

“UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN”



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**“DISMINUCIÓN DE LA CARGA MICROBIOLÓGICA DE LOS LODOS
PROCEDENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES MEDIANTE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS”**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

KATHERINE DEL PILAR LARRAÍN MONTOYA

ASESOR:

Ing. RONALD FERNANDO RODRÍGUEZ ESPINOZA

CIP 95579

HUACHO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo incondicional y motivación,
para seguir adelante y culminar mis estudios; así mismo,
por sus consejos y enseñanzas que fueron de gran ayuda
para culminar este paso importante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en cada paso que doy,
y por la hermosa familia que me ha brindado, quienes
siempre me apoyaron y confiaron en mi en cada etapa
y paso que doy.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE	iv
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la Investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.5. Delimitación del Estudio	4
1.6. Viabilidad del Estudio	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Bases teóricas	9

2.2.1. Disminución de carga microbiológica en función a los Lodos Excedentes.	9
2.2.1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales	9
2.2.1.2. Lodos de aguas residuales	11
2.2.1.3. Tipos de lodos	11
2.2.1.4. Clasificación de los lodos	12
2.2.1.5. Parámetros microbiológicos importantes en los Lodos	17
2.2.2. Bases teóricas para Procesos Electroquímicos	20
2.2.2.1. Electroquímica.....	20
2.2.2.2. Electrólisis	22
2.2.2.3. Electrocoagulación	23
2.3. Definiciones Conceptuales.....	27
2.4. Formulación de Hipótesis.....	29
2.4.1. Hipótesis general	29
2.4.2. Hipótesis específicas	29
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	31
3.1. Diseño Metodológico.....	31
3.1.1. Tipo de Investigación	31
3.1.2. Nivel	31
3.2. Población y Muestra.....	31
3.2.1. Población	31
3.2.2. Muestra	31
3.3. Operacionalización de Variables e Indicadores	3

3.4. Técnicas e instrumentos para la obtención de datos	32
3.4.1. Materiales, equipos y métodos	32
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información	35
3.5.1. Fuentes.....	35
3.5.2. Técnicas.....	35
3.6. Materiales y Técnicas o métodos para el procesamiento de la información	36
3.6.1. Materiales para recolectar la información	36
3.6.2. Materiales para procesar la información	36
3.7. Procedimiento	37
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Caracterización de los lodos	43
4.2. Pretratamiento.....	43
4.3. Tratamiento.....	44
4.4. Conteo de microorganismos antes de la electrolisis.....	45
4.5. Conteo de microorganismos después de la electrolisis.....	46
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
5.1. Conclusiones	47
5.2. Recomendaciones.....	48
CAPITULO VI: FUENTES DE INFORMACIÓN.....	49
6.1. Referencias bibliográficas	49
ANEXOS	52

Índice de Tablas

Tabla 1. Categorías de los lodos residuales en función a los microorganismos nocivos presente en ellos	14
Tabla 2. Operacionalización de variables	32
Tabla 3. Parámetros iniciales de los lodos residuales	35
Tabla 4. Parámetros iniciales de los lodos residuales	43
Tabla 5. Densidad del lodo seco	43
Tabla 6. Muestra extraída con un tiempo de 30 minutos	44
Tabla 7. Muestra extraída con un tiempo de 60 minutos	44
Tabla 8. Muestra extraída con un tiempo de 90 minutos	45
Tabla 9. Cantidad de microorganismos en las muestras	45
Tabla 10. Resultado de coliformes totales UFC/g.....	46
Tabla 11. Resultado de Escherichia coli UFC/g.....	47
Tabla 12. Resultado del análisis de coliformes totales en el electrodo de aluminio	52
Tabla 13. Resultado del análisis de coliformes totales en el electrodo de Grafito	53
Tabla 14. Resultado del análisis de coliformes totales en el electrodo de Hierro	54
Tabla 15. Resultado del análisis de la Escherichia coli totales en el electrodo (Aluminio)	55
Tabla 16. Resultado del análisis de la Escherichia coli totales en el electrodo de Grafito..	56
Tabla 17. Resultado del análisis de la Escherichia coli totales en el electrodo de Hierro...	57

Índice de Figuras

Figura 1. Algunos contaminantes de vital importancia	10
Figura 2. Límites tolerables de metales en los lodos	13
Figura 3. Algunas Ventajas y desventajas en función al método aeróbico	15
Figura 4. Ordenamiento de los microorganismos.....	19
Figura 5. Tipos de microorganismos encontrados en los lodos residuales.....	20
Figura 6. Procesos electroquímicos.....	21
Figura 7. Proceso de electrólisis	23
Figura 8. Electrodiálisis.....	26
Figura 9. Celdas electroquímicas	34
Figura 10. Materia prima.....	37
Figura 11. Lodos después del chancado.	38
Figura 12. Lodos después de la molienda	38
Figura 13. Cloruro de Sodio	39
Figura 14. Mezcla homogénea antes de la electrolisis	39
Figura 15. Electrolisis de los lodos.....	40
Figura 16. Lodos después de la electrolisis	40
Figura 17. Muestras antes de ser cultivadas	41
Figura 18. Extracción de la parte superior de los lodos	42
Figura 19. Cultivo en la incubadora	42

RESUMEN

Esta investigación está orientada a usar procesos electroquímicos sobre muestras de lodos procedentes de plantas de aguas de tratamiento de aguas residuales, para disminuir la carga microbiológica.

En este estudio se prepararon nueve muestras para ser tratadas con tres electrodos distintos que fueron: hierro, aluminio y grafito, y trabajar con tiempos de reacción de 30, 60 y 90 minutos todos a un voltaje constante de 10V. Luego de realizado los tratamientos, se realiza un análisis de carga microbiológica para comparar los resultados con los iniciales.

En los resultados obtenidos se observa que el electrodo de hierro logro una disminución del 100% de coliformes totales; así también de Escherichia Coli en menos de una hora a un voltaje constante.

Por otro lado, utilizando el electrodo de Aluminio y Grafito no se llega al 100% de remoción de carga microbiana, pero si se obtienen valores significativos, y es importante tener en cuenta el tiempo que se aplica al tratamiento.

Los procesos electroquímicos si logran la disminución de la carga microbiológica siendo el mas efectivo con respecto a otros tratamientos.

Palabras claves: carga microbiológica, procesos electroquímicos, lodos, electrodos

ABSTRACT

This research is oriented to use electrochemical processes on sludge samples from wastewater treatment plants to reduce the microbiological load.

In this study, nine samples were prepared to be treated with three different electrodes: iron, aluminum and graphite, and to work with reaction times of 30, 60 and 90 minutes, all at a constant voltage of 10V. After the treatments were carried out, a microbiological load analysis was performed to compare the results with the initial ones.

The results obtained show that the iron electrode achieved a 100% reduction of total coliforms and *Escherichia coli* in less than one hour at a constant voltage. On the other hand, using the aluminum and graphite electrode does not achieve 100% removal of microbial load, but significant values are obtained, and it is important to take into account the time applied to the treatment.

The electrochemical processes do achieve a decrease in the microbiological load and are the most effective with respect to other treatments.

Key words: microbiological load, electrochemical processes, sludge, electrodes.

INTRODUCCIÓN

Para la población mundial es un gran reto conseguir disminuir la contaminación generada por las diversas actividades humanas.

El agua es un recurso vital, por lo cual se requiere de técnicas vanguardista, así mismo también que sean optimas referentes al costo para purificar aguas residuales. (Arango Ruíz, 2005, p. 49).

Avilés (2011) concluye que: “Los productos conseguidos del proceso del tratar de agua son el agua pura, esta agua debe tener una normativa exigente necesaria para el consumo humano y lodo residual” (García, 2016, p.1).

Muchas de las plantas que tratan aguas residuales presentan deficiencias operativas y de mantenimiento, las cuales representan grandes problemas para el país, ya que estos se emplean como agua de riego, lo que acarrea consecuencias negativas como son, el riesgo de enfermedades y la disminución de la capacidad de autorrecuperación por parte del agua debido a su elevado contenido de carga orgánica e inorgánica que se encuentra presente en los vertimientos. (Barboza Palomino, 2011, p.2).

Para tratar los distintos tipos de efluentes, la electrocoagulación surge como una alternativa, esta técnica presenta muchas ventajas, entre ellas, requiere de equipos simples y de fácil manejo, no requiere productos químicos, muy efectivo en la remoción de contaminantes, ello ha motivado a investigar esta técnica y aplicarla para el tratamiento de los efluentes de la PTAR “Contigo Perú- Huaral” con la finalidad de reducir la carga de contaminantes.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial el problema existente son los grandes niveles de contaminación, debido a la gran cantidad de aguas residuales generadas de las diversas actividades humanas, que afectan el entorno natural, provocando afecciones en la salud de la población. (Lluvichuzca Guapisaca, 2016, p.1)

En la actualidad existen diferentes tipos de tratamiento las que generan grandes cantidades de efluentes, principalmente sólidos que se encuentran en forma de lodos. Estos residuos presentan concentración de coliformes totales y fecales, los cuales presentan malos olores, compuestos nocivos y tóxicos que al ser anaerobios contaminan el ambiente y puede generar enfermedades respiratorias a las personas que se encuentran cerca de los depósitos que los contienen. (Araujo, 2017)

La búsqueda de alternativas para disminuir la concentración microbiana en los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ha sido objeto de diversos estudios. Así mismo se han realizado estudios vinculados con la generación de aguas residuales y su impacto ambiental. (Araujo, 2017)

Como parte del presente estudio se propone hacer uso de procesos electroquímicos sobre muestras de lodos residuales tomados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la JASS Contigo Perú del AA HH del mismo nombre, perteneciente al Distrito de Huaral, Provincia de Huaral, para determinar la efectividad de estos procesos sobre la disminución de la carga microbiológica, por ser efectivos y de bajo costo.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Será posible disminuir la carga microbiológica de los lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el tratamiento adecuado que se le debe dar a los lodos antes de someterlo a un proceso electroquímico para disminuir la carga microbiológica?
- ¿Cuál es la influencia del tiempo en el desarrollo del proceso electroquímico para la remoción de la carga microbiológica?
- ¿Qué tipos de electrodos se utilizan en el proceso electroquímico para la remoción de la carga microbiológica?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Disminuir la carga microbiológica de los lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el tratamiento adecuado que se le debe dar a los lodos antes de someterlo a un proceso electroquímico para disminuir la carga microbiológica.
- Establecer la influencia del tiempo de exposición al proceso electroquímico para garantizar la eficiencia del proceso.
- Determinar el tipo de electrodo más adecuado para el proceso electroquímico para la remoción de la carga microbiológica de los lodos.

1.4. Justificación de la Investigación

La presente investigación se justifica principalmente porque permite dar un pequeño aporte a la problemática que se presenta sobre la disposición de los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento de las aguas residuales urbanas, proponiendo una alternativa eficiente y de muy bajo costo, lo que permitiría competir favorablemente con otras opciones, tanto desde el punto de vista económico como desde el punto de vista social.

Desde el punto de vista académica también se justifica ya que permite ahondar, comprender y desarrollar los principios fisicoquímicos en el tratamiento y disposición final de los residuos generados en las plantas de tratamiento, así como también los principios químicos analíticos, de ingeniería, técnicas estadísticas, mecánicas y de procesamiento en general.

1.5. Delimitación del Estudio

El presente estudio se llevará a cabo dentro de los ambientes de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, año 2019.

Nos servirá como modelo de aplicación para el uso eficiente y manejo adecuado de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales de las diferentes plantas de tratamiento públicas y privadas del país.

1.6. Viabilidad del Estudio

La presente tesis es viable porque la tesista cuenta con los recursos económicos suficientes para llevar a cabo la investigación, será asesorada por personas expertas en la materia, además la tesista cuenta con la información y el tiempo disponible para el desarrollo de la investigación.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

(2017) Araujo Salazar, Santianny en su investigación denominada “Remoción de coliformes totales y fecales en lodos por procesos electroquímicos, planta de tratamiento de aguas residuales – lima 2017” realizada en la Universidad Cesar Vallejo, Lima- Perú, llegó a las siguientes conclusiones: (Araujo, 2017)

- La eficiencia de remoción obtenida de acuerdo con el procedimiento empírico realizado mediante el método electroquímico fue mayor al 80 % (Araujo, 2017).
- El tiempo necesario y óptimo para una eficiente remoción tanto de coliformes totales como fecales fue de 1 hora y media dando como resultado un 99,99%; no obstante; datos estadísticos referente a la investigación demuestran que la remoción más óptima está en un rango de tiempo de 1 hora a 1 hora y media. (Araujo, 2017)
- Así mismo no fue de gran ayuda estadística el aplicar concentraciones de cloruro de sodio, no obstante, esto ayudo con la remoción. (Araujo, 2017)
- De acuerdo con la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 dada por el País de México indica que el lodo obtenido se puede reutilizar en diversos ámbitos agrícolas, debido a que es un lodo tipo C. (Araujo, 2017)

(2005) Aybar Escobar, Carlos Adrián. en su trabajo de tesis denominado “Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la Planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”. Ayacucho – 2005”, realizada en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú, llegó a las siguientes conclusiones: (Aybar, 2005)

- La proporción removida promedio de coliformes fecales provenientes de los tanques Imhoff es eficiente en relación con el parámetro de diseño para los que fueron construidos (60%). La proporción removida promedio de DBO hallados en los tanques Imhoff es eficiente en relación con el parámetro de diseño para los que fueron construidos (25%). (Aybar, 2005, p.61)
- La proporción removida promedio de bacterias coliformes fecales de los filtros percoladores es eficiente, por el contrario de la proporción removida promedio de la DBO de los filtros percoladores es deficiente en relación con el parámetro de diseño para los que fueron construidos (86%). (Aybar, 2005, p.61)
- Los porcentajes de remoción promedio de bacterias coliformes fecales de las lagunas facultativas 1 y 2 son eficientes en relación con el parámetro de diseño para las que fueron remodeladas (90%). Los porcentajes de remoción promedio de DBO de las lagunas facultativas 1y 2 son deficientes en relación con el parámetro de diseño para las que fueron remodeladas (80%). (Aybar, 2005, p.61)
- La proporción promedio de bacterias Coliformes Fecales halladas al final del tratamiento de la PTAR “La Totorá” fue del orden de 99.985 remoción deficiente en relación con las normas establecidas por la OMS (99.999%) (Aybar, 2005, p.62).

(2016) García Cárdenas, María Isabel en su investigación denominada “Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de Coliformes fecales y totales” llegó a las siguientes conclusiones: (García, 2016)

- La remoción aplicada y referente a la información obtenida fue del 100 % tanto de Coliformes Totales y Fecales (*E. coli*); así mismo también se determinó diversos parámetros característicos del lodo como el porcentaje de humedad que fue mayor a

70 %, el pH fue de 7,5 y finalmente la conductividad eléctrica que estuvo en un rango de 12,5 – 13,1 mS/cm. (García, 2016, p.93)

- De acuerdo con el proceso empírico se determinó que el grafito es el electrodo más optimo a la hora de remover Coliformes; también se halló estadísticamente que una de las variables de vital importancia y más eficiente es el electrodo. (García, 2016, p.93)
- Así mismo otra variable de vital importancia para reducir considerablemente los Coliformes es el tiempo; empíricamente demostrado el tiempo óptimo para esta remoción es de una hora; por otro lado, la distancia en la que se ubica uno electrodo respecto al otro no tuvo ninguna afectación a la proporción determinada de remoción. (García, 2016, p.93)
- El tipo de proceso más optimo, adecuado y eficiente respecto a diversos tratamientos experimentales es el electroquímico; así mismo estos también se basan en el cumplimiento del límite otorgado por la US EPA y propuesto por la NOM-004-SEMARNAT-2002 respecto a la disminución de contaminantes orgánicos. (García, 2016, p.93)

(2010) Rodríguez Morales, José Alberto en su estudio denominado “Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización” de la universidad politécnica de Madrid, llegó a la conclusión: (Rodríguez, 2010, p.293)

- En las muestras de lodo crudo se obtuvo una media de 9.33×10^6 NMP/g para Coliformes fecales y después del tratamiento mediante un sistema de digestión anaerobia mono etapa mesofílica, se logró una reducción de 3log para coliformes fecales en los diferentes periodos de carga. (Rodríguez, 2010, p.293)

- En el periodo de carga correspondiente a 2.0 kg de ST/m³ d, en donde el digester presento un mayor grado de estabilidad, el promedio total de las muestras analizadas fue de 2.43 E+03 NMP/g de Coliformes fecales, por lo cual el lodo (según el método 1681 US EPA) tratado mediante un sistema de digestión anaerobia mono etapa mesoflica alcanza el estatus de lodo clase B. (Rodríguez, 2010, p.293)
- El total de las muestras tratadas mediante la digestión anaerobia mono etapa mesoflica, de las cuales 14 alcanzaron el valor por debajo de 500 UFC/g de E. coli, lo que representa el 93.4%. Por lo que cumple con la reducción conforme a la norma europea directiva 86/278/CEE. (Rodríguez, 2010, p.293)

(2011) Barboza Palomino, Gloria Inés en su estudio titulado “Reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá- Ayacucho empleando la técnica de Electrocoagulación” de la Universidad Nacional de Ingeniería llegó a las conclusiones siguientes: (Barboza Palomino, 2011, p.121)

- La aplicación de este método aplicado a la disminución de contaminante consintió tanto la remoción de turbidez como la alcalinidad en dichas aguas, así mismo también hubo una optimo descenso en la DBO₅. Hoy en día en diversos países optan por usar el método de electrocoagulación debido a que este procedimiento no contamina el entorno ambiental (Barboza, 2011, p.121).
- La proporción adecuada como se indica en tabla 18 ; fue de gran utilidad debido a que se registraron los datos de remoción obtenidos mediante este proceso , con un tiempo de 45 minutos la DBO₅ decreció hasta un valor de 4,4 mg O₂/L, teniendo en cuenta que la remoción obtenido fue del 93 %; debido a esto se concluyeron que para mayor eficacia de remoción deben mejorar el diseño del electrodo. (Barboza, 2011, p.123).

- La formación del Al (OH) fue un excelente indicador en función a la remoción debido a la alcalinidad que presentó el agua, ya que fue de gran beneficio para la generación de reacciones presentes en esta. (Barboza, 2011, p.123).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Disminución de carga microbiológica en función a los Lodos Excedentes.

2.2.1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales

“El termino de agua residual se les otorga a aquellas aguas que emanan de la vía de agua de los habitantes de dicho entorno, luego de haber sido usadas y modificadas por ellos para acciones comunitarias e industriales” (Lluvichuzca, 2016, p. 6).

Las PTAR son instalaciones las cuales tienen la tarea de reducir la materia orgánica originadas de diversas acciones, esto más que todo con el propósito de disminuir la polución que se ocasiona en ella, y así a su vez poder volverla a usar para alguna actividad industrial o agrícola, no obstante, no es apta para el consumo humano. (García, 2016,p.8)

Entre los materiales removidos en las PTAR, tenemos diversas partículas como arenas, escorias y residuos, esto más que todo va en función al proceso aplicado y por lo tanto a veces poseen un mayor tamaño; Es de vital importancia realizar un minucioso análisis para conocer las características fisicoquímicas del residuo, esto más que todo para determinar si el lodo encontrado peligroso o no (Lluvichuzca, 2016, p.6).

“El lodo que se obtiene de las PTAR, normalmente tiene la apariencia solida o liquida, esto depende mucho del tipo de afluente residual, así también como del método empleado que usa la industria que lo obtiene” según lo indica García (2016, p.9).

Contaminantes	Razón de la Importancia
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Sólido en suspensión	Pueden dar lugar al desarrollo de los depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Patógenos	Pueden transmitir enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer al crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación de aguas subterráneas.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos e inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son agentes tensio activos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Figura 1. Algunos contaminantes de vital importancia
Fuente: (Aybar, 2005, p. 7)

2.2.1.2. Lodos de aguas residuales

Las aguas servidas son resultado de las diferentes actividades realizadas por el hombre (...), y estas actividades generan grandes cantidades de aguas residuales; por ende, estas aguas deben ser tratadas para su disposición.

La EPA define al lodo “residual como el residuo remanente de diversos métodos frente a la obtención de agua; este lodo normalmente está conformada de sustancias no podridas, microorganismos infecciosos, y un sinnúmero de contaminantes” (Rincón Carreño, 2019, p.38).

2.2.1.3. Tipos de lodos

Depende del nivel de tratamiento de las aguas residuales:

- **Lodo primario:** “Se genera durante el tratamiento primario de las aguas residuales en el cual se remueven sólidos sedimentables. Normalmente este contiene una gran proporción de sustancia orgánica” (Pérez, 2016, p.22). La composición del lodo dependerá de donde haya sido extraída el agua residual, generalmente contiene materia orgánica en estado de descomposición inicial. (Gómez y Merchán, 2016)
- **Lodo activado:** Se obtiene como producto del método biológico en el tratar del agua, interactúan diferentes tipos de microorganismos. Este lodo habitualmente se encuentra en forma de flóculos que en su interior llevan biomasa, además de partes minerales y orgánicas absorbidos. (Pérez, 2016)
- **Lodos secundarios:** Resultado del tratamiento secundario, que convierten residuos o substratos solubles en biomasa, también incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. (Pérez, 2016, p.10) La cantidad producida depende de diferentes factores como: eficiencia del tratamiento primario, relación de sólidos suspendidos totales,

Demanda Bioquímica de Oxígeno, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento. (García, 2016, p. 15)

- **Lodos terciarios:** Resultan del procedimiento desarrollado en el tratar del agua, tanto la precipitación química como la filtración se encuentran en este proceso. Los químicos empleados en el proceso de tratamiento avanzado del agua residual son: Alumbre, sales o polímeros orgánicos, los mismos que aumentan considerablemente su volumen de este lodo. (García, 2016, p.15)
- **Lodos digeridos:** Son resultado del método de digestión con oxígeno o también conocida como aerobia, estas poseen grandes cantidades de gases; si el proceso es bien diseñado y manipulado raramente producirá algún olor desagradable, este lodo posee una cantidad de sustancia orgánica que se encuentra en el rango de 45 a 60 %. (Pérez, 2016, p. 11)

2.2.1.4. Clasificación de los lodos

a. Por su concentración:

- **Lodo peligroso:** la EPA indica presenta toxicidad, daña la salud y afecta al entorno ambiente, debe tratarse con medidas de seguridad. (Rincón, 2019, p. 49)
- **Lodo no peligroso:** “Estos lodos va en función a la proporción de metales contenidos, de eso depende si es o no de buena calidad” Araujo, 2017, p. 22).

Elementos	Valores Límite (mg/Kg mat. seca)	Tasa de carga acumulativa del elemento, (Kg/Ha)	Concentración del componente para una calidad excepcional, (mg/Kg)	Tasa de carga anual del elemento (Kg/Ha/año)
Arsénico	75	41	41	2.0
Cadmio	85	59	59	1.9
Cromo	=	=	=	=
Cobre	4300	1500	1500	75
Plomo	340	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0.85
Molibdeno	75	=	=	=
Níquel	400	400	400	21
Selenio	100	100	100	5.0
Zinc	7500	2800	2800	140

Figura 2. Límites tolerables de metales en los lodos
Fuente: EPA. Citado por (Araujo Salazar, 2017, p. 22)

b. Por su contenido microbiológico de lodos:

De acuerdo con el contenido microbiológico este lodo se ordena en función a su categoría:

Lodo Clase A: no se encuentran agentes nocivos detectables, bajo contenido de metales y sólo hay que asegurar que se cumplen los requerimientos para su tratamiento. (Araujo, 2017)

Lodo Clase B: después del tratamiento aún se percibe presencia de agentes patógenos; el manejo es restringido. (Pérez, 2016)

Tabla 1. *Categorías de los lodos residuales en función a los microorganismos nocivos presente en ellos*

PARÁMETRO	LODO	
	CATEGORIA A	CATEGORIA B
Coliformes Fecales o Salmonella	<1000 NMP/g o UFC/g	<2000000 NMP/g o UFC/g
Huevos de helminto	1 huevo viable/4 g	-

Fuente: EPA

De acuerdo con la EPA en su publicación indico que “la norma está en función a los sólidos biológicos. Para la utilización en suelo; la normal brinda fronteras numéricas respecto a 10 metales” (Orellana, 2015, p. 15).

Aspectos:

- Delimitación de metales.
- Experiencia para la manipulación
- Buena elección respecto a la disminución de microorganismos.
- Disminución de vectores
- Limitación en función a la disposición en suelos. (Orellana, 2015, p. 15)

Mecanismos para tratamiento de lodos

“Algunos métodos para tratar los lodos normalmente se dividen y ordenan respecto al poder de remoción que tienen en patógenos, así mismo también la significancia de este”. (Valderrama, 2013).

Estabilización térmica

Un lodo producto de este método, es perteneciente a la categoría “A”, según las condiciones dadas por Valderrama (2013) en función a la norma EPA 40, la proporción bacteriana es reducida a lo indicado en la normativa. Estos lodos pueden ser empleados como fertilizantes agrícolas. (Pérez, 2016)

Compostaje

Las bacterias aerobias degradan la materia orgánica, hay que tener presente parámetros como humedad y temperatura para mantener la presencia de las bacterias, el compostaje consigue destruir patógenos al ser sometidos a elevadas temperaturas y remueve totales volátiles (Rincón, 2019).

Lluvichuzca (2016) manifiesta que “el proceso de compostaje permite aplicarlos en cultivos para maximizar la productividad de este y a su vez aumentar la calidad, la ayuda del carbono, nitrógeno y otros compuestos brindan un excelente beneficio respecto a las condiciones para el crecimiento de la flora” (Lluvichuzca, 2016, p. 22).

Digestión aerobia

Con este proceso se consigue la reducción de lodos orgánicos producidos en las PTAR y es una continuación del proceso de lodos activados. La digestión aerobia se emplea en plantas pequeñas de lodos activados. (Gutiérrez 1986, p.7)

Las principales ventajas de este proceso: se obtienen concentraciones bajas de DBO en el líquido sobrenadante; se logra un producto final biológicamente inalterable, con bajo olor, de fácil eliminado; presenta menos problemas de operación. (Gutiérrez, 1986, p.8)

	Ventajas	Desventajas
Proceso de la digestión aerobia	Menores costos de inversión mensual	Costos de operación elevados debido al consumo de electricidad
	Sobrecapacidad interna respecto al anaeróbico	Eliminación del pH y alcalinidad
	Simplicidad operativa	Potencial de dispersión de patógenos a través de los aerosoles
	No emite olores	Los lodos digeridos a menudo son más complicado de manejar
	Reduce la masa total del fodo	No genera biogas con potencial de generación de energía

Figura 3. Algunas Ventajas y desventajas en función al método aeróbico
Fuente: (Wáter Environment Federation, 2010), (Lluvichuzca, 2016)

Digestión anaerobia

Más conocido también como aireación continua; esto más que todo sirve para el crecimiento de microorganismos aerobios hasta un punto donde sobrepasen la asimilación de las células y así mismos puedan generar su autooxidación, disminuyendo dicha sustancia celular. (Oropeza, 2006, p.64)

“Un beneficio óptimo y ventajoso para que tiene la digestión anaerobia es calentarlo a una temperatura óptima, así mismo también este método sería un costo elevado” (Limón Macías, 2013, p.19).

En este proceso la sustancia orgánica en la mezcla tanto del lodo primario como secundario se convierte en CH_4 y CO_2 , normalmente esto se efectúa en un reactor adiabático, donde las reacciones que ocurren son por periodos largos, posteriormente se extrae el porcentaje menor de sustancia orgánica y a su vez también los microorganismos vivos. (Orellana, 2015, p.30)

Tratamiento químico

Para optimizar la capacidad de perder agua de un lodo, se deben adicionar aditivos químicos al lodo, ya que estos aditivos son eficaces tanto para suprimir coloides como también el material más disperso. Normalmente para aumentar el pH del lodo se le aplica una adecuada proporción de Cal. (Pérez, 2016, p.15)

Los lodos que resultan de este proceso se purifican de acuerdo a las diversas normas establecidas por la EPA 40. Los factores variables como la cantidad y calidad están en función al método empleado para tratar el lodo, y así mismo también para la estabilización de este, sin dejar de lado la situación económica y las condiciones del sitio donde se encuentra. (Orellana, 2015, p.31)

2.2.1.5. Parámetros microbiológicos importantes en los Lodos

Algunos factores principales que influyen en la determinación de la composición y calidad de estos lodos son:

Microorganismos mesófilos aerobios

Indica que el rango de temperatura adecuada para su óptimo crecimiento está entre los 15 a 30 ° C, esto es muy diferente respecto a otros microorganismos que crecen en condiciones mucho más bajas a los que normalmente se les considera psicrófilos, el lugar de residencia de un mesófilo normalmente es el cuerpo de un animal entre otros (Galvis y Rivera, 2013, p.33).

Coliformes totales y fecales

Son un conjunto de bacterias que normalmente suelen aplicarse como señalamiento de contaminación. Estas más que todos son bacterias que funcionan con o sin oxígeno, también son conocidos como bacilos cortos, ya que ayudan a la fermentación de lactosa entre otros, se clasifica en 3 géneros los cuales son. (García, 2016, p.26, p.33)

Mohos

Estos son considerados heterótrofos, debido a que su alimentación basa en sustancias orgánicas muertas, así mismo también pueden ser huéspedes vivos, esto va a depender más que todo si tienen interacción como parásitos. Estos se adaptan con facilidad a su entorno, esto más que todo se debe a que las condiciones de hábitat las cuales son de 2 -9 en función al pH, el valor más adecuado y óptimo es de 5,6, esto es un dato de vital importancia debido a que la mayoría de los microorganismos no soportan. (Galvis y Rivera, 2013)

Levaduras

Normalmente son hongos, donde la multiplicación de estos es la gemación. La gran mayoría aumentan en entornos donde hay más humedad o agua, no obstante, la gran cantidad de levaduras requieren condiciones elevadas de agua (Galvis y Rivera, 2013).

Clostridium sulfito reductor

Estos microorganismos se reproducen a una temperatura de 37°C, Así mismo, el pH óptimo para su crecimiento se encuentra entre el rango de 7 a 7,4; por lo que en conclusión su inactivación es sencilla en función a un pH ácido o básico (Galvis y Rivera, 2013, p. 35)

Salmonella sp.

Este microorganismo es el que más se adecua de una manera muy rápida a los animales en general, así como también a los seres humanos; la bacteria corresponde al grupo de la Enterobacteriácea, compuesta principalmente por bacilos gramnegativos, entre otros. A su vez estos no emiten ningún tipo de esporas. (García Cárdenas, 2016).

Bacterias metanogénicas

Estas bacterias se basan en la descomposición de la materia orgánica y a su vez también producen metano, debido a que son obligadas a estos procesos. (Galvis y Rivera, 2013, p. 36)

Clasificación de microorganismo

“La clasificación de diversos organismos como las eucariotas o arqueobacterias, correspondientes a la familia de eubacterias están presentes en las aguas residuales”

Las algas como los hongos pertenecen al grupo de protista o también conocidas como eucariotas.” (Rojas, 2002).

Grupo	Estructura celular	caracterización	Miembros representativos
Eucariota	Eucariota	Multicelular con gran diferenciación en las células y el núcleo. Unicelular o colonial, con o sin diferenciación de tejidos	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos), Animales (vertebrados e invertebrados), Protistas (algas, hongos, protozoos)
Eubacterias	Procarionta	Química celular parecida a las eucariotas	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procarionta	Química celular distinta	Metanococos, halófilos, termocidófilos

Figura 4. Ordenamiento de los microorganismos

Fuente: (Rojas, 2002, p. 3)

- **Organismos patógenos**

Estos microorganismos normalmente los podemos encontrar en las plantas donde tratan el agua, para ser más precisos en las mismas aguas residuales, e incluso a veces son producidos por los desechos o basuras contaminante que emiten los humanos, así como también son portadores de muchas enfermedades. Su clasificación se basa en bacterias, virus y protozoos, respecto a la peligrosidad de este. (Rojas, 2002).

- **Organismos indicadores**

“Estos microorganismos suelen estar en aguas residuales, lo que resultan complicado de extraer o aislar respecto a los otros, por consiguiente, se aplica otro tipo de microorganismo denominado coliforme, este servirá más que todo de indicador debido a que la presencia de este es aún mayor y por lo consiguiente demasiado fácil de reconocer”

Grupo	Agentes	Efectos en la salud (SALUD)
Bacterias	Salmonella typhi	Enfermedades paratíficas
	Salmonella paratyphi A y B	Difteria tifoidea
	Shigella sp.	Gástrico
	Vibrio cholerae	Gastroenteritis agudas, diarrea
	Escherichia coli	Diarreas
	Salmonella sp.	
Virus	Virus Hepatitis A y E	Hepatitis
	Virus de la Polio	Poliomielitis
	Virus de Newcastle	Gastroenteritis aguda y crónica
	Rotavirus	Neuritis
	Enterovirus	Enteritis
Adenovirus	Infecciones respiratorias	
Protozoos	Entamoeba histolytica	Difteria amebiana

Figura 5. Tipos de microorganismos encontrados en los lodos residuales
Fuente: (Lluvichuzca, 2016)

2.2.2. Bases teóricas para Procesos Electroquímicos

2.2.2.1. Electroquímica

Es una rama de la ciencia que se encarga del estudio y relación que hay entre diversos métodos químicos y eléctricos, a partir de diversas reacciones de oxido-reducción, en pocas palabras y en términos más resumidos estudia diversos cambios ocasionados en función a la electricidad continua, normalmente este proceso o método es denominado electrolisis, su funcionamiento es sencillo simplemente a través de la generación de la corriente eléctrica continua a un voltaje menos de 12 voltios, produce diferentes reacciones que comúnmente son llevadas en una celda galvánica. (Gilpavas, 2008, p.4)

Dependiendo del método electroquímico se divide en dos tipos:

- **Celda Electrolítica**

Aquí es donde es producida la electrolisis, en pocas palabras donde diversas reacciones químicas son producidas mediante el uso de corriente continua.

- **Celda Galvánica**

Aquí es donde con ayuda de las reacciones químicas se produce una corriente continua (Lluvichuzca, 2016).

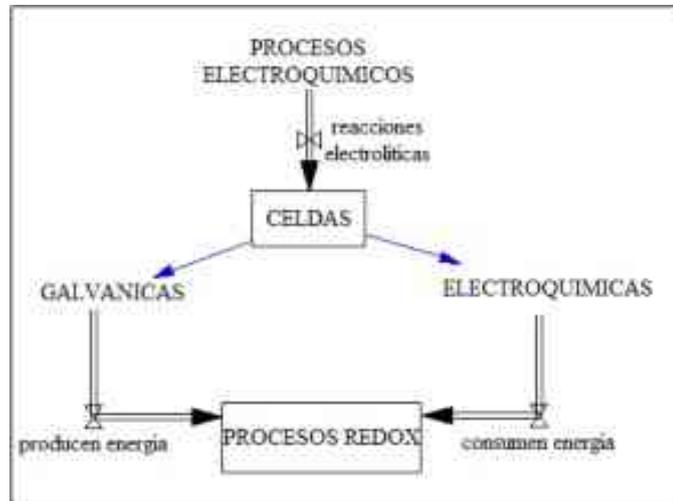


Figura 6. Procesos electroquímicos

Fuente: (Pérez Zúñiga, 2016)

Algunas técnicas fundamentales y principales para tratar el agua son las siguientes:

Electrocoagulación

Electro flotación

Electro-fotón

Electrodiálisis

Estas normalmente tienen muchas aplicaciones, principalmente los lugares donde son empleados son en la fabricación de pilas y tratamiento de efluentes, ya que su costo de operación es bajo y también por las diversas ventajas que presenta dichos métodos (Gilpavas, 2008, p.4)

Métodos electroquímicos

Se entiende como el cambio de las aguas a través de diversas reacciones químicas, para ser más preciso la eliminación de diversos contaminantes encontradas, esto normalmente también se realiza con sub-tratamientos físicos y biológicos (García, 2016)

“Normalmente los materiales a utilizar en una celda electroquímica constan de un ánodo y cátodo, el primero que da una reacción de oxidaciones y el segundo que da una reacción de reducción, así mismo también una fuente de energía para la suministración de este” (Guillemes Peira, 2014).

La eliminación de diversos compuestos presentes en el lodo como metales o bacterias se basan en función a la corriente eléctrica continua empleada, así como también la intensidad de esta mientras más alta sea la intensidad de corriente, menor será el tiempo de remoción de estos coliformes. Normalmente estos contaminantes son transportados por mecanismos electrocinéticas que suceden dentro de la celda electrolítica (García, 2016)

Las diversas reacciones ocurridas entre los contaminantes y el suelo pueden ser la adsorción o electroforesis entre tantas más, la corriente producida es la ayuda al movimiento de los iones debido que son cargadas, y a su vez esto ayuda a la eliminación de estos contaminantes dentro de la celda electrolítica (García, 2016).

2.2.2.2. Electrólisis

Este proceso ocurre de la siguiente manera:

Descomposición del electrolito en función a la corriente; aun si aplicamos una disolución electrolítica estuviéramos obteniendo un diferencial de potencial entre las dos sustancias encontradas ahí; las diversas reacciones que ocurren en función a la corriente se manifiestan en el electrodo, debido a que estos son conductores metálicos, y por lo general suelen ser de hierro, plata o aluminio. (Lluvichuzca, 2016)

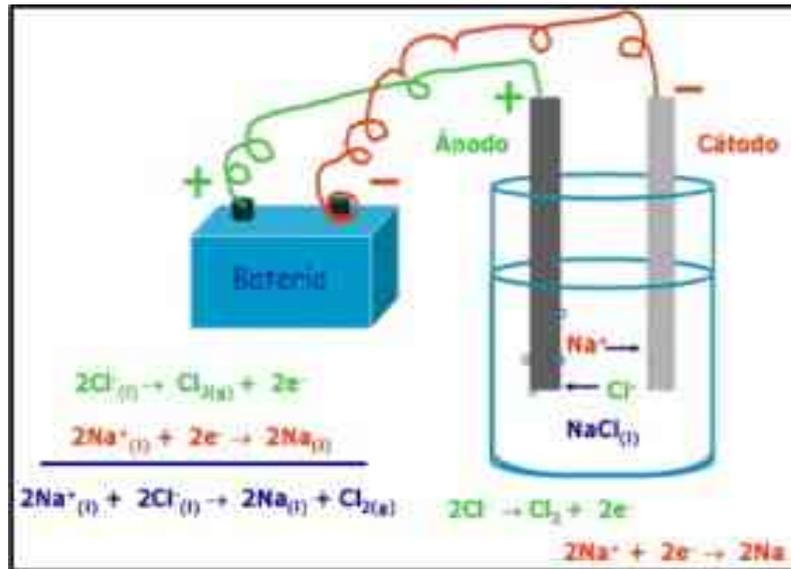


Figura 7. Proceso de electrólisis.

Fuente: Araujo.

2.2.2.3. Electrocoagulación

Para el tratado de agua normalmente se emplea este método también debido a que este método ha sido aplicado para la remoción de un numeroso grupo de contaminantes, no obstante, este método tiene un enorme beneficio debido a que una de sus ventajas es eliminar las desventajas que los otros métodos convencionales no son capaces de lograr (Gilpavas, 2008, p. 6)

Este proceso tiene como función desestabilizar y desorientar las partículas encontradas en suspensión, así como también encontradas en un medio acuoso, a través de la corriente que es aplicada no excediendo lo 20 voltios, pasando por el ánodo y cátodo y a su vez también por el agua (Arango Ruiz, 2005, p.5)

Este método es capaz de dividir sincrónicamente metales pesados, sustancias orgánicas y una gran variedad de partículas presentes en el agua a través de la electricidad, sin estar usando reactivos químicos contaminantes y caros; seguidamente estos lodos pasan por un filtro para separar la fase solida de la liquida (Restrepo, Arango y Garcés, 2012).

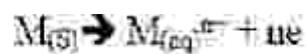
La técnica aplicada en función al coagulante es originada “in situ” donde las reacciones empleadas u ocasionadas de oxidación en el ánodo, así como las especies cargadas, son removido con gran eficacia y eficiencia del agua; esto más que todo gracias a los iones que reaccionan produciendo flóculos (Arango Ruiz, 2005, p.6)

Las aplicaciones de este método en función a la disminución o supresión de las aguas son variadas , una de las aplicaciones más reconocidas y famosas es el tratar del agua en la industria de la galvanoplastia , así como también en la del electro plateado metálico , y no solo eso, sino que se puede combinar con el electro flotación para la ayuda y disminución del cromo en diversas industrias mineras ; referente a esto y al estudio de investigación se demuestra que este método tiene una óptima efectividad en cuanto a la remoción de aceites en aguas a tratar originadas específicamente del sector mecánico , así también como en las refinerías (Restrepo et al., 2012)

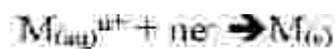
Reacciones presentes en el proceso de electrocoagulación

Como bien es sabido lo que ocurre en una celda de electrocoagulación en donde se involucra dos electrodos de un material M, da reacciones a los siguientes mecanismos los cuales son (Mollah et al, 2004).

Oxidación en el Ánodo



Reducción en el Cátodo



Una de las primordiales características y beneficios que tiene este método son los siguientes:

- El equipamiento requerido es de uso fácil y manejable a emplear.
- La superficie requerida está comprendida entre el rango de 50 a 60 % en función a los sistemas biológicos.
- La EC se desempeña sin necesidad de aplicar algún químico, lo cual es beneficioso debido a que esto no ocasiona algún problema en el stock y almacenamiento, así como genera menos lodos que la coagulación química, lo que disminuye el posterior coste de tratamiento de éstos. (LEQA, 2011)
- Los lodos generados retienen poca humedad, lo que disminuye el coste de gestión de los mismos.
- La formación de burbujas mejora la eficiencia en el proceso de floculación.

La electrocoagulación resulta mejor y más óptimo en la textilería, debido a la eficiencia que posee de acuerdo al precipitado obtenido de diversos colorantes, empleados en diversas fases donde dichos mecanismos de procesos empleados a los tejidos son contaminantes de aguas, así mismo también estas aguas no presentan toxicidad elevada, también poseen DQO y conductividad, dichas características fisicoquímicas se encuentran en el rango de vertido. (LEQA, 2011)

2.2.2.4. Proceso de separación con membranas (Electrodiálisis)

La electrodiálisis es un proceso electroquímico que desaliniza agua a partir del empleo de energía eléctrica. Esta aplicación posee una adecuada diferencia de potencial que se demuestra mediante el apilamiento de membranas escogidas por industria que desea tratar, esto más que todo permite la eliminación de iones salinos debido a que pasan de una a otra (LEQA, 2011).

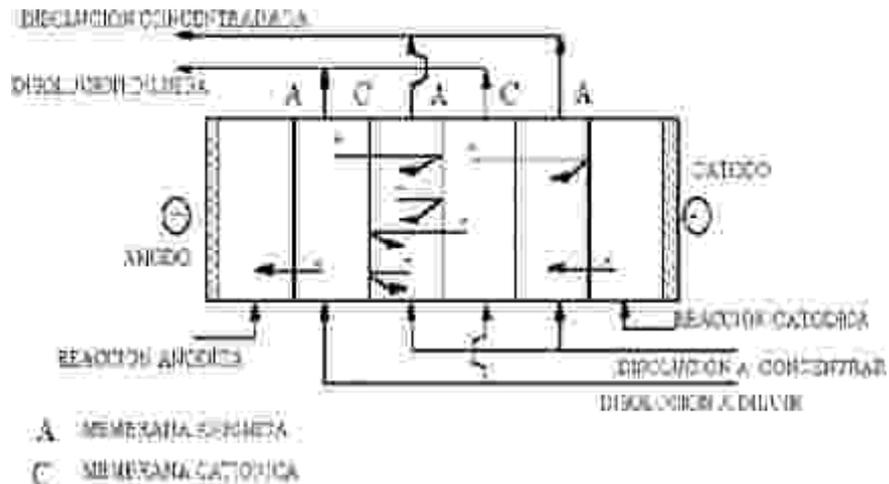


Figura 8. Electrodiálisis

Fuente: www.google.com

Este método es el más efectivo y a su vez más intenso respecto a la desalinización de una corriente en la cual posee uno o más productos de valores añadidos; normalmente estas corrientes no son iónicas en función a la acidez de este (LEQA, 2011).

Algunos estudios básicos referentes a la electrodiálisis indican que estos son empleados en tres tipos que son:

- Disminución de la concentración de la solución del electrolito
- Incremento de la concentración de la solución del electrolito
- División del electrolito y no electrolito

Algunas de las aplicaciones más importantes son las siguientes:

- Eliminación de iones salinos en aguas salubres (mayores a 5000 ppm): >2000 plantas; capacidad >1.000.000 m³. Área membrana >1.500.000 m².
- Productividad de la sal de mesa: base de cálculo para la concentración de NaCl hasta 200 g/l (Japón) producción anual > 350.000 Tm. Área de membrana >500.000 m².

- Eliminación de iones de sal tanto en suero de queso y en leches sin grasas >65 plantas. Área de membrana: >35.000 m².
- Restauración de diversas sustancias importantes y a su vez también el tratar de efluentes.
- Supresión de cenizas de diferentes compuestos formados de glucosa.
- Eliminación de iones salinos en los diversos influentes industriales.
- Eliminación de iones salinos en aminoácidos y mercancías de fermentación
- Eliminación de iones salinos en el plasma sanguíneo. (LEQA, 2011)

Tratamiento por electro oxidación

La destrucción electroquímica es una metodología más costosa que los tratamientos convencionales. Sin embargo, posee numerosas ventajas: (LEQA, 2011)

- Es una metodología muy versátil capaz de aplicarse a una gran variedad de problemáticas: disminución de DQO y DBO, eliminación de color, eliminación de compuestos no biodegradables, etc.
- La electricidad se emplea con reactivo, de bajo costo y no genera residuos.
- Es fácilmente escalable y automatizable.
- Se puede interrumpir el tratamiento en el momento que se requiera simplemente con dejar de suministrar corriente eléctrica a los electrodos.
- Es interesante cuando se emplea como tratamiento previo en el vertido de sustancias muy tóxicas. (LEQA, 2011)

2.3. Definiciones Conceptuales

Agua Residual

(Gerardo, 2015). Sustancia acuosa que posee partículas en suspensión después de haber sido utilizada por alguna industrial.

Aprovechamiento

(Lluvichuzca, 2016). Es la reutilización de algún factor en donde se procesa de acuerdo con el manejo integral; posteriormente separados y transformados.

Biomasa

(Gerardo, 2015). Cuerpo de un tamaño total determinado de diversos organismos con vida.

Biosólido

(Gerardo, 2015). Producto obtenido luego del equilibrio de los lodos respecto al tratar el agua tanto industrial como municipal.

Carga Orgánica

(Gerardo, 2015). Residuo obtenido de la concentración de DBO o la DQO en función al caudal; normalmente es expresado en Kg sobre día.

Celda electrolítica

(www.visualavi.com). Aquí es donde es producida la electrolisis, en pocas palabras donde diversas reacciones químicas son producidas mediante el uso de corriente continua.

Conductividad

(Wikipedia.com). Es la característica principal que tiene un material para que deje fluir corriente eléctrica sobre él.

Degradación de la Materia Orgánica

(Gerardo, 2015). Propiedad que tiene diversos compuestos en función a la descomposición.

Digestión Aerobia

(García, 2016). Es la digestión de diversos organismos presentes en un lodo en función al oxígeno.

Digestión Anaerobia

(Gerardo, 2015). Es la digestión de diversos organismos presentes en un lodo en ausencia de oxígeno.

Efluente

(Gerardo, 2015). Líquido residual contaminado o purificado que proviene de algún tipo de tratamiento.

Materia Orgánica

(Gerardo, 2015). Es la combinación de carbono, hidrógeno, y nitrógeno.

pH

(Gerardo, 2015). Es una medida en función a la concentración de los iones hidrógenos presentes en una muestra de agua.

Planta De Tratamiento De Aguas Residuales (Ptar)

(Gerardo, 2015). Lugar en donde se efectúan diversos procesos o mecanismos referentes al tratamiento de aguas residuales.

2.4. Formulación de Hipótesis**2.4.1. Hipótesis general**

Mediante procesos electroquímicos se consigue disminuir la carga microbiológica de los lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales

2.4.2. Hipótesis específicas

- Mediante tratamientos adecuados a los lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales disminuye la carga microbiológica
- El tiempo de exposición al proceso electroquímico influye en la disminución de la carga microbiológica de los lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales

- El tipo de electrodo del proceso electroquímico influye en la disminución de la carga microbiológica de los lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico

Geográficamente el área de indagación se encuentra ubicada en el AA HH Contigo Perú, Distrito de Huaral, provincia de Huaral, Departamento de Lima. La parte experimental se llevará a cabo en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la UNJFSC y en laboratorios externos.

3.1.1. Tipo de Investigación

Es de tipo cuantitativa, debido a que se determinará la relación causa-efecto que existe entre la variable dependiente (Lodos) y la variable independiente (procesos electroquímicos); tratando de establecer con la mayor precisión posible si con el uso de “Lodos residuales” provenientes del tratamiento de aguas residuales se puede reducir la carga microbiológica mediante tratamientos adecuados de los lodos, de tal manera que se realice de forma segura y que contribuya a reducir el impacto ambiental.

3.1.2. Nivel

Según el tipo de la investigación el nivel de investigación de la presente tesis es descriptiva – explicativa.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población serán los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas o domésticas de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) del Asentamiento humano “Contigo Perú”, ubicada en la Provincia de Huaral.

3.2.2. Muestra

El Método del muestreo es simple y puntual, el tipo de muestreo es al azar y regular.

3.3. Operacionalización de Variables e Indicadores

V. Dependiente: Carga microbiológica de los Lodos

V. Independiente: Procesos electroquímicos

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Carga microbiana de los lodos	Cantidad de microorganismos que infectan algún tipo de material en común (Tesouro 2013 de la Biblioteca Agrícola Nacional de los Estados Unidos)	Prueba electroquímica en el laboratorio de Análisis para determinar la concentración de coliformes en la muestra de lodo residual.	Parámetros influyentes	Tiempo Voltaje Amperaje Coliformes totales Concentración del Electrolito
Procesos Electroquímicos	Son reacciones mediante las cuales se relacionan la energía eléctrica con la energía química (Maldonado & Molina, 2011):	Se usó tres cubas de vidrio donde se colocó los electrodos (aluminio, hierro y grafito) conectados a una fuente de energía continua.	Tipo de electrodos	Aluminio Grafito Fierro

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos para la obtención de datos

3.4.1. Materiales, equipos y métodos

Materiales y equipos

- Electrodos
- Termómetro digital
- pH metro
- Celdas
- Frascos para muestras

- Cooler
- Pinzas de cocodrilo

Métodos

Ánodo y Cátodo (Electrodos)

Para la parte de la electrolisis se usaron electrodos de Aluminio, grafito y Fierro, que actuaron como ánodo y cátodo a la vez, estos electrodos se sometieron individualmente dentro de una cuba de vidrio para realizar dicho proceso electroquímico, asimismo se eligieron estos materiales debido a su disponibilidad en el mercado y su bajo costo.

Recepción de la materia a tratar

La muestra utilizada en la parte empírica del proyecto se extrajo de la PTAR ubicada en la ciudad de Huaral, se recolecto aproximadamente 20 a 25 kilogramos de lodo residual deshidratado, dicha muestra fue colocada en recipientes de forma manual en baldes de plástico de 20 litros, para posteriormente ser transportada al laboratorio de la facultad de ingeniería química.

Fabricación de la celda electroquímica

Para construir las celdas electroquímicas primeramente se diseñó un modelo previo con una base de 12 cm de cada lado así mismo también las mismas dimensiones en altura y profundidad, estos más que todo ajustándolo a las dimensiones de los electrodos para poder depositarlos en los lodos y así ser sometidos al proceso electroquímico.

En la imagen se muestra la celda:



Figura 9. Celdas electroquímicas.

Fuente: el autor.

Pretratamiento de la muestra

Antes de someterlo al tratamiento electroquímico la muestra pasará por un pretratamiento para obtener mejores resultados de electrolisis, en este caso se añadirá un electrolito para aumentar la conductividad eléctrica en el lodo, el electrolito empleado es una disolución de cloruro de sodio (NaCl) al 15% con agua destilada en una proporción de 1:7.

Parte experimental

En esta parte se separaron 9 muestras según el tiempo de reacción y el tipo de electrodo empleado en la prueba electroquímica (electrolisis) siguiendo un voltaje constante, posteriormente se llevaron las muestras recogidas al laboratorio de microbiología de alimentos para su debido análisis, y así poder determinar el porcentaje de disminución de la carga microbiana en comparación con la base principal de la muestra antes de ingresar a la electrolisis.

“Luego de que los lodos pasaron por el tratamiento electroquímico se retiraron en recipientes inertes para que posteriormente sean llevados al laboratorio para determinar la concentración final de coliformes totales y fecales” (Araujo, 2017)

Determinación de parámetros Físicoquímicos:

Para la determinación de los parámetros físicoquímicos de los lodos residuales se tomó 3 muestras de 25 gramos cada una, para posteriormente hallar sus parámetros principales que se muestran a continuación:

Tabla 3. Parámetros iniciales de los lodos residuales

Parámetros	Media
PH	2.07
Temperatura	23,1 °C
% Humedad	5,17 %
Potencial Redox	284,6 mv
Conductividad eléctrica	4,66 m <s

Fuente: Elaboración propia

3.5. Técnicas para el procesamiento de la información

3.5.1. Fuentes.

La información se recopilará de una fuente primaria respecto a los lodos secos y los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

Respecto a la información será validada por las bibliografías, las cuales son fuentes secundarias

3.5.2. Técnicas.

Observación empírica

Se utilizará para examinar el mecanismo de electrolisis en el momento exacto el cual está sucediendo.

Observación empírica mediato

Con esto se podrá examinar los diversos antecedentes de la investigación para implementarlas en la parte experimental.

3.6. Materiales y Técnicas o métodos para el procesamiento de la información

3.6.1. Materiales para recolectar la información

Para recolectar la información se hizo uso de los siguientes materiales, así mismo también de diversos papel y fuentes de información terciarias.

Fuente de poder

Balanza

Electrodos

Celdas electroquímicas

PH metro

Multímetro

Libreta de apuntes

Laptop

Cámara fotográfica

3.6.2. Materiales para procesar la información

Los materiales empleados para procesar los datos serán los elementales softwares como Word 2016, Excel 2016, poder Paint 2016 y Visio 2016; así también se hará uso de programas estadístico como el Spas y entre otros.

3.7. Procedimiento

El proceso consistió en 3 pasos que fueron: pretratamiento, tratamiento y el análisis microbiológico para la determinación de microorganismos presente en dichos lodos; como se muestra a continuación:

Pretatamiento

Recepción de materia prima

Para la recepción de materia prima se utiliza el lodo seco de la PTAR ubicada en la ciudad de Huaral, se recepción aproximadamente 21 kilogramos de lodo residual deshidratado que posteriormente se clasificaron en 9 muestras de 100 gramos cada una.



Figura 10. Materia prima.

Fuente: el autor.

Chancado

Seguidamente el lodo seco se tritura en un tamaño de 1 cm aproximadamente para luego someterla a molienda



Figura 11. Lodos después del chancado.
Fuente: el autor.

Molienda

Ahora bien, posteriormente la muestra chancada pasa directamente a una molienda para posteriormente llevarla a un mezclado óptimo.



Figura 12. Lodos después de la molienda.
Fuente: el autor

Mezclado

La muestra se mezcla con una disolución de Hidróxido de sodio (NaCl) con agua destilada en proporción 1:7 por cada 500 gramos de lodo residual posteriormente se divide en 9 muestras de 100 gramos cada una.



Figura 13. Cloruro de Sodio



Figura 14. Mezcla homogénea antes de la electrolisis

Tratamiento

Electrolisis

Después de haber realizado el mezclado las muestras recogidas son llevadas al proceso de electrolisis con tiempos determinados de 30 ,60 y 90 minutos así mismo también con los diferentes tipos de electrodos: fierro, aluminio y grafito, todas las muestras fueron realizadas con un voltaje de 10 voltios.



Figura 15. Electrolisis de los lodos



Figura 16. Lodos después de la electrolisis

Análisis Microbiológico

Separación

Después de la electrolisis se sometió a separar la muestra, se agregó 90 mililitros de peptona, esto más que todo sirve para separar la parte de los organismos entre los lodos por medio de sedimentación, se tomó un tiempo de 15-20 minutos,

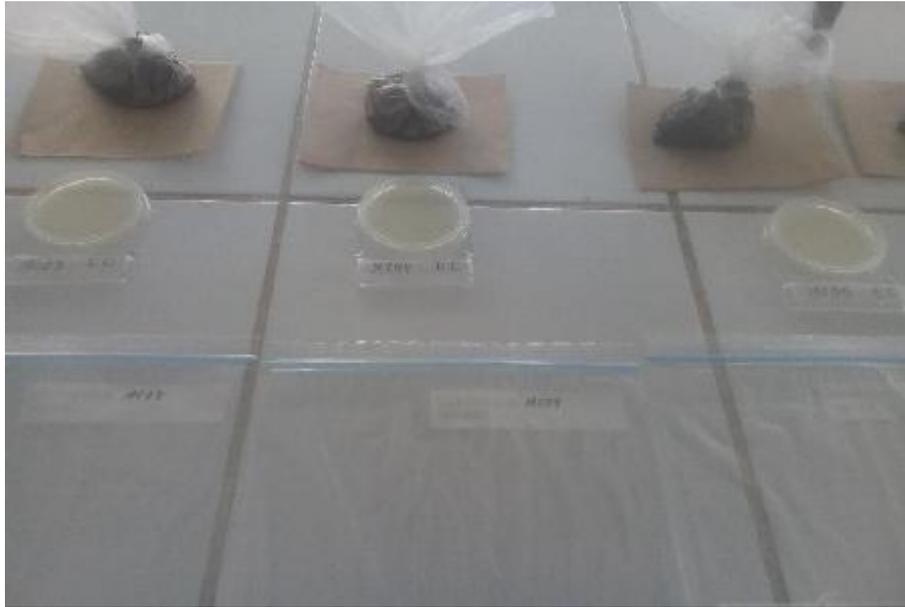


Figura 17. Muestras antes de ser cultivadas

Extracción

Seguidamente se extrajo con una pipeta la parte superior de la disolución acuosa, la cual tiene microorganismos, para seguidamente ser llevada a un recipiente de cultivo, y posteriormente a una incubadora para así poder examinar la cantidad de microorganismos obtenidos en dichos lodos.



Figura 18. Extracción de la parte superior de los lodos



Figura 19. Cultivo en la incubadora

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de los lodos

Antes de comenzar el pretratamiento de los lodos, se midieron algunos de sus principales parámetros para la electrolisis.

Tabla 4. *Parámetros iniciales de los lodos residuales.*

Parámetros	N	Media
PH	3	$2,07 \pm 0,03$
Temperatura, °C	3	$23,1 \pm 0,1$
% Humedad	3	$5,170 \pm 0,035$
Potencial Redox mV	3	$284,6 \pm 0,2$
Conductividad eléctrica mS	3	$4,66 \pm 0,115$

Fuente: Elaboración propia

4.2. Pretratamiento:

Posteriormente se calculó la masa de la cuba, la masa del lodo residual empleado con el porcentaje de solución salina empleada en toda la muestra y así mismo la densidad de dicho lodo residual.

Tabla 5. *Densidad del lodo seco*

	Masa de la cuba, g	Tipo de electrodo	Masa del lodo, g	Volumen del lodo, ml	Disolución salina, %	Densidad del lodo, g/ml
Cuba 1	895,07	Hierro	420	367.5	15	1,142857
Cuba 2	893,43	Grafito	420	367.5	15	1,142857
Cuba 3	890,85	Aluminio	420	367.5	15	1,142857

Fuente: Elaboración propia

4.3. Tratamiento:

Tabla 6. *Muestra extraída con un tiempo de 30 minutos*

Muestras	Voltaje, V	Amperaje, A	Tiempo, min	Tipo de Electrodo	Muestra extraída (100 g)
Muestra 1	10	5,13	30	Aluminio	MA01
	10	5,13	30	Aluminio	MA02
	10	5,13	30	Aluminio	MA07
	10	5,13	30	Aluminio	MA08
Muestra 2	10	5,13	30	Grafito	MC01
	10	5,13	30	Grafito	MC02
	10	5,13	30	Grafito	MC07
	10	5,13	30	Grafito	MC08
Muestra 3	10	5,13	30	Hierro	MF01
	10	5,13	30	Hierro	MF02
	10	5,13	30	Hierro	MF07
	10	5,13	30	Hierro	MF08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. *Muestra extraída con un tiempo de 60 minutos*

Muestras	Voltaje, V	Amperaje, A	Tiempo, min	Tipo de Electrodo	Muestra extraída (100 g)
Muestra 4	10	5,13	60	Aluminio	MA03
	10	5,13	60	Aluminio	MA04
	10	5,13	60	Aluminio	MA09
	10	5,13	60	Aluminio	MA10
Muestra 5	10	5,13	60	Grafito	MC03
	10	5,13	60	Grafito	MC04
	10	5,13	60	Grafito	MC09
	10	5,13	60	Grafito	MC10
Muestra 6	10	5,13	60	Hierro	MF03
	10	5,13	60	Hierro	MF04
	10	5,13	60	Hierro	MF09
	10	5,13	60	Hierro	MF10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. *Muestra extraída con un tiempo de 90 minutos*

Muestras	Voltaje, V	Amperaje, A	Tiempo, min	Tipo de Electrodo	Muestra extraída (100 g)
Muestra 7	10	5,13	90	Aluminio	MA05
	10	5,13	90	Aluminio	MA06
	10	5,13	90	Aluminio	MA10
	10	5,13	90	Aluminio	MA12
Muestra 8	10	5,13	90	Grafito	MC05
	10	5,13	90	Grafito	MC06
	10	5,13	90	Grafito	MC11
	10	5,13	90	Grafito	MC12
Muestra 9	10	5,13	90	Hierro	MF05
	10	5,13	90	Hierro	MF06
	10	5,13	90	Hierro	MF11
	10	5,13	90	Hierro	MF12

Fuente: Elaboración propia

4.4. Conteo de microorganismos antes de la electrólisis:

Tabla 9. *Cantidad de microorganismos en las muestras*

	Coliformes totales iniciales antes de la electrólisis UFC/g	Escherichia coli totales iniciales antes de la electrólisis UFC/g
MT01	23 10 ²	18 10
MT02	22 10 ²	14 10
MT03	25 10 ²	16 10
MT04	22 10 ²	16 10
MT05	25 10 ²	18 10
MT06	23 10 ²	17 10

Fuente: Elaboración propia

4.5. Conteo de microorganismos después de la electrólisis:

Coliformes Totales.

Tabla 10. *Resultado de coliformes totales UFC/g*

N° ensayo	Electrodo	T.min	N	Media	Desviación	Min	Max
01	Aluminio	30	4	9,3 10 ²	± 455	47,5 10	13,85 10 ²
02	Aluminio	60	4	9,1 10 ²	± 554	35,6 10	14,64 10 ²
03	Aluminio	90	4	2,35 10 ²	± 20	21,5 10	25,5 10
04	Grafito	30	4	15 10 ²	± 141	13,59 10 ²	16,41 10 ²
05	Grafito	60	4	8,15 10 ²	± 115	70 10	93 10
06	Grafito	90	4	3,75 10 ²	± 25	35 10	40 10
07	Hierro	30	4	2,5 10	± 3,53	2,147 10	2,853 10
08	Hierro	60	4	0	± 0	0	0
09	Hierro	90	4	0	± 0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Escherichia Coli.

Tabla 11. *Resultado de Escherichia coli UFC/g*

N° ensayo	Electrodo	T.min	N	Media	Desviación	Min	Max
01	Aluminio	30	4	11,5 10	± 85	3 10	20 10
02	Aluminio	60	4	3,5 10	± 5	3 10	4 10
03	Aluminio	90	4	1,10	± 0	1 10	1 10
04	Grafito	30	4	8,5 10	± 20	6,5 10	10,5 10
05	Grafito	60	4	8 10	± 51	2,9 10	13,1 10
06	Grafito	90	4	22,5 10	± 2,5	22,55 10	22,75 10
07	Hierro	30	4	2 10	± 5	1,5 10	2,5 10
08	Hierro	60	4	0	± 0	0	0
09	Hierro	90	4	0	± 0	0	0

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Para la electrólisis se utilizaron tres electrodos diferentes: de hierro, aluminio y grafito.
- Se determinó la carga microbiológica tanto de coliformes totales como de *Escherichia coli*, expresado en UFC/g.
- Después de realizar la electrolisis y comparar la disminución de la carga microbiana se concluyó que con el electrodo de hierro hubo una remoción del 100 % de coliformes totales, así mismo también de Escherichia Coli en menos de una hora, con un voltaje de 10 V y amperaje de 5,13 A.
- En el electrodo de Aluminio y Grafito no se llega al 100 % de remoción de coliformes, pero se obtuvo unos valores muy significativos, esto también depende del tiempo que es un factor muy importante en la electrolisis empleado en dicho proceso ya que mientras más tiempo tenga el proceso mayor será la remoción de microorganismos.
- El tiempo adecuado para la disminución de lodos es de 30 minutos con el electrodo de Hierro.
- Los procesos electroquímicos logran la disminución de la carga microbiana siendo este método el más eficiente respecto a otro tipo de tratamientos analizados, cabe rescatar que estos lodos obtenidos cumplen con el límite propuesto por la NORMA PERUANA respecto a los patógenos existentes en dichos lodos.

5.2. Recomendaciones

- Una de las recomendaciones más importantes a futuros estudiantes que tengan interés en la tesis, es que realicen comparaciones entre el método propuesto y otros métodos diferentes de disminución de la carga microbiana y determinar su eficiencia.

CAPITULO VI: FUENTES DE INFORMACIÓN

6.1. Referencias bibliográficas

- Arango Ruíz, A. (1 de enero-junio de 2005). Electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de investigación*, 2(1), 49-46. Obtenido de www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520109
- Araujo Salazar, S. (2017). “*Remoción de coliformes totales y fecales en lodos por procesos electroquímicos, planta de tratamiento de aguas residuales – lima 2017*”. Tesis, Universidad César Vallejo, Lima- Perú.
- Aybar Escobar, C. A. (2005). *Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “La Tatora”*. Ayacucho – 2005. Tesis, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho-Perú.
- Barboza Palomino, G. I. (2011). *Reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Tatora- Ayacucho empleando la técnica de Electrocoagulación*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Lima - Perú. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza_pg.pdf
- Galvis Toro, J., & Rivera Guerrero, X. (2013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa jugos HIT de la ciudad de Pereira*. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Pereira.
- García Cárdenas, M. I. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de Coliformes fecales y totales*. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, La Cuenca. Obtenido de dspace.ups.edu.ec

- Gilpavas, E. (2008). *Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales*. Tesis, Universidad EAFIT, Escuela de Ingeniería, Medellín. Obtenido de www.eafit.edu.co/investigación
- Gómez Molina, L. L., & Merchán Bermúdez, A. M. (2016). *Caracterización Fisicoquímica De Los Lodos Provenientes De Una Planta De Tratamiento De Agua Residual Industrial De Una Empresa De Café Del Departamento De Caldas*. Tesis, Universidad Católica de Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales. Recuperado el 29 de julio de 2019, de repositorio.ucm.edu.co
- Gutiérrez Ortega, B. E. (1986). *Estudio sobre digestión aeróbica de lodos en reactores de laboratorio semicontinuos*. Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de ingeniería Civil, Monterrey.
- LEQA, G. d. (2011). *webmaster@ua.es*. Obtenido de <https://web.ua.es/es/leqa/>: <https://web.ua.es/es/leqa/tratamiento-de-aguas-residuales-por-metodos-electroquimicos.html>
- Limón Macías, J. G. (2013). *Lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales ¿Problema o recurso?* Tesis, Ingeniería Química, Guadalajara- Jalisco. Obtenido de <http://www.ai.org.mx/>
- Lluvichuzca Guapisaca, M. n. (2016). *Tratamiento De Lodos Residuales Procedentes De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Procesos*. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador. Obtenido de dspce.ups.edu.ec
- Orellana León, X. O. (2015). *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos*. Tesis, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Ingeniería, Guayaquil- Ecuador. Obtenido de repositorio.ucsg.edu.ec

- Oropeza García, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos conciencia 1*, 51-58.
- Pérez Zúñiga, M. E. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB)*. tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca -Ecuador. Obtenido de dspace.ups.edu.ec
- Porrero, J., Ramos, C., & Grases, J. y. (2014). *MANUAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL* (Primera Edición Digital ed.). Caracas: PAG Marketing Soluciones.
- Rincón Carreño, L. N. (2019). *Aprovechamiento de los lodos de planta de tratamiento de aguas residuales en empresa Láctea, municipio de Cagua*. Tesis, Fundación Universidad de América, Facultad de educación permanente y avanzada, Bogotá D.C.
- Rodríguez Morales, J. A. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización*. Tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/>
- Rojas, R. (2002). "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales". *Eliminación de microorganismos por diversos procesos de tratamiento*.
- SENCICO, S. N. (2014). *MANUAL DE PREPARACIÓN, COLOCACIÓN Y CUIDADOS DEL CONCRETO*. Lima: CARTOLAN EDITORES SRL.

ANEXOS

Resultado de Coliformes totales UFC/gTabla 12. *Resultado del análisis de coliformes totales en el electrodo de aluminio*

Muestra	Tiempo, minutos	Aluminio	
		Coliformes totales	%Remoción
MA01	30	66 10	70,66 %
MA02	30	17 10 ²	24,44 %
MA07	30	54 10	76,00 %
MA08	30	8,2 10 ²	63,55 %
MA03	60	73 10	67,55 %
MA04	60	14 10 ²	37,77 %
MA09	60	8 10	64,44 %
MA10	60	14,3 10 ²	36,44 %
MA05	90	21 10	90,66 %
MA06	90	26 10	88,44 %
MA11	90	22 10	90,22 %
MA12	90	25 10	88,88 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. *Resultado del análisis de coliformes totales en el electrodo de Grafito*

Grafito			
Muestra	Tiempo, minutos	Coliformes totales	%Remoción
MC01	30	15 10 ²	33,33 %
MC02	30	15 10 ²	33,33 %
MC07	30	17 10 ²	24,44 %
MC08	30	13 10 ²	42,22 %
MC03	60	74 10	67,11 %
MC04	60	89 10	60,44 %
MC09	60	67 10	70,22 %
	60	96 10	57,33 %
MC05	90	40 10	82,22 %
MC06	90	35 10	80,00 %
MC11	90	35 10	84,44 %
MC12	90	40 10	82,22 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Resultado del análisis de coliformes totales en el electrodo de Hierro

Muestra	Tiempo, minutos	Hierro	
		Coliformes totales	%Remoción
MF01	30	3 10	86,66 %
MF02	30	2 10	91,11 %
MF07	30	2,5 10	88,88 %
MF08	30	2,5 10	88,88 %
MF03	60	0	100 %
MF04	60	0	100 %
MF09	60	0	100 %
MF10	60	0	100 %
MF05	90	0	100 %
MF06	90	0	100 %
MF11	90	0	100 %
MF12	90	0	100 %

Fuente: Elaboración propia

Resultado de Escherichia coli UFC/g

Tabla 15. Resultado del análisis de la Escherichia coli totales en el electrodo de Aluminio

Muestra	Tiempo, minutos	Aluminio	
		Escherichia coli UFC/g	%Remoción
MA01	30	2 10	99,11
MA02	30	21 10	90,66
MA07	30	4 10	98,22
MA08	30	19 10	91,55
MA03	60	4 10	98,22
MA04	60	3 10	98,66
MA09	60	3 10	98,66
MA10	60	4 10	98,22
MA05	90	1 10	99,55
MA06	90	1 10	99,55
MA11	90	1 10	99,55
MA12	90	1 10	99,55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Resultado del análisis de la *Escherichia coli* totales en el electrodo de Grafito

Muestra	Tiempo, minutos	Grafito	
		Coliformes totales	%Remoción
MC01	30	7 10	96,88 %
MC02	30	10 10	95,55 %
MC07	30	6 10	97,33 %
MC08	30	11 10	95,11 %
MC03	60	2 10	99,11 %
MC04	60	14 10	93,77 %
MC09	60	4 10	98,22 %
MC10	60	12 10	94,66 %
MC05	90	2 10	99,11 %
MC06	90	2 10	99,11 %
MC11	90	2,5 10	98,88 %
MC12	90	2,5 10	98,88 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. *Resultado del análisis de la Escherichia coli totales en el electrodo de Hierro*

Hierro			
Muestra	Tiempo, minutos	Coliformes totales	%Remoción
MF01	30	3 10	98,66 %
MF02	30	2 10	99,11 %
MF07	30	2 10	99,11 %
MF08	30	3 10	98,66 %
MF03	60	0	100 %
MF04	60	0	100 %
MF09	60	0	100 %
MF10	60	0	100 %
MF05	90	0	100 %
MF06	90	0	100 %
MF11	90	0	100 %
MF12	90	0	100 %

Fuente: Elaboración propia