos deben presentar una alta resistencia mecánica a la erosión, resistencia a la corrosión, al igual que la formación de recubrimiento que impida la transferencia electrónica. La geometría debe ser adecuada para facilitar el proceso, en particular si durante este se da a lugar la formación de gases y se debe permitir su evacuación.

- **Conductividad eléctrica.**

La conductividad eléctrica debe ser alta con la finalidad de no incrementar el consumo de energía, debida a la transformación de energía eléctrica en calor.

Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación y adicionalmente el incremento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado, La adición de algunos electrólitos tales como NaCl o CaCl₂ genera un aumento en la conductividad del agua residual. (Restrepo, 2006).

- **Densidad de corriente.**

En cuanto a este factor la densidad de corriente debe ser lo más elevada posible con la finalidad de minimizar los requerimientos de área electródica durante el proceso electroquímico.

- **Temperatura.**

Este factor es considerado como principal debido a que cuando en una celda electrolítica es mantenida a una temperatura constante de 25 °C alcanza fácilmente valores de 10 g Cl₂/L, cuando no se controla este factor y la temperatura alcanza una temperatura máxima de 41.5 °C y la concentración es 8,5 g Cl₂/L. En el grafico posterior se observa que la temperatura se mantiene constante se incrementa la producción de cloro.

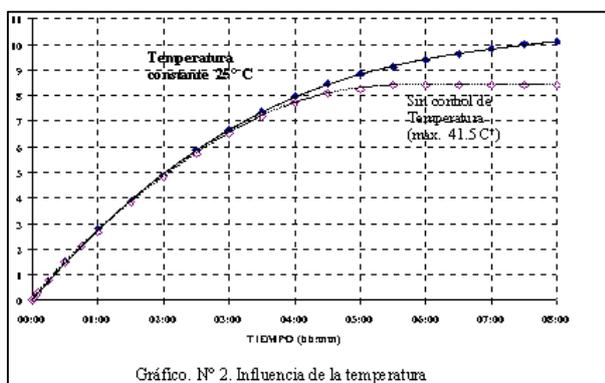


Ilustración 8. Influencia de la °T en la producción de hipoclorito.

Fuente: (Rojas Ricardo, 2000)

- **pH.**

Cuando se de tratamiento de desinfección de agua residual este factor no interesa modificar el valor de este parámetro debido a que posteriormente habrá de neutralizarse el agua para su vertido o reutilización, lo que puede incrementar los costos de tratamiento.

1.3.11.6 Celda galvánica

Son celdas electroquímicas en las cuales las reacciones espontáneas de óxido-reducción producen energía eléctrica. Las dos mitades de la reacción de óxido-reducción, se encuentran separadas, por lo que la transferencia de electrones debe efectuarse a través de un circuito externo. (Seese, 1996)

En el siguiente gráfico se observa para elaborar un proceso mediante esta celda galvánica se necesita de un puente salino entre las cubas para desarrollar el proceso electroquímico.

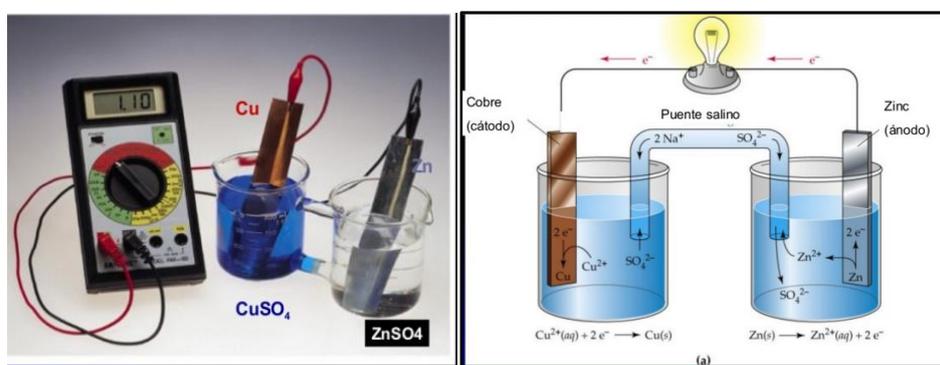


Ilustración 9. Celdas Voltaicas.

Fuente: Morante, 2006.

ANÁLISIS DE ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE EL TEMA.

El tratamiento electroquímico es de gran aplicación para el tratamiento de aguas residuales enfatizadas en la eliminación de metales pesados, contenido de materia orgánica, microorganismos patógenos por lo que se tomó como referencia los siguientes estudios debido a la escasa información de tratamiento electroquímico para la tratabilidad de lodos de las PTAR, en lo referente a la reducción de la concentración de patógenos (huevos de helmintos.)

Según (P. Cañizares, M.A. Rodrigo. J. Lobato, M. Carmona, C.Sáez, F. Martínez) nos menciona que los tratamientos electroquímicos son aplicables para una gran

variedad de aguas residuales industriales contaminadas con materia orgánica y por qué pueden producir la destrucción total y/o parcial de la materia orgánica. Una de las principales ventajas de usar los procesos electroquímicos, es la capacidad para disminuir la concentración de patógenos presentes en aguas residuales, debido a la generación de cloro e hipoclorito in situ los cuales se generan al someter a la celda electrolítica a corriente energía en un determinado momento del proceso y de fácil identificación debido a que su olor se propaga fácilmente, la producción de cloro o hipoclorito está controlado en todo momento por la corriente que circula por la célula.(Valcárcel, n.d.)

En muchos países se emplea como alternativa para el tratamiento de lodos residuales, el proceso de estabilización y desinfección del lodo obteniendo excelentes resultados en la disminución de patógenos los cuales se toma como referencia para la presente investigación los siguientes estudios:

Según la investigación realizada por (Barrios et al., 2000) con el tema “Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida” se enfatiza en los resultados obtenidos para el parámetro huevos de helmintos, se estudió la estabilización ácida de lodos fisicoquímicos provenientes de la PTAR de San Pedro Atocpan, México. Se determinó el valor inicial de huevos de helmintos (113.8 huevos/g ST³) presente en los lodos, con concentraciones de sólidos totales que oscila en un rango de 6.37-6.70%, el análisis consistió en determinar el mejor tratamiento empleando ácidos (sulfúrico, perclórico, peracético y acético), empleando dosis con un rango de 1,000-57,600 ppm dependiendo del ácido, al

³ **ST**: es la simbología empleada para definir a los Sólidos totales, hace referencia al residuo de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra después de un proceso secado en un estufa a temperaturas entre 103 a 105°C.

someter al lodo a los diferentes tratamientos, se determinó la eficiencia del tratamiento con ácido acético reduciendo a una concentración mínima de huevos de helmintos (1.3 huevos viables/g ST) por lo que se concluye que al someter un lodo residual a un proceso por vía ácida se obtendrá un biosólido de tipo B de acuerdo a lo establecido en la normativa mexicana en lo referente a los huevos de helmintos.

Según la investigación realizada por (Jiménez, Barrios, Maya, & others, 2001) con el tema “Estabilización alcalina de lodos generados en un tratamiento primario avanzado” se estudió la estabilización alcalina para reducir la concentración de bacterias y huevos de parásitos en lodos fisicoquímicos con una concentración de huevos de helmintos (89.8 huevos/g ST). Las muestras de lodos crudos fueron tomadas de 3 sistemas pilotos de TPA⁴convencional con placas paralelas, TPA con manto de lodos y TPA con lastra de arenas, ubicados en la salida del drenaje profundo de la Ciudad de México. Los lodos crudos antes de proceso de estabilización fueron desaguados, mediante filtro prensa o centrífuga a diferentes sequedades con un intervalo de 11.5-29.0% de Sólidos Totales, en función de la cantidad de lodo empleado de acuerdo a la capacidad volumétrica para los diferentes equipos como tenemos de 8 a 16 litros para el filtro prensa y de 80 a 100 litros. Para la aplicación de cal viva, la muestra fue dividida en submuestras con un peso de 400-1000 gramos, aplicando dosis de cal viva en un intervalo de 15 a 40%, en base seca en función a la sequedad de las muestras o contenido de agua de la misma, con un tiempo de contacto de 48 horas, tomando muestra representativas cada 2 horas obteniendo resultados similares en la concentración de huevos de helmintos. Mediante el estudio microbiológico se determinó que el 90 % de huevos de helmintos corresponde al género de *Áscaris*, se obtuvieron resultados eficientes en la reducción de huevos de

⁴ **TPA:** tratamiento primario avanzado.

helminthos con un valor máximo de 1,2 huevos/g ST y un valor mínimo de 0,3 huevos/g ST, se concluye que el lodo estabilizado cumple con los límites de la normativa US-EPA⁵ para cumplir con los parámetros analizados.

Según (Manrique, 2006) mediante su estudio realizado “Evaluación de los tratamientos térmico y alcalino en la desinfección del lodo generado en la PTAR El Salitre” evaluó la eficiencia de los tratamiento térmicos y alcalino en la desinfección de lodo, mediante el análisis de dos muestras sometidas a diferentes temperaturas (60 y 80 °C), periodos de tiempo diferentes con el objetivo de destruir los indicadores de contaminación fecal (huevos de helmintos, coliformes fecales, fangos somáticos), se obtuvieron excelentes resultados con la muestra sometida a 80°C debido a que de acuerdo con la normativa US-EPA DEL 2003, los lodos resultantes pertenecen a la clase A, para los indicadores analizados. De la misma manera las muestras fueron sometidas a un proceso alcalino empleando cal (CaO⁶) con dosis de 25% y 85%, obteniendo resultados eficientes con 25% de dosis lo que permitió definir que este tratamiento alcalino es suficiente para sanear el lodo en periodo de 21 días pero con dificultad de que el pH alcanzado disminuyo el valor fertilizante del lodo.

Según la investigación de (Lozada, Parra, & Puentes, 2008) con el tema “Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola” mediante este estudio se evaluó la estabilización alcalina del compost obtenido a partir PTAR Cañaveralejo de Cali, Colombia, empleando para el tratamiento los siguientes compuestos cenizas de calderas de una industria papelera, Cal hidratada, cal viva en combinaciones con el compost del (8, 15,30%) para el caso de cal hidratada y ceniza; mientras que 15% para

⁵ **US-EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

⁶ **CaO:** conocido como oxido de calcio, compuesto que constituye cal.

la cal viva en proporciones peso-peso, se realizó un monitoreo por un lapso de 13 días tanto de pH, Temperatura, humedad, coliformes fecales y huevos de helmintos. Se obtuvieron eficientes resultados aplicando cal viva y cal hidratada en un 15%, con un pH de 12, con un tiempo 72 horas consiguiendo la eliminación total de huevos de helmintos viables considerando una técnica favorable para la disminución de patógenos que nos permite la reutilización del compost en los campos agrícolas.

Según la investigación “Evaluación de la calidad de lodos residuales de México” realizado por (A. Castrejón, J. A. Barrios, B. Jiménez, C. Maya, A. Rodríguez y A. González., 2000), se evaluaron 18 muestras de diferentes plantas analizando sólidos totales y volátiles, metales pesados, coliformes fecales, Salmonella y huevos de helmintos, los cuales estaban distribuidas de la siguiente manera 4 de lodo crudo, 5 de estabilización alcalina, 3 de digestión anaerobia y 6 de digestión aerobia. De acuerdo con los resultados se encontró que 14 muestras excedieron los límites microbiológicos, cumpliendo solamente 2 muestras con lo establecido para biosólidos clase B, mientras que únicamente una muestra fue capaz de cumplir con los límites para clase A. Con respecto al contenido de metales, únicamente 2 muestras excedieron los límites propuestos. Con base en lo anterior, se observó que el principal problema para poder reutilizar los lodos en México deriva del alto contenido microbiológico, lo cual requiere incrementar las eficiencias de destrucción de microorganismos, mediante la modificación de las condiciones de operación de los procesos. Los resultados en cuanto a huevos de helmintos se nos indica que hay mayor concentración de huevos de helmintos en lodo crudo proviene del tratamiento primario avanzado (TPA⁷) en el que se utiliza sulfato de aluminio para la coagulación (planta 3). Este proceso se enfoca en la remoción de los sólidos suspendidos del agua residual, ya que estos incluyen a

⁷ TPA: Tratamiento primario avanzado.

los huevos de helmintos, por lo que la concentración de los mismos generalmente es mayor que en otros procesos. Ha sido demostrado que la remoción de huevos de helmintos en los procesos de TPA puede alcanzar 97% (Jiménez et al., 1999). Por otra parte, los biosólidos tratados con cal tienen menos de 35 huevos/g ST con excepción de la planta 8, la cual dispone los biosólidos en rellenos sanitarios por lo que no adicionan suficiente cal hasta alcanzar un pH de 12 unidades, resultando en un producto con un pH menor a 10 y una alta concentración de huevos que incluso no cumple con los límites clase B. Es interesante observar que la planta 5 produce biosólidos con huevos de helmintos no viables, coliformes fecales y *Salmonella* spp. Bajo los límites de detección, demostrando la efectividad de la cal para reducir el contenido microbiológico en el lodo. Varios autores indican que de los procesos convencionales, únicamente los que aplican temperaturas altas de aproximadamente 50° C (digestión termofílica -aerobia o anaerobia- y composteo) o estabilización alcalina, reducen la densidad y la viabilidad de diferentes huevos de helmintos (Carrington and Harman, 1984; Kiff and Lewis-Jones, 1984; Morris et al., 1986; Pike et al., 1989).

En Ecuador, entre las alternativas de manejo de los lodos residual tenemos la disposición final en los rellenos sanitarios y la incineración en muy pocos casos debido a sus elevados costos, convirtiéndole en un gran problema ambiental debido a que implica riesgos a los cuerpos de agua y la salud pública debido a la transmisión de enfermedades.

En la actualidad existen estudios previos en cuanto al tratamiento de aguas empleando procesos electroquímicos para reducir la concentración de colorantes provenientes de las tintorerías, en la ciudad de Cuenca hasta este momento es escaso lo desarrollado en el post tratamiento de lodos respecto remoción de organismos

patógenos mediante procesos electroquímicos, por lo que se tomó como referencia estudios previos de análisis microbiológico de lodos residuales a través de un proceso de digestión anaerobia como tenemos:

Según el estudio realizado por (Lituma Vintimilla, 2010) con el tema “Biodigestión anaerobia de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba”, la autora realiza estudios microbiológicos para determinar la presencia y ausencia de huevos de helmintos y coliformes fecales y totales, con respecto a nuestro tema de investigación utilizamos esta investigación debido a que los huevos de helmintos son analizados en las muestra de lodo a temperatura de 53°C, con un tiempo de contacto de 39 días, los biosólidos alimentando al biodigestor poseían una concentración de huevos de helmintos de 21 H.H/4g.ST, con el tratamiento se obtuvo una reducción de huevos a (2.4 huevos/ 4gr ST) con respecto a la muestra inicial, permitiendo clasificar a los biosólidos en la categoría B considerados como buenos de acuerdo a la normativa mexicana.

El proyecto realizado por (Marín Alvares Francisco, 2009) mediante el tema “Generación electroquímica in situ de coagulantes y desinfectantes para tratamiento de aguas”, se trató agua turbia para determinar la cantidad de hipoclorito de sodio generado con sal común y sal marinas, para el tratamiento se emplearon las siguientes condiciones tipo de electrodo ubicados en serie aluminio-grafito-grafito, con una distancia de 12,5 cm entre aluminio y grafito y entre grafito y grafito de 0,5 cm, la concentración de cloruro de sodio (sal común) al 3,5 % obteniendo los mejores resultados de hipoclorito en un porcentaje de 20 ppm, por lo tanto se consiguió una eliminación total de bacterias y microorganismos presentes en el agua turbia es decir con un rendimiento del 100%.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Componentes de la celda electrolítica empleada en el proyecto de investigación.

Para nuestro estudio se optó por emplear una celda electrolítica debido a que no necesita un puente salino para desarrollar el proceso electroquímico, caracterizándose por su fácil implementación y su bajo costo. Los componentes se describen a continuación.

2.1.1 Construcción de la cuba.

Se construyeron 3 cubas de vidrio de 12 cm de cada lado (base, altura y profundidad), cuyo volumen es de 1728cm^3 , cada cuba tiene una rotulación de 7.5 cm de alto; siendo está considerada como una altura máxima de entrada de la muestra en función del peso, en esta altura se colocó 2 soportes de balsa de 8 cm de ancho que atraviesa la cuba de lado a lado cuya función es estabilizar los electrodos. En la ilustración 10 se observa la cuba que fue diseñada.



Ilustración 10. Características de la cuba.

Fuente: Autora.

2.1.2 Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación empleada en el proyecto tiene las siguientes características: Su tamaño es de 291*158*136 mm, con display de led digital, peso de

4 kilos, tensión de entrada de 110/220 V de corriente alterna, tensión de salida 0-30 V de corriente continua. A esta fuente de alimentación van estar conectados 2 abrazaderas pinza de cocodrilo rojo y negra.

2.1.3 Electroodos

Se utilizaron dos tipos de electrodos: el primero de tipo metálico empleando la aleación de hierro y el segundo de tipo no metálicos empleando grafito, los electrodos actuaron como cátodo y ánodo dentro de la cuba de vidrio (hierro-hierro; grafito-grafito) para todo el proceso electroquímico, la elección de estos tipos de materiales son debido a que se encuentran disponibles en el mercado y sus costos bajos.

2.1.3.1 Características del electrodo hierro.

Las aleaciones de hierro fueron diseñadas en forma de placas rectangulares con las siguientes dimensiones: 9 cm de alto, 7.5 cm de ancho y de 0.4 mm de espesor, de forma rectangular debido a que el hierro comercialmente se encuentra disponible en forma de planchas, así también por su facilidad de manipulación, dentro de cuba durante su conexión con la pinza de cocodrilo, la cual va a ser conectada a la fuente de alimentación. Con un total de 2 electrodos por cuba separados respectivamente con una distancia de 5 y 6 cm.

Composición química de las láminas de hierro.

Consideramos que las aleaciones de hierro y carbono, carbono con un valor de 2,1% en peso de la composición de la aleación, con porcentajes en un rango de 0.2 y 0.3 %.

Calidad de Acero ASTM A 653 CS B. (Maldonado Rogel & Molina Ayala, 2011)

Composición de la aleación de hierro, Colada: 1045968

- % Carbono: 0.05
- % S: 0.025
- % Mn: 0.24%
- % Silicio: 0.02
- % P: 0.014.

2.1.3.2 Características del electrodo Grafito

El grafito utilizado es de 7 cm de alto y de 0,2 mm de espesor, se encuentra disponible comercialmente en forma de minas usadas para los microminas, tiene la facilidad de transportar corriente eléctrica y de producir cloro o hipoclorito con fines de desinfección (Margüello Juaristi, 2015).

El espesor del grafito es muy pequeño por lo que se procedió a unir 6 minas para aumentar el grosor a 12 mm, para facilitar su introducción a la muestra de lodo y a su conexión con la pinza de cocodrilo, la cual está conectada a la fuente de alimentación, el electrodo de grafito se colocó al igual que el hierro en forma vertical a distancia de 5 y 6 cm.

En la ilustración 10 se puede apreciar los dos tipos de electrodos empleados en el presente proyecto de investigación, así como la conexión de estos con las pinzas de cocodrilo a la fuente de alimentación.

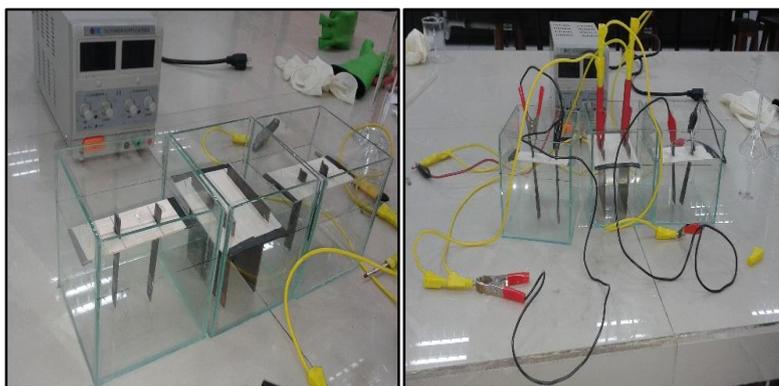


Ilustración 11. Electroodos empleados para el proceso electroquímico.

Fuente: Autora.

2.2 Recolección y Acondicionamiento de la muestra.

2.2.1 Recolección de la muestra.

La muestra empleada en el proyecto, se obtuvo de los filtros banda, la planta de lodos de la PTAR Ucubamba de la ciudad de Cuenca, se recolectó 25 kilos de lodo residual deshidratado, en un contenedor de polietileno, la muestra fue colocada en el recipiente de forma manual con la ayuda de una pala hasta alcanzar el peso mencionado con anterioridad, posteriormente se transportó a los laboratorios Ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana para sus posteriores análisis, se almaceno a una temperatura de 4° C según la especificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNT-2002, para evitar cambios en la concentración de patógenos especialmente de los huevos de helmintos.



Ilustración 12. Recolección de la muestra.

Fuente: Autora.

2.2.2 Acondicionamiento de la muestra previo a proceso electroquímico.

El lodo residual deshidratado fue analizado en dos momentos: el primero tal como se recolectó la muestra y el segundo momento cuando se le añadió cloruro de sodio con una concentración de un 12% agregada en 1728 gramos de lodo, el lodo aumentó su humedad del 70.53 %, así también permitirá el proceso de electrolisis al entrar en contacto con la corriente eléctrica y los electrodos, cabe mencionar los parámetros de conductividad, pH, humedad son estables para todo el proceso independientemente del proceso experimental fraccionario.

2.2.2.1 Determinación y análisis físicos- químicos y microbiológicos de la muestra.

Los parámetros físicos-químicos y microbiológicos se determinaron mediante la ayuda de equipos altamente sofisticados con relación al grado de exactitud considerando los dos momentos mencionados con anterioridad.

2.2.2.2 Conductividad eléctrica

Para la determinación de este parámetro se basó en la metodología del “Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos” (Zagal & Sadzawka, 2007). Para la medición se empleó el equipo pH-METRO de marca de la empresa Metter-Toledo debido a que proporciona resultados con gran exactitud. **(Ver Anexo 1)**

2.2.2.3 pH

Para la determinación de este parámetro se basó en la metodología del “Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos” (Zagal & Sadzawka, 2007). Para la medición del parámetro se empleó el pH-METRO de la empresa Metter-Toledo el mismo que se caracteriza por proporcionar resultados con 3 decimales, además de es

un equipo que determina la conductividad y ISFET e iones y posee un soporte GLP Total. (Ver Anexo 2)

2.2.2.4 Humedad.

La humedad se determinó a través de un equipo de Analizador de Humedad de la marca Mettler Toledo. Se analizó en base a los criterios de uso del equipo. (Ver Anexo 3).

2.2.2.5 Recuento de huevos de helmintos.

Los métodos de recuento de huevos de helmintos son útiles para saber aproximadamente la carga parasitaria de los lodos y aguas. Generalmente se basan en la cuantificación del número de huevos por gramo o por litro, según la muestra evaluada, para este fin se utilizan diferentes procedimientos, entre los que se encuentra la centrifugación y flotación del material, sedimentación, filtración, separación, entre otros.

2.2.2.5.1 Cuantificación de huevos de helmintos aplicando la Técnica Stoll-Hausheer

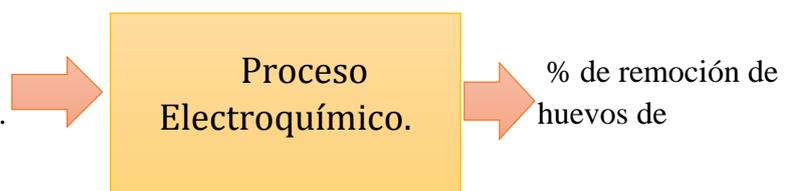
La elección de esta metodología fue debido a que es una técnica rápida, eficiente y económica, ya que permite evaluar la cantidad de los huevos de helmintos presentes en lodos residuales de una manera fácil, considerando que el presente método se basa en el estudio de una cantidad conocida de lodo o suelo, el cual se diluye en un volumen determinado de una solución sódica y posteriormente el recuento por microscopia de huevos de helmintos después de su separación por un lapso de 24 horas (Ver Anexo 4) dichos análisis microbiológicos fueron realizados por la autora del proyecto dentro de los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana y por un laboratorio

microbiológico externo de la Dra. Sandra Guaraca con el objetivo de validar los datos obtenidos. (Ver Anexo 6).

2.3 Montaje y funcionamiento de la celda electrolítica.

Para el funcionamiento de la celda electrolítica empleada para desarrollar el proceso electroquímico, se consideró las siguientes condiciones iniciales de la muestra: humedad de 70,53%, conductividad eléctrica de 12,8 mS/cm, pH de 7.5%, las mismas que se consiguieron con la adición de 500 ml de salmuera al 12% en 1728 gramos de lodo, así también se consideró dos tipos de electrodos, el primero es (hierro-hierro) de dimensiones (9 cm de alto, 7,5 cm de ancho y 0,4 mm de espesor) y el segundo grafito de (grafito-grafito) de dimensiones de (7,5 cm de alto y 0,10 mm de espesor) y se trabajó con distancias de separación entre electrodos de 5, 5.5 y 6 cm, cabe mencionar que no se empleó un voltaje y amperaje establece el mismo que varío de acuerdo al tiempo de contacto. Se trabajó con 3 celdas electrolíticas en las cuales se colocó el lodo hidratado y de esta manera determinar el porcentaje de remoción de huevos de helmintos de acuerdo a los factores a ser estudio y de esta manera lograr en cumplimiento de los objetivos planteados.

- Humedad.
- Conductividad Eléctrica.
- pH.
- Tipo de electrodo.
- Tamaño de electrodo.
- Distancia.
- Concentración inicial de huevos de helmintos.



Una vez acondicionada la muestra se procedió al montaje y funcionamiento de la celda utilizada empleando una serie de pruebas a nivel de laboratorio, para poder lograr los objetivos planteados. El diseño está en función del tiempo, distancia y tipo

de electrodo a utilizar para cada cuba con un total de 8 corridas. En la ilustración 13 se puede apreciar el funcionamiento de la celda, en la que se observa como están distribuidas la fuente de alimentación para las tres cubas cada una con dos electrodos.



Ilustración 13. Funcionamiento de la celda electrolítica.

Fuente: Autora.

2.3.1 Generación de hipoclorito durante el proceso electroquímico.

Una vez iniciado el funcionamiento de la celda electroquímica, comienza el proceso de electrolisis; debido a que reacciona el cloruro de sodio contenido en el lodo por acción de la corriente eléctrica transmitida por los electrodos generando hipoclorito de sodio.

El hipoclorito de sodio se observa en la superficie del sustrato, comienza a burbujear alrededor de los electrodos cuya características principal, es el olor que se percibe en la celda electrolítica durante el desarrollo del proceso electroquímico. En la Ilustración 14 se puede observar el hipoclorito de sodio generado.



Ilustración 14. Generación de hipoclorito de sodio.

Fuente: Autora

2.3.2 Recolección de la muestra después del proceso electroquímico.

Se procedió a la recolección de las muestras por triplicado de cada una de las corridas empleadas en el proceso, de las cuales 2 muestras fueron analizadas por la autora y 1 muestra fue enviada a un laboratorio externo de microbiología de la Dra. Sandra Guaraca para realizar un análisis microbiológico, referente a la cuantificación de los huevos de helmintos mencionado anteriormente, las muestras fueron recolectadas en envases esterilizados que se usan para muestras de orina, conservándolos en un refrigerador para evitar alteraciones adversas hasta sus análisis posterior. (Ver Anexo 4).

2.3.3 Técnica empleada para la cuantificación de hipoclorito de sodio.

Para determinar la cantidad de hipoclorito de sodio producido se basó en la metodología de la norma INEN 1 565. (Ver Anexo 5.)

2.4 Diseño experimental del proyecto de investigación.

2.4.1 Etapas en el diseño experimental.

Según Humberto Gutiérrez, considera que uno de los aspectos fundamentales de los diseños de experimentos, es decidir que tratamientos se van a realizar y cuantas replicas o repeticiones de cada uno se requieren, de manera que se obtenga la máxima información al mínimo costo posible.

2.4.1.1 Planeación y realización.

- **Delimitar el problema:** Para el presente proyecto se realizaron investigaciones para determinar la concentración de patógenos en los lodos deshidratados de las plantas de tratamiento Ucubamba, los cuales en algunos estudios realizados por estudiantes en tesis de pregrado, se nos indica que son

lodos altamente contaminantes por los que ETAPA los envía directamente al relleno sanitario, es por tal razón que el objetivo de la investigación se centra en la tratabilidad de los lodos deshidratados para disminuir la concentración de patógenos (huevos de helmintos) mediante procesos electroquímicos, los mismos que van a ser desarrollados en los laboratorios “Ciencias de la Vida” de la Universidad Politécnica Salesiana.

- **Elección de las variables de respuesta, las mismas que serán medidas en cada punto del diseño:** son variables que nos permiten determinar el funcionamiento del proceso y tenemos humedad, conductividad eléctrica, pH, generación de hipoclorito de sodio.
- **Determinación de los factores a estudiarse, en base a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta, los niveles a ser empleado:** Son factores que nos permiten determinar la influencia que tienen sobre las variables de respuesta como tenemos el tiempo, tipo de electrodo, distancia entre electrodo los cuales mediante proceso de laboratorio nos determinan si afecta o no al proceso electroquímico en cuanto a la disminución de los huevos de helmintos.

2.4.2 Diseño experimental.

Es una técnica que nos permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro del proyecto de estudio experimental.

Para formular un sistema electroquímico de máximo rendimiento para el uso práctico de tratamiento de lodos residuales, fueron llevados a cabo experimentos de procesos electroquímicos a nivel de laboratorio, con el empleo de lodos residuales deshidratados, en base a estos resultados se estableció el mejor proceso con los diferentes tipos de electrodos.

Tabla 16. Variables aplicadas al proceso

Factores	Niveles	Valores.
Tiempo (min)	2	90, 120
Distancia (cm)	2	5, 6
Tipos de electrodos.	2	Grafito, Hierro

Fuente: Autora.

Para los cálculos estadísticos se basó en el software estadístico Excell versión 2013 y el software estadístico SPSS versión 22, los mismos que fueron empleados para los diferentes objetivos.

Los métodos estadísticos empleados son los siguientes.

- **Regresión Lineal.**

Este modelo se empleó para determinar la influencia del factor tiempo durante el proceso electroquímico y para determinar la eficiencia de los tipos de electrodos para remover los huevos de helmintos, se optó por el análisis de la regresión lineal, debido a que es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. Nos permite cuantificar la relación entre una variable dependiente (Y) y una o más variables llamadas independientes ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$), por lo tanto desarrolla una ecuación lineal con fines predictivos.

Por lo tanto para el presente proyecto de investigación la variable dependiente es el porcentaje de remoción de huevos de helmintos, y la variable independiente es el tiempo para el primer caso, la variable dependiente es el % de remoción de huevos de helmintos y la variable independiente el tipo de electrodo grafito y el electrodo hierro para el segundo caso. Se empleó el diagrama de dispersión para cuantificar el grado de relación lineal existente entre dos variables.

La ecuación lineal empleada para nuestro estudio es la siguiente:

$$Y_i = B_0 + B_1X_i$$

El coeficiente B_1 ; es la pendiente de la recta.

El coeficiente B_0 ; es el punto en el que la recta corta con el eje vertical.

Como medida de calidad de ajuste del modelo se utilizó el coeficiente de determinación corregido R^2 , de tal forma que cuanto mayor sea el coeficiente de determinación, mejor será el modelo empleado.

El modelo de regresión lineal se verificó con los supuestos para garantizar su validez, supuestos de linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad y no-colinealidad, mediante el software SPSS versión 22.

- **Modelo del diseño completamente al azar.**

Este modelo se empleó para determinar la influencia de la distancia, como el tipo de electrodo durante el proceso electroquímico, se optó por este modelo debido a que la variable de población tiene un valor asignado a la variable de respuesta, la cual tiene una media (μ) y varianza de (σ^2), empleando las siguientes Hipótesis Nula: $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ y la Hipótesis Alternativa $H_1 = \mu_i \neq \mu_k \quad i \neq k$.

Para nuestro caso la variable independiente son los diferentes tratamientos y la variable de respuesta es el porcentaje de remoción de huevos de helmintos, por lo tanto se empleará la siguiente ecuación lineal:

$$y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij} \quad i = 1, 2 \dots \dots, t \quad j = 1, 2 \dots \dots \dots, r$$

y_{ij} ; es la observación de la j – esima u. e. del i – esimo tratamiento.

μ_i ; es la media del i – esimo tratamiento.

ϵ_{ij} ; es el error experimental de la unidad ij .

El diseño empleado cumple con la normalidad de efectos, homogeneidad de las varianzas constantes e independencia de los errores de un tratamiento a otro, dichos supuestos se verificaron con el software estadístico SPSS versión 22.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Estudio de la influencia del tiempo de exposición, tipo de electrodo y distancia entre electrodos para el desarrollo del proceso electroquímico.

3.1.1 Análisis del factor tiempo en el desarrollo del proceso electroquímico

Los resultados obtenidos del análisis microbiológico de acuerdo a los variables de estudio, tiempo (variable independiente) sobre el porcentaje de remoción de huevos de helmintos (variable dependiente), teniendo en consideración una distancia fija y un solo tipo de electrodo.

Las hipótesis planteadas para el presente estudio son:

- Ho. El factor tiempo no está relacionado con la variable del % remoción de huevos de helmintos durante el proceso electroquímico.
- H1. El factor tiempo está relacionado con la variable del % remoción de huevos de helmintos durante el proceso electroquímico.

En la tabla 17 se presentan los datos del análisis microbiológico, con un total de 8 datos para cada variable, se observa que la variable independiente (tiempo) está en intervalos variados hasta los 65 minutos y posteriormente esta tomado en cada 5 minutos debido a que el porcentaje sobrepasa el 69 %, lo que indica que en los posteriores 25 minutos se obtendrá un rendimiento del 100%, con respecto a la variable dependiente que representa el porcentaje de remoción de huevos de helmintos, durante el proceso electroquímico se observa que comienza con un valor del 0% hasta los primero 20 minutos y progresivamente va incrementando hasta llegar al 100%, en el lapso de 90 minutos y con una media de 54,87 promedio de todos los valores presentados para la variable dependiente.

Tabla 17. Análisis de la influencia del tiempo sobre el % de remoción de huevos de helmintos

Independiente (X)	Dependiente (Y)
5	0
20	0
25	20.83
40	40
65	69.74
70	75
85	94.4
90	100
Media	54.87

Fuente: Autora.

La regresión lineal para este factor se empleó el software Excell versión 2013, por medio del diagrama de dispersión presentado en el gráfico 1, se puede apreciar los valores de la variable dependiente de acuerdo a los valores de la variable independiente, dichos valores son de manera creciente hasta los 90 minutos, obteniendo su valor máximo del 100%, dicho incremento se presenta desde los 25 minutos, también se puede observar la línea de tendencia elaborada para el diagrama de dispersión, dentro de la trayectoria de la línea de tendencia se puede apreciar que 4 valores son los que permite identificar fácilmente que las variables están relacionadas, lo que se puede verificar con el valor de R^2 .

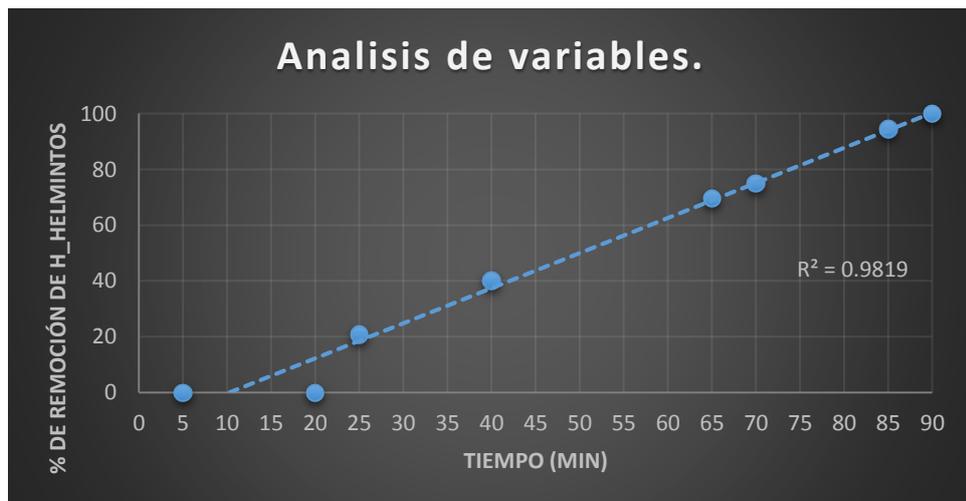


Gráfico 1. Ecuación lineal del análisis de variables tiempo y % de remoción de huevos de helmintos.

Fuente: Autora.

Por lo tanto de acuerdo al valor de R^2 igual a 0.9818 se tiene una relación casi perfecta entre las variables del 98,18%, por lo tanto la variación del % de remoción de huevos de helminto esta explicada por el tiempo, se dice que variable del % de remoción se incrementa al momento que el tiempo aumenta, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa, que el tiempo si influye en el proceso electroquímico.

Resumen del Análisis del Varianza.

Mediante el análisis del ANOVA obtenida de la regresión lineal elaborado por el software “SPSS VERSIÓN 22” presentada en la Tabla 18, se puede apreciar que tenemos los siguientes datos, el método empleado como es el caso de regresión lineal; suma de cuadrado respectivos, el grado de libertad generado durante el análisis, media cuadrática de datos y el F estadístico y el nivel crítico de los datos, nos centramos al análisis del valor F estadístico de 325,705, podemos rechazar la hipótesis nula de que el valor poblacional de R o el valor de la pendiente es igual cero, esto se rechaza debido a que el valor del nivel crítico (Sig.) es de (probabilidad=,000), debido a que R toma el valor de 0.991. Lo que implica que R es mayor a cero y por lo tanto ambas variables están linealmente relacionadas entre sí, por lo que se acepta la hipótesis alternativa que el factor tiempo está relacionado con la variable del % remoción de huevos de helmintos durante el proceso electroquímico.

Tabla 18. Resumen del ANOVA.

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	11230,041	1	11230,041	325,705	,000 ^b
	Residuo	206,875	6	34,479		
	Total	11436,916	7			
a. Variable dependiente: % de remocion huevos de helmintos						
b. Predictores: (Constante), tiempo (min)						

Fuente: Autora.

Por lo tanto la ecuación de regresión lineal generada para este parámetro es la siguiente:

$$\text{Pronostico del \% de remoción } H_H = -12,886 + 1,258 \text{ tiempo}$$

Por lo tanto se concluye que para cada valor de tiempo le corresponde un pronóstico del % de remoción de huevos de helmintos basado en un incremento constante se obtiene un incremento (-12,886) más 1,258 veces del valor del tiempo.

3.1.2 Análisis del tipo de electrodo durante el proceso electroquímica (hierro, grafito)

Para el estudio de este factor se planteó las siguientes hipótesis:

H₀. Durante el tratamiento electroquímico, no existe influencia por el empleo de los diferentes tipos de electrodos de acuerdo al % de remoción de huevos de helmintos.

H₁. Durante el tratamiento electroquímico existe influencia por el empleo entre de los diferentes tipos de electrodos de acuerdo al % de remoción de huevos de helmintos.

El modelo del diseño completamente al azar se presenta de la tabla 19, en dicha tabla se presenta el porcentaje de remoción de huevos de helmintos para cada tipo de electrodo, con un total de 6 observaciones para cada tratamiento, se puede apreciar que para el tratamiento 2, se tiene mayor rendimiento de acuerdo a la muestra inicial con un 25% a diferencia del tratamiento 1 que tiene un rendimiento del 0%, a partir de la observación 3 se logra la remoción del 25%, dicha remoción comienza a aumentar hasta la observación 6 donde se logra el 100%, con respecto al tratamiento 2 se obtiene un rendimiento progresivo hasta la observación 7 que se logra el 100%.

Tabla 19. Diseño completamente al azar

Tratamiento	Observaciones.					
	1	2	3	4	5	6
Tratamiento 1 (hierro)	0	0	25	50	75	100
Tratamiento 2 (grafito)	25	25	50	75	100	100

Fuente: Autora.

En la tabla 20 se puede apreciar los resultados del ANOVA elaborado para el presente estudio los diferentes tratamientos, los mismos que se obtuvieron mediante el empleo del software SPSS Versión 22, se estima los siguientes grados de libertad de acuerdo a las 6 observaciones que tenemos el valor de 1, debido a que como son 2 tratamientos, también se presenta los valores de suma de cuadrado de un valor de 1302, el valor de F estadístico calculado que es de 0.912 y el valor de f tabulados, siendo estos 2 más importantes para determinar la influencia de este factor durante el proceso.

Tabla 20. Tabla resumen del ANOVA aplicado a los huevos de helmintos

	GL	SC	CM	F	F (0.05)
Tratamiento	1	1302	1302	0.912	4.96
Error	10	14271	1427		
Total	11	15573			

Fuente: Autora.

En base a estos resultados se puede concluir que el valor de F calculado 0.912, no es un valor significativo, debido a que es menor a los valores de F tabulado al 0.05 de 4.96, por lo tanto no existe significancia entre la eficiencia de los tratamientos en el proceso electroquímico, por tal razón el tratamiento con el electrodo grafito es igual estadísticamente al tratamiento con hierro. Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que durante el tratamiento electroquímico no existe influencia por el empleo de los diferentes tipos de electrodos de acuerdo al % de remoción de huevos de helmintos.

3.1.3 Análisis de la influencia de la distancia en el proceso electroquímico.

El modelo empleado para este factor es el diseño completamente el azar, se planteó las siguientes hipótesis:

Ho. El factor distancia no influye en el proceso electroquímico para la remoción de huevos de helmintos.

H1. El factor distancia influye en el proceso electroquímico para la remoción de huevos de helmintos.

En tabla 21, se observan un total de 6 datos, los cuales están distribuidos para 3 tratamientos y cada tratamiento con 2 repeticiones, los tratamientos están definidos de acuerdo a la distancia empleada como tenemos el tratamiento 1 que se refiere a la distancia de 5 cm, tratamiento 2 que corresponde a la distancia de 5,5 cm, tratamiento 3 que corresponde a la distancia de 6 cm, se aprecia también que para cada tratamiento se obtiene un rendimiento del 100% en la segunda repetición, de acuerdo al análisis de la primera repetición se obtiene el rendimiento del 100%, solo en el tratamiento 2 mientras que en los otros tratamientos tenemos un 99,7 y un 99,8 respectivamente, con estos resultados se puede considerar que el valor de la distancia tiene un rendimiento similar, para la remoción de los huevos de helmintos presente en los lodos residuales previamente deshidratados.

Tabla 21. % de remoción de huevos de helmintos en función del tiempo

Tratamientos	Repeticiones.	
	I	II
1	99.7	100
2	100	100
3	99.8	100

Fuente: Autora.

En la tabla 22, se presentan los resultados obtenidos del ANOVA, los mismos que se obtuvieron mediante el empleo del software Minitab versión 16, se observan los valores de los grados de libertad de los tratamientos con un valor de 2, debido a que son 3 tratamientos, la suma de cuadrados de un valor de 0,0233 para el tratamiento, el valor de f calculado con un valor de 0,54 y el f tabulado de 9.552 y a su vez el valor de significancia de 0.631, los 3 últimos son utilizados para aceptar una de las hipótesis planteadas.

Tabla 22. ANOVA de los diferentes tratamientos para las diferentes distancias empleadas

Fuente	GL	SC	CM	F	F tabulado	P
Tratamiento	2	0.0233	0.0117	0.54	9.552	0.631
Error	3	0.0650	0.0217			
Total	5	0.0883				

Fuente: Autora.

En base a estos resultados se concluye que el valor F calculado es de 0.54, es un valor menor al F tabulado al 0.05 de significancia de un valor de 9.552, por lo tanto no es un valor significativo, entonces se acepta la hipótesis nula (H0) de que la distancia no influye en el proceso electroquímico, por lo tanto los tratamientos son iguales estadísticamente, es decir nos da igual emplear cualquier distancia en el tratamiento electroquímico.

Se observa el valor de P 0.631, con estos resultados tenemos lo siguiente, un valor mayor al nivel de significancia (0.005), debido a que $P > 0.05$ ($0.631 > 0.005$), concluyendo que se acepta la hipótesis nula (H0), debido a que los tratamientos no tienen significancia estadística, por lo tanto son iguales en la eficacia o eficiencia en el proceso electroquímico

2.1 Determinar la eficiencia de los electrodos de hierro y grafito para la remoción de microorganismos patógenos (huevos de helmintos).

Para analizar este objetivo se plantearon las siguientes hipótesis:

H₀. La eficiencia del 100 % en la remoción de huevos de helmintos, se logran en el mismo tiempo empleando los diferentes tipos de electrodos durante el proceso electroquímico.

H₁. La eficiencia del 100 % en la remoción de huevos de helmintos, se adquiere en diferentes tiempos empleando los diferentes tipos de electrodos durante el proceso electroquímico.

Los resultados empleados para el análisis de este factor se presentan en el gráfico 2, se puede observar que el porcentaje de remoción se incrementa con el tiempo como se mencionó en el objetivo 1, empleando una distancia fija de 5.5 cm, para los 2 tipos de electrodos, observando variación en el porcentaje de remoción de acuerdo al tipo de electrodo, pero considerando que llega a un porcentaje del 100% de remoción en diferentes intervalos de tiempo, cabe mencionar que los datos fueron utilizados para la regresión lineal como método estadístico para determinar la eficiencia entre los 2 tipos de electrodos, en la remoción de los huevos de helmintos presentes en lodos residuales previamente deshidratados. Los datos son analizados en un mismo intervalo de tiempo para determinar su influencia en la remoción, por lo tanto se observa que a los 10 primeros minutos con el electrodo hierro, se obtiene un rendimiento del 0% a diferencia del electrodo grafito, que tiene un 25%, se aprecia que los 2 tipos de electrodos tienen un incremento casi lineal con el aumento del tiempo, por lo tanto el electrodo hierro tiene una tendencia lineal desde los 10 minutos hasta los 90 minutos, mientras que el electrodo grafito, tiene una tendencia lineal hasta los 70 minutos en

donde permanece estable debido a que en este intervalo de tiempo alcanzó su rendimiento máximo del 100%.

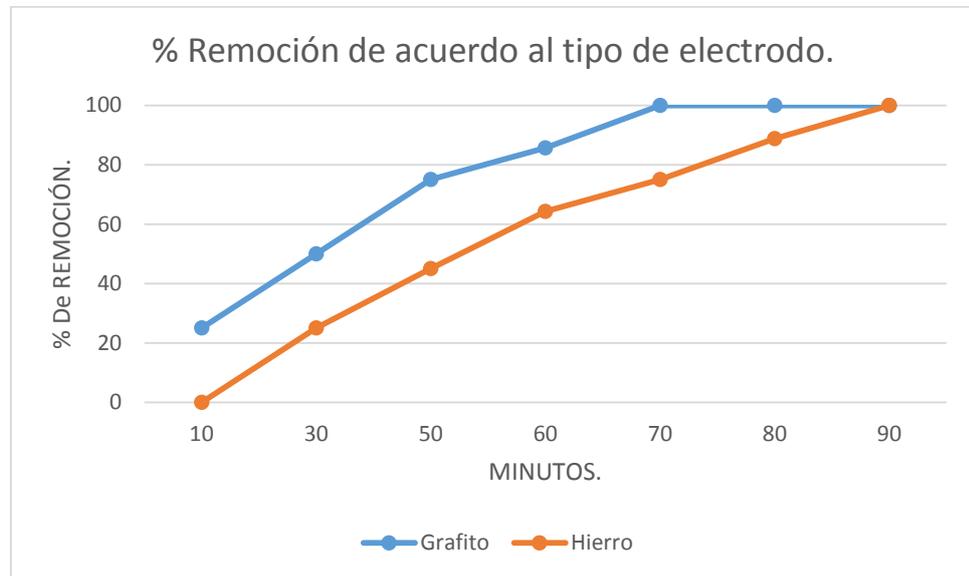


Grafico. 2. . Tratamiento electroquímico con los factores de estudio, distancia, tipo de electrodo, tiempo.

Fuente: Autora.

En el gráfico 3, se pueden observar los valores de coeficiente de determinación R^2 , para los diferentes tipos de electrodos, el mismo que se obtuvo con la ayuda del software Excell versión 2013, se puede apreciar con el diagrama de dispersión que está distribuido con un intervalo de tiempo de cada 15 minutos como la variable independiente y con respecto al porcentaje de remoción de huevos de helmintos, está distribuido en intervalos de cada 10, lo que hace referencia a la variable dependiente, se observa que con el tratamiento con el electrodo hierro se necesita mayor tiempo de duración del proceso electroquímico, a diferencia del tratamiento con el electrodo grafito que utiliza menor tiempo para la remoción total de huevos de helmintos.

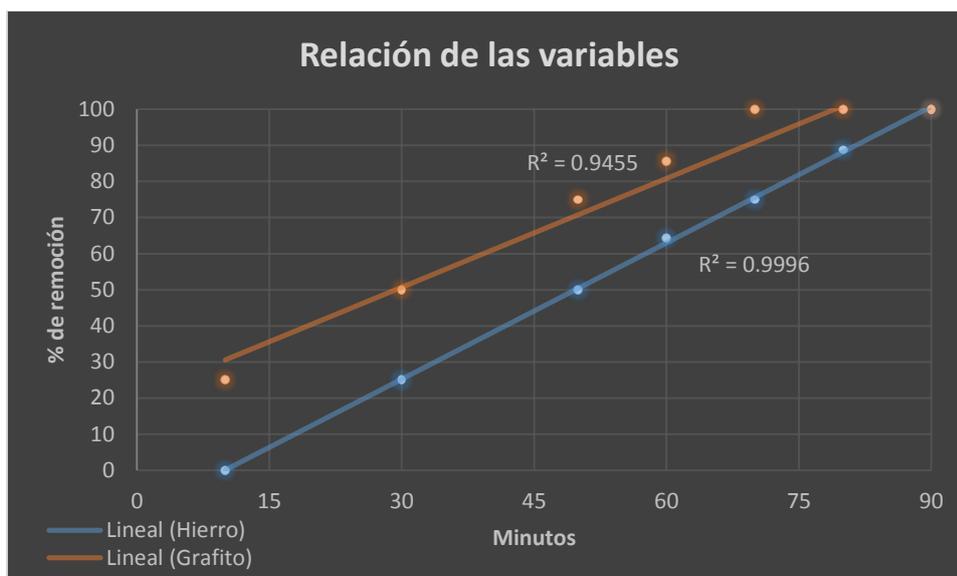


Gráfico. 3. Porcentaje de Remoción entre los diferentes tipos de tratamientos.

Fuente: Autora.

Por lo tanto de acuerdo a los valores de R^2 de la regresión lineal obtenida para el tratamiento con el electrodo de grafito tiene un valor de 0.9455 se tiene una relación por poco perfecta entre las variables del 94.55, por lo tanto el % de remoción de huevos de helmintos de acuerdo a la variable independiente tiempo están altamente relacionados, con respecto al valor R^2 de la regresión lineal del electrodo hierro de un valor de 0.9996, se tiene una relación aproximadamente perfecta entre las variables del 99.96%, por lo tanto el % de remoción de huevos de helmintos de acuerdo a la variable independiente.

Como nuestro objetivo es determinar la eficiencia de los tipos de electrodos en la remoción de huevos de helmintos, se concluye que el tiempo si bien es cierto influye de acuerdo al proceso electroquímico, por lo tanto el valor de R^2 , es mayor para el electrodo hierro, debido a que necesita un mayor tiempo de funcionamiento del proceso electroquímico, para obtener una remoción del 100%, la misma que se logra a los 90 minutos; con respecto al electrodo grafito el valor de R^2 es menor al valor de R^2 , del electrodo hierro con una diferencia 5.41 unidades, esto se debe que el

electrodo grafito reacciona de mejor manera en la remoción de huevos de helmintos llegando a una eliminación total a los 70 minutos, es decir en menor tiempo que el electrodo hierro, esta remoción se debe a que el electrodo grafito tiene mayor facilidad de transmitir la corriente eléctrica y de generar hipoclorito de sodio, por lo tanto se concluye que el electrodo grafito tiene mayor eficiencia que el electrodo hierro de acuerdo al tiempo de duración del proceso electroquímico.

Resumen del Análisis del Varianza.

En la tabla 23, se presentan los datos de ANOVA, obtenida de la regresión lineal elaborado por el software “SPSS VERSIÓN 22”, se observan los datos de la suma de los cuadrados de la regresión con un valor de 7553,679, los grados de libertad, de 1 debido a que son 2 tratamientos, el valor de f calculado de 11872, 5652 y el nivel crítico que se refiere al nivel de significancia.

De acuerdo a estos valores con respecto al electrodo hierro, el valor F estadístico de 11872,50 podemos rechazar la hipótesis nula de que el valor poblacional de R o el valor de la pendiente es igual cero, esto se rechaza debido a que el valor del nivel crítico (Sig.) es de (probabilidad=,000), debido a que R toma el valor de 0.99. Lo que implica que R es mayor a cero y por lo tanto ambas variables están linealmente relacionadas entre sí, por lo que se acepta la hipótesis alternativa que el factor tiempo está relacionado con la variable del % remoción de huevos de helmintos durante el proceso electroquímico.

Tabla 23. ANOVA del electrodo hierro.

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	7553,679	1	7553,679	11872,562	0,000 ^b
	Residuo	3,181	5	0,636		
	Total	7556,860	6			
a. Variable dependiente: % de remoción de huevos de helmintos						
b. Predictores: (Constante), Tiempo (min)						

Fuente: Autora.

En la tabla 24, se presentan los datos del ANOVA obtenida de la regresión lineal elaborado por el software “SPSS VERSIÓN 22”, se observa los datos de suma de cuadrados de la regresión con un valor de 4820,497, los grados de libertad de 1 debido a que son 2 tratamientos, el valor de f calculado de 86,755 y el nivel crítico que se refiere al nivel de significancia con un valor de (probabilidad=0,000).

Con estos resultados de acuerdo al análisis del electrodo grafito, se puede decir que el valor F estadístico de 86,755 podemos rechazar la hipótesis nula de que el valor poblacional de R o el valor de la pendiente es igual cero, esto se rechaza debido a que el valor del nivel crítico (Sig.) es de (probabilidad=,000), debido a que R toma el valor de 0.97. Lo que implica que R es mayor a cero y por lo tanto ambas variables están linealmente relacionadas entre sí, por lo que se acepta la hipótesis alternativa que el factor tiempo está relacionado con la variable del % remoción de huevos de helmintos durante el proceso electroquímico.

Tabla 24. ANOVA del electrodo grafito

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	4820,497	1	4820,497	86,755	,000 ^b
	Residuo	277,821	5	55,564		
	Total	5098,318	6			
a. Variable dependiente: % de remoción de huevos de helmintos						
b. Predictores: (Constante), Tiempo (min)						

Fuente: Autora.

Posteriormente se procede a elaborar las respectivas ecuaciones de la misma manera para cada tipo de electrodo:

Ecuación lineal para el electrodo grafito:

$$\text{Eficiencia del eletrodo grafito} = 20,53 + 1.01 * \text{tiempo}.$$

Ecuación lineal del electrodo hierro:

$$\text{Eficiencia del eletrodo hierro} = -12.53 + 1.26 * \text{tiempo}.$$

Por lo tanto se concluye que la eficiencia de acuerdo al porcentaje de remoción de huevos de helmintos para los 2 tipos de electrodos está dado por el tiempo, debido a que el uno se diferencia del otro por este parámetro, pero dando excelentes resultados en ambos casos por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa de que la remoción del 100 % de huevos de helmintos presentes en lodos residuales se logra empleando diferentes tiempos como es el caso de 70 minutos y 90 minutos.

2.2 Establecer las condiciones óptimas del lodo, mediante el análisis de las variables (humedad, conductividad) para garantizar la eficiencia del proceso electroquímico.

2.2.1 Análisis de las variables de humedad y conductividad.

Para lograr este objetivo se basó en la revisión bibliográfica que nos permitan determinar las condiciones óptimas del lodo para el tratamiento a ser empleado, considerando que las condiciones a ser empleadas estén en función a otros tratamientos.

- **Humedad.**

Para la presente investigación, se tomó como referencia, en base a este parámetro otro tipo de tratamiento debido a que los estudios con respecto a los procesos electroquímicos son escasos, por lo tanto se consideró lo siguiente.

La humedad recomendada para disminuir la concentración de huevos de helmintos presente en lodos residuales, mediante proceso aerobio-termofílicos es de un rango del 70-80%, (Cardoso Vigueros et al., 1998), en el caso de optar por el tratamiento de lombricultura la humedad es del 70 %, debido a que facilita la ingestión de alimento y el deslizamiento a través del material de la lombriz, considerándose la humedad constante durante todo el tratamiento, debido a que si se reduce la humedad puede ocasionar la muerte de la misma, este parámetro considero (Trejos Vélez & Agudelo Cardona, 2012) en su proyecto para el aprovechamiento de lodos residuales de la empresa “La Rosa” para producir un biosólido.

En el caso de estabilización alcalina utilizando cal viva, cal hidratada en un porcentaje de 15 y 40%, se empleó con una humedad del lodo del 71-86%, para reducir la concentración de huevos de helmintos en un rango del 50-75%, es decir lo que equivale a la eliminación entre (1 y 10 huevos presentes en las muestras), , durante el tratamiento de los lodos deshidratados emplearon una humedad de 71-86% mediante el empleo de cal viva, cal hidratada en un porcentaje de 15 y 40%, respectivamente para reducir la concentración de huevos de helmintos en un rango de 50 y 75%, es decir un valor de eliminación entre (1 y 10 huevos de helmintos/gramos), (Torres Lozada et al., 2008) con el tema “ Alkali Stabilization of composted biosolids from domestic wastewater treatment plants for agriculture purpose”

El lodo residual obtenido de la Planta de lodos Ucubamba, tiene una humedad del 88% antes del proceso deshidratado, con este proceso se logra reducir en un 20%, el contenido de agua para que este producto sea enviado al relleno sanitario, siendo un porcentaje máximo necesario para evitar problemas de lixiviados y estabilidad de suelo, por lo tanto la humedad final del lodo es del 68%, el mismo que va ser utilizado para la presente investigación, por lo tanto se añadió Cloruro de Sodio al 12%, para obtener la humedad del 70,53% , considerando un incremento mínimo de la humedad en 2,53 unidades para generar un medio óptimo para el proceso de electrolisis y a su vez facilitar el proceso electroquímico, la humedad empleada será un valor fijo durante todo el proyecto de investigación, debido a que si la planta de lodos de Ucubamba, reduce la humedad no es conveniente incrementar este valor debido a que se generaría un medio acuoso, lo que dificultaría su estudio, debido a que el objetivo de la presente investigación es tratar los lodos tal como se obtienen de la planta y evitar a lo máximo su alteración en su composición antes del tratamiento electroquímico y determinar su facilidad para la disminución de huevos de helmintos.

- **Conductividad Eléctrica.**

Mediante el estudio (Arango Ruiz, 2012), nos dice que un incremento en la conductividad eléctrica genera un incremento en la densidad de corriente, considerando que la densidad de corriente es el factor que más influyen en la remoción del contaminante y microorganismos patógenos presentes en el agua residual. La adición de algunos electrolitos tales como NaCl o CaCl₂, genera un aumento en la conductividad del agua residual; adicionalmente se ha encontrado que los iones de cloruro pueden reducir los efectos adversos de iones como bicarbonato (HCO₃⁻). Este autor considera que cuando aumenta el pH de la muestra también se incrementa el pH de la conductividad.

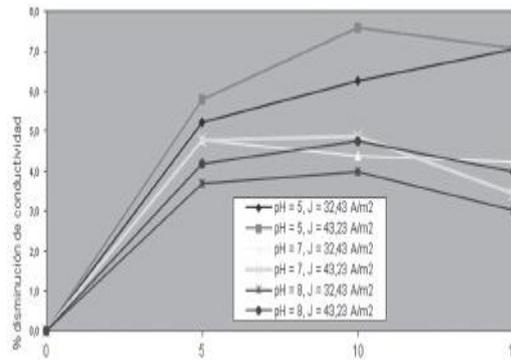


Ilustración 15. Valores de pH en función de la conductividad.

Fuente: (Arango Ruiz, 2012)

- Mediante el estudio realizado por (Vera-Reza, Ortiz-Hernandez, Peña-Camacho, Ortega-Silva, & Sánchez-Salinas 2002), con el tema Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje, estudió la factibilidad para reducir los huevos de helmintos con el empleo 4 tratamientos, en los cuales se inóculo materia vegetal fresca y composta resultando ser más eficientes en la remoción de huevos de helmintos y coliformes fecales, en los tratamientos se consideró los valores de conductividad eléctrica, el lodo tenía una conductividad de 1,32 mS/cm y después del proceso se logró alcanzar a una conductividad de 4,15 mS/cm y 4,25 mS/cm en el caso de tratamiento 3 y 4, logrando una reducción del (26.5 HH viables/10g) para el tratamiento 3, lo mismo sucedió con el tratamiento 4 (25 HH viables/10g), por lo que se considera mayor conductividad mayor la eliminación de estos parásitos.

En el presente proyecto se procede a acondicionar la muestra hasta la humedad del 70,53%, la misma que se logró mediante la adición fue de 500 ml de salmuera en 1728 gramos de lodo deshidratado, la solución se mezcló hasta homogenizar toda la muestra y se evaluó la humedad por triplicado para evitar alteraciones en cada corrida, considerando que al aumentar la humedad aumenta la conductividad de 12,8 mS/cm,

considerando el aumento de 2.8 unidades al igual que la humedad debido a que al aumentar un valor mayor de conductividad reduciríamos el potencial fertilizante de biosólido generado.

Tabla 25. Parámetros iniciales o variables de respuestas

<u>Parámetros</u>	<u>Inicial</u>	<u>Final (CINa)</u>
Ph	6	7.5
Humedad relativa	68	70.53
Conductividad eléctrica (mS/cm)	10	12.8
peso por cuba (gr)	576.6	
Temperatura (°C)	25	

Fuente: Autora.

DISCUSIÓN.

Por lo tanto podemos decir que el tratamiento electroquímico es eficiente para la remoción total de huevos de helmintos presente en lodos residuales previamente deshidratados, obteniendo un rendimiento del 100 % con un tiempo de contacto de 90 minutos y una humedad del 70 %, a diferencia de los tratamientos con estabilización alcalina realizado por (Barrios et al., 2000), dicho autor logra un rendimiento de 98,85% empleando ácido acético con dosis de 3,700 - 22,000 ppm con un tiempo de contacto de 30 minutos, la muestra analizada fue tomada de la purga de sedimentadores primarios lo que indica que tiene una mayor humedad, por lo tanto si bien es cierto se logra un excelente rendimiento con dos procesos mencionados, pero la principal ventaja del proceso electroquímico se centra en que no necesita la adición de ningún tipo de ácido para lograr el rendimiento del 100% y que permite trabajar con los lodos de menor humedad.

Con respecto al tratamiento realizado por (Torres Lozada et al., 2008), se obtuvo un rendimiento del 100% logrando una eliminación total de huevos de helmintos presente en el compost de la PTAR Cañaveralejo, esta eficiencia se logró mediante la adición de cal hidratada en un 15%, con un tiempo de contacto de 72 horas, si bien es cierto se logra el mismo rendimiento que el proceso electroquímico la ventaja se centra en un tiempo menor.

De la misma manera (Jiménez et al., 2001) trabajo con estabilización alcalina en lodos generados en un tratamiento primario, empleando cal viva en dosis de 15 a 40 % con un tiempo de contacto de 48 horas logrando una reducción de huevos de helmintos en un intervalo de 0,3 huevos/g ST a 1,2 huevos/g ST, se realizó un muestreo de cada 2 horas pero se verifico que no existía variación en la concentración

de los parásitos, el proceso electroquímico tiene su principal ventaja el tiempo de contacto de 90 minutos logrando una la remoción de huevos de helmintos del 100%, así también se trabaja directamente con lodos deshidratados con una humedad del 70%, con un muestreo cada 10 minutos obteniendo variación en la concentración de huevos de helmintos.

En base al estudio realizado por (Manrique, 2006), con tema “Evaluación de los tratamientos térmico y alcalino en la desinfección del lodo generado en la PTAR El Salitre”, mediante el proceso térmico se obtuvo un biosólido de tipo A empleando una temperatura de 80 ° C , mientras que por el proceso alcalino se logró sanar el lodo de huevos de helmintos mediante el empleo de 25% de dosis de cal (CaO⁸) con un tiempo de contacto de 21 días, este proceso disminuyó el valor fertilizante de lodo debido a su valor pH, con referencia al proceso electroquímico desarrollado se logra un igual rendimiento con un intervalo de tiempo menor, esta eficiencia se debe que durante el proceso de desinfección se genera hipoclorito de sodio el que contribuye en la eliminación total de huevos de helmintos.

Según el estudio realizado por (Lituma Vintimilla, 2010) con el tema “Biodigestión anaerobia de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba”, la autora realiza estudios microbiológicos para determinar la presencia y ausencia de huevos de helmintos y coliformes fecales y totales, se tomó como referencia este estudio debido los parásitos (huevos de helmintos), son analizados en la muestra de lodo a temperatura de 53°C, con un tiempo de contacto de 39 días, el biosólido alimentado al biodigestor poseía una concentración de huevos de helmintos de 21 H.H/4g.ST, con el tratamiento se obtuvo una reducción de huevos a (2.4 huevos/

⁸ **CaO**: conocido como óxido de calcio, compuesto que constituye cal.

4gr ST) con respecto a la muestra inicial, permitiendo clasificar a los biosólidos en la categoría B, considerados como buenos de acuerdo a la normativa mexicana, en base a este estudio el proceso electroquímico se reduce en su totalidad los huevos de helmintos con una temperatura máxima de 45 °C y con un tiempo de 90 minutos independiente del electrodo utilizado.

El proyecto realizado por (Marín Alvares Francisco, 2009) mediante el tema “Generación electroquímica in situ de coagulantes y desinfectantes para tratamiento de aguas”, se logró un rendimiento del 100% para la eliminación total de bacterias y microorganismo generando un porcentaje de 20 ppm de hipoclorito de sodio, se trabajó con el electrodo de grafito-grafito con una distancia de 0,5 cm y una concentración de sal común de 3,5% p/v, con el proceso electroquímico desarrollado se determinó la presencia de 8% de hipoclorito de sodio con electrodos grafito-grafito a diferencia del electrodo hierro-hierro que se obtuvo una concentración de 7.6 % de hipoclorito de sodio, esto se logró mediante la adición de 500 ml de cloruro de sodio al 12% disueltos en 1728 gramos de lodo empleando un tiempo de contacto de 90 minutos, por lo tanto se pudo determinar que los procesos de desinfección se puede emplear en lodos residuales al igual que en agua turbia con la diferencia que en los lodos es necesario adicionar una solución de salmuera.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 CONCLUSIONES.

- Durante la experimentación se pudo establecer que existe una relación lineal directamente proporcional entre dos variables: tiempo y porcentaje de remoción de huevos de helmintos, por lo tanto si se incrementa el tiempo se incrementa el porcentaje de remoción de huevos de helmintos.
- De acuerdo al presente trabajo se determinó que los 2 tipos de electrodos utilizados con las condiciones que hemos trabajado, se determinó que no existe significancia lo tanto se concluye que tienen un comportamiento estadísticamente igual.
- De acuerdo a nuestro experimento el factor distancia empleada son estadísticamente iguales, pero cabe mencionar que las distancias trabajadas tienen una diferencia de 0,5 cm, considerando como factor de salida el porcentaje de remoción
- Se obtiene un rendimiento del 100% del porcentaje de remoción de huevos de helmintos con el electrodo grafito en un tiempo de contacto a 70 minutos y con el electrodo hierro en un tiempo de contacto a 90 minutos.
- Se puede determinar que el tratamiento electroquímico tiene mejores resultados que otras técnicas empleadas para la remediación de lodos, cumpliendo con las expectativas planteadas de lograr un rendimiento del 100% en la remoción de huevos de helmintos.
- Se puede determinar que una ventaja del proceso electroquímico son el tiempo de tratamiento por que la mayoría de estudios que se realizan desde un punto de vista biológico necesitan mayor tiempo de tratamiento para lograr el rendimiento similar.

4.2 RECOMENDACIONES.

Para la aplicación del presente proyecto experimental se recomienda lo siguiente:

- Considerar como factores de estudio los valores de voltaje y amperaje utilizados durante el proceso electroquímico, debido a que en la presente investigación no se consideraron estos valores como factores de estudio.
- Se recomienda combinar los electrodos de grafito y hierro para la aplicación del proceso electroquímico.
- Trabajar con mayor número de electrodos y a su vez se determine el desgaste producidos en los mismos.

5. BIBLIOGRAFIA.

1. A. Castrejón, J. A. Barrios, B. Jiménez, C. Maya, A. Rodríguez y A. González. (2000). Evaluación de la calidad de lodos residuales de México. *Instituto de Ingeniería. Grupo de Tratamiento Y Reúso. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 14.*
2. Alarcon Tiznado Rodrigo. (2009). Localización de plantas de tratamiento de lodos de la empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío.
3. Arango Ruiz, Á. (2012). Effects of the pH and the conductivity on the electrocoagulation of waste water from dairy industries. *Producción + Limpia, 7(1), 59–67.*
4. Arévalo Moscoso, P., & Lituma Vintimilla, P. (2010). Digestión de lodos residuales de las lagunas de oxidación de Ucubamba, Cuenca.
5. Astudillo Guillén, J. P., & Carpio Arévalo, P. J. (2006). Tratamiento de lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales referido a la planta de tratamiento de Ucubamba (Cuenca-Ecuador).
6. Avedoy, V. J. G. (2006). *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos.* Instituto Nacional de Ecología.
7. Avilés Sacoto, E. C. (2011). *Determinación de la efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas.*
8. Barrios, J. A., Jiménez, B., González, O., Salgado, G., Sanabria, L., Iturbe, R., & others. (2000). Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida. In *Instituto de Ingeniería de la UNAM. XII Congreso Nacional, Femisca, Morelia, México* (pp. 683–692).
9. Bedoya-Urrego, K., Acevedo-Ruíz, J. M., Peláez-Jaramillo, C. A., & del Pilar Agudelo-López, S. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Rev. Salud Pública, 15(5), 778–790.*

10. Bermeo Barreto, A. M., & Idrovo Heredia, E. P. (2014). Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción.
11. Cano Quiroz, A., & Barrera Díaz, C. E. (2014). Tratamiento de Efluentes Residuales Municipales, mediante Oxidación Electroquímica para la desinfección empleando una configuración de electrodos del tipo DDB-Fe, DDB-DDB.
12. Cardoso Vigueros, L., Ramírez Camperos, E., López Armenta, S., Moeller Chávez, G., Mijaylova Nacheva, P., & others. (1998). Tratamiento de lodos residuales municipales con un proceso aerobio-termofílico. In *Gestión ambiental en el siglo XXI* (pp. 1–16). APIS.
13. C Campos, C. G. (2004). Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Universidad Javeriana - Google Académico.
14. Coteró, J. J. A., Díaz, C. E. B., & Balderas, P. (n.d.). Caracterización de lodos producidos de un tratamiento aguas residuales industriales con electrodos de aluminio y peróxido de hidrógeno.
15. EPA, C. F. R. (1993). 503, “Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge.” *Code of Federal Regulations*.
16. galvaniC WasteWater, O. F. (n.d.). Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas.
17. García, O. N. (2006a). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1, 51–58.
18. Garrido-Hoyos, S. E., del Campo-Sánchez, M., Guadalupe, M., Gómez-Beltrán, G., Vaca-Paulín, R., & Lugo de la Fuente, J. A. (2005). Aprovechamiento de biosólidos y composta en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.). *Ingeniería Hidráulica En México: Revista Interdisciplinaria de Ciencia Y Tecnología Del Agua*, 20(4), 121–35.
19. Gilbón, A. J. M. (2001). Electroremediación de suelos contaminados con Hidrocarburos. *Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico City, Mexico*.

20. Jimenez, B. (2007). Helminth ova removal from wastewater for agriculture and aquaculture reuse. *Water Science & Technology*, 55(1), 485–493.
21. Jiménez, B., Barrios, J. A., Maya, C., & others. (2001). Estabilización alcalina de lodos generados en un tratamiento primario avanzado. *Instituto de Ingeniería UNAM, Ciudad de México*.
22. León, G. (2002). Uso de efluentes de lagunas de estabilización: Seminario Internacional de lagunas de estabilización. *CEPIS. Lima*.
23. Limón Macías Juan Gualberto. (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
24. Lituma Vintimilla, P. C. (2010). *Biodigestion anaerobia de lodos residuales, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba*.
25. López, R. (2012). Los biosólidos, una oportunidad en la agricultura.
26. Loren G.Hepler. (1968). *Principios de Química*. Reverte.
27. Lozada, P. T., Parra, C. A. M., & Puentes, G. V. M. (2008). Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 61(1), 4432–4444.
28. Maldonado Rogel, A. N., & Molina Ayala, R. M. (2011). *Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos*.
29. Manrique, M. del P. A. (2006). *Evaluación de los tratamientos térmico y alcalino en la desinfección del lodo generado en la PTAR El Salitre*. Uniandes. RMargüello
- Juaristi, I. (2015). Caracterización del desgaste de electrodos de grafito en electroerosión por penetración.
30. Metcalf, E. (2003). Inc., wastewater engineering, treatment and reuse. *New York: McGraw-Hill*.

31. Mexicana, N. O. (2002). NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental. *Lodos Y Biosólidos. Especificaciones Y Límites Máximos Permisibles de Contaminantes Para Su Aprovechamiento Y Disposición Final. Diario Oficial de La Federación, 15.*
32. Morante, G. (2002). Electrocoagulación de aguas residuales. *Revista Colombiana de Física, 34(2)*, 484–487.
33. Morante García, G. (2006). La electroquímica en función de la ingeniería ambiental. Método de electrocoagulación aplicado a un flujo continuo de residuos líquidos. *Residuos, (94)*, 62–65.
34. Nathalia Teresa Valencia Bonilla. (2008). *Secado Solar de Lodos*. Mexico.
35. Ortiz-Hernández, M. L., Gutiérrez-Ruiz, M. E., & Sanchez-Salinas, E. (1995). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 11(2)*, 105–115.
36. Paredes, J. F., & Brito, R. (2012). Recuperación electroquímica del agua del Alpechín del aceite de oliva, para evitar la contaminación del medio ambiente y su reutilización como agua de riego. *Observatorio Medioambiental, (15)*, 219–234.
37. Pineda, C. O. (2010a). Prevalencia de huevos de helmintos en lodos, agua residual cruda y tratada, provenientes de un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio El Rosal, Cundinamarca.
38. Pullés, M. R. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas, 45(1)*, 25–36.
39. Remis, R. R., & Espinosa, L. G. M. (2012). Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. *Producción Más Limpia, 7(2)*.
40. Rendón, C. M., Jiménez Cisneros, B. E., Barrios Pérez, J. A., & others. (2002). Evaluación microbiológica de un lodo residual de México: perspectivas de reuso. In *Gestión inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud* (pp. 1–8). FEMISCA.

41. Rodríguez Pérez, R. L. (2013). *Influencia de los fármacos presentes en el agua residual sobre la resistencia de la bacteria Escherichia coli y su eliminación por oxidación avanzada*. Caminos.
42. Rojas Oropeza, M., Castro Ortiz, L. P., Cabirol, N., Noyola Robles, A., & others. (2000). Remoción de parásitos (huevos de helminto) vía la digestión anaerobia mesofílica y termofílica en lodos municipales. In *Ciencia y conciencia compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas* (pp. 1–11). FEMISCA.
43. Rojas Ricardo, G. S. (2000). *Celdas electrolíticas de producción in situ de hipoclorito de sodio*.
44. Romero Rojas, J. A. (2004). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Bogotá, CO, *Escuela Colombiana de Ingenieros*.
45. Seese, W. S. (1996). *Química* (Séptima Edición.). Pearson Educación.
46. Silva Martínez, A. E., Martínez Pereda, P., & others. (2000). Determinación de huevos de helmintos en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales Chapultepec. In *Ciencia y conciencia compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas* (pp. 1–13). FEMISCA.
47. Torres Carranza Eduardo. (n.d.). Reutilización de aguas y lodos residuales.
48. Torres Lozada, P., Madera Parra, C. A., & Martínez Puentes, G. V. (2008). Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 61(1), 4432–4444.
49. Trejos Vélez, M., & Agudelo Cardona, N. (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles La Rosa” como alternativa para la generación de biosólidos.
50. Valcárcel, J. I. (n.d.). oxrDACrÓN nr, ncrRoQuÍMrca de metanol y fenol sobre electrodos de dióxido de plomo puro y dopado: aplicación al tratamiento electroquímico de aguas residuales.

51. Vera-Reza, A. M., Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernandez, M. L., Peña-Camacho, J. L., & Ortega-Silva, M. M. (2006). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. In *Memorias del V Congreso Internacional y el xi congreso nacional de ciencias ambientales. méxico* (pp. 7–9).
52. Vera-Reza Ana Margarita, Ortiz-Hernandez Ma. Laura, Peña-Camacho Justina Leticia, Ortega-Silva Ma. Magdalena, & Sánchez-Salinas Enrique. (2002). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje - 54ec88380cf27fbfd770f449.pdf.
53. Water Environment Federation. (2010). Design of Municipal Wastewater Treatment Plants: WEF Manual of Practice No. 8 ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 76, Fifth Edition - Access Engineering from McGraw-Hill.
54. Whitten, K. W., Gailey, K. D., Davis, R. E., Ortega, M. T. A., & Muradás, R. M. G. (1992). *Química general*. McGraw-Hill Madrid.
55. Zagal, E., & Sadzawka, A. (2007). PROTOCOLO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA SUELOS Y LODOS.

ANEXOS.

ANEXO 1.

MARCHA ANALÍTICA PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

Materiales.

- 2 Vaso de precipitación de 150 de 250 ml.
- Agitador recíproco con ajuste de temperatura a $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ y lo suficientemente vigoroso como para mantener la suspensión.
- Embudo pequeño.
- Papel filtro de tamaño de poro de $8\ \mu\text{m}$.

Equipo.

- Conductivímetro de exactitud de al menos $0,01\ \text{dS/m}$ ($10\ \mu\text{S/cm}$).

Reactivos

- Solución de cloruro de potasio, KCl, $0,1\ \text{mol/L}$ con una conductividad de $12,9\ \text{dS/m}$ ($12,9\ \text{mS/cm}$) a 25°C .
- Solución de cloruro de potasio, KCl, $0,02\ \text{mol/L}$ con una conductividad de $2,77\ \text{dS/m}$ ($2,77\ \text{mS/cm}$) a 25°C .
- Solución de cloruro de potasio, KCl, $0,01\ \text{mol/L}$ con una conductividad de $1,41\ \text{dS/m}$ ($1,41\ \text{mS/cm}$) a 25°C .

Procedimiento.

1. Pesar 20 gramos de la muestra previamente secado por la estufa a una temperatura de $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una masa constante.



Pesado de la muestra.

2. Esta muestra se coloca en el vaso de precipitación de 250 ml y se le agrega 100 ml de agua destilada.
3. La muestra se coloca en el agitador magnético durante 30 minutos con una temperatura de $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$. La velocidad de la agitación debe ser sólo la suficiente para producir y mantener la suspensión. Una agitación más vigorosa puede provocar una excesiva dispersión de la arcilla, dificultando la filtración posterior.
4. Posteriormente se procede a colocar la muestra en el embudo para realizar el proceso de filtración al vacío el cual contiene el papel filtro y se deja reposar hasta que la muestra haya filtrado totalmente.



Proceso de filtrado de la muestra.

5. Finalmente se procede a recolectar todo el filtrado de la muestra.
6. Se procede a medir la conductividad eléctrica con el equipo conductímetro el cual está calibrado previamente y determinado la constante de celda para la utilización en lodos residuales.

ANEXO 2.

MARCHA ANALÍTICA PARA DETERMINAR EL PH. (SUSPENSIÓN Y DETERMINACIÓN POTENCIOMÉTRICA (LODOS Y SUELOS).

Materiales.

- Agitador o varillas de vidrio o de plástico.
- Recipientes de vidrio o plástico de al menos 100 mL de capacidad.
- 2 Vasos de precipitación de 250 ml.
- Pipeta de 10 ml.

Equipo.

- Medidor de pH con ajuste de pendiente y control de temperatura.
- Termómetro.
- Balanza.
- Agitador magnético.

Procedimiento.

1. Pesar en un vaso de precipitación 20 gramos de lodo tal como se recibió la muestra.
2. De igual manera se pesa en un vaso de precipitación el lodo seco.



Pesado de la muestra.

En las dos muestras se agrega 50 mL de agua destilada a una temperatura entre 20°C y 25°C.

3. Mediante el empleo del agitador magnético se agita vigorosamente la suspensión durante 5 min.
4. Posteriormente se deja reposar la muestra por al menos 2 h pero no más de 24 h. pero se debe agitar en forma manual y periódicamente durante 2 h, con la ayuda de una varilla de vidrio o de plástico.
5. Finalmente se procede a medir el pH de la muestra con 2 decimales con el equipo pHMETRO el cual esta previamente calibrado.
6. En nuestro caso se emplearon dos equipos para la medición de este parámetro.



Medición del pH con el pHmetro marca Mettler Toledo.



Medición del pH con el pHTestr 10 de marca waterproof

ANEXO 3.

MARCHA ANALÍTICA PARA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.

Materiales.

- Espátula.
- 2 Vasos de precipitación de 50 ML.
- Luna de reloj.

Equipos.

- Analizador de humedad de marca Mettler Toledo.

Procedimiento.

Para la medición de este parámetro se empleó la siguiente metodología.

1. Colocación del plato de muestras en el equipo, posteriormente se cierra la cámara de muestra para la tara de la balanza, se observa en la pantalla un icono en donde se explica que se debe colocar la muestra.



Colocación del plato en el analizador de humedad.

2. Posteriormente se abra la cámara de muestras y se procedió a colocar una muestra de lodo dentro del rango establecido entre 3.5-5.8 gramos, se debe expandir con una espátula la muestra sobre el plato para evitar inconvenientes en el análisis.



Colocación de la muestra.

3. Una vez colocado la muestra se cierra la cámara y automáticamente se calcula la humedad, no tiene un tiempo establecido para calcular la humedad debido a que varía de acuerdo a la cantidad de agua que está presente en la muestra.



Inicio de la medición.

4. Una vez completado el secado se observa una franja azul en la pantalla del equipo en la que se indica el % de humedad, tiempo que duro el proceso, temperatura máxima.



Medición terminada.

ANEXO 4.

TÉCNICA DE MÉTODO DE STOLL-HAUSHEER PARA LA CUANTIFICACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTOS PRESENTES EN LODOS RESIDUALES.

Materiales.

- 10 Frasco Erlenmeyer graduado para rosca
- Pipeta.
- Pera de pipeta.

Equipos.

- Microscopio.

Reactivo.

- Solución de NaOH 0.1N.

Procedimiento.

1. Se acondicionara la muestra a una temperatura 18 a 28° C con una humedad relativa de 15 a 80 %.
2. Se colocan 10 perlas de vidrio en el frasco y se agrega la solución 0.1N de NaOH hasta la marca 56 del Erlenmeyer, se agrega la muestra en el frasco hasta la marca 60 ml.



Preparación de la muestra.

3. Se tapa el frasco y se agita vigorosamente para homogeneizar la muestra de arriba abajo, durante un minuto. Es preferible dejar en reposo por 12 a 24 horas y mezclar ocasionalmente.



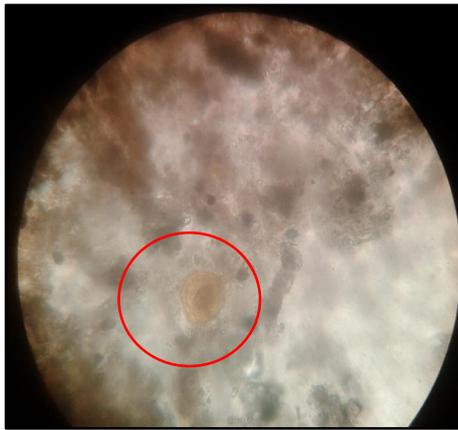
Colocación de la muestra en el frasco.

4. En el momento de hacer el recuento se mezcla muy bien y se abre el frasco y con una pipeta se toma 0.15 ml del centro del líquido, para disminuir las causas del error debidas a la sedimentación.
5. Esta cantidad se coloca sobre la placa porta objetos, en dos gotas separadas y se les pone su respectivo cubre objetos.



Conteo al microscopio

Huevos de helmintos identificados.



ANEXO 5.

MARCHA ANALÍTICA PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE HIPOCLORITO DE SODIO.

Materiales.

- 8 Enlemeyer de 250ml
- Pipeta.
- Pera de pipeta.
- Luna de reloj.
- Vasos de precipitación de 100 ml.
- Papel filtro.
- Frascos.

Equipos.

- Bureta.
- Agitador magnético.
- Balanza.
- Balón de aforo.
- Varilla de vidrio
- Espátula.
- Embudo pequeño.

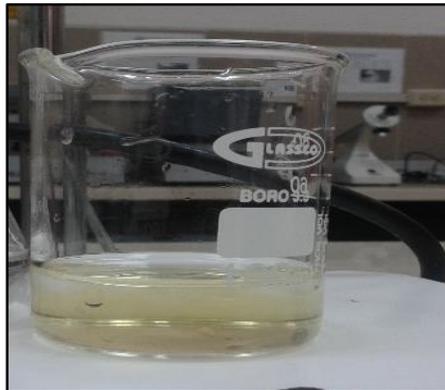
Reactivo.

- Cristales de yoduro de potasio,
- Solución indicadora de almidón al 0,5%,
- Tiosulfato de sodio 0,1 N,

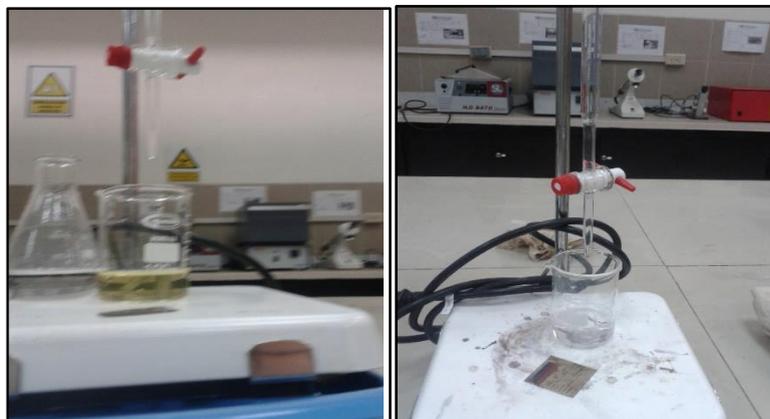
- Acido acético glacial

Procedimiento.

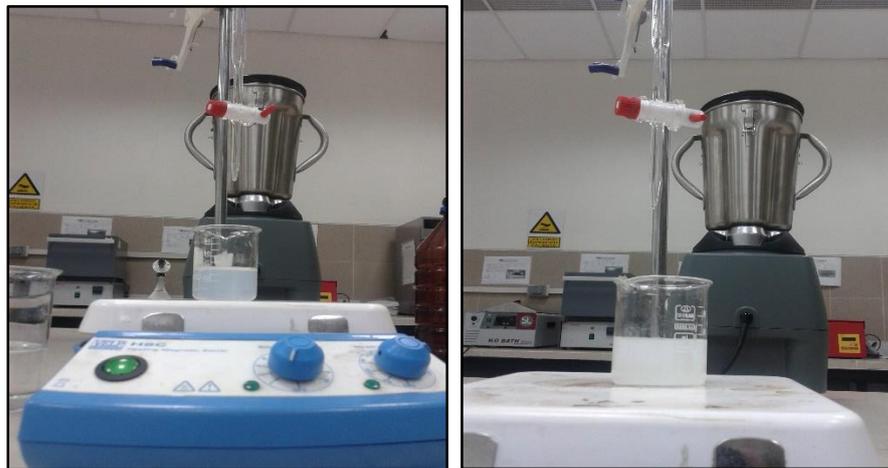
- Pesar 2,5 gramos de la muestra de lodo y colocar en el papel filtro, luego se procede a colocar en un embudo pequeño y se coloca en un Erlenmeyer de 250 ml y se hace baños lentamente con agua deshidratada previamente hervida hasta la marca de 240 ml.
- Luego se toma 25 ml de la muestra filtrada y se transferir a un balón volumétrico de 1000 ml y llevar a volumen con agua destilada, se agita por unos segundos.
- Tomar con la pipeta 25 ml de esta solución del balón de aforo y colocar en un vaso de precipitación de 250 ml, se adiciona aproximadamente 1 g de cristales de yoduro de potasio y se acidifica con aproximadamente 4 ml de ácido acético glacial.



- Posteriormente, se titula con tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta cuando el color amarillo del yodo tienda a desaparecer.



- Se adiciona alrededor de 1 ml de la solución indicadora de almidón y se continúa titulando con tiosulfafo hasta que desaparezca el color azul.



- Finalmente se procede a calcular el contenido de cloro disponible en porcentaje en volumen se calcula con la siguiente formula.

$$C = \frac{V_x N_x 141,8}{V_m}$$

C = cloro disponible en porcentaje en volumen,

V = volumen de tiosulfato de sodio, en cm³,

N = normalidad del tiosulfato de sodio,

V_m = volumen de la muestra, en cm³,

141,8 = factor de conversión.

ANEXO 6.

RESULTADOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO EXTERNO.

Informe N°: MSV-IE 31016

Orden de ingreso: OI-400-16

CLIENTE: María Elena Pérez
 DIRECCIÓN: Paute
 IDENTIFICACION: Lodo "INICIAL"
 TIPO DE MUESTRA: Suelo
 CODIGO DE LA MUESTRA: 16400
 TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
 LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
 FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
 FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
 FECHA DE ELAB: 19/01/2016
 FECHA DE CAD: N/A
 MUESTREO: Por el Cliente

ENSAYO MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	3000
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07-STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	300

ENSAYO FISICOQUIMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA.7000 B	mg/kg	87.60

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"




Dra. Sandra Guaraca Maldonado
 GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.
 Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.
 Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN: 05/02/2016

pagina 1 de 1

FMC2101-02

INFORME DE RESULTADOS

Informe N°: MSV-IE 30216

Orden de ingreso: OI-392-16

CLIENTE: María Elena Pérez

DIRECCIÓN: Paute

IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 1"

TIPO DE MUESTRA: Suelo

CODIGO DE LA MUESTRA: 16392

TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno

LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016

FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016

FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016

FECHA DE ELAB: 19/01/2016

FECHA DE CAD: N/A

MUESTREO: Por el Cliente

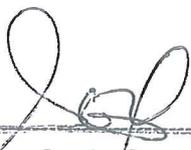
ENSAYO MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	1000
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07-STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUIMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000 B	mg/kg	79.30

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"



Dra. Sandra Guaraca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.

Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.

Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

CLIENTE: María Elena Pérez
DIRECCIÓN: Paute
IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 2"
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CODIGO DE LA MUESTRA: 16393
TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
FECHA DE ELAB: 19/01/2016
FECHA DE CAD: N/A
MUESTREO: Por el Cliente

ENSAYO MICROBIOLOGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07-STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUIMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000B	mg/kg	67.90

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"




Dra. Sandra Guaraca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.
Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.
Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN : 05/02/2016

Informe N°: MSV-IE 30416**Orden de ingreso: OI-394-16**

CLIENTE: María Elena Pérez
DIRECCIÓN: Paute
IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 3"
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CODIGO DE LA MUESTRA: 16394
TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
FECHA DE ELAB: 19/01/2016
FECHA DE CAD: N/A
MUESTREO: Por el Cliente

ENSAYO MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	11000
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07-STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUÍMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000B	mg/kg	76.70

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"



Dra. Sandra Guaraca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.

Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.

Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN: 05/02/2016

FMC2101-02

pagina 1 de 1

CLIENTE: María Elena Pérez
DIRECCIÓN: Paute
IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 4"
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CODIGO DE LA MUESTRA: 16395
TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
FECHA DE ELAB: 19/01/2016
FECHA DE CAD: N/A
MUESTREO: Por el Cliente

ENSAYO MICROBIOLOGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07 STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUIMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000B	mg/kg	81.20

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"




Dra. Sandra Guaraca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.

Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.

Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN: 05/02/2016

Informe N°: MSV-IE 30616

Orden de ingreso: OI-396-16

CLIENTE: María Elena Pérez
DIRECCIÓN: Paute
IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 5"
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CODIGO DE LA MUESTRA: 16396
TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
FECHA DE ELAB: 19/01/2016
FECHA DE CAD: N/A
MUESTREO: Por el Cliente

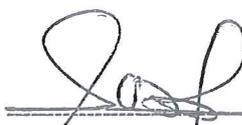
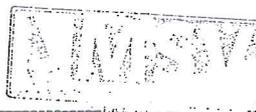
ENSAYO MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07-STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUÍMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000B	mg/kg	78.20

· Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"

Dra. Sandra Guafaca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.
 Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.
 Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN: 05/02/2016

FMC2101-02

pagina 1 de 1

CLIENTE: María Elena Pérez
 DIRECCIÓN: Paute
 IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 6"
 TIPO DE MUESTRA: Suelo
 CODIGO DE LA MUESTRA: 16397
 TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
 LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
 FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
 FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
 FECHA DE ELAB: 19/01/2016
 FECHA DE CAD: N/A
 MUESTREO: Por el Cliente

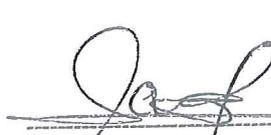
ENSAYO MICROBIOLOGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	21000
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07 STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUIMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000B	mg/kg	83.20

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"




Dra. Sandra Guaraca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.

Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.

Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN : 05/02/2016

CLIENTE: María Elena Pérez
 DIRECCIÓN: Paute
 IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 7"
 TIPO DE MUESTRA: Suelo
 CODIGO DE LA MUESTRA: 16398
 TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
 LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
 FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
 FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
 FECHA DE ELAB: 19/01/2016
 FECHA DE CAD: N/A
 MUESTREO: Por el Cliente

ENSAYO MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07 STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUIMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000B	mg/kg	68.30

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"




Dra. Sandra Guaraca Maldonado
 GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.

Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.

Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN: 05/02/2016

Informe N°: MSV-IE 30916
Orden de ingreso: OI-399-16

CLIENTE: María Elena Pérez
DIRECCIÓN: Paute
IDENTIFICACION: Lodo "Corrida 8"
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CODIGO DE LA MUESTRA: 16399
TIPO DE ENVASE: Frasco de polietileno
LOTE: N/A

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/01/2016
FECHA DE ANALISIS: 20/01/2016-04/02/2016
FECHA DE ENTREGA: 05/02/2016
FECHA DE ELAB: 19/01/2016
FECHA DE CAD: N/A
MUESTREO: Por el Cliente

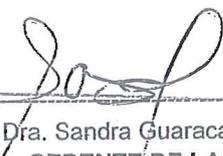
ENSAYO MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
E.COLI	PEEMSVMB04 AOAC 991.14	UFC/ml	<10
RTO.HUEVOS DE HELMINTOS	PEEMSV-MB-07-STOLL-HAUSHEER	Huevos/g	Ausencia

ENSAYO FISICOQUIMICO

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
PLOMO	ESPECTROFOTOMETRIA EPA 7000B	mg/kg	72.00

Resultado proporcionado por el laboratorio subcontratado "Laboratorio LASA"




Dra. Sandra Guaraca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote.
 Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico.
 Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

FECHA DE EMISIÓN: 05/02/2016

pagina 1 de 1

FMC2101-02