

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Tesis previa a la obtención del Título de:
Ingeniería Ambiental.

TÍTULO:

“VALIDACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ALTA CARGA
ORGÁNICA PRESENTES EN LA INDUSTRIA”

AUTORES:

JUAN FELIPE MEDINA CEVALLOS
MARCO ORLANDO PERALTA CALDERON

DIRECTOR:

PABLO AREVALO Ph.D

CUENCA.

DEDICATORIA

La veracidad del esfuerzo que plasmo en este trabajo está dedicado principalmente a mis viejos amados; desde ellos fue el impulse necesario para obras y logros. Se los dedico: esposa, hijo, motores y guías incondicionales de esta labor, caminos a pasos cerrados de prosperidad y amor. Sin ustedes dos, nada de lo que pudiera ser tendría mínimo placer. Un engrandecimiento y especial dedicatoria a mi hermano Juan Pablo, que a Él, debo mucho de lo que he podido ser. El ejercicio diario de sacrificios y labores desde niño a la mano de mis padres y hermanos, han hecho de este trabajo, uno de los más significativos que alguien quisiera y pudiera tener. Este trabajo va dedicado también a la vida, a la mano de cada uno de mis hermanos, que de lecho en lecho me han inculcado esas letras en la pequeña y analfabeta vida. Gracias Melo, gracias Ñuta.

Gracias Mama, Papa, ñaños amados. Gracias esposa por ser dueña y luz en lo que pretendo ser. Gracias a todos quienes tienen que ver en el fondo de este trabajo.

Gracias Papá...!

Juan Felipe Medina Cevallos.

En primera instancia quiero agradecer a Dios por permitirme llegar a esta etapa de realización profesional y darme la sabiduría y fuerza para llevar a cabo esta labor.

A mis Padres Melida y Marco que día a día me han respaldado brindado su cariño, apoyo y dedicación que han aportado en el forjamiento de mi vida inculcándome y enseñando que la perseverancia da frutos, a mis hermanos Noemí y Germania por su tenacidad y ayuda incondicional, gracias por estar conmigo y apoyarme siempre. A ellos este proyecto, que me han acompañado durante toda esta trayectoria.

Marco Orlando Peralta Calderón.

AGRADECIMIENTO

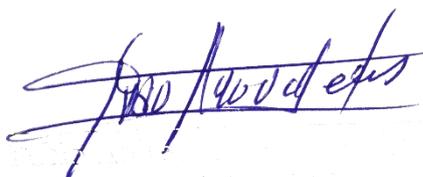
Damos un especial agradecimiento al Dr. Pablo Arévalo por su especial contribución al presente trabajo; al Ing. José Ulloa por el apoyo incondicional y desinteresado que se nos ha brindado durante el desarrollo de este trabajo. Sus aportes en el fiel conocimiento de nuestras del campo han sido cúspides elementales para la elaboración de este trabajo.

Finalmente, un profundo agradecimiento sincero a todos/as quienes hicieron que este trabajo fuera posible.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los alumnos Juan Felipe Medina Cevallos y Marco Orlando Peralta Calderón, bajo mi supervisión, como requisito previo a su incorporación de Ingenieros Ambientales.

Cuenca, Marzo del 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pablo Arévalo Moscoso', written over a horizontal line.

Pablo Arévalo Moscoso Ph.D
DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Juan Felipe Medina Cevallos y Marco Orlando Peralta Calderón, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los Autores.

Cuenca, Marzo del 2015



Juan Felipe Medina Cevallos



Marco Orlando Peralta Calderón

INDICE

ÍNDICE DE GRAFICOS	XII
JUSTIFICACIÓN:	XIII
OBJETIVOS:	XV
HIPOTESIS:	XVI
CAPITULO I	17
EL AGUA	17
1.1 GENERALIDADES	17
1.2 EL AGUA Y LA VIDA	17
1.3 EL AGUA EN LA TIERRA	18
1.3.1 Distribución del agua en la naturaleza.	18
1.4 CICLO HIDROLOGICO	19
1.5 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL AGUA.....	21
1.6 CALIDAD DEL AGUA	22
1.7 EL USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA	24
1.8 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	24
1.8.1 Generalidades.....	24
1.8.2 Alteraciones del agua	26
1.9 AGUAS RESIDUALES.	31
1.9.1 Generalidades.....	31
1.9.2 Características de las aguas residuales.....	32
1.9.3 Características físicas.....	32
1.9.4 Características Químicas.....	32
1.10 NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DE AGUA.....	34
1.10.1 Principales parámetros	39
1.10.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO).....	39
1.10.3 Demanda química de oxígeno (D.Q.O).....	41
1.11 TRATAMIENTO ELECTROQUIMICO DE EFLUENTES.....	42
1.11.1 Generalidades.....	42
1.11.2 Definición.	42

1.11.3	Principios.....	42
1.11.4	Reacciones de reducción – oxidación.....	43
1.12	ELECTROLISIS.....	43
1.13	ELECTRODOS.....	45
1.14	ELECTROLITO.....	45
1.15	Corriente eléctrica y movimiento de iones.....	46
1.16	METODOS ELECTRONICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	47
1.16.1	Electrofloculación.....	47
1.16.2	Electro decantación.....	48
1.16.3	Electrocoagulación.....	48
CAPITULO II.....		49
METODOLOGIA.....		49
2.1	DISEÑO DEL PROTOTIPO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE ELECTROCUAGULACIÓN.....	49
2.1.1	Diseño y construcción del prototipo.....	49
2.1.2	Fuente de poder.....	50
2.1.3	Electrodos.....	51
2.1.4	Rotámetro.....	53
2.2	Tipo de Investigación.....	53
2.3	METODO DE MUESTREO.....	54
2.4	TIPO DE MUESTREO.....	54
2.5	UNIVERSO Y MUESTREO.....	54
2.5.1	Universo.....	54
2.5.2	Muestra.....	55
2.6	MATERIALES Y REACTIVOS (ver Anexo 1).....	56
2.7	FORMA DE ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS.....	57
CAPITULO III.....		60
ANALISIS Y RESULTADOS.....		60
3.1	VARIABLES ESTUDIADAS.....	60
3.1.1	Análisis del porcentaje de remoción de las unidades de color.....	60
3.1.2	Análisis del porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.....	75
CAPITULO IV.....		83

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
Validación del prototipo.	84
CAPITULO V.....	86
RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFIA	88
ANEXOS	91
ANEXO 1. EQUIPOS UTILIZADOS	91

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo Hidrológico.....	211
Ilustración 2. Estructura del Agua.....	222
Ilustración 4. Reacción reducción-oxidación.....	433
Ilustración 5. Electrólisis.....	444
Ilustración 6. Electrolito.....	466
Ilustración 7. Corriente eléctrica y movimiento de iones	477
Ilustración 8. Celda electrolítica - diseño.....	50
Ilustración 9. Fuente de poder.....	511
Ilustración 10. Electrodo.....	52
Ilustración 11. Rotámetro.....	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Agua en la tierra.....	199
Tabla 2. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	366
Tabla 3. Medidas del prototipo electrolítico	499
Tabla 4. Dimensiones de electrodos.....	52
Tabla 5. Valores de muestras	55
Tabla 6. Hipótesis.....	58
Tabla 7. Valores-P Porcentaje de remoción de las unidades de color.	66
Tabla 8. Valores-P Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.	73
Tabla 9. Prueba Múltiple de Rangos.	74
Tabla 10. Valores-P Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno.	81

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1. Diagrama de Caja y bigotes.	61
Grafico 2. Diagrama de Caja y bigotes.	62
Grafico 3. Diagrama de Caja y bigotes.	63
Grafico 4. Diagrama de Caja y bigotes.	65
Grafico 5. Diagrama de caja y bigotes.	68
Grafico 6. Diagrama de caja y bigotes.	69
Grafico 7. Diagrama de caja y bigotes.	70
Grafico 8. Diagrama de caja y bigotes.	71
Grafico 9. Grafica de medias de Fisher.	75
Grafico 10. Diagrama de caja y bigotes.	77
Grafico 11. Diagrama de caja y bigotes.	78
Grafico 12. Diagrama de caja y bigotes.	79
Grafico 13. Diagrama de caja y bigotes.	80

JUSTIFICACIÓN:

El agua es el principal y más importante componente de nuestro planeta, desde los inicios ha ocupado el 75 % de la superficie terrestre en diferentes estados para sustentar la naturaleza, este en un compuesto que forma gran parte de todos los seres vivos: sin agua no hay vida. Es por ello que el ser humano como se racional ha empleado este recurso natural gastándolo y contaminándolo de forma indiscriminada, en sus actividades diarias para su supervivencia y con el afán de crecer económicamente, que va desde los inicios de la revolución industrial, sin importarle la explotación irracional de este y varios recursos que posee la naturaleza. (Pratts, 2008)

Las actividades económicas son parte esencial para la existencia de las sociedades, es así que la contaminación hídrica, en las últimas décadas se ha mostrado como el principal problema a nivel mundial, principalmente debido a actividades económicas que son fuente permanente de contaminación como, agrícolas, ganaderas, industriales, domésticas y mineras, las mismas que alteran el equilibrio ecológico y ambiental del agua de los ríos, lagos, mares y océanos, provocando la muerte de varias especies.

El agua proveniente de la actividad doméstica, genera gran cantidad de efluentes contaminantes, ya que son utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavandería, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares. (G.E.I.A.- U.T.N. Universidad Tecnológica Nacional - Buenos Aires – Argentina).

Las aguas residuales son un permanente y considerable foco de contaminación de los sistemas acuáticos alterando su equilibrio natural, influyendo directa o indirectamente sobre la salud de las personas. Es por ello que se ha visto la necesidad de incorporar los sistemas de depuración antes de su evacuación, como medida importante para la conservación de dichos sistemas.

Según datos de ETAPA Cuenca produce una cantidad de 2.27 a 2.50m³/s de litros de aguas residuales, causado una problemática y alterando el equilibrio ecológico biótico de nuestros causes. Por tal razón, es necesario desarrollar e investigar técnicas y métodos para mitigar o reducir las concentraciones de materia orgánica que genera las aguas residuales antes de evacuarlos a los ríos y así impedir que se destruya la biota de los causes de nuestra zona.

La técnica escogida para desarrollar la presente investigación corresponde a un estudio que se adapta a las condiciones y características de nuestro medio. El tratamiento que se dará a las aguas residuales provenientes de actividades industriales con alto contenido de materia orgánica, con alto contenido de materia orgánica (D.Q.O Y D.B.O) y coloración, será la utilización de procesos electroquímicos, para la obtención de productos menos tóxicos, presentando esta técnica con medidas y resultados a corto plazo.

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presentes en la industria.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Generar un agua residual sintética en condiciones controladas.
- Determinar los factores que influyen en el proceso de tratamiento del agua residual para obtener los mayores porcentajes de eliminación de parámetros de DBO, DQO y coloración.
- Establecer la efectividad del modelo en la reducción del DBO, DQO y coloración.
- Validar el proceso de tratamiento de aguas residuales con un agua proveniente de una industria con efluentes con alta carga contaminante.

HIPOTESIS:

H0.- LAS AGUAS DE ALTA CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR EMPRESAS PRODUCTIVAS PODRÁN SER DEPURADAS POR PROCESOS DE ELECTROCOAGULACIÓN ESTABLECIENDO UN NUEVO MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS MISMAS.

H1.- LAS AGUAS DE ALTA CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR EMPRESAS PRODUCTIVAS NO PODRÁN SER DEPURADAS POR PROCESOS DE ELECTROCOAGULACIÓN ESTABLECIENDO UN NUEVO MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS MISMAS.

CAPITULO I

EL AGUA

1.1 GENERALIDADES

En este capítulo se revisara la importancia del agua, la misma que es indispensable para la vida y enormes consecuencia de su composición y estructura, tiene una molécula sencilla formada tres átomos pequeños, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, esta composición es fundamental para todo ser vivo en el planeta.

En el planeta su forma natural se encuentra en tres estados: liquido, sólido (hielo) y gas (vapor), se puede decir que es un líquido inodoro, insípido y en pequeñas cantidades, incoloro.

1.2 EL AGUA Y LA VIDA

El agua es vida, sin esta sustancia, aparentemente simple, no sería posible la existencia de la vida como la conocemos. Desde el inicio de vida en el planeta el agua ha formado parte importante de la evolución de la vida ya que los primeros organismos habitaron en ambientes acuáticos.

El agua forma parte importante en la vida de los seres humanos, las plantas y los animales, donde el contenido en el cuerpo del hombre es 60% agua, en los animales el contenido de agua varía entre 60-90%.

Una persona puede sobrevivir sin consumir alimentos por un largo periodo, solo podrá vivir sin beber agua alrededor de una semana.

No solo nosotros dependemos del agua para subsistir, también los ecosistemas el agua actúa directamente o indirectamente en la mayoría de los procesos funcionales, por ejemplo la descomposición de la hojarasca y restos de las plantas y animales es un proceso fundamental para incorporar nutrientes esenciales al suelo que son utilizados por las plantas y este proceso se hace muy lento si no hay suficiente agua.

1.3 EL AGUA EN LA TIERRA

1.3.1 Distribución del agua en la naturaleza.

De la superficie total de la Tierra, más del 70% está ocupado por el agua que forma los mares y océanos. El agua es uno de los elementos más comunes en la tierra; en estado líquido se halla en lagos ríos y presas y ocupa los mares y océanos circundantes; en estado gaseoso se presenta como vapor de agua en la atmósfera; y en estado sólido cubre las regiones polares y las montañas más altas en forma de hielo o nieve. (Aranda- Cicerol)

“El suministro de agua del planeta está dominado por los océanos.

Aproximadamente el 97% de toda el agua en la Tierra está en los océanos. El otro 3% se mantiene como el agua dulce en los glaciares y capas de hielo, las aguas subterráneas,

*lagos, suelos, la atmósfera, y dentro de la vida.*¹

Tabla 1. Agua en la tierra

Reservorios	Volumen (km³ x 1,000,000)	Porcentaje (%)
Océanos	1370	97.25
Glaciares	29	2.05
Agua subterránea	9.5	0.68
Lagos	0.125	0.01
Suelos húmedo	0.065	0.005
Atmósfera	0.013	0.001
Ríos	0.0017	0.0001
Biosfera	0.0006	0.00004

Fuente: Dr. Juan Julio Ordoñez Gálvez \ Sociedad Geográfica de Lima

1.4 CICLO HIDROLOGICO

El funcionamiento del ciclo del agua o ciclo hidrológico, fue descubierto en el siglo 17, por dos investigadores franceses: Pierre Perrault y Edmè Mariotté, el ciclo hidrológico constituye el punto de partida de la hidrología como ciencia. Posteriormente, Edmund Halley realizó mediciones de evaporación en el Mar Mediterráneo, demostrando que el volumen evaporado era suficiente para suplir la cantidad de agua que retorna a través de los ríos.

“El ciclo hidrológico, es un modelo conceptual que describe el almacenamiento y movimiento del agua entre la Biosfera, Atmósfera, Litosfera, Hidrosfera, lo que se denomina Sistema Climático”²

¹ Ordoñez Juan, *Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico*, Sociedad Geográfica de Lima, Lima- Perú, 2011,p.8

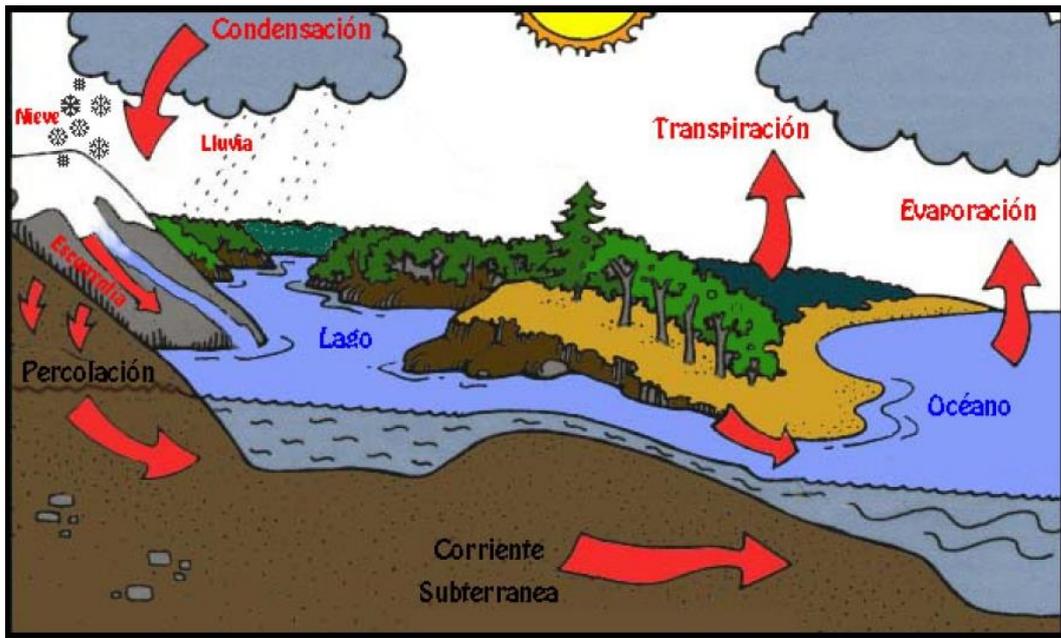
http://www.gwp.org/Global/GWPSAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf

² Ordoñez Juan, *Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico*, Sociedad Geográfica de Lima, Lima- Perú, 2011,p.7 http://www.gwp.org/Global/GWPSAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf

El ciclo Hidrológico es el proceso de etapas o movimiento que se da por medio de distintos fenómenos que hacen circular el agua, desde el mar hasta la atmosfera, luego vuelve nuevamente a la tierra por medio de los siguientes procesos:

- **Precipitación:** Es la caída del agua en forma de lluvia. Son provocados por intercambio de temperatura o de la presión.
- **Evaporación:** ocurre cuando la radiación solar hace subir el agua en forma de vapor o humedad desde el mar hasta la atmosfera.
- **Transpiración:** este fenómeno tiene que ver con las plantas, donde las raíces de la planta absorben el agua del suelo y por medio del metabolismo de las plantas se evapora.
- **Intercepción o retención:** Es la precipitación interceptada u obstaculizada por algunos objetos que se encuentran en la superficie de la tierra, como como la vegetación, infraestructuras, donde se evapora.
- **Corrientes subterráneas:** estas aguas son las que llegan a infiltrarse, las mismas que fluyen subterráneamente, las mismas que luego se unen a lagos y ríos.
- **Escorrentía superficial:** el agua llega a la superficie de la tierra las mismas pueden fluir en arroyos, la misma pueden desembocar en los ríos.

Ilustración 1. Ciclo Hidrológico



Fuente: <http://www.explora.cl/descubre/articulos-de-ciencia/naturaleza-articulos/agua-articulos/1690-descubre-articulos-de-ciencia-naturaleza-agua>

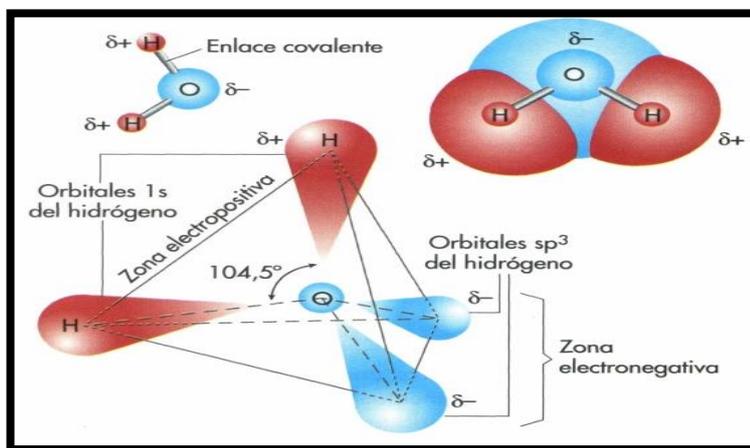
Los océanos, suministran la mayor parte del agua como producto de la evaporación y sólo el 91% es devuelto a las cuencas oceánicas por medio de la precipitación el 9% restante se transporta a las zonas continentales donde los factores climatológicos inducen la formación de la precipitación

1.5 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

El agua es una molécula formada por 3 átomos, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes fuertes que hacen que la molécula sea estable.

La molécula tiene una geometría angular (los dos átomos de hidrógeno forman un ángulo de unos 105°) lo que la hace una molécula polar que puede unirse a otras muchas sustancias polares.

Ilustración 2. Estructura del Agua



Fuente: <http://bulldogpuppys.net/agua/agua-y-sales-minerales.html>

1.6 CALIDAD DEL AGUA

La ciudad de Cuenca a través de su empresa ETAPA (Empresa de Telecomunicaciones, de agua Potable y Alcantarillado), trabaja desde 1984 para recuperar la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, siendo pionera a nivel de país y tomada como modelo para el resto de ciudades.

En el periodo 1984-1989 realizó los estudios del plan maestro de control de la contaminación, inclusive antes de que entre en vigencia el Reglamento de Prevención y control de la Contaminación del Recurso Hídrico, lo que refleja la política y visión de ETAPA de preocuparse por la conservación del agua y el bienestar de los cuencanos.

Las aguas residuales generadas por la ciudadanía eran descargadas directamente en 270 diferentes puntos, a los ríos y quebradas de la ciudad, lo que provocaba una fuerte contaminación a los cuerpos hídricos que presentaban un aspecto séptico, color gris negruzco, olores pestilentes y ausencia de vida acuática deseable. La contaminación más crítica la recibía el río Tomebamba ya que la ciudad desde épocas remotas desarrolló a su alrededor.

Entre 1984-1985 se realizaron 16 monitoreos en varias estaciones de los diferentes ríos y quebradas de la ciudad de Cuenca, que eran utilizados como receptores de las aguas residuales domésticas generadas en la ciudad. Esta información sirvió para diagnosticar el estado en que se encontraban estos cursos de agua y realizar el Plan Maestro de la Contaminación de los ríos.

En la década de los 90 se construyeron las obras previstas en el Plan Maestro I para el control de la contaminación en el área urbana de la ciudad de Cuenca como: ampliación de la cobertura de alcantarillado combinado, reposición de colectores antiguos, interceptores que recolectan las aguas residuales generadas en la ciudad, emisario final y planta de tratamiento de aguas residuales.

A partir de 1991 se implementó en ETAPA un programa de vigilancia de la calidad de agua de los ríos de Cuenca, que permite entre otros establecer indicadores de beneficio de las obras de interceptación. Los monitoreos en las diferentes estaciones tienen una frecuencia de mensual a trimestral. Las variables físicas, químicas y bacteriológicas estudiadas son: oxígeno disuelto, temperatura, pH, DBO5, turbiedad, Coliformes, nitratos, fósforo total, sólidos totales y conductividad.

De acuerdo al diagnóstico realizado en el Plan Maestro I (1984-89), la calidad de las aguas de los ríos de Cuenca, estaba afectada principalmente en dos parámetros que eran Coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno 5 (DBO5), lo que nos indica que la principal fuente de contaminación para los ríos de Cuenca era la producida por los desechos domésticos.

Mientras que la DBO es un indicador de la contaminación por materia orgánica, que consume oxígeno para estabilizarse, y tiene influencia directa en la salud del ecosistema del río, los Coliformes son un indicador que puede restringir el uso del agua por los seres humanos (www.etapa.com 2007).

1.7 EL USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA

El agua es un recurso fundamental para la actividad industrial, su utilización ha variado a lo largo del tiempo, dando paso al aprovechamiento como fuente de energía por medio de molinos y turbinas, utilizándose también la actividad minera; pero continua siendo imprescindible para el desarrollo industrial usada para servicios generales, procesos, reacción y disolvente o como regulador térmico en calderas y torres de refrigeración.

1.8 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

1.8.1 Generalidades.

“El agua se considera contaminada cuando se altera su composición o condición natural por una degradación instantánea o paulatina de su calidad, hasta dejar de ser apta para el uso previsto.

Hay varios tipos de contaminación: física, química y biológica, que se originan en descargas de desechos líquidos o sólidos.

EL grado de contaminación depende de la cantidad y concentración de los elementos perjudiciales vertidos.

Las alteraciones físicas corresponden a variaciones de la calidad natural de las aguas (color, olor, sabor y temperatura).

Las alteraciones químicas pueden ser de origen orgánico e inorgánico: estas últimas son las más dañinas, pues alteran y retardan acciones de tipo orgánico. Las alteraciones biológicas se ocasionan por la presencia de microorganismos patógenos.

La calidad del agua está directamente relacionada con sus usos. La presencia de ciertos elementos, en suspensión o disolución, puede ser perjudicial para la salud humana en una medida en que sobrepase ciertos límites. Uno de los problemas ambientales más serios en el Ecuador es precisamente la utilización de los cauces, estuarios y lagos como receptores de descargas de alcantarillados municipales, efluentes domésticos e industriales y

*desperdicios agrícolas sin tratamiento previo alguno*³

1.8.2 Alteraciones del agua

Alteraciones físicas del agua

Alteraciones físicas	Contaminación que indica
Color	<p>El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen.</p> <p>Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación</p>
Olor y sabor	<p>Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor</p>

³ GIUSEPPINA, Da Ros, Libro: LA CONTAMINACION DEL AGUAS EN ECUADOR: una aproximación económica. ISBN: 9978-04-109-5. Editorial Abya Yala, Quito-Ecuador. P25

Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C. Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.
Materiales en suspensión	Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)
Radioactividad	Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C

Fuente: Luis Echarri. Asignatura: Población, ecología y ambiente 2007.

Alteraciones químicas del agua

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
pH	Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO ₂ disuelto en la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO ₂ formando un sistema carbonato/bicarbonato. Las aguas contaminadas con vertidos minerales industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los coagulantes y floculantes, tratamientos de depuración, etc.
Oxígeno disuelto	Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Materia Orgánica biodegradable Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	DBO5 es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da una idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuánto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cuál está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.

<p>Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)</p>	<p>Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.</p>
<p>Nitrógeno total</p>	<p>Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.</p>
<p>Fosforo total</p>	<p>El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.</p>

<p>Aniones:</p> <p>Cloruros</p> <p>nitratos</p> <p>nitritos</p> <p>fosfatos</p> <p>sulfuros</p> <p>cianuros</p> <p>fluoruros</p>	<p>Indican salinidad</p> <p>indican contaminación agrícola</p> <p>indican actividad bacteriológica</p> <p>indican detergentes y fertilizantes</p> <p>Indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.)</p> <p>Indican contaminación de origen industrial en algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.</p>
<p>Cationes:</p> <p>Sodio calcio y magnesio</p> <p>amonio</p> <p>metales pesados</p>	<p>Indica salinidad</p> <p>Están relacionados con la dureza del agua contaminación con fertilizantes y heces de efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica; (se estudian con detalle en el capítulo correspondiente)</p>
<p>Compuestos orgánicos</p>	<p>Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. La contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos se estudia con detalle en los capítulos correspondientes.</p>

Fuente: Luis Echarri. Asignatura: Población, ecología y ambiente 2007.

Alteraciones biológicas del agua

Alteraciones biológicas del agua	Contaminación que indica
Bacterias Coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización

Fuente: Luis Echarri. Asignatura: Población, ecología y ambiente 2007.

1.9 AGUAS RESIDUALES.

1.9.1 Generalidades

A las aguas residuales también se puede dominar aguas servidas, negras o cloacales, las cuales resultan del uso doméstico o industrial; están constituidas por aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas lluvia.

Se puede decir residual porque constituye un residuo ya que no sirve para el usuario directo, o negras por el color que habitualmente tiene. Las aguas residuales domesticas son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana.

Las aguas residuales industriales, son aquellas que resultan de desarrollo de un proceso productivo, incluyendo a las de la actividad minera, agrícola, agro industrial, entre otras.

1.9.2 Características de las aguas residuales.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.

1.9.3 Características físicas.

La característica más importante es su contenido total de sólidos, que está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103 -105 °C.

Otras características son el color, olor, y temperatura, donde el color de un agua residual reciente suele ser gris a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos el oxígeno disuelto se reduce a cero y el color del agua cambia a negro; el olor es debido a la descomposición de la materia orgánica y los gases que se producen a consecuencia de ello, el agua reciente tiene un olor desagradable.

1.9.4 Características Químicas

1.9.4.1Materia orgánica

Las aguas residuales reciben sales inorgánicas y materia orgánica de la preparación de alimentos y la acción biológica del ser humano, los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrogeno y oxígeno.

Los principales grupos de sustancias orgánicas hallados en las aguas residuales son las proteínas con el 40 a 60%, carbohidratos 25 a 50% y grasas y aceites con el 10%.

1.9.4.2Materia inorgánica

Los compuestos inorgánicos de las aguas residuales tienen importancia para el control de la calidad de agua, las sustancias inorgánicas tienen formaciones geológicas por el contacto, y agua residual tratada o sin tratar que se descarguen.

Entre la materia inorgánica en las aguas residuales y es de suma importancia es el ion de hidrogeno (pH), la misma que es un parámetro de calidad de agua natural como residual. Las aguas residuales que poseen pH inadecuados son las que usualmente son difíciles de tratar con procesos biológicos.

1.9.4.3Olores Generados

Los olores son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica, principalmente por la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles, tiene un olor desagradable.

1.10 NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DE AGUA

Para nuestro trabajo de tesis y en especial para el control de la calidad de agua en el Ecuador tenemos la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, donde nos presenta límites, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado, los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos y los principales métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua, todo esto en el Libro VI ANEXO 1, del Texto Unificado de Legislación medio Ambiental (TULSMA).

Según la clasificación, en conformidad al TULSMA, se considera los criterios generales de calidad para aguas de uso industrial que detalla los parámetros en la descarga de efluentes en sistema de alcantarillado público, mediante el Art. 4.2.2, numeral 4.2.2.1, que se describen a continuación:

“4.2.2 Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público

4.2.2.1 Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).

b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.

c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.

d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.

e) Fosgeno, cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno, sustancias comprobadamente tóxicas.”⁴

Los límites de descarga que deben cumplir las aguas residuales, se presenta la siguiente tabla:

⁴ TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN MEDIO AMBIENTAL (TULSMA), LIBRO VI ANEXO I, 2008.

Tabla 2. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

PARAMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonas	CO3	mg/l	0,1
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN-	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5

Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia

Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

Fuente: Texto Unificado de Legislación Medio Ambiental (TULSMA), Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua, 2008.

1.10.1 Principales parámetros

1.10.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Este parámetro nos ayuda a medir la media del oxígeno disuelto utilizada por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, como también nos ayuda a medir la cantidad aproximada de oxígeno que se requiere estabilizar la materia orgánica, esta determinación se lo realiza al cabo de cinco días en condiciones estándar.

1.10.2.1 Métodos para determinar la DBO

Para determinar la DBO de un agua residual, la misma se diluye convenientemente con agua destilada con una concentración a saturación de oxígeno, la muestra se mide la concentración inicial de oxígeno disuelto (OD), después se incuba a temperatura de 20 °C y luego de un tiempo determinado se mide nuevamente la concentración de OD. Se registrara la disminución en la concentración de OD esto es debido a la utilización hecha durante el tiempo de incubación por los microorganismos para metabolizar la materia orgánica del volumen de muestra diluida, y de este resultado se calcula la cantidad de oxígeno requerido para el tratamiento similar de un volumen normal no diluido.

1.10.2.2 Fórmula para calcular la DBO

Para el cálculo de la DBO en proporciones a la cantidad de oxígeno se determina de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$DBO = \frac{(V_f - V_i) \times N \times Eq \times 1000}{V}$$

Dónde:

v_f : Volumen del titulante consumido después de 5 días.

V_i : Volumen del titulante consumido en el primer día.

N: Normalidad del oxígeno.

Eq: equivalente químico del oxígeno.

V: Volumen del recipiente.

1.10.3 Demanda química de oxígeno (D.Q.O)

La DQO se determina para medir el contenido de materia orgánica en aguas naturales y residuales; para determinar este parámetro se utiliza un agente químico oxidante en medio ácido, adicionando una cantidad determinada en la muestra, la DQO de una muestra es por lo general mayor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de compuestos que pueden oxidarse por vía química. Normalmente dura este proceso en una 2 a 3 horas.

1.10.3.1 Método para determinar la DQO

Para analizar la Demanda Química de Oxígeno se puede utilizar el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_2$) a la muestra de agua residual a un volumen determinado, y a un pH menor a 7 y destilando a reflujo el sistema durante un tiempo de 2 a 3 horas, después de esto, el dicromato sobrante de la oxidación de la materia orgánica (MO) se evalúa mediante un agente reductor especialmente, sulfato amoníaco ferroso. Para ver si hay oxidación de la MO presente en el efluente, se determina entre la cantidad inicial de dicromato y la determinada por valoración.

Por lo tanto la DQO es la cantidad de dicromato consumido expresado en mg/l de oxígeno presente en la disolución.

1.11 TRATAMIENTO ELECTROQUIMICO DE EFLUENTES.

1.11.1 Generalidades

A lo largo del tiempo el desarrollo ha sido fundamental para el ser humano, las mismas han tenido consecuencias en el Medio Ambiente, principalmente el crecimiento poblacional como el crecimiento de las industrias, las cuales vierten los efluentes líquidos a los medios acuáticos naturales. Normalmente, el tratamiento de las aguas, previo a su vertido en medios acuáticos naturales, consiste en la aplicación de una secuencia de operaciones unitarias, que tiene por objetivo eliminar los contaminantes del modo más económico posible.

En la actualidad hay varios métodos que se aplican en el tratamiento de las aguas residuales, una de ellas es la aplicación de la energía eléctrica a través de agua.

1.11.2 Definición.

Se puede decir que la electroquímica es la rama de la química que estudia el uso de la electricidad para producir reacciones químicas, estas reacciones se dan en la interface de un conductor eléctrico (llamado electrodo o un semiconductor) y un conductor iónico (electrolito) que es una disolución o un sólido.

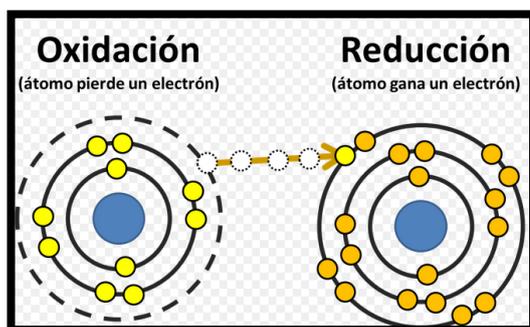
1.11.3 Principios.

Se basa principalmente haciendo pasar energía eléctrica a través del agua, esta a su vez contiene un electrolito, y provocando oxidación- reducción tanto en el cátodo y en el ánodo; por lo tanto la energía eléctrica es un vector de descontaminación ambiental.

1.11.4 Reacciones de reducción – oxidación.

En las reacciones que se dan aplicando esta técnica, se dan principalmente en el ánodo y cátodo, en la primera se da la oxidación de los compuestos a eliminar (orgánico o inorgánicos) se da por transferencia de electrones en la superficie del ánodo o por un agente oxidante in-situ, en cambio en el cátodo se da la reducción de metales tóxicos.

Ilustración 3. Reacción reducción-oxidación



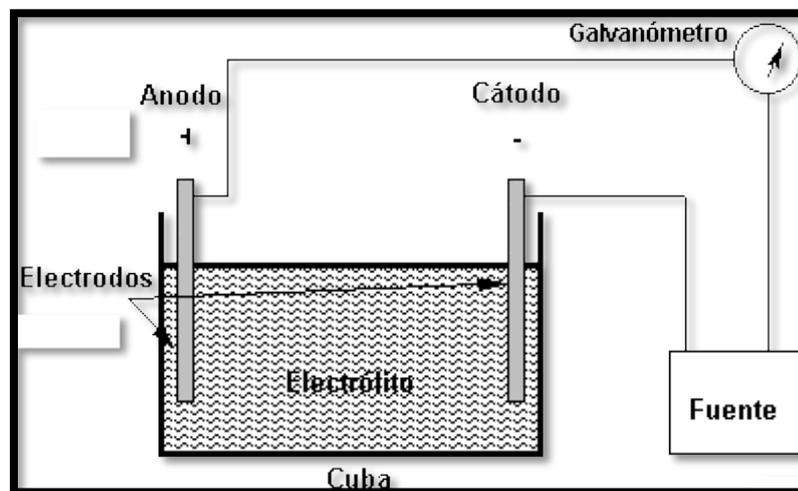
FUENTE: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-una-bateria/>

1.12 Electrolisis.

“Es una tecnología electroquímica mediante la que se provoca un cambio químico en un líquido por intervención de la energía eléctrica. La energía eléctrica se introduce mediante la aplicación de una diferencia de

potencial entre dos elementos conductores (electrodos) insertos en el líquido. El líquido en el que se provoca la reacción química debe ser conductor y contener sustancias capaces de oxidarse y/o reducirse. La diferencia de potencial genera un paso neto de corriente eléctrica (electrones) entre los electrodos, con la consiguiente oxidación de algunas especies en la superficie de uno de los electrodos (ánodo) y la reducción de otras en el otro (cátodo).”⁵

Ilustración 4. Electrólisis



Fuente:http://www.fisicanet.com.ar/quimica/electrolisis/ap06_electrolisis.php

⁵ CAÑIZARES,P, *Tratamiento de aguas residuales: Tratamiento electroquímico en la depuración de efluentes industriales líquidos*, Dpto. De Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Castilla-La Mancha, España, Septiembre, 2004, P. 4.

1.13 ELECTRODOS

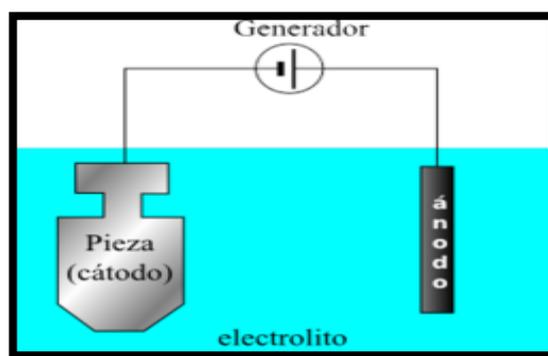
Son por lo general de metal en contacto con un electrolito, sistema físico donde se produce una semireacción redox, la cual que se caracteriza por transferencia de electrones.

El potencial de electrodo por ejemplo utilizando una barra de zinc en agua, una parte de los átomos de Zinc pasan a la disolución en forma de cationes, generándose un equilibrio y una diferencia potencial, llamada también potencial de electrodo.

1.14 ELECTROLITO

Es cualquier sustancia que contiene iones libres y se comportan como conductor eléctrico. En general consiste en iones en solución, como ácidos, bases o sales. Se forman normalmente cuando una sal se coloca en un solvente (agua), y los componentes individuales se disocian debido a las interacciones entre las moléculas del solvente y el soluto.

Ilustración 5. Electrolito.



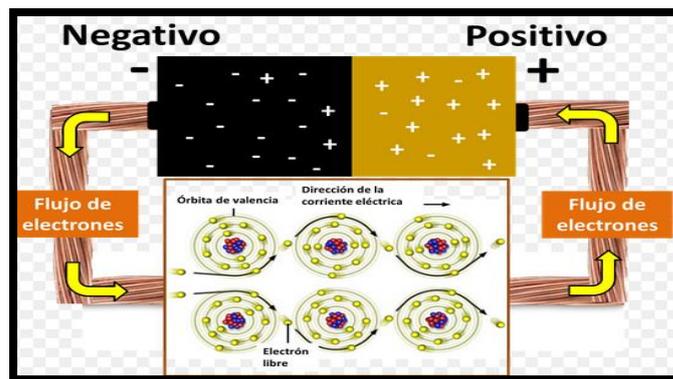
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrolito>

1.15 Corriente eléctrica y movimiento de iones.

“La mayoría de los compuestos inorgánicos y algunos de los orgánicos se ionizan al fundirse o cuando se disuelven en agua u otros líquidos; es decir, sus moléculas se disocian en especies químicas cargadas positiva y negativamente que tienen la propiedad de conducir la corriente eléctrica. Si se coloca un par de electrodos dentro de una solución de electrolito (compuesto ionizable) y se conecta una fuente de corriente continua entre ellos, los iones positivos de la solución se mueven hacia el electrodo negativo y los iones negativos hacia el positivo. Al llegar a los electrodos, los iones pueden ganar o perder electrones y

transformarse en átomos neutros o moléculas; la naturaleza de las reacciones del electrodo depende de la diferencia de potencial o voltaje aplicado”⁶

Ilustración 6. Corriente eléctrica y movimiento de iones



FUENTE: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-un-circuito-electrico/>

1.16 METODOS ELECTRONICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

1.16.1 Electrofloclación.

Se adecuada para tratarlos los efluentes difíciles, para grandes caudales y cualquier agua residual. Estas técnicas involucran la adición electrolítica de iones metálicos coagulantes directamente del electrodo de sacrificio. Los iones permiten que los contaminantes se aglomeren de la misma forma que si se

⁶ MALDONADO, Andrea, entre otros, *Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos*, Tesis, UPS, Marzo, 2011, P.50.

adiciona un producto químico como sulfato de aluminio, cloruro férrico, entre otros, y permitir con ellos su remoción.

“En la electrofloculación, se favorece la remoción de los contaminantes debido a que son arrastrados por las burbujas de gas que se generan en el sistema (H₂ y O₂), por lo que tienden a flotar en la superficie. Para tener mejores rendimientos es necesario instalar un sistema que garantice la remoción de la espuma que flota.”⁷

1.16.2 Electro decantación.

Separa por gravedad acelerado con campo eléctrico, se compone por un sedimentador de alta tasa, placas paralelas, con barras de electrodos para campo magnético.

Se puede decir que la decantación es un método físico de separación de un sólido o líquido más denso de otro líquido menos denso y ocupa la parte superior de la mezcla

1.16.3 Electrocoagulación.

“Este procedimiento implica la inyección de iones metálicos para aglutinar los contaminantes dispersos en un agua sacrificando directamente a uno de los electrodos (Ánodo) complementado con el barrido por arrastre del gas generado.”⁸

⁷ CASTILLO, Hugo; RIVERA, Alfredo, X congreso Bolivariano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “Ambiente y Desarrollo impulsores del progreso” Electrocoagulación, Electrofloculación, Electroflotación y reducción, in-situ de cloro, p. 2-6.

CASTILLO, Hugo; RIVERA, Alfredo, X congreso Bolivariano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “Ambiente y Desarrollo impulsores del progreso” Electrocoagulación, Electrofloculación, Electroflotación y reducción, in-situ de cloro, p. 2-6.

CAPITULO II

METODOLOGIA

2.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE ELECTROCUAGULACIÓN

2.1.1 Diseño y construcción del prototipo

El diseño del prototipo se basa en una celda electrolítica en forma cilíndrica, la cual tiene las siguientes dimensiones:

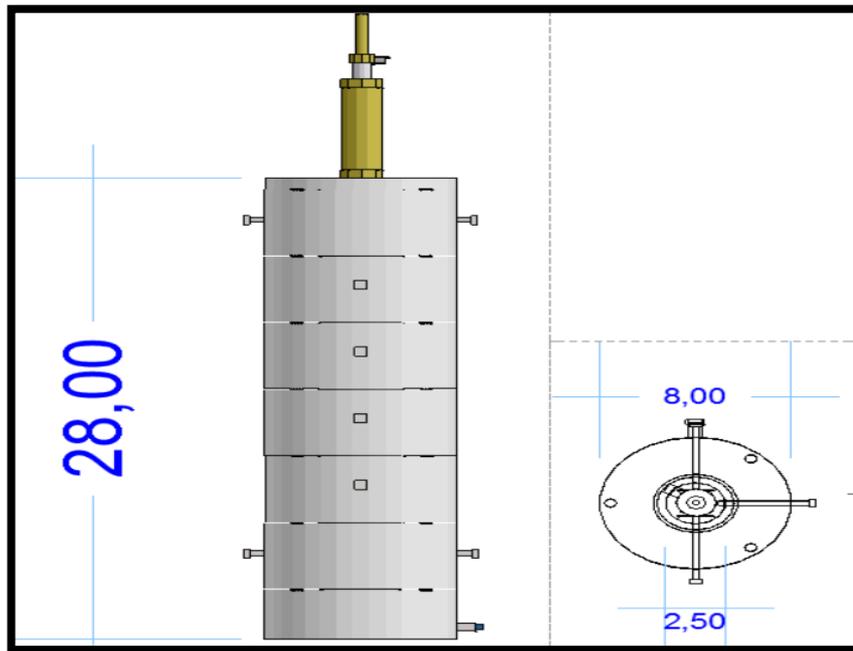
Tabla 3. MEDIDAS DEL PROTOTIPO ELECTROLITICO

MEDIDAS	
Largo	28cm
Diámetro externo	8cm
Diámetro interno	2.5 cm

FUENTE.: AUTORES

Al interior del cilindro en la boca de entrada de agua están enlazadas 2 placas de electrodos, acopladas al sistema para regular las distancias de las mismas.

Ilustración 7. Celda electrolítica - diseño



Fuente: Autores

2.1.2 Fuente de poder

Es un dispositivo que convierte la tensión alterna de la red de suministro en tensión o corriente continua, a varias tensiones, la cual consta de fusibles para cuando haya una descarga eléctrica o un corto circuito en el sistema no haya ningún desperfecto, rectificadores entre otros componentes, la fuente tiene la facilidad de regular y adaptarla a cualquier aparato al que se conecta.

Ilustración 8. Fuente de poder



Fuente: Autores

2.1.2.1 Características de la fuente de poder

La fuente de poder tiene las siguientes características:

- Tensión de entrada de 110 V y 220V de corriente alterna
- Tensión de salida de 0 a 30 V de corriente corriente continua
- Peso de 4kg
- Dimensiones de 291 x 158 x 136 mm
- Display de led digital.

2.1.3 Electrodo

Son conductores eléctricos las mismas que son de aluminio y hierro, los dos pueden ser ánodo y cátodo; el ánodo es el electrodo sobre el que se produce la oxidación, y el cátodo es el electrodo sobre el que se produce la reducción.

Los motivos que se escogieron el aluminio y hierro fueron principalmente porque son económicos y su disponibilidad en el mercado.

Ilustración 9. Electrodo



Fuente: Autores

2.1.3.1 Dimensiones y disposición de los electrodos

Los electrodos se diseñaron como placas rectangulares de distinto material, dispuestas en paralelo, la distancia entre electrodos para nuestra investigación fue de 1.5, 1, 0.5 cm, y tienen las siguientes dimensiones:

Tabla 4. Dimensiones de electrodos

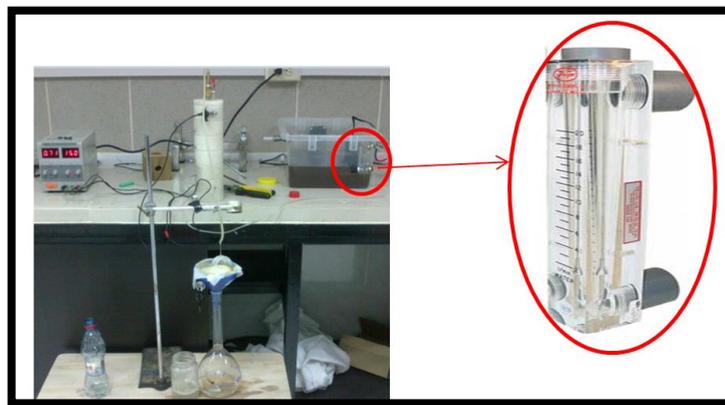
Electrodo	Espesor	Dimensiones
Aluminio	0.8mm	24 x 2cm
Hierro	1.5 mm	24 x 2cm

Fuente: Autores

2.1.4 Rotámetro

Para nuestro trabajo se utilizó un rotámetro que es un medidor de caudales y al mismo tiempo se puede regular los mismos, la cual se compone de un tubo transparente como flotador central (más pesado que el líquido) el cual se desplaza hacia arriba por el flujo ascendente de un fluido en la tubería. El tubo se encuentra graduado en litros para una lectura directa del caudal.

Ilustración 10. ROTAMETRO



Fuente: Autores

2.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es experimental puesto que se realizaron varios ensayos variando condiciones físico – químicas con la finalidad de comprobar y demostrar tanto los valores como los parámetros más adecuados para el tratamiento.

2.3 METODO DE MUESTREO

El tipo de muestreo que se utilizó es el Aleatorio simple la cual da la probabilidad a cada uno de los miembros de una población a ser elegidos.

2.4 TIPO DE MUESTREO

Este proceso de investigación cuenta con varios pasos, estos son:

- Se generó un agua residual con alta carga orgánica y coloración.
- Se estableció un diseño experimental para el trabajo con las variables de entrada y salida: donde las variables de entrada son voltaje, caudal, distancia entre electrodos y tipo de electrodos; y las variables de salida son DBO, DQO y unidades de color.
- Se tomaron muestras para sus análisis.
- Se validó las muestras en un laboratorio externo.
- Posteriormente se validó el prototipo con una muestra residual de una industria de la ciudad de Cuenca, y la misma se valoró y se evaluó por un laboratorio externo.

2.5 UNIVERSO Y MUESTREO

2.5.1 Universo

El universo implica el agua residual que se utilizó bajo condiciones controladas dentro del laboratorio, esta agua residual contiene harina de sangre de ganado vacuno (viene en sacos de 20kg), las mismas que permitieron tener un DBO, DQO y coloración alta, y es factible la utilización de este producto.

Para la elaboración del agua residual en condiciones controladas, se colocó agua potable proveniente de ETAPA, 1gr/litro de harina de sangre, 0,25gr/litro de sal para aumentar la conductividad eléctrica, 0.025 gr/litro de legía para la regulación del pH.

Con esto se logró obtener un agua residual similar al de varias industrias contaminantes presentes en la ciudad de Cuenca.

2.5.2 Muestra

Una vez que se haya alimentado el reactor, medido el caudal, pH, amperaje y tiempo de retención, se realizó 3 tomas de muestra por cada corrida que se da en el reactor. Esto disminuirá el error durante el análisis estadístico.

Tabla 5. Valores de muestras

NUMERO	VOLTAJE	CAUDAL	DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS	TIPO DE ELECTRODO
0	-	-	-	-
1	20	40	0,5	ALUMINIO
2	20	40	0,5	ALUMINIO
3	20	40	0,5	ALUMINIO
4	30	50	1	ALUMINIO
5	30	50	1	ALUMINIO
6	30	50	1	ALUMINIO
7	15	60	1,5	ALUMINIO
8	15	60	1,5	ALUMINIO
9	15	60	1,5	ALUMINIO
10	15	60	0,5	HIERRO
11	15	60	0,5	HIERRO
12	15	60	0,5	HIERRO
13	30	40	1	HIERRO
14	30	40	1	HIERRO

15	30	40	1	HIERRO
16	20	50	1,5	HIERRO
17	20	50	1,5	HIERRO
18	20	50	1,5	HIERRO
19	30	50	0,5	HIERRO Y ALUMINIO
20	30	50	0,5	HIERRO Y ALUMINIO
21	30	50	0,5	HIERRO Y ALUMINIO
22	15	60	1	HIERRO Y ALUMINIO
23	15	60	1	HIERRO Y ALUMINIO
24	15	60	1	HIERRO Y ALUMINIO
25	20	40	1,5	HIERRO Y ALUMINIO
26	20	40	1,5	HIERRO Y ALUMINIO
27	20	40	1,5	HIERRO Y ALUMINIO

Fuente: Autores

2.6 MATERIALES Y REACTIVOS (ver Anexo 1)

Los materiales que se utilizó en el trabajo de nuestra investigación fueron:

- Balón de Aforo de 500 ml
- Balanza de precisión
- Luna de reloj
- 2 espátulas
- Embudo
- Soporte universal
- Papel filtro
- Vaso de precipitación

Todas las marchas para la determinación del DBO, DQO, pH, Conductividad, y Coloración, se realizaron en los laboratorios de la Universidad, según el manual de procedimientos analíticos para aguas y Efluentes del Ministerio de

vivienda, Ordenamiento territorial y Medio Ambiente, Dirección nacional de medio Ambiente-Laboratorio, de URUGUAR, del año 1996.

2.7 FORMA DE ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

Para el análisis partiremos de las hipótesis planteadas:

H0.- Las Aguas De Alta Carga Contaminante Generada Por Empresas Productivas Podrán Ser Depuradas Por Procesos De Electrocoagulación Estableciendo Un Nuevo Método Para El Tratamiento De Las Mismas.

H1.- Las Aguas De Alta Carga Contaminante Generada Por Empresas Productivas no Podrán Ser Depuradas Por Procesos De Electrocoagulación Estableciendo Un Nuevo Método Para El Tratamiento De Las Mismas.

Son procedimientos de decisión basados en datos que puedan producir una conclusión acerca de algún sistema científico.

Es una afirmación o conjetura acerca de una o más poblaciones. (Estadística y probabilidades. Aarón Estuardo Morales)

El análisis de varianza es un diseño factorial mixto que se utiliza para demostrar que el efecto de un proceso es significativo. Esto nos permite probar las hipótesis dadas contra una alternativa de que el efecto en cuestión es diferente de cero, o es igual a cero. Esto en relación al *valor-p*.

Las Hipótesis descritas se probaran con el análisis de varianza.

Tabla 6. Hipótesis

Hipótesis Nula	Hipótesis Alternativa
H_o : Efecto A = 0	H_I : Efecto A \neq 0
H_o : Efecto B = 0	H_I : Efecto B \neq 0
H_o : Efecto C = 0	H_I : Efecto C \neq 0
H_o : Efecto D = 0	H_I : Efecto D \neq 0
H_o : Efecto AB = 0	H_I : Efecto AB \neq 0
H_o : Efecto AC = 0	H_I : Efecto AC \neq 0
H_o : Efecto AD = 0	H_I : Efecto AD \neq 0
H_o : Efecto BC = 0	H_I : Efecto BC \neq 0
H_o : Efecto BD = 0	H_I : Efecto BD \neq 0
H_o : Efecto CD = 0	H_I : Efecto CD \neq 0

Fuente: Autores

En este punto debemos considerar que los resultados experimentales obtenidos son observaciones muestrales, mas no poblacionales. La técnica estadística central en el análisis del presente experimento será el análisis de varianza o ANOVA.

El análisis estadístico nos permite verificar la ocurrencia a detalle de lo que acontece con el experimento. Esto nos permite observar los nuevos parámetros de investigación desarrollados en el proyecto, y por consiguiente, escoger el tratamiento que mejores resultados ha dado.

- **ANOVA:** En estadística, el análisis de la varianza (*ANOVA*, según terminología inglesa) es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en

ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas. La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Sólidos Disueltos. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo con un 95,0% de nivel de confianza.

- **Prueba de Rango Múltiple:** La prueba de rango múltiple es una comparación de las medias de tratamientos involucrados de manera aleatoria todos contra todos. Así, cualquier diferencia existente entre los tratamientos se verá reflejada en este análisis. La principal función de esta prueba es el análisis comparativo entre las medias de los tratamientos. Este método, utiliza un nivel variable de significancia, ya que depende del número de medias que son utilizadas en la comparación. Básicamente, la prueba de rangos múltiples establece que a medida que el número de medias aumente, su semejanza disminuirá.

CAPITULO III

ANALISIS Y RESULTADOS

3.1 VARIABLES ESTUDIADAS

En esta investigación se analizaron cuatro variables independientes (caudal, tipo de electrodo, distancia de electrodos y voltaje); cada una con tres niveles y como variables dependientes se analizaron tres variables (unidades de color, DBO y DQO). Estas variables están utilizando como unidad porcentaje de remoción.

3.1.1 Análisis del porcentaje de remoción de las unidades de color.

Se procedió a analizar el porcentaje de remoción de las unidades de color con relación a las variables independientes, el caudal, tipo de electrodo, distancia de electrodos y voltaje. Se utilizaron tres niveles, descritos a continuación:

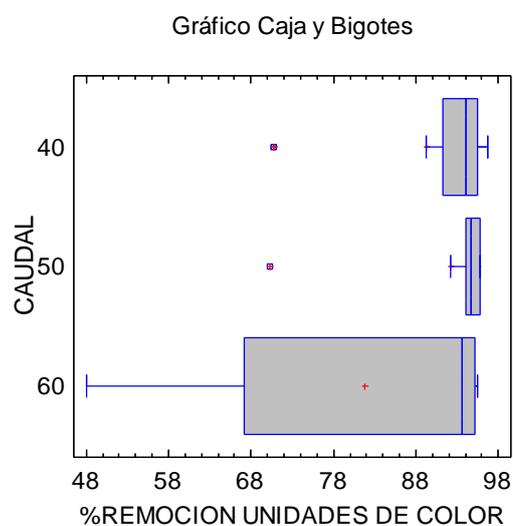
- Caudal; 40, 50 y 60 mililitros/minuto
- Tipo de electrodo; hierro, aluminio y una combinación de hierro y aluminio.
- Distancia de electrodos; 0.5, 1 y 1.5 centímetros.
- Voltaje; 15, 20 y 30V.

Iniciaremos describiendo los resultados obtenidos a través de gráficos de cajas y bigotes. En el eje Y está representando la variable independiente en sus diferentes niveles y en el eje X la variable dependiente, en porcentaje de remoción.

Comenzaremos analizando el porcentaje de remoción de las unidades de color en relación al caudal. El mismo que se encuentra presente en el gráfico de caja y bigote número 1.

Gráfico 1. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de Unidades de color-caudal



Fuente: Los Autores.

Este diagrama permite apreciar que el caudal de 60 tiene una mayor variabilidad con respecto a los dos restantes caudales a través de la longitud que tiene cada una de las cajas.

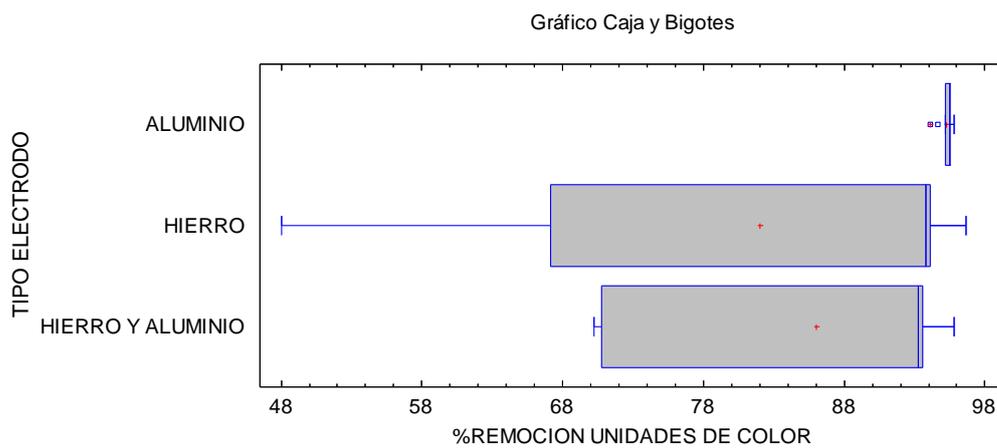
Dentro de este diagrama también se observan que están presentes dos valores atípicos que distorsionan el estudio que pueden ser causados por variables de ruido como la toma de muestra, la persona que realiza la prueba.

Se observa en el gráfico que las medias se encuentran próximas, estableciendo porque se presente un traslape entre estas. La fuente de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias y el valor medio alcanzado es del 87.74%. Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Como segunda variable dependiente, analizamos el porcentaje de remoción de las unidades de color con respecto al tipo de electrodos. El análisis se encuentra en el gráfico número 2.

Gráfico 2. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de las Unidades de color-tipo de electrodos



Fuente: Los Autores.

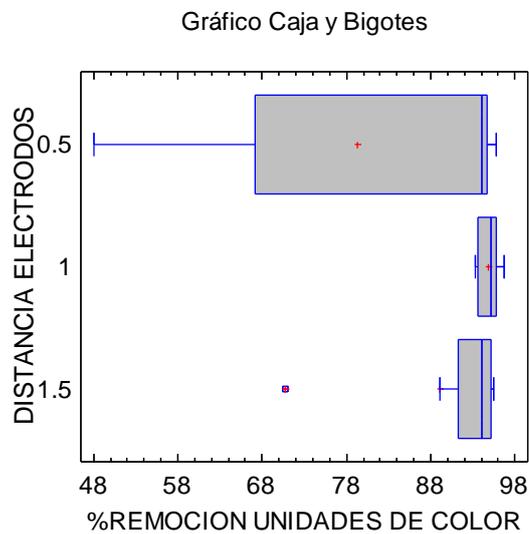
Este diagrama nos permite apreciar que el electrodo de hierro tiene una mayor variabilidad con respecto a los dos restantes tipos de materiales. Esto se determinó a través de la longitud que tiene cada una de las cajas. Otro tipo de electrodo que tiene una variabilidad alta es la combinación de electrodos de hierro y aluminio, determinado por la longitud de la caja.

Se observa también en el gráfico que las medias de los tipos de electrodos se encuentran próximas, estableciendo que se presente un traslape entre estas. La razón de este traslape debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias. Se obtuvo un valor promedio de 87.74% de remoción de las unidades de color. La variable independiente correspondiente al electrodo de aluminio, se traslapa con las otras dos variables en los extremos superiores de estos. Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Continuando con el estudio de las variables, observamos el porcentaje de remoción de las unidades de color con respecto a la distancia de los electrodos, descritos en la gráfica número 3.

Gráfico 3. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de las Unidades de color-distancia de electrodos



Fuente: Los Autores.

Este diagrama de caja y bigotes nos permite apreciar que las medias de la distancia de electrodos se encuentran próximas, evidenciándose un traslape

entre estas. La razón de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Se puede apreciar que existe un solapamiento entre los tres tratamiento. Se obtuvo un valor promedio de 87.74% de remoción de las unidades de color.

Dentro de este diagrama también se observa que está presente un valor atípico que distorsiona el estudio. Estos pueden ser causados por variables de ruido como la toma de muestra o la persona que realiza la prueba.

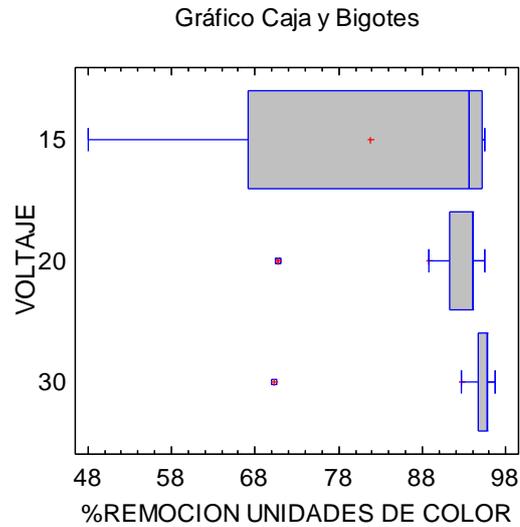
Este diagrama permite apreciar que la distancia de 0.5 cm tiene una mayor variabilidad con respecto a las dos restantes distancias de electrodos, visto a través de la longitud que tiene la caja.

Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Como cuarto punto en el estudio de las variables, observamos el porcentaje de remoción de las unidades de color con respecto al voltaje, descritos en la gráfica número 4.

Gráfico 4. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de las Unidades de color-voltaje



Fuente: Los Autores.

En este diagrama se observa que están presente dos valores atípicos que distorsionan el estudio. Estos pueden ser causados por variables de ruido como la toma de muestra o la persona que realiza la prueba.

Este diagrama de caja y bigotes nos permite observar que las medias de la distancia de electrodos se encuentran próximas, evidenciándose un traslape entre estas. La razón de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos con los tres niveles de voltaje utilizados. Se puede apreciar que existe un solapamiento entre los tres tratamiento. Se obtuvo un valor promedio de 87.74% de remoción de las unidades de color.

Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en el siguiente párrafo.

Valores-P porcentaje de remoción de las unidades de color.

El análisis ANOVA es una herramienta estadística que nos permite evidenciar las diferencias estadísticas presentes entre las medias de unos tratamientos. Para ello, el ANOVA nos da un rango de confianza del 0.05%. Si los valores-P analizados en el ANOVA son mayores que el 0.05, quiere decir que no existe una diferencia significativa entre los niveles de tratamientos utilizados.

Tabla 7. Valores-P obtenido en análisis de varianza de cada una de las variables independientes de estudio con respecto al porcentaje de remoción de las unidades de color.

Variable independiente	Valor-P
A:Caudal	0.2722
B:Tipo de electrodo	0.1145
C:Distancia de electrodos	0.0523
D:Voltaje	0.2511

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 7, los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los parámetros analizados. Una vez realizado el análisis estadístico, los valores-P en las 4 variables independientes (caudal, tipo de electrodos, distancia de electrodos y voltaje) con respecto al porcentaje de remoción de las unidades de color, tienen un resultado mayor que el 0,05; inferimos que estas variables independientes no son estadísticamente significativas con respecto a la disminución del porcentaje de las unidades de color.

3.1.1.1 Análisis del porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de oxígeno.

Para la segunda variable dependiente, se realizó un análisis del porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con relación a las variables independientes o de entrada. Las variables independientes estudiadas son el caudal, tipo de electrodo, distancia de electrodos y voltaje. Para esta investigación, se utilizaron tres niveles, descritas a continuación:

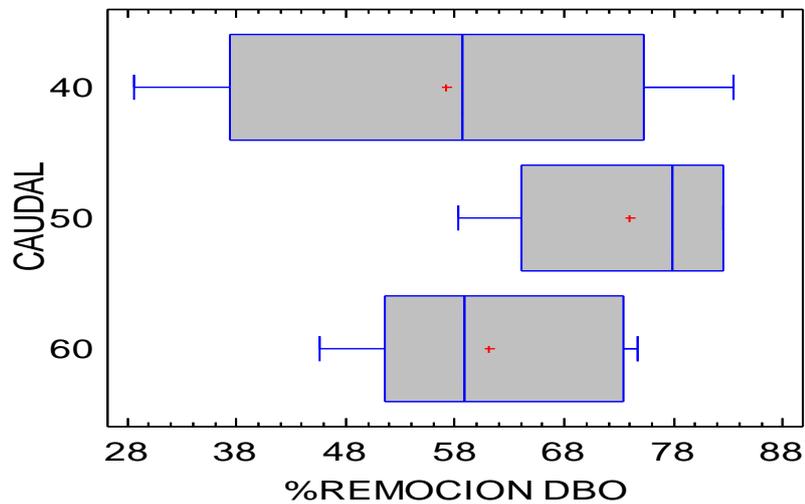
- Caudal; 40, 50 y 60 mililitros/minuto
- Tipo de electrodo; hierro, aluminio y una combinación de hierro y aluminio.
- Distancia de electrodos; 0.5, 1 y 1.5 centímetros.
- Voltaje; 15, 20 y 30V.

Iniciaremos describiendo los resultados obtenidos a través de gráficos de cajas y bigotes. En el eje X está representada la variable dependiente, en porcentaje de remoción, mientras que en la variable Y está representada la variable independiente.

Con la segunda variable dependiente, analizamos el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en relación al caudal. El mismo que se encuentra presente en el gráfico de caja y bigote número 5.

Grafico 5. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno-caudal



Fuente: Los Autores.

Dentro de este diagrama analizo que están existiendo valores atípicos.

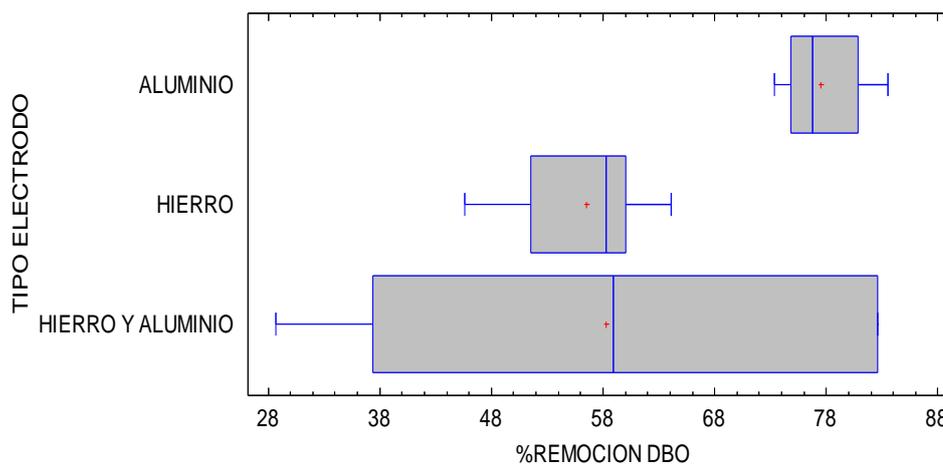
Este diagrama permite apreciar que el caudal de 40 tiene una mayor variabilidad con respecto a los dos restantes caudales a través de la longitud que tiene cada una de las cajas. Otro caudal que tiene una variabilidad considerable, es el de 50 y 60 ml/minuto, analizado a través de la longitud de las cajas.

Se observa en el gráfico que las medias se encuentran próximas, estableciendo por qué se presente un traslape entre estas. La fuente de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias y el valor medio alcanzado es del 64.07%. Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Como segunda variable dependiente, analizamos el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con respecto al tipo de electrodos. El análisis se encuentra en el grafico número 6.

Grafico 6. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno-tipo de electrodos



Fuente: Los Autores.

Este diagrama permite apreciar que la combinación de los electrodos de hierro y aluminio tiene una mayor variabilidad con respecto a las dos restantes variables independientes, observado a través de la longitud que tiene cada una de las cajas.

El grafico de cajas y bigotes no presenta datos atípicos por variables de ruido.

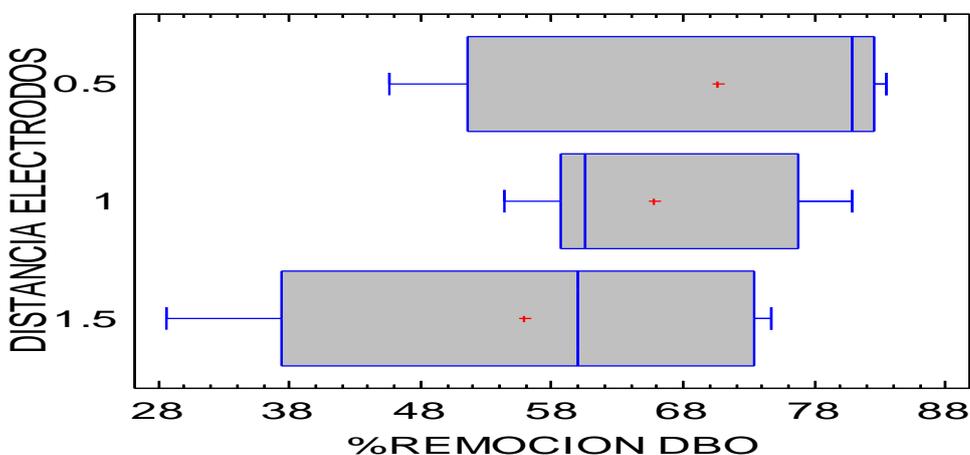
El diagrama de cajas y bigotes presenta un valor diferente de las medias. Se puede apreciar que el electrodo de aluminio presenta una diferencia del electrodo de hierro y un solapamiento con la combinación de los electrodos de

hierro y aluminio. El valor promedio alcanzado en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es del 64.07%. Por el distanciamiento de las medias apreciadas en las cajas, podemos inferir que existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Como tercer punto de análisis de la variable dependiente, analizamos el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en relación a la distancia de los electrodos. El mismo que se encuentra presente en el gráfico de caja y bigote número 7.

Gráfico 7. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno-distancia de electrodos



Fuente: Los Autores.

Este diagrama permite apreciar que la distancia de 1.5 cm tiene una mayor variabilidad con respecto a las dos restantes distancias de electrodos, visto a través de la longitud que tiene la caja. Los otros dos niveles de análisis, también presentan una variabilidad considerable.

Este diagrama de caja y bigotes nos permite apreciar que las medias de la distancia de electrodos se encuentran próximas, evidenciándose un traslape entre estas. La razón de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Se puede apreciar que existe un solapamiento entre los tres tratamiento. Se obtuvo un valor promedio de 64.07% de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

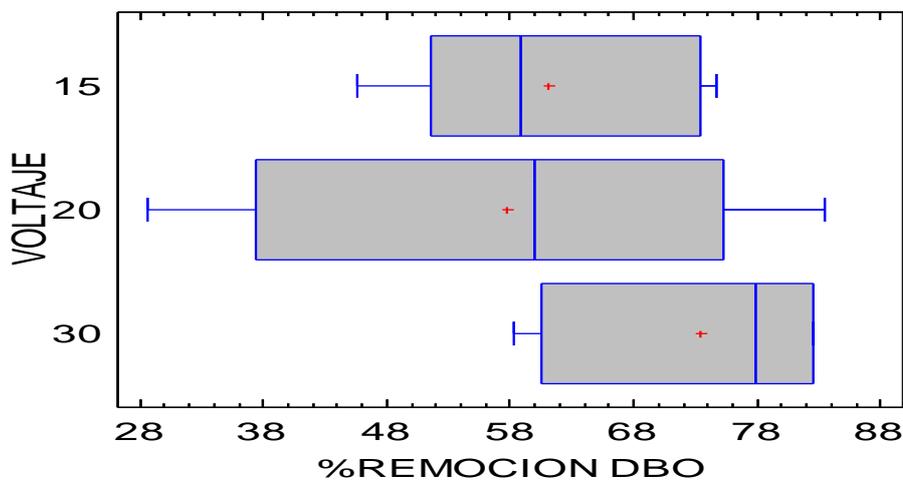
Dentro de este diagrama también se observan que no existen valores atípicos.

Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Como cuarto punto, realizamos el análisis de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con respecto al voltaje. El mismo que se encuentra presente en el gráfico de caja y bigote número 8.

Gráfico 8. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno-voltaje



Fuente: Los Autores.

Este diagrama de caja y bigotes nos permite apreciar que las medias de los distintos niveles del voltaje estudiado se encuentran próximas, evidenciándose un traslape entre estas. La razón de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos con los tres niveles de voltaje utilizados. Se puede apreciar que existe un solapamiento entre los tres tratamientos. Se obtuvo un valor promedio de 67.04% de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

El diagrama también permite observar que el voltaje de 20 tiene una mayor variabilidad con respecto a los dos restantes caudales, observado a través de la longitud que tiene cada una de las cajas. Los otros dos niveles también tienen una variabilidad importante.

En este diagrama se observan que no existen valores atípicos.

Valores-P porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

El análisis ANOVA es una herramienta estadística que nos permite evidenciar las diferencias estadísticas presentes entre las medias de unos tratamientos. Para ello, el ANOVA nos da un rango de confianza del 0.05%. Si los valores-P analizados en el ANOVA son mayores que el 0.05, quiere decir que no existe una diferencia significativa entre los niveles de tratamientos utilizados.

Tabla 8. Valores-P obtenido en análisis de varianza de cada una de las variables independientes de estudio con respecto al porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

Variable Independiente	Valor-P
A:Caudal	0.0606
B:Tipo de electrodo	0.0043
C:Distancia de electrodos	0.1322
D:Voltaje	0.0871

Fuente. Autores

Como se observa en la tabla 8, los valores-P prueban la significancia estadística de cada una de las variables analizadas. Una vez realizado el análisis estadístico, los valores-P del caudal, distancia de electrodos y el voltaje tienen un resultado mayor que el 0,05; inferimos que estas variables independientes no son estadísticamente significativas con respecto a la disminución del porcentaje de la demanda bioquímica de oxígeno.

Por otro lado, el tipo de electrodo muestra tiene un valor-P de 0.0043, siendo menor a 0.05, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

Para determinar la diferencia que existe entre los tratamientos, procedemos a validar los análisis obtenidos con la prueba de rangos múltiple para la variable TIPO DE ELECTRODO.

3.1.1.2 Prueba de Rangos Múltiples de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

La prueba de rangos múltiples es aplicada para los tratamientos que hayan resultado con un valor-P mayor que 0,05.

Este método es útil para la comparación de múltiples datos. Principalmente determina cuales son las medias significativamente diferentes de otras medias.

El método utilizado para la separación entre las medias de los tratamientos, es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 9. Prueba Múltiple de Rangos.

Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno -tipo de electrodos

Método: 95.0 porcentaje LSD

TIPO ELECTRODO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
HIERRO	9	56.4976	4.43589	X
HIERRO Y ALUMINIO	9	58.2386	4.43589	X
ALUMINIO	9	77.4773	4.43589	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ALUMINIO - HIERRO	*	20.9797	12.9475
ALUMINIO - HIERRO Y ALUMINIO	*	19.2387	12.9475
HIERRO - HIERRO Y ALUMINIO		-1.74106	12.9475

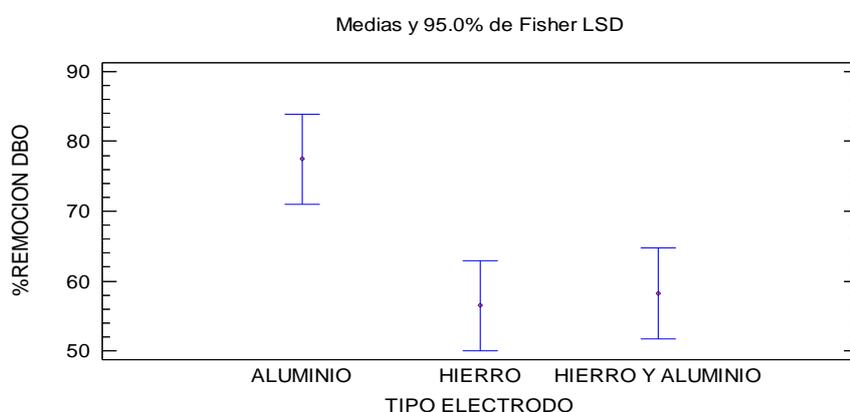
* indica una diferencia significativa.

Fuente: Los Autores.

En esta tabla es claramente identificable la diferencia significativa entre tratamientos. Los electrodos de aluminio tienen una diferencia significativa con respecto a los electrodos de hierro y diferencia con respecto a la combinación de los electrodos de aluminio y hierro.

Gráfico 9. Grafica de medias de Fisher.

Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno-Tipo electrodo.



Fuente: Los Autores.

Este gráfico corrobora lo que la prueba de rangos múltiples describe. Las medias de las distancias según el tipo de electrodo tienen una diferencia significativa. El Aluminio se diferencia de las combinaciones de hierro y hierro-aluminio. Según la gráfica de medias de Fisher, el tipo de electrodo más apto para aumentar el porcentaje de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, es utilizando el aluminio como electrodo.

3.1.2 Análisis del porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.

Para la tercera y última variable dependiente, se realizó un análisis del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con relación a las

variables independientes. Las variables independientes que han sido estudiadas son el caudal, tipo de electrodo, distancia de electrodos y voltaje. Para la investigación, se utilizaron tres niveles, descritos a continuación:

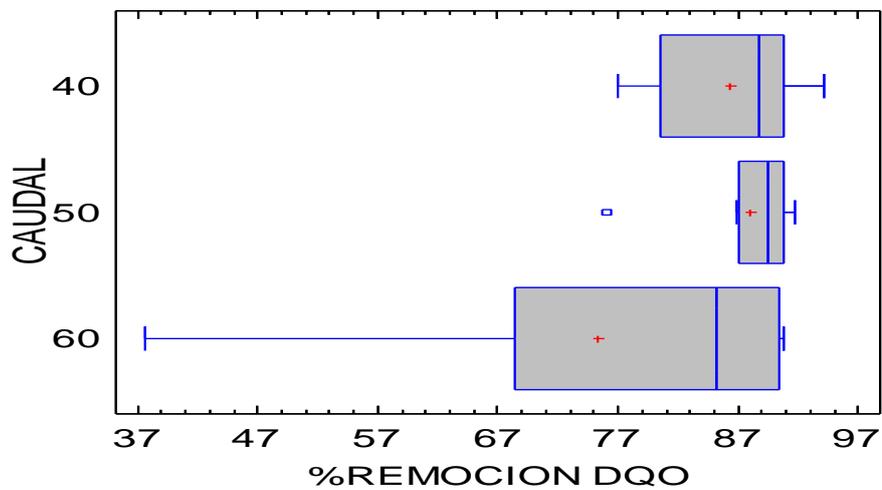
- Caudal; 40, 50 y 60 mililitros/minuto
- Tipo de electrodo; hierro, aluminio y una combinación de hierro y aluminio.
- Distancia de electrodos; 0.5, 1 y 1.5 centímetros.
- Voltaje; 15, 20 y 30V.

El proceso, de igual manera que las anteriores variables dependientes, lo observaremos mediante la descripción de los resultados obtenidos a través de gráficos de cajas y bigotes. En el eje X está representada la variable dependiente, en porcentaje de remoción, mientras que en la variable Y está representada la variable independiente.

Comenzaremos con el análisis del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno en relación al caudal. El mismo se encuentra presente en el gráfico de caja y bigote número 11.

Grafico 10. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno-caudal



Fuente: Los Autores.

Este diagrama permite apreciar que el caudal de 60 tiene una mayor variabilidad con respecto a los dos restantes caudales. Esto se observó por la longitud que tiene cada una de las cajas.

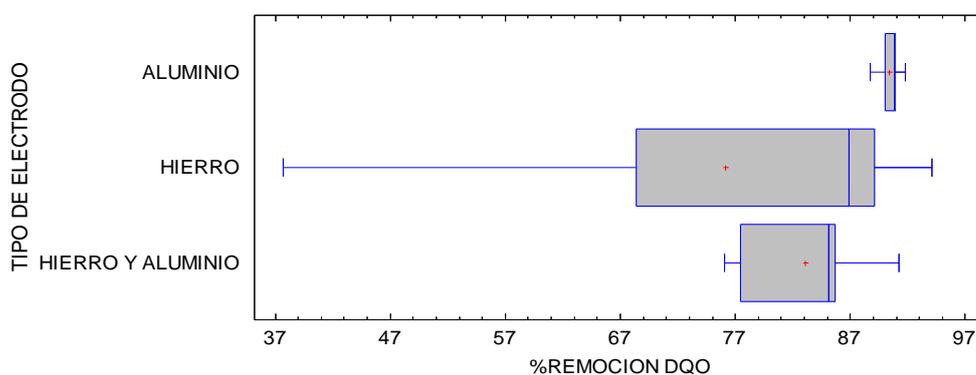
Dentro de este diagrama también se observan que está presente un valor atípico que distorsiona el estudio. Esto puede ser causado por variables de ruido como la toma de muestra, la persona que realiza la prueba.

Se observa en el gráfico que las medias se encuentran próximas, estableciendo por qué se presente un traslape entre estas. La razón de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias. El valor media alcanzado en la remoción de la demanda química de oxígeno es del 83.21%. Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Como segunda variable dependiente, analizamos el porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con respecto al tipo de electrodos. El análisis se encuentra en el gráfico número 11.

Grafico 11. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno-tipo de electrodos



Fuente: Los Autores.

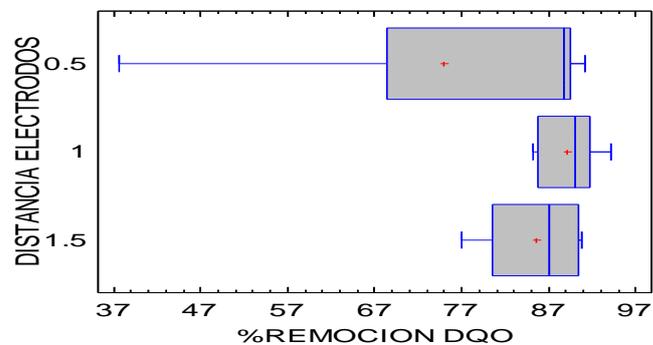
Se puede apreciar en el gráfico que las medias de los tipos de electrodos se encuentran próximas, estableciendo que se presente un traslape entre estas. La razón de este traslape debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias. Se obtuvo un valor promedio de 83.21% de remoción de la demanda química de oxígeno. Se puede apreciar que existe un solapamiento entre los tres tratamientos; no obstante el traslape del nivel electrodo de aluminio es un traslape ubicado en los extremos superiores de los otros dos tipos de electrodos.

Este diagrama nos permite apreciar que el electrodo de hierro tiene una mayor variabilidad con respecto a los dos restantes tipos de materiales. Esto se determinó por la longitud que tiene cada una de las cajas.

Continuando con el análisis de las variables, observamos el porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con respecto a la distancia de los electrodos, descritos en la gráfica número 3.

Gráfico 12. Diagrama de Caja y bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno-distancia de electrodos



Fuente: Los Autores.

Este diagrama permite apreciar que la distancia de 0.5 cm tiene una mayor variabilidad con respecto a las dos restantes distancias de electrodos, visto a través de la longitud que tiene la caja.

Este diagrama de caja y bigotes nos permite apreciar que las medias de la distancia de electrodos se encuentran próximas, evidenciándose un traslape entre estas. La razón de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Se puede apreciar que existe un solapamiento entre los tres tratamiento. Se obtuvo un valor promedio de 83.21% de remoción de la demanda química de oxígeno.

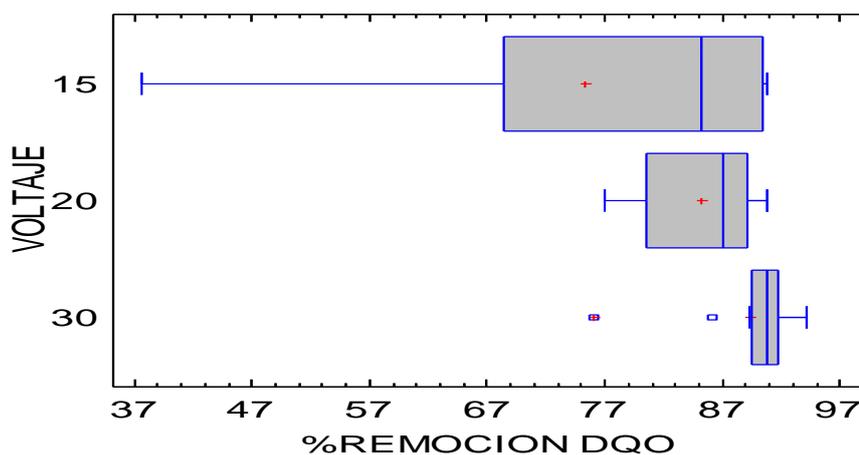
Dentro de este diagrama también se observan que no existen valores atípicos.

Para validar este resultado, se procedió a realizar un análisis ANOVA descrito en los siguientes párrafos.

Como cuarto punto, realizamos el análisis de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con respecto al voltaje. El mismo que se encuentra presente en el gráfico de caja y bigote número 13.

Gráfico 13. Diagrama de Caja y Bigotes.

Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno-voltaje



Fuente: Los Autores.

Este diagrama de caja y bigotes nos permite apreciar que las medias de los distintos niveles del voltaje estudiados se encuentran próximas, evidenciándose un traslape entre estas. La razón de este traslape se debería a que no existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos con los tres niveles de voltaje utilizados. Se puede apreciar que existe un solapamiento entre los tres tratamientos. Se obtuvo un valor promedio de 83.21% de remoción de la demanda química de oxígeno.

Dentro de este diagrama también se observa que está presente un valor atípico que distorsiona el estudio. Esto puede ser causado por variables de ruido como la toma de muestra, la persona que realiza la prueba.

El diagrama también permite observar que el voltaje de 15 tiene una mayor variabilidad con respecto a los dos restantes caudales. Esto es observado a través de la longitud que tiene cada una de las cajas.

Valores-P porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.

El análisis ANOVA es una herramienta estadística que nos permite evidenciar las diferencias estadísticas presentes entre las medias de unos tratamientos. Para ello, el ANOVA nos da un rango de confianza del 0.05%. Si los valores-P analizados en el ANOVA son mayores que el 0.05, quiere decir que no existe una diferencia significativa entre los niveles de tratamientos utilizados.

Tabla 10. Valores-P obtenido en análisis de varianza de cada una de las variables independientes de estudio con respecto al porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno.

Variables Independientes	Valor-P
A:Caudal	0.0970
B:Tipo de electrodo	0.0857
C:Distancia de electrodos	0.0698
D:Voltaje	0.0810

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 9, los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los parámetros analizados. Una vez realizado el análisis estadístico, los valores-P del caudal, tipo de electrodo, distancia de electrodos y voltaje tienen un resultado mayor que el 0,05; inferimos que estas

variables independientes no son estadísticamente significativas con respecto a la disminución del porcentaje de la demanda química de oxígeno.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Considerando como variable dependiente en el estudio del porcentaje de la remoción de las unidades de color, se pudo determinar con el análisis estadístico que no existe diferencia significativa cuando se modifica las variables de caudal, tipo de electrodo, distancias de los electrodos y voltaje; alcanzando en todos sus niveles un promedio de remoción del 87.74%.
- Para la variable dependiente en el estudio de la demanda bioquímica de oxígeno, se pudo determinar que tres de las cuatro variables independientes dieron como resultado una diferencia no significativa entre los tratamientos. El tipo de electrodo dio una diferencia significativa en relación a los otros tipos de tratamientos. El proceso de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno alcanzo un promedio de 64.07%. La prueba de rangos múltiples, demostró que el mejor electrodo para la remoción de la DBO es el aluminio.
- La demanda química de oxígeno, determinó que en las variables de caudal, tipo de electrodos, distancia de electrodos y voltaje no presenta una diferencia significativa. El prototipo de electrocoagulación obtuvo un porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno del 83.21% en todos sus niveles.
- Los parámetros de entrada con mayor influencia en la prueba del prototipo de electrocoagulación son un caudal de 50 ml/minuto, el Aluminio como los mejores electrodos, un voltaje de 30V y una distancia de 1cm.

- El prototipo investigado tiene porcentaje de remoción de unidades de color, DBO y DQO de 87.74%, 64.07% y 83.21% respectivamente. De acuerdo a revisiones bibliográficas, establece que los tratamientos biológicos tienen una eficiencia en el porcentaje de remoción del 70% de DBO, del 75 al 85% del DQO% (Procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual. Ingeniería Hidráulica y Ambiental).
- Habiendo demostrado todos los datos anteriormente mencionados, se infiere que el prototipo de electrocoagulación tiene validez de funcionamiento. Se aprueba la Hipótesis 0.

Validación del prototipo.

- Uno de los alcances de este proyecto de tesis, es la validación del prototipo en un agua residual proveniente de la industria.
- Para el efecto, recogimos muestras de agua que conocemos que tiene varios contaminantes de todo tipo, entre ellos contaminantes orgánicos y colorantes sintéticos o naturales.
- El resultado obtenido fue satisfactorio, ya que las pruebas de laboratorio revelaron una disminución de:
 - 78.26% de la Demanda Bioquímica de oxígeno
 - 90.54% de la Demanda Química de Oxígeno.
 - 81.46% de las unidades de color.

Las variables de entrada utilizadas fueron:

- Caudal de 50 ml/minuto.
- Distancia de electrodos de 1 cm
- Aluminio como tipo de electrodos
- Voltaje de 30V.

CAPITULO V

RECOMENDACIONES

- Mantener las normas mínimas de seguridad y observación permanente sobre todos los procesos que incluyen el funcionamiento adecuado del equipo.
- Reemplazo de las placas (Aluminio y Hierro) cada 2 tratamientos. Esto será en función del espesor de las placas dispuestas.
- Al final de cada experimentación, se recomienda hacer una limpieza integra de los equipos utilizados. Principalmente se debe hacer una limpieza de los electrodos, la cuba retenedora, las mangueras de paso de agua y el prototipo.
- Se recomienda hacer un estudio del desgaste de las placas de hierro y aluminio con el objetivo de determinar el tiempo de durabilidad de estas.
- De acuerdo a nuestra investigación, se pudo apreciar que el pH es un factor que influye en los resultados de remoción, por lo cual se recomienda que al pH sea una unidad experimental de salida.
- Realizar una investigación de la concentración de las sales de aluminio y hierro presentes en el agua tratada.

- Determinar la eficiencia de esta tecnología en aguas que contienen metales pesados.
- Realizar los estudios de esta tecnología en una empresa para establecer los factores positivos de este prototipo.

BIBLIOGRAFIA

- BORJA, Mario, *Diseño de una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales de la Ciudad de Guaranda*, Tesis Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias, Riobamba 2011.
- JIMÉNEZ, Antonio, *Determinación de los parámetros Físico-Químicos de calidad de las aguas*, Instituto Tecnológico de Química y Materiales “Álvaro Alonso Barba”: Universidad Carlos III, Madrid.
- CAÑIZARES,P, *Tratamiento de aguas residuales: Tratamiento electroquímico en la depuración de efluentes industriales líquidos*, Dpto. De Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Castilla-La Mancha, España, Septiembre, 2004.
- ORDOÑEZ, Juan, *Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico*, Sociedad Geográfica de Lima, Lima- Perú, 2011, p.7,8 http://www.gwp.org/Global/GWPSAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf
- METCALF & EDDY, *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*, Vol 1,3. Edición, editorial McGraw-Hill, España, 1995.

- MALDONADO, Andrea, entre otros, *Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos*, Tesis, UPS, Marzo, 2011, P.50.

- Texto Unificado De Legislación Medio Ambiental, (TULSMA), Libro VI Anexo I, 2008.

- FLORES, Julio, Sergio LÓPEZ-MORENO a Lilia A. ALBERT. *La Contaminación y Sus Efectos en la Salud y el Ambiente*. B.m.: Centro de Ecología y Desarrollo, 1995. ISBN 9789687671000.

- CASTILLO, Hugo; RIVERA, Alfredo, *X congreso Bolivariano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “Ambiente y Desarrollo impulsores del progreso” Electrocuagulación, Electroflotación, Electroflotación y reducción, in-situ de cloro*, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/elec.pdf>

- Romero, Jairo, *tratamiento de aguas residuales-Teoría y principios del diseño*, Edición, 3, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, 2004.

- Manual De Procedimientos Analíticos Para Aguas Y Efluentes, Ministerio de vivienda, Ordenamiento territorial y medio ambiente, dirección nacional de medio ambiente laboratorio, Uruguay,

1996.http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinamica.pdf

- ORDOÑEZ, Juan, *Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico*, Sociedad Geográfica de Lima, Lima- Perú, 2011, p.7,8
http://www.gwp.org/Global/GWPSAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. EQUIPOS UTILIZADOS

a) Fuente de poder



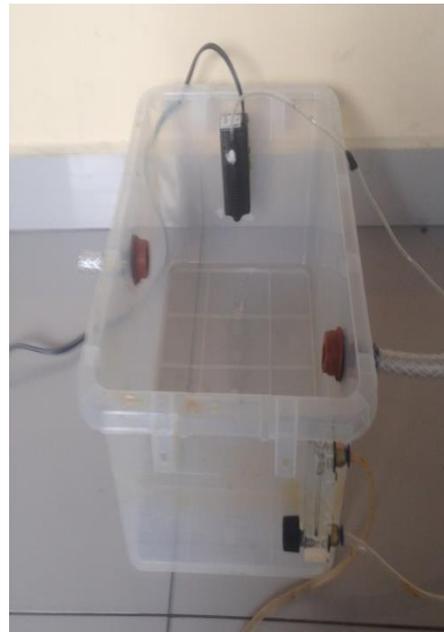
b) Medición de pH y conductividad



c) Phimetro conductimetro



d) Cubeta



e) Embudo y papel filtro.



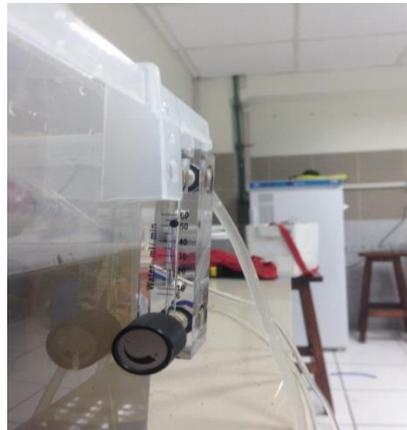
f) Balon de aforo.



g) Sales de Hierro y Aluminio.



h) Medidor de caudal (ROTAMETRO)



i) Electrodo de aluminio y hierro



j) Agua inicial y tratada

