



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Tema: Reducción en la demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales de la Tenería Núñez aplicando tratamiento de electrólisis del agua residual.

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Vásconez Ortiz Ricardo Fernando

Tutor: Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

Ambato - Ecuador

Septiembre - 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Sistematización de experiencias prácticas de investigación y/o intervención, el mismo que corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 26 de julio 2021

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

CI. 1802706596

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ricardo Fernando Vásquez Ortiz, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Sistematización de experiencias prácticas de investigación y/o intervención, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Ricardo Fernando Vásquez Ortiz

C.I. 180458202-9

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Sistematización de experiencias prácticas de investigación y/o intervención, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos

CI. 1804067088

M.Sc. Jeanette Verónica Carrera Cevallos

CI. 1716192271

Mg. Juan De Dios Espinoza Moya

CI. 1803201431

Ambato, 26 de agosto 2020

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Ricardo Fernando Vásquez Ortiz

C.I. 180458202-9

AUTOR

AGRADECIMIENTOS

Entrego mis agradecimientos a mi tutor por haber guiado mi proceso educativo desde niveles iniciales de la carrera, hasta mi proceso de titulación como Ingeniero Bioquímico, el que con su humor y capacidad de enseñar, me motivó a continuar hasta el final...

Así mismo a mi familia que con su tiempo y esfuerzo lograron impulsar mi educación superior.

Un especial agradecimiento a compañeros y amigos que contribuyeron a subir esos peldaños (L.S.A.C; N.A.V.G; D.E.A.B; W.E.T.M; W.A.S.R)

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
1. Marco teórico.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo General.....	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. Hipótesis.....	8
1.3.1. Hipótesis Nula.....	8
1.3.2. Hipótesis alternativa	8
CAPÍTULO II.....	9
2. Metodología.....	9
• Equipos.....	9
• Materiales de laboratorio.....	9
• Reactivos	9
• Materiales adicionales	10
2.1. Métodos.....	10
2.5.1. Construcción de celda electrolítica	10
2.5.2. Toma y recolección de muestras.....	11
2.5.3. Determinación del valor inicial de DQO (previo al tratamiento)	12
2.5.4. Determinación del valor inicial de DBO (previo al tratamiento)	14
2.5.5. Implementación de tratamiento de electrólisis en laboratorio	17

2.5.6	Determinación de valores finales de DQO y DBO.....	19
2.5.7	Diseño experimental	19
	CAPÍTULO III.....	21
3.	Análisis y discusión de resultados	21
3.1.	Curva de Calibración para DQO	21
3.2.	Toma de muestra	22
3.3.	Medición de absorbancia para DQO	23
3.4.	Obtención de valor de DQO ppm a partir de absorbancia	25
3.5.	Reporte de porcentajes de reducción a partir de valores de DQO.....	26
3.6.	Medición de DBO para el mejor tratamiento	26
3.7.	Comparación gráfica de tratamientos.....	27
3.8.	Diseño experimental a x b.....	28
3.9.	Discusión.....	29
3.10.	Verificación de Hipótesis	34
	CAPÍTULO IV	35
4.1	CONCLUSIONES	35
4.2	RECOMENDACIONES	36
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación de diluciones DQO vs DBO5.....	16
Tabla 2 Valores para la curva de calibración	21
Tabla 3 Resultados de Absorbancia	23
Tabla 4 Resultados de DQO.....	25
Tabla 5 Porcentaje de reducción de DQO.....	26
Tabla 6 Datos para análisis de varianza en Excel	28
Tabla 7 Análisis de varianza	29
Tabla 8 Cronograma de actividades estimadas	38

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Curva de calibración para DQO.....	22
Ilustración 2 Tres tratamientos DQO vs Voltaje.....	27

INDICE DE ANEXOS

Anexos 1 Diseño de la celda electrolítica	43
Anexos 2 Diseño de la celda electrolítica 2	43
Anexos 3 Reducción de DQO por tratamiento combinado de electrocoagulación y electrooxidación	44
Anexos 4 Malla antes y después del proceso electrolítico sin películas de protección ...	44

Anexos 5 Análisis de Varianza a partir de análisis de datos Excel.....	45
Anexos 6 Resultados del acoplamiento de los tratamientos electrocoagulación- electrooxidación de Hernández (2011)	46
Anexos 7 INFORME DE RESULTADOS No LACQUA 21 – 3425.....	47
Anexos 8 INFORME DE RESULTADOS No. A21-178	48
Anexos 9 INFORME DE RESULTADOS No LACQUA 21 – 3425.....	49
Anexos 10 Adaptador Universal Ajustable 3-24 Voltios 3 Amperios con Indicador de Voltaje UM-715	50
Anexos 11 Variación de la conductividad específica K con la concentración para distintos electrolitos	50
Anexos 12 INFORME DE RESULTADOS DBO5 inicial.....	51
Anexos 13 INFORME DE RESULTADOS DBO5 posterior al tratamiento de 20V por 1 hora.....	52
Anexos 14 Espectrofotómetro.....	53
Anexos 15 Valores para DQO multiplicados por factor de dilución para muestra original	54
Anexos 16 Comparación de las caracterizaciones con valores permisibles según A.M. 097 A.....	54
Anexos 17 Experimentos con voltaje variable	55

RESUMEN

El sistema electro oxidativo con electrodos enmallados de Titanio, fue estudiado con el objetivo de complementar la investigación previa de “*Diseño e implementación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tenerife Núñez*” por **Núñez (2021)**, debido a que la metodología creada para el tratamiento de las aguas residuales de los procesos de curtición no fue suficiente para reducir valores de degradabilidad -por métodos fisicoquímicos- hasta su dato permitido por la normativa ecuatoriana.

El método para electrólisis oxidativa del agua residual utilizó una muestra del efluente tratado de Tenerife Núñez, donde en principio se procedió a los estudios de degradabilidad inicial, enfocándose en valores para Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, por ser los valores más críticos frente a los demás parámetros ya reducidos. El diseño de la celda electrolítica y la metodología electro oxidativa fueron adaptados de varios autores que han demostrado reducir estos parámetros hasta un 99 por ciento -como es el caso de **Hernández et. al (2011)**- reportados en los antecedentes del proyecto; la combinación de métodos electroquímicos primarios y secundarios (electrocoagulación y electrooxidación) deriva -en dichos estudios- en una eliminación casi total de los contaminantes y una eficiencia formidable.

Se planteó la metodología de oxidación electrolítica a partir de electrodos de titanio -por su resistencia y efectividad- en tiempos cortos de electrólisis, mientras se tomaba en cuenta la baja inversión para el método (Electricidad, electrodos, transformador de voltaje y circuitos). Finalmente, el análisis posterior al tratamiento decidirá si la eficiencia es aceptable.

Palabras clave: electrólisis, tratamiento de agua, calidad del agua, oxidación avanzada

ABSTRACT

The electro-oxidative system with titanium meshed electrodes was studied with the aim of complementing the previous investigation of " Diseño e implementación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tenerife Núñez " by Núñez (2021), due to the fact that the methodology created to the treatment of wastewater from the tanning processes was not sufficient to reduce degradability values -by physicochemical methods- until its data allowed by Ecuadorian regulations.

The method for oxidative electrolysis of wastewater used a sample of the treated effluent from Tenerife Núñez, where in principle initial degradability studies were carried out, focusing on values for Chemical Oxygen Demand and Biochemical Oxygen Demand, as they are the most critical values. compared to the other parameters already reduced. The design of the electrolytic cell and the electro-oxidative methodology were adapted from several authors who have shown to reduce these parameters by up to 99 percent -as in **Hernández et. al (2011)**- reported in the background of the project; the combination of primary and secondary electrochemical methods (electrocoagulation and electrooxidation) results -in these studies- in an almost total elimination of contaminants and a formidable efficiency.

Therefore, avoiding the excessive consumption of resources, the electrolytic oxidation methodology was proposed from titanium electrodes -for its resistance and effectiveness- in short electrolysis times, while considering the low investment for the method (Electricity, electrodes, voltage transformer and circuits). Finally, the post-treatment analysis will decide if the efficiency is acceptable.

Keywords: electrolysis, water treatment, water quality, advanced oxidation

CAPÍTULO I

1. Marco teórico

1.1. Antecedentes investigativos

En plena crisis sanitaria del año en cuestión, según **O'callaghan (2021)** toma gran protagonismo la filosofía ambiental, cual procura y exhorta a una constante responsabilidad con el entorno natural en el cual nos desenvolvemos; la contaminación del agua es uno de los factores más preocupantes para la agenda de organizaciones internacionales. El impacto ambiental negativo provocado por la emisión de grandes cantidades de agua -contaminada y contaminante- producto de los procesos químicos de curtición sin su tratamiento respectivo, representa una problemática natural de incomprensible irresponsabilidad con la diversidad biológica de nuestro país. Frente a esta situación y los intentos gubernamentales para controlar los altos niveles de contaminación hídrica, es responsabilidad de los nuevos investigadores -del área ambiental y química- innovar modelos de solución a dicho inconveniente **Gómez (2017)**, para lo cual, el tratamiento de aguas -a partir de electrólisis como técnica mecánica-química- ingresa al campo de posibles soluciones de baja inversión y alta eficiencia.

Investigaciones de procesos de electrooxidación y electrocoagulación como **Hernández et. al (2011)** y su aplicación en toda empresa de curtición, resulta como una gran contribución académica y científica para resolver los problemas de la emisión de contaminantes químicos a corrientes hídricas naturales. En dicha investigación el autor sugiere que existen algunos componentes en las descargas del agua residual que son difíciles de eliminar, entre ellos, elementos aromáticos, color, pesticidas y plaguicidas;

por lo que, procesos convencionales de precipitación, filtración y decantación no son suficientes para la remoción del problema; frente a este inconveniente, los métodos como oxidación avanzada, ozonación, fotodegradación y otros, han logrado la reducción de los indicadores más críticos en el ICA. El estudio de los (POA) procesos de oxidación avanzada, buscan reducir la concentración de materia orgánica mediante la inclusión y generación de agentes oxidantes a través de métodos químicos y electroquímicos.

Según **Monge (2018)** los procesos de oxidación avanzada consisten en la generación de radicales oxidantes, entre ellos, el radical hidroxilo (OH) a partir de peróxido de hidrógeno y oxígeno molecular, con subproductos de agua y dióxido de carbono. Entre la gran cantidad de ventajas de los POA, radican: el no arrastrar contaminantes como en métodos físicos o químicos, sino en mineralizarlos hasta su separación, evitar la generación de lodos que requieran proceso de tratado posterior, utilizar reactivos como sustancias que tiendan a descomponerse en productos no dañinos posterior al proceso, eliminar contaminantes resistentes a tratamientos -terciarios- biológicos, e incrementar en calidad las características organolépticas de la muestra tratada. Sin embargo, entre sus desventajas se describe el alto coste de inversión para equipos, reacciones no deseadas y el requerimiento de mano de obra capacitada. Por otro lado, existe la posibilidad de combinar procesos de oxidación, entre procesos no fotoquímicos y fotoquímicos; en los grupos se encuentran: la ozonización, ozonización con O_3 / H_2O_2 , procesos Fenton, oxidación electroquímica, radiólisis, haces de electrones, plasma no térmico, oxidación de agua sub- y supercrítica, irradiaciones gamma, ultravioleta al vacío, UV/H_2O_2 , UV/O_3 , $UV/H_2O_2/O_3$, fotocatalisis con dióxido de titanio y solar, entre otras. Estos procesos al ser unidos continuamente tienden a incrementar su porcentaje de eficiencia en menor tiempo, empero, sus costes tienden a incrementarse.

La reacción electroquímica de oxidación, da lugar a un oxidante fuerte, mismo que es capaz de degradar materia orgánica hasta la mineralización completa y su fácil separación del medio líquido; por consecuencia, reducen parámetros críticos para mejorar

la calidad del agua, como la demanda de oxígeno; sumado a este, existen algunas metodologías para acelerar el proceso de en la generación de radicales hidroxilos por la combinación de rayos ultravioleta, ozono, H_2O_2 , sales férricas y algunos catalizadores. En la electrooxidación anódica, se forman radicales $OH\cdot$ debido a la oxidación en el ánodo desde las moléculas de agua, y paralelamente, se facilita la eliminación de componentes orgánicos e inorgánicos; los electrodos más usados en esta área son: de Platino, Titanio, Dióxido de Plomo, Dióxido de Titanio, Dióxido de Estaño y hasta Diamante dopado de Boro (DDB). Este proceso puede describirse en dos tipos, oxidación anódica directa y oxidación anódica indirecta. La diferencia pronunciada entre los dos tipos es que la segunda se oxida gracias a la acción de agentes generados en la oxidación directa del medio líquido.

La reacción química de oxidación posee en resumen 2 pasos principales: la adsorción del radical hidroxilo por la superficie del electrodo (S) descrito en la fórmula (1) y la reacción oxidativa del radical hidroxilo con las moléculas orgánicas (R) mostrada en la fórmula (2). (**Monge, 2018**)



La industria del cuero pertenece al sector de gran desarrollo en la provincia de Tungurahua, especialmente en la ciudad de Ambato, misma que a su vez, se ha convertido -por consecuencia- en una de las fuentes de contaminación y consumo de agua, más altas del sector; las mismas son protagonistas del impacto negativo en las localidades receptoras del agua descargada, y simultáneamente, incumpliendo la normativa de calidad del agua especificada en la legislación vigente (**Núñez, 2021**).

Para la Tenería Núñez -empresa del sector, dedicada a la curtición-, los POA representan un tratamiento secundario adicional al ya aplicado por (Núñez, 2021) que consistió básicamente en métodos físicos y fisicoquímicos (trampas, precipitación, floculación y coagulación a partir de policloruro de aluminio, etc); no obstante, posterior a este tratamiento primario se requiere una metodología nueva para la reducción de valores críticos del índice de calidad del agua, específicamente en sus datos de demanda química y bioquímica de oxígeno.

El índice de calidad del agua (ICA) como indicador esencial de la intervención antrópica, corresponde a una de las cuatro relaciones hídricas -índice de uso de agua, índice de vulnerabilidad de abastecimiento hídrico, índice de alteración potencial de la calidad del agua e índice de calidad del agua- que integran las bases de la investigación en la gestión ambiental; el ICA es un valor entre 0 y 1 que muestra el grado de calidad del agua respecto al uso y al bienestar humano, mismo que toma en cuenta condiciones físicas, químicas y microbiológicas para detallar su composición y grado de contaminación. Los indicadores que componen la ICA son principalmente oxígeno disuelto, pH, DBO, DQO, nitratos, fosfatos, sólidos, conductividad, entre otros; sin embargo, cuales han demostrado ser más difíciles de rescatar -cuando se trata de aguas residuales provenientes de curtiembres- han sido la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) (Sierra, 2011).

Según Chacón (2016) este último indicador (DQO) se explica -a nivel internacional- como la cantidad de O_2 que requiere un volumen determinado de agua para tener la capacidad de transformar la materia orgánica del medio; y es este el indicador el que se ve más afectado al someter el agua a procesos industriales de curtición del cuero. Esto, debido a la adición de sulfuros, detergentes, enzimas, dispersantes, cal, ácidos, taninos, entre otros; parámetros que promueven el incumplimiento de la normativa ambiental, y por consecuencia provocan pérdidas en la eficiencia del proceso.

El valor de DBO es un bioensayo que -según **Yehuala, et al. (2021)**- permite conocer la cantidad de oxígeno requerido por microorganismos para degradar la materia orgánica en condiciones aerobias, y dependiendo del tiempo de incubación lleva el subíndice 3, 5 ... e incluso 20; sin embargo, por la limitante temporal se utiliza más a menudo la DBO5. Adicional a esto, mediante la relación DBO5/DQO se facilita al analista, decidir si las masas de agua requieren un tratamiento fisicoquímico o uno biológico; al obtenerse datos mayores a “0,5” hablamos de cuerpos hídricos biodegradables; mientras que, si el resultado de dicha relación es inferior a “0,5” nos enfrentamos a cuerpos poco biodegradables.

El tratamiento de aguas a nivel internacional lleva a cabo tres etapas, según **Belzona Inc (2010)** el tratamiento primario refiere al uso coagulación y floculación con metodologías mecánicas de separación; el tratamiento secundario, a métodos de aireación; y el tratamiento terciario, se enfoca en cautelar la desinfección de la masa hídrica previo a la descarga. Los procesos electrolíticos han sido implementados en el tratamiento de aguas, como proceso secundario y/o terciario de aguas residuales, mas no existe un estudio de valores en la reducción de indicadores -DQO y/o DBO- para residuos hídricos de curtiembres en Ambato.

El proceso de electrólisis del agua mediante dos placas de titanio -material bajo en reacciones secundarias con el medio- separa las moléculas de la solución del medio por corriente eléctrica hacia el cátodo y el ánodo, esta prueba realizada por primera vez en 1800 por Nicholson y Carlisle, demostró la proporción atómica de hidrógeno y oxígeno en la molécula del agua (2:1). Este proceso se aplica constantemente en la industria para la obtención/separación de elementos químicos; y en el campo ambiental, específicamente en el tratamiento de aguas residuales de efluentes hídricos industriales, reduciendo valores en la demanda de oxígeno de las muestras (**Veintimilla & Salazar, 2008**).

Según Cardona (2012) la electrólisis como herramienta de separación, lleva siendo utilizada e investigada varios siglos; y al avanzar en el tiempo, se le han agregado nuevas aplicaciones; desde la producción mineral, generación de ácidos e hidróxidos, separación de gases, etc. Es esta última aplicación la que se utiliza como punto de partida para desarrollar la metodología de tratamiento hídrico de curtiembres, ya que al separar la molécula del agua se provoca un incremento en la concentración de agentes oxidantes en el medio, viendo reducidos -por efecto- los indicadores DBO y DQO.

En el tratamiento electroquímico realizado por **Hernández (2011)** en aguas residuales industriales, se reciben las muestras -posterior a un tratamiento primario de sedimentación y secundario de microorganismos- en recipientes plásticos refrigerados a 4°C, mismos que son analizados sus valores de degradabilidad, antes, y después del proceso de electrocoagulación a partir electrodos de hierro con agitación constante. El siguiente proceso de electrooxidación se lo practicó a 20°C con un ánodo de DDB y un cátodo de hierro, modificando la intensidad de corriente y pH desde 1, 2 y 3 amperios; y desde 1 a 12 de pH. Ambos métodos electroquímicos combinados lograron reducir el valor de DQO y DBO con un 47% de eficiencia para electrocoagulación y 52% de eficiencia para electrooxidación. Los valores iniciales de 889,5 y 300 se redujeron hasta <1 y <1 en DQO y DBO5 respectivamente, como lo muestra el **Anexo 6**

El proceso electroquímico a aplicar no solo representa una alternativa viable para cumplir la normativa nacional e internacional, sino para reducir costos en el tratamiento y mejorar la calidad del agua en el efluente. La inversión inicial requerida para arrancar con dicho proceso estima únicamente la adquisición de una fuente de energía eléctrica de corriente continua y electrodos -se sugieren, sean de materiales que no provoquen reacciones secundarias, como Titanio o Platino- que, mediante conocimiento básico en celdas electrolíticas, se realiza la conexión del circuito y la ubicación de los electrodos en el medio líquido contaminado; es aquí donde según **Veintimilla & Salazar (2008)** la

reacción química de intercambio de electrones convierte la solución en radicales oxidantes, mismos que cumplirán el objetivo planteado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Reducir el valor de demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales de la Tenería Núñez aplicando tratamiento de electrólisis del agua residual.

1.2.2 Objetivos específicos

- Construir una celda electrolítica con electrodos de Titanio para el tratamiento secundario de aguas residuales.

- Determinar la biodegradabilidad en las muestras del efluente hídrico de tenería Núñez a través del análisis de DQO y DBO.

- Comparar los valores de DQO y DBO posterior al tratamiento secundario de electrólisis.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis Nula

- Ho: El tratamiento de electrólisis de agua residual de tenería Núñez no es eficaz para reducir valores de DQO y DBO

1.3.2 Hipótesis alternativa

- H1: El tratamiento de electrólisis de agua residual de tenería Núñez es eficaz para reducir valores de DQO y DBO

CAPÍTULO II

2. Metodología

- **Equipos**

Espectrofotómetro “GENESIS 10vis

Digestor “HANNA instruments HI 839800 COD REACTOR”

Balanza analítica “AS 110.R2”

Ph Metro “MILWAUKEE Mi106”

Oxímetro “Digimed SKU: DM-4PP” o equipo respirométrico “OxiTop”

Campana de extracción de gases

Incubadora de aire “FAITHFULL WPL-30BE”

- **Materiales de laboratorio**

Balones de aforo (5 ml, 10 ml, 25 ml, 50 ml y 500 ml)

Pipetas volumétricas (5 ml y 10 ml)

Frascos Winkler

Vasos de precipitación (50 ml y 250 ml)

Desecadores de vidrio

Tubos de ensayo para digestor “HACH”

- **Reactivos**

Ácido sulfúrico concentrado

Hidróxido de Sodio

Agua destilada

Dicromato de potasio

Sulfato de Plata

Sulfato de Mercurio

Ftalato ácido de potasio

Fosfato mono potásico

Fosfato di potásico
Fosfato de di sodio hepta hidratado
Cloruro de Amonio
Sulfato de Magnesio hepta hidratado
Cloruro de Calcio anhidro

- **Materiales adicionales**

Transformador de corriente alterna a corriente continua -“Adaptador Universal Ajustable 3-24 Voltios 3 Amperios con Indicador de Voltaje UM-715”
Electrodos enmallados de Titanio (importados de USA)
Cables
Plástico termo retráctil
Aplicación Excel

2.1. Métodos

Todos los procesos -de toma de muestra y análisis de laboratorio para indicadores de calidad del agua- fueron tomados de **NTE INEN 2169 (2013)** y **American Public Health Association (2012)**.

2.5.1 Construcción de celda electrolítica

Se construyó una celda electrolítica adaptando el diseño de **Arias (2011)**, con modificaciones específicas para: capacidad de agua, tamaño/material/número de electrodos y alimentación eléctrica, puesto que -a diferencia de nuestro experimento- en su estudio, se utilizó el proceso para un flujo constante y poco tiempo. La eficiencia en el diseño o elección de los electrodos, con el fin de incrementar su resistencia, requiere de

material -entre otros- de Titanio (enmallado) por sus características, cables aislados para el circuito y una fuente de energía; estos, serán sumergidos en el medio iónico para la electrólisis. La cuba electrolítica se construyó con material de vidrio de 25 x 25 x 30 centímetros y unido con pegamento aislante y resistente al calor. El volumen máximo que contiene el recipiente es de 18,75 L; sin embargo, se procuró no sobrepasar el límite de 12 L, con el fin de evitar derrames por ebullición del agua durante la electrólisis y facilidad de manipulación de las masas de agua. Los electrodos de titanio -10 x 5 cm- fueron importados de Estados Unidos de América a través de “Amazon”, y su material fue seleccionado por sus características efectivas en procesos electroquímicos, entre ellas la poca reactividad con el medio. Los electrodos se vincularon a los cables del transformador eléctrico -equipo de voltaje variable de 0 V hasta 24 V- y sostenidos por soportes universales con pinzas como lo muestra el **Anexo 2**.

2.5.2 Toma y recolección de muestras

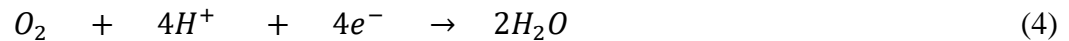
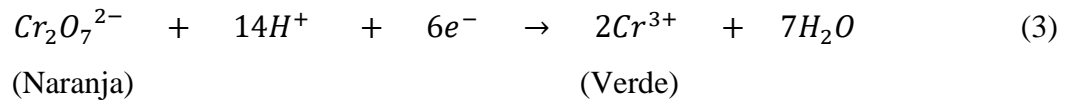
Se tomó una muestra -posterior al tratamiento físico-químico primario de coagulación y floculación- del efluente hídrico de Tenería Núñez según el proceso de muestreo regido por la normativa **NTE INEN 2169 (2013)**, **American Public Health Association (2012)** y **Corplabec SA (2015)** con sus respectivas técnicas y prevenciones de riesgo, para recolectar, almacenar, conservar y transportar las muestras hacia los laboratorios para su análisis químico y físico.

La muestra pura de agua residual inicial -20 L- de Tenería Núñez fue tomada el cuatro de abril del año vigente a las 14:00 a 17,3 °C en coordenadas UTM : 17M 0766490 9855164 con un pH de 8,1 y un DQO de 16821 analizado en el “**INFORME DE RESULTADOS No LACQUA 21 – 3425**” del **Anexo 7**.

La muestra posterior al tratamiento primario fue diluida 1:20 para análisis de datos iniciales de laboratorio de la facultad, debido al alto valor de DQO estudiado en análisis anteriores, como se muestran en resultados de los parámetros iniciales certificados de “Lacquanálisis S.A.” del “INFORME DE RESULTADOS No LACQUA 21 – 3425” del anexo anterior. No obstante, para las conclusiones se volverá a definir la relación 1:20 de los resultados propios, para mostrar los valores de DQO reales sin dilución (**Anexo 15**).

2.5.3 Determinación del valor inicial de DQO (previo al tratamiento)

La determinación del valor de Demanda Química de Oxígeno resulta al medir la concentración de oxígeno que se requiere para oxidar materia orgánica presente en masas de agua utilizando sales ácidas inorgánicas oxidantes (dicromato de potasio) y por consecuencia determinar la toxicidad y/o degradabilidad de la masa hídrica previa a la descarga en efluentes. (**Espíndola. E. 2011**) Reacciones mostradas en:



La relación estequiométrica demuestra como cada $Cr_2O_7^{2-}$ consume $6e^-$ en su reducción (3), y paralelamente cada O_2 consume $4e^-$ (4). Concluyendo que al consumirse un mol de $Cr_2O_7^{2-}$ durante la reacción de oxidación, se consume 1,5 moles de O_2 . Dicho de otro modo, se utilizará el proceso colorimétrico de absorción de luz; donde la muestra -a analizar- reaccionará con un oxidante junto al ácido sulfúrico -como medio ácido- y la

plata -como catalizador de la reacción- para reconocer la cantidad consumida de dicromato, proporcional a la cantidad de contaminantes.

El primer paso para el análisis químico de DQO es la preparación de soluciones (catalizadora, digestora y patrón). Para la primera solución -catalizadora- se disolvió 9,936 g sulfato de plata en 0,9 L de ácido sulfúrico dejándolo reposar por uno o dos días, se conserva al ambiente en una botella ámbar máximo por tres meses. En la segunda solución -digestora- se disolvió 10,22 g de dicromato de potasio (secado a 105°C por dos horas previamente) en 500 ml de agua destilada; (a esta solución se le adiciona 3,5 g de sulfato de mercurio -opcional-) junto a 167 ml de ácido sulfúrico hasta aforar en 1000 ml con agua destilada y conservar en botella ámbar máximo por tres meses. Como una recomendación de otros autores, se especifica la necesidad de considerar un patrón que verifique los resultados de la curva y nuestros análisis, este mismo se lo crea con una solución de 850 mg de ftalato de potasio aforado a 1000 mL con agua destilada, y representando así un valor teórico de DQO de 1000 mg/L.

Finalmente, en la gráfica de la curva de calibración se requiere diluciones de la solución patrón a concentraciones de 50, 100, 250, 500, 750 y 1000 mg / L reconociendo que el KHP tiene un valor para DQO de 1,176 mg O₂ / mg KHP. Es recomendable realizar una solución de control para validar la exactitud de la curva de calibración con 0,1064 g de ftalato ácido de potasio (secado previamente) aforado a 50 ml y tomar una alícuota de 3 ml, para llevarlo a aforo hasta 10 ml comprobando en la curva el valor de 750 ppm de DQO.

La curva de calibración según **GEMA (2007)** debe tomar en cuenta la linealidad, precisión y exactitud, como parámetros esenciales; con un coeficiente de correlación mínimo R^2 mayor a 0,99; el proceso de medición de datos para la curva de calibración posee ciertas recomendaciones que fueron puestas en práctica en esta investigación, como:

evitar la dispersión de las partículas suspendidas de la muestra digerida previo al análisis por su interferencia de la medición de absorbancia, evitar valores (ppm) inferiores y superiores a los valores de la curva, puesto que no se tiene certeza de su coeficiente de correlación fuera de estos límites; no olvidar las relaciones de dilución para la cuantificación de la demanda de oxígeno, etc.

Una vez conocida la curva de calibración con un coeficiente de correlación aceptable, se procedió a la medición por espectrofotómetro de las muestras, mismas que deben ser digeridas (calentadas a 150°C por dos horas) en el digestor “HANNA instruments HI 839800 COD REACTOR”.

La concentración de cada reactivo en los tubos a digerir, deben ser de: 2,5 mL de muestra a analizar, 1,5 mL de solución digestora y 3,5 mL de solución catalizadora; dándonos un volumen total de 7,5 mL. La muestra inicial será sometida a digestión, junto a los estándares y el blanco. Finalmente, pasadas las dos horas se deja enfriar las muestras y se midió absorbancia en un espectrofotómetro “GENESIS 10vis” a una longitud de onda de 600 nm, iniciando por el blanco -como valor cero- y tomando como referencia los patrones.

2.5.4 Determinación del valor inicial de DBO (previo al tratamiento)

La determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno, también llamada Demanda Bioquímica de Oxígeno, toma en cuenta el subíndice posterior a las siglas de “DBO”, valor que indica el tiempo (en días) en el que una muestra será sometida a análisis de consumo de oxígeno por parte de microorganismos, al degradar la materia orgánica del medio. Este proceso mide el agotamiento progresivo de oxígeno en el medio líquido como insumo en el metabolismo bacteriano (NTE INEN 1202. 2013), su prueba puede hacerse

a través del sistema de medición de DBO “OxiTop” por el método respirométrico o a su vez por la prueba de oxígeno disuelto.

El método respirométrico por Oxitop, contempla la adición de una alícuota de la muestra inicial -dependiendo del análisis preliminar de DQO y del factor de equipo- en un frasco ámbar junto al inhibidor de nitrificación con hasta 4 pastillas de hidróxido de sodio, cautelando un cierre hermético. Todo esto debe mantenerse en agitación lenta e incubación por 5 días; este método analiza la variación de presión del sistema aislado al exterior, al considerar el consumo de oxígeno como nutriente de microorganismos que, gracias al metabolismo bacteriano, se generará CO₂ -gas que será absorbido por el hidróxido de sodio- creando como consecuencia una presión negativa detallada por el equipo en forma de mg / L (DBO) (Núñez, 2021).

Otro método utilizado para la medición de DBO₅ es el proceso tradicional de medición de oxígeno disuelto en frascos Winkler, mismo que según NTE INEN 1202 (2013), consiste en el análisis de la variación en la concentración de oxígeno -con un oxímetro- del medio hermético. Previo al análisis, se requiere poseer el dato de DQO para buscar una “Relación de diluciones DQO vs DBO₅” descrita en la **Tabla 1**, seleccionando la proporción de las diluciones a realizar y continuar con el proceso químico analítico de DBO.

Finalmente, se procede a conseguir nuestra “agua dilución” (mezcla líquida de reactivos en una proporción de 1 % v/v de cloruro de calcio, cloruro férrico, sulfato de magnesio, y un buffer de fosfatos, aforado a 1000 mL y oxigenado por un sistema de bombeo de aire) solución que representará el porcentaje restante de nuestra muestra como medio nutritivo para los microorganismos. Observando la caracterización de la muestra se decidirá si es necesario añadir microorganismos de lodos similares en caso de la inexistencia de estos debido a los parámetros del medio.

Las mediciones del parámetro “Oxígeno disuelto”, se las concretarán mediante un oxímetro “Digimed SKU: DM-4PP” antes, como posterior a 5 días de incubación a 20°C en una incubadora “FAITHFULL WPL-30BE” (muestra inicial tomada el 12 de agosto del 2021 y tratada el 22 de julio del mismo año). Si se requiere mayor análisis de datos se puede recopilar datos a los 3 días, obteniendo adicionalmente DBO3 y comparando la diferencia en la pendiente de datos para DBO. Los resultados para demanda biológica a una dilución 1:20 -con el proceso indicado- se midieron fuera del laboratorio de la facultad, debido a la poca disponibilidad -en tiempo- de uso en equipos y espacios experimentales. Estos se reportan en **Anexos 12 y 13**.

Tabla 1

Relación de diluciones DQO vs DBO5

DQO (ppm)	Dilución 1	Dilución 2
1-5	Directa	-
5-10	Directa	50%
10-15	50%	30%
15-25	30%	15%
25-50	15%	10%
50-100	10%	5%
100-200	2%	1%
400-800	1%	0,5%

Los valores indican las diluciones requeridas para cada caso en inérvalos de DQO ppm. Transcrito de **Guerra, J. (2013)**

La prueba del DBO5 concluye con el análisis -a los 5 días- de los valores para oxígeno disuelto en la solución, datos que nos permiten reconocer el valor de DBO mediante la fórmula descrita por (**Lerman, s.f**)

$$DBO_5 \frac{mg}{L} = \frac{D1 - D2}{P}$$

Donde:

D1: Oxígeno disuelto inicial

D2: Oxígeno disuelto final

P: Fracción decimal de la muestra utilizada

2.5.5 Implementación de tratamiento de electrólisis en laboratorio

Una vez construido el circuito con electrodos de titanio, proceso descrito en el punto **2.5.1**, se procedió a adaptar la segunda parte del proceso electroquímico de oxidación avanzada de **Hernández et. al (2011)**, que utiliza electrodos DDB posterior a la electrocoagulación con Hierro; sin embargo, su proceso al ser tan costoso por sus electrodos de diamante, solo utilizó 0,35 L en una celda de 200 cm² de área.

Con el fin de escalar el proceso oxidativo y obtener datos de una mayor representatividad estadística, se utilizó 12 L de medio residual -a una temperatura inicial de 18°C y pH inicial de 7,6- tratado/y modificado por una sal (14ml de una solución al 10% de NaOH como sustancia que incrementará la conductividad eléctrica para el proceso electrolítico) allí se procedió a sumergir cátodo y ánodo -separados a una distancia de 4 cm- contenido en un recipiente no metálico.

El proceso consistirá en la separación parcial -de los compuestos en disolución- a radicales oxidantes -reacción promovida por la conductividad de las sales del medio y la sal añadida de NaOH-. Finalmente se toman las muestras homogenizadas de 9 tratamientos para estudios de degradabilidad, y se reportará el cambio en los valores de DQO y DBO modificando variables de tiempo y voltaje. Desde la muestra inicial diluida 1:20, se procederá con la experimentación en tres turnos (5 voltios durante 2 horas, tomando muestras -por triplicado- para análisis de DQO y DBO a las 0,5 horas, 1 hora y 2 horas posterior a la electrólisis; y repitiendo el proceso para 10 voltios y 20 voltios).

Los datos para conductividad en **Núñez (2021)** reportan valores cercanos a 2,1 mS / cm posterior al tratamiento, por lo que este valor de partida será tomado en cuenta en la modificación de la conductividad por la adición de NaOH en el experimento electrolítico. El hidróxido de sodio como sal conductora según **Molina (2014)** alcanza su nivel más alto de conductividad a 3500 mS / cm bajo una concentración de 5 M; por otra parte, las sales propias del agua residual contribuyen también en la conductividad del medio líquido, por lo que no es necesario incrementar la conductividad a su punto máximo para que el proceso electroquímico funcione; aunque podría hacerse un estudio de la incidencia de un factor adicional (Conductividad) en un diseño experimental futuro.

La conductividad del medio se incrementó -por la relación descrita anteriormente- en 0,203 mS / cm debido a la adición de 14 mL de la solución de Na OH al 10%, por la relación descrita en **Molina (2014)**; si en un volumen total -de 12 L- se tiene una concentración Molar de 0,00029 M de NaOH, la conductividad que se incrementa es de 0,203; valor que, combinado con la conductividad original (2,1), resultará en 2,3 mS / cm. Esto se realizó debido a la necesidad de convertir el agua residual en un medio con mayor potencial en la conducción de electricidad, y por lo tanto un generador de radicales oxidantes.

2.5.6 Determinación de valores finales de DQO y DBO

Con el fin de determinar el nivel de eficiencia del tratamiento electrolítico de aguas residuales en curtiembres, se buscó obtener los nuevos valores para DQO y DBO según los mismos procesos de análisis descritos en el punto **2.5.3 y 2.5.4**; posterior a haber recibido los tratamientos indicados, se espera una reducción importante en sus valores de degradabilidad, y estos se compararon en la **Tabla 4 y 5**.

Las muestras del mejor tratamiento (tiempo vs voltaje) se envió a un laboratorio acreditado “Lacquanálisis S.A.” para obtener valores certificados del mismo, y verificar la similitud con resultados analizados en el laboratorio de la universidad. Datos que se exponen en el **Anexo 12 y 13**.

2.5.7 Diseño experimental

De los datos que se obtuvieron en la determinación de DQO, se realizó un análisis de varianza -diseño factorial a x b, con resultados por triplicado- que permitieron reconocer el factor más incidente en la reducción de valores de DQO; el método utilizado requiere únicamente de tres variaciones de dos factores -obteniendo así nueve tratamientos- Voltaje (A) y Tiempo (B); el voltaje se estabilizó mediante un transformador de corriente alterna a corriente continua -“Adaptador Universal Ajustable 3-24 Voltios 3 Amperios con Indicador de Voltaje UM-715” mostrado en el **Anexo 10**- en 5 V, 10 V y 20 V (**Anexo 17**); mientras que se tomaron muestras representativas y homogenizadas a las 0,5 horas, 1 hora y 2 horas.

Se construyó una tabla de valores con celdas por triplicado en Excel con un análisis de datos a un nivel de significancia de 95% - $\alpha = 0,05$ - donde se aceptará o negará las hipótesis planteadas; los grupos de hipótesis serán dependientes de las tres posibilidades

de representatividad: voltaje (A), tiempo (B), o ambos (AB). El análisis de datos a partir de la **Tabla 4** brindará los resultados para F calculada y F de tablas, valores que permitirán rechazar las hipótesis nulas en el caso que F calculada sea mayor a F de tablas; caso contrario se las aceptará.

Hipótesis

Hipótesis para factor A (Voltaje)

- HA0: La incidencia del factor A no es significativo frente a los demás
tratamientos

- HA1: La incidencia del factor A es significativo frente a los demás
tratamientos

Hipótesis para factor B (Tiempo)

- HB0: La incidencia del factor B no es significativo frente a los demás
tratamientos

- HB1: La incidencia del factor B es significativo frente a los demás
tratamientos

Hipótesis para factor AB (Voltaje y Tiempo)

- HAB0: La incidencia del factor AB no es significativo frente a los demás
tratamientos

- HAB1: La incidencia del factor AB es significativo frente a los demás
tratamientos

CAPÍTULO III

3. Análisis y discusión de resultados

3.1. Curva de Calibración para DQO

La curva de calibración para DQO -realizada como se describe en el punto 2.5.1- con el mejor coeficiente de correlación (R) fue de 0,9987 reportado en la **Ilustración 1** mediante los valores de absorbancia -de la **Tabla 2**- que servirán para obtener la concentración en ppm de la demanda química de oxígeno de las muestras a analizar.

Tabla 2

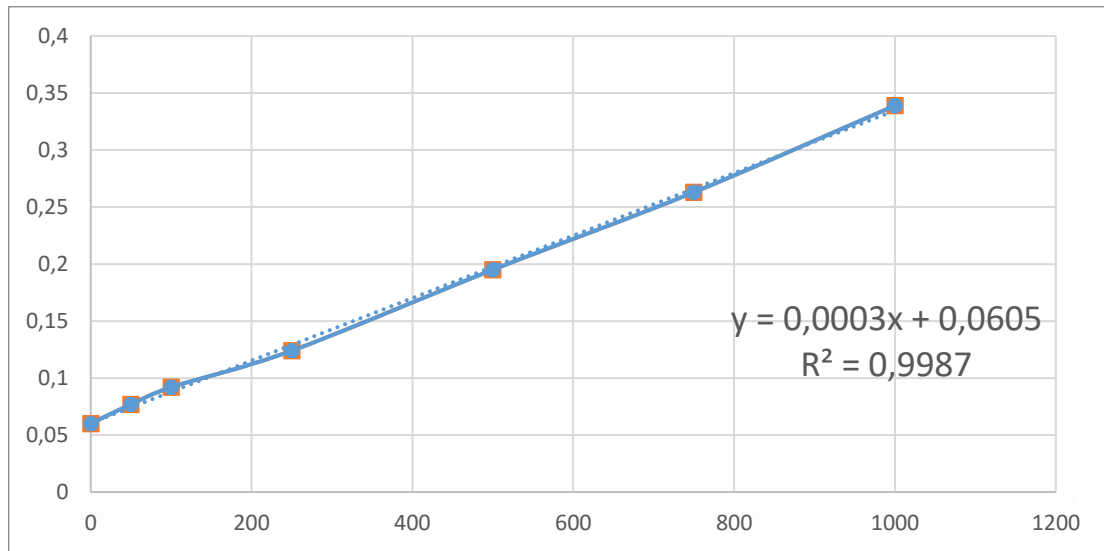
Valores de la curva de calibración

DQO (ppm)	Absorbancia (λ 600)
0	0,060
50	0,077
100	0,092
250	0,124
500	0,195
750	0,263
1000	0,339

Se muestran los valores de absorbancia (segunda columna) y su relación con el valor teórico de DQO ppm (primera columna) a una longitud de onda de 600 nm (nanómetros). **Elaborado por:** Ricardo Vásquez

Ilustración 1

Curva de calibración para DQO



Utilizando los valores mostrados en la tabla 2 se graficó la curva de regresión lineal en Excel, obteniendo un coeficiente de correlación (R) superior a 0,99 como lo sugiere **GEMA(2007)** en su método de validación de métodos para DQO. **Elaborado por:** Ricardo Vásquez

3.2. Toma de muestra

De la muestra original, se realizó una dilución 1:20 esperando obtener resultados inferiores a 1, debido a la limitación de espectrofotometría; y se conservó una muestra sin dilución para reproducir el mejor tratamiento y de esa forma, comprobar el porcentaje de reducción de DQO -a través de un análisis certificado por la misma empresa del análisis inicial- resultado mostrado en el **Anexo 7**.

Entre los parámetros estudiados -por **Núñez (2021)**- a fondo para el ICA, de la muestra no tratada destacan los sólidos totales con un valor cercano a 1335 mg / L, provenientes de los procesos de curtición, descarnado, y otros; estos se ven reducidos posteriormente a valores permisibles de 185,3 mg / L y por consecuencia, en color y turbidez. Otros parámetros que se ven drásticamente reducidos son los sulfatos y sulfuros,

desde 6226 y 518,13 hasta 503,5 y 1,24 respectivamente; acercándose a límites permisibles. Valores reportados en el **Anexo 16**.

Posterior al tratamiento electroquímico, y antes de someter la muestra a procesos de digestión para medición de biodegradabilidad, se extrajo el volumen suficiente -1000 mL de cada muestra- para análisis de DQO y DBO en frascos ámbar, en la cual los valores de temperatura cambiaron debido a los procesos eléctricos, llegando a alcanzar hasta los 27,3 °C. Cada grupo de frascos ámbar -5 V, 10 V y 20V- se conservaron en refrigeración por 3 días a 4°C mientras se realizaban los demás experimentos, debido a la limitante temporal de ingreso a la facultad.

3.3. Medición de absorbancia para DQO

Tabla 3

Resultados de absorbancia

	Tiempo	1 (A)	2 (A)	3 (A)	Media
Original	0	0,330	0,326	0,317	0,324
	0,5 h	0,329	0,324	0,315	0,323
5 (V)	1 h	0,328	0,323	0,318	0,323
	2 h	0,319	0,322	0,310	0,317
	0,5 h	0,312	0,313	0,307	0,311
10 (V)	1 h	0,316	0,306	0,301	0,308
	2 h	0,311	0,314	0,302	0,309
	0,5 h	0,313	0,304	0,305	0,307
20 (V)	1 h	0,299	0,301	0,289	0,296
	2 h	0,295	0,296	0,286	0,292

Se muestran los resultados de valores de absorbancia por triplicado para 9 tratamientos distintos, como combinación de la variable tiempo (0,5 horas, 1 hora y 2 horas) y la variable voltaje (5, 10 y 20 voltios) así como su media aritmética en la columna a la derecha. **Elaborado por:** Ricardo Vásquez

La lectura de absorbancia se la hizo en el espectrofotómetro “GENESIS 10vis” por triplicado en cada tratamiento, con un día de diferencia en celdas de cuarzo; desde la muestra original diluida, obteniendo valores con una media de 0,324 A, hasta los mejores tratamientos, obteniendo una media de 0,296 A y 0,292 A como se puede observar en la **Tabla 3**.

La absorbancia como valor principal en la medición de DQO de esta investigación, juega el rol más trascendente en el análisis de los datos para las conclusiones, razón por la cual se lo realizó por triplicado en cada tratamiento, y se precisó una dilución 1:20 buscando evitar valores superiores a 1 de absorbancia en el espectrofotómetro, como lo sugiere **Arcos (2019)**. Se obtuvo de esta forma, veinte y siete resultados de absorbancia. Sin embargo, el valor del tratamiento a 5 V durante una hora sufrió un error para su tercera medición -superando el valor inicial- debido posiblemente a errores en la toma de volúmenes de muestra, solución digestora, catalizadora, limpieza de tubos/material de vidrio, etc.

Dicho dato no tiene tanta notoriedad, puesto que en la **Ilustración 2** se recreó los resultados de la media aritmética de los datos en la **Tabla 4**, sin embargo, para notar la imprecisión, se dispuso el color rojo en los nombrados errores para las **Tablas 3, 4 y 5**.

El valor antes mencionado se observa más claramente en la **Tabla 5**, donde existe un valor porcentual negativo para 5 Voltios a 1 hora de electrólisis en la réplica número 3, como un problema de muestra o lectura que viene arrastrándose desde las tablas anteriores. Con el fin de definir una gráfica fiel a la investigación, fue tomado de igual forma el valor en rojo para la media aritmética en la **Ilustración 2**; así como también para el diseño experimental.

3.4. Obtención de valor de DQO ppm a partir de absorbancia

Mediante la ecuación de la regresión lineal -obtenida en Excel a partir de los datos de la **Tabla 2** para la curva de calibración- $y = 0,0003x + 0,0605$ del **Gráfico 1** se obtiene el valor de DQO en ppm despejando la variable “X” donde $x = (y - 0,0605) / 0,003$. El conjunto de estos valores se encuentra reportado en la **Tabla 4**, desde un DQO inicial medio de 879,71 ppm y hasta los valores con más reducción de DQO (electrólisis a 20 V durante 1 hora con un valor medio de 786,11 ppm y a 2 horas con un valor medio de 772,78 ppm). Tomar en cuenta que estos resultados pertenecen a un valor de DQO para una dilución de 1:20.

Tabla 4

Resultados de DQO

	Tiempo	1	2	3	Media
Original	0	899,01	884,73	855,39	879,71
	0,5 h	895,00	878,33	848,33	873,89
5V	1 h	891,67	875,00	858,33	875,00
	2 h	861,67	871,67	832,67	855,33
	0,5 h	838,33	841,67	821,67	833,89
10V	1 h	851,67	818,33	801,67	823,89
	2 h	835,00	846,00	805,00	828,67
	0,5 h	841,67	811,67	815,00	822,78
20V	1 h	795,00	801,67	761,67	786,11
	2 h	781,67	785,00	751,67	772,78

Los datos de absorbancia fueron transformados a DQO ppm, mediante la ecuación de la regresión lineal conseguida en la Ilustración 1 y el despeje de la variable “X”. Para el valor de la tercera réplica en 5 V durante 1 hora posee un error de lectura desde la absorbancia de la tabla 3. **Elaborado por:** Ricardo Vásconez

3.5. Reporte de porcentajes de reducción a partir de valores de DQO

Se recreó una tabla con los datos porcentuales de cada tratamiento, calculando el valor de diferencia entre DQO inicial como el 100% y con cada uno de los tratamientos, valorando así el nivel de disminución de DQO ppm en porcentaje de eficiencia, datos mostrados en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Porcentaje de reducción de DQO

	TIEMPO	1	2	3	Media
Original	0	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,00
5V	0,5 h	0,446 %	0,723 %	0,825 %	0,66
	1 h	0,817 %	1,100%	-0,344 %	0,95
	2 h	4,154 %	1,477 %	2,656 %	2,76
10V	0,5 h	6,749 %	4,867 %	3,942 %	5,19
	1 h	5,266 %	7,505 %	6,281 %	6,35
	2 h	7,120 %	4,378 %	5,891 %	5,80
20V	0,5 h	6,378 %	8,258 %	4,722 %	6,45
	1 h	11,569 %	9,389 %	10,957 %	10,64
	2 h	13,053 %	11,272 %	12,126 %	12,15

Elaborado por: Ricardo Vásconez

3.6. Medición de DBO para el mejor tratamiento

Para la obtención de resultados de DBO5 se realizó únicamente la medición para el mejor tratamiento y la muestra inicial (1 hora a 20 V -conclusión obtenido a partir del diseño experimental-, y ambos hechos a una dilución de 1:20) en el laboratorio certificado “Lacquanálisis S.A” debido a la poca disponibilidad de tiempo de experimentación en la

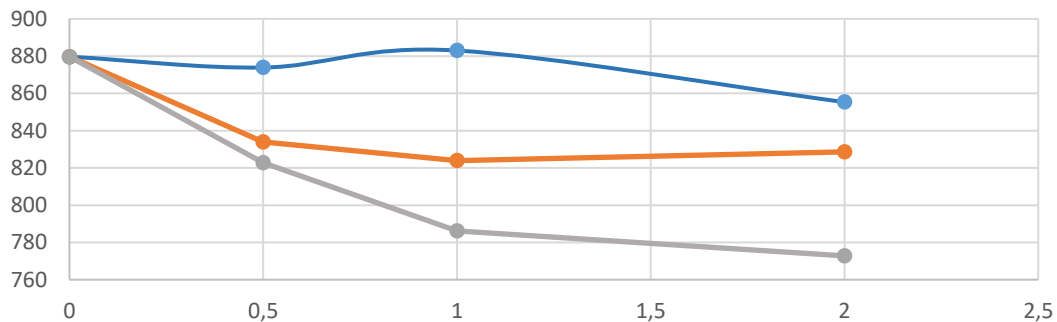
facultad por la pandemia. Los valores se encuentran reportados en los informes del **Anexo 12 y 13** con una reducción del 4,06% de DBO5. Los resultados -con un 3,72% de incertidumbre- fueron desde un dato inicial de 492,2 hasta 472,2 valores que, al multiplicar por su factor de dilución (1:20), alcanzan los datos de 9844 y 9444 antes y después del tratamiento respectivamente. Los datos para DQO realizados como valor de partida para DBO5, se mostraron desde 939 hasta 868 en el mismo anexo.

3.7. Comparación gráfica de tratamientos

En la **Ilustración 2** se muestran las tres curvas de los tratamientos para verificar el decrecimiento del DQO (Variable “Y”), con el avance del tiempo (Variable “X”) y el incremento del voltaje (líneas de diferentes colores). El punto óptimo para 5V y 10V fue una hora de electrólisis, y posterior a eso se mantuvo sin variaciones importantes. No obstante, el tratamiento a 20V continuó reduciendo la variable “Y” hasta las 2 horas, pero sin la misma pendiente esperada de cada tratamiento.

Ilustración 2

Tres tratamientos DQO vs Voltaje



Tres curvas indican el decrecimiento en la variable DQO ppm. En azul se contabiliza la variable de 5V (0,5, 1 y 2 horas) en naranja se cuantifica 10V (0,5, 1 y 2 horas) y en gris: 20V (0,5, 1 y 2 horas). La pendiente negativa se mantiene pronunciada máximo hasta la 1 hora de tratamiento, posterior a ese tiempo, se mantiene casi sin alteraciones. A excepción de la curva de 5V que debido al error en la hora 1 no ejemplifica la misma pendiente. **Elaborado por:** Ricardo Vásconez

3.8. Diseño experimental a x b

Se utilizó el diseño factorial de a x b, precisamente 3 x 3, mediante los datos modificados de la **Tabla 4** hasta conseguir el formato para “Análisis de Varianza de dos factores con varias muestras por grupo” para Excel en la **Tabla 6**. Donde el voltaje (Factor A) y el tiempo (Factor B) tuvieron tres variaciones.

Tabla 6

Datos para análisis de varianza en Excel

Voltaje (A)	Tiempo (B)		
	0,5	1	2
5V	895,00	891,67	861,67
	878,33	875,00	871,67
	848,33	858,33	832,67
10V	838,33	851,67	835,00
	841,67	818,33	846,00
	821,67	801,67	805,00
20V	841,67	795,00	781,67
	811,67	801,67	785,00
	815,00	761,67	751,67

Datos modificados en orden para representar en columnas el factor B (tiempo 0,5h, 1h y 2h) y en filas el factor A (Voltaje 5V, 10V y 20V) **Elaborado por:** Ricardo Vásquez

Mediante la función de “análisis de datos” activada previamente desde las configuraciones de la aplicación “Excel”, se seleccionan las celdas a estudiar, escogiendo adicionalmente el valor del “Nivel de confianza” a 95%, es decir (α) = “0,05”, y al aplicar las opciones escogidas se imprimieron -en otra hoja de Excel- las tablas de resultados recopiladas en el **Anexo 5**. La tabla en la que se enfocó la atención fue la última (ANÁLISIS DE VARIANZA), que reagrupa los datos de suma de cuadrados, grados de libertad, etc. La tabla se representa de forma más clara y resumida para rechazar o aceptar las hipótesis nulas en la **Tabla 7** -a continuación- del resumen de análisis de varianza.

Tabla 7*Análisis de varianza*

<i>Factores</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Fc</i>
A	24793,40222	2	31,6297163	1,2841E-06	3,55455715
B	2771,667161	2	3,53590222	0,05067365	3,55455715
AB	2132,928644	4	1,36052179	0,28665105	2,92774417
Total	36752,77581	26			

Al observar los valores de F calculada (F), -que se pueden obtener manualmente- y compararlos con los valores de Fisher de tablas (Fc) se decidió rechazar la hipótesis nula del factor A, y aceptar las hipótesis nulas del factor B y AB. Explicado en términos no estadísticos, se recopila la información al comparar los valores de F, en la cual se demuestra que la incidencia del voltaje (A) es más representativa que la del tiempo (B), y su interacción (AB). Valor que puede ser reconocido en la **Ilustración 2**, en el cual se observa que en una hora de tratamiento con cualquier tipo de voltaje se obtienen resultados más distantes al origen, que a las 2 horas. Es preciso entonces enfocarse -como investigadores- más en incrementar el valor del voltaje que en extender el tiempo de exposición a la electrooxidación.

3.9. Discusión

Los parámetros iniciales de la muestra posterior al tratamiento primario de **Núñez (2021)** se vieron modificados por la dilución 1:20 y por consecuencia cambiando desde pH 8,1 hasta 7,6; adicional a esto, con la intención de incrementar la conductividad del agua e iniciar los procesos de oxidación, se volvió a alterar el pH hasta 8,5 por la adición de 14ml de sal conductora (NaOH).

Otro de los factores críticos en procesos electroquímicos, fue el material del electrodo, seleccionado de Titanio -según **YUNCH (2019)** y **Aguirre (2003)**- por ser de

gran beneficio para el proceso y por sus características de alta conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión, extensa vida de trabajo y gran rendimiento electrocatalítico como mecánico. El tamaño de los electrodos depende del material y de la masa líquida a tratar, razón por la cual en los procesos electroquímicos de **Hernández et. al (2011)**, se utilizó electrodos planos de hierro de 5 x 5 cm en una muestra de agua inferior a 0,35 L; a diferencia del proceso de **Arias (2011)**, que utiliza un electrodo de 12 x 18,5 cm para un volumen de muestra cercano a los 12 L; el diseño más parecido a nuestra investigación - para volumen de muestra- fue el segundo, por lo que se procuró conseguir electrodos enmallados de dimensiones similares (5 x 10), y de un material de características propicias (Titanio); sin embargo, como en todos los electrodos, posterior a algunos minutos de procesos electrolíticos, se forma una capa de óxido no conductora (en este caso Óxido de Titanio). Esto provoca daños a la integridad de la malla -como se observa en el **Anexo 4**- y como consecuencia se interfiere con el rendimiento de la reacción química lo que provocaría una reducción en la inclinación de la pendiente de decrecimiento del DQO representado en la **Ilustración 2**. En este gráfico se puede observar cómo hasta la hora 1, la curva posee una pendiente pronunciada y a partir de allí, esta misma se regulariza horizontalmente, pues los valores carecen de alteraciones importantes.

Para evitar esta interferencia es preciso según **YUNCH (2019)**, un recubrimiento de dióxido de Estaño y/o Trióxido de Antimonio con el fin de evitar la difusión de oxígeno sobre la superficie del Titanio o a su vez si el electrodo ya se encuentra inactivo, se precisa el uso de una película activa de Dióxido de Plomo y/o Dióxido de Manganeso; pero debido a la poca disponibilidad de recursos se realizó la electrooxidación sin tomar en cuenta este impedimento.

Como se explicaba en los antecedentes de la investigación, es preciso conocer los valores de DQO y DBO previo a implementar un tratamiento; y de tal forma reconocer si se justifica un proceso oxidativo o no. Al hablar de masas de agua con una relación $DBO_5 / DQO =$ mayores a 0,5 no se justificaría un tratamiento oxidativo; pero, en los análisis

hídricos del efluente de Tenería Núñez de pasados estudios como en **Núñez (2021)**, se han reportado valores cercanos a 9170,54 y 29955 de DBO y DQO respectivamente, datos que al hacer su relación “ DBO_5/DQO ” se obtiene un valor de 0,3; razón por la cual se justifica un tratamiento electroquímico de oxidación. En análisis más cercanos a los datos actuales, como en el reportado en el **Anexo 8**, se sigue cumpliendo dicho requisito puesto que el valor de DBO y DQO de 284,6 y 1543 continúan brindando una relación inferior a 0,5 igual a $DBO_5/DQO = 0,184$.

El método a utilizar -electrooxidación- no debe confundirse con la electrocoagulación; esta última, posee más similitudes con el tratamiento primario de floculación - coagulación a partir de procesos químicos; la electrocoagulación consiste en someter al medio líquido a corriente eléctrica para remover contaminantes suspendidos, disueltos o emulsificados, con electrodos, generalmente de hierro o aluminio. Los contaminantes -con la inducción de electricidad- forman compuestos hidrofóbicos que precipitan o flotan, facilitando el proceso de remoción física. Este proceso cuenta con innumerables beneficios descritos en **Arrango (2005)** como la facilidad de separación de contaminantes mineralizados debido al burbujeo desde los electrodos, el incremento en la velocidad de coagulación de partículas coloidales, reducción de sólidos disueltos totales como efecto colateral, ausencia de magnesio en lodos, menor problemática en la disposición de lodos, etc; sin embargo, existen otras variables que complican el proceso, como la ineficiencia en la remoción de DBO soluble consecuencia de anticongelantes y solventes; y la inactivación de electrodos por la película de oxido en la capa externa, como lo expresan en sus conclusiones; esta última desventaja se comparte en procesos de electrooxidación como el propio de esta investigación. Es preciso entonces estudiar el valor exacto en la reducción de eficiencia de oxidación de masas de agua, con el factor adicional de la generación de oxido en la capa externa del electrodo en una futura investigación.

Se escogió el mejor tratamiento para DQO, como el proceso más eficiente en tiempo y resultados por el diseño a x b (1 hora a 20 Voltios), muestras certificadas por “Lacquanálisis S.A.” en los **Anexos 12 y 13**, puesto que, a estas condiciones, los resultados experimentan mayor variación de datos. Sin embargo, la reducción de DBO no alcanzó un valor proporcional, frente a la reducción de DQO; siendo 4,06% para demanda bioquímica y de 7.56% para demanda química. Esta diferencia no proporcional, se debió posiblemente a que: existió una diferencia de tiempo en almacenamiento de muestras para en el análisis de datos iniciales -mismos que pudieron verse comprometidos frente a los resultados finales-; así como por razones electroquímicas en la metodología, donde pertenece -la ineficiencia en procesos para reducir DBO soluble- a una de las posibles desventajas de procesos de electrooxidación dependiendo de su caracterización -como lo explicaba **Arrango (2005)** en el párrafo anterior.

Estudios electroquímicos como **Hernández et. al (2011)**, con valores similares al efluente tratado en este estudio, reportan una reducción del 99% de DQO durante noventa minutos de tratamiento electroquímico a un pH 8 y con una intensidad de 4,0 Amperios como se observa en el **Anexo 3**; el tratamiento combinado de electrocoagulación y electrooxidación (30 y 60 minutos respectivamente) redujo desde 889,5 ppm (DQO) hasta valores inferiores a 1. Dichos resultados obtienen ese nivel de eficiencia posiblemente debido a las diferencias en la caracterización inicial del agua residual (Sulfuros, sulfatos, sólidos suspendidos, entre otros) y adicionalmente al valor de amperaje del transformador, puesto que el usado en la investigación actual poseía únicamente una intensidad de corriente hasta 3 Amperios. El tratamiento combinado de coagulación y oxidación por electrólisis debe ser experimentado en el efluente de Tenería Núñez para obtener una comparación de resultados y de tal forma descubrir los factores que determinan la reducción de la demanda de oxígeno en el medio líquido con esas nuevas variables. La reducción que se logró en valores de DQO de la investigación en Ambato -en el laboratorio de la facultad- fue máxima a un nivel del 10% aproximadamente, a 1 hora de tratamiento con un voltaje de 20 V y a un valor de 13% aproximadamente, a 2 horas de tratamiento con un voltaje de 20 V.

Recapitulando la dilución hecha antes del tratamiento electroquímico -con el fin de no superar valores de 1 en la absorbancia- es preciso recordar que los valores de DQO para la muestra tratada deben ser multiplicadas por el factor de dilución 1:20, obteniendo como resultados los datos del **Anexo 15** (DQO sin dilución) paralelos a la **Tabla 4** (DQO con dilución); es a través de estos valores que se puede verificar la metodología de análisis, debido a que la diferencia numérica en la reducción de DQO son similares, desde 16821 hasta 15611 y desde 17594 hasta 15456 en los análisis certificados de “Lacquanálisis S.A” y en la experimentación del laboratorio de la universidad respectivamente. Valores mostrados en los **Anexos 7, 9 y 15**.

El proceso electrolítico explicado, promete ser un tratamiento eficiente y bajo en costos, siendo el mejor tratamiento (tiempo vs DQO) la inducción eléctrica durante 1 hora y 20 Voltios -a 3 Amperios, dato recopilado del equipo, obsérvese **Anexo 10**-. Según **El Universo (2021)** el costo por kWh es de 10,47 centavos, y se requieren 60 Watts para alimentar el transformador durante 1 hora y conseguir una reducción del 12% -aproximado- de DQO para 12 litros de agua residual; el costo final de consumo eléctrico para los mejores tratamientos (1 hora de electrólisis a 20V) se aproximaría a los 0,063 centavos; y (2 horas de electrólisis a 20V) se aproximaría a 0.126 centavos.

Sabiendo que el factor con mayor incidencia en la reducción de DQO es el Voltaje se procede a escalar el proceso para una masa de agua de 1000 L como descarga diaria en Tenería Núñez. Si se requería 60 W para reducir valores cercanos al 12% de DQO en una masa hídrica de 12 L, ahora se requerirá 5000 W a un valor total de 52,35 centavos para la masa hídrica de 1000 L con un gasto anual de 124 \$ para 240 días laborables; Sin embargo, el proceso debe contemplar el incremento del voltaje (a través de sistemas de elevación de voltaje), conductividad, tiempo y/o intensidad para poder escalar el proceso hasta llegar a 5000W.

3.10. Verificación de Hipótesis

Posterior al análisis de resultados y discusión de estos, se demuestra mediante pruebas de laboratorio, la reducción de DQO y DBO como consecuencia del tratamiento electroquímico del agua residual de Tenería Núñez, el valor exacto para el tratamiento con mayor reducción de DQO en el menor tiempo corresponde al 7.56% de reducción para DQO, y para el DBO, 4,06%. Por lo que se rechaza la hipótesis nula: “no existe diferencia entre las muestras del efluente con las muestras tratadas”, y se acepta la hipótesis alternativa: “si existe diferencia entre la muestra original y la tratada con electrólisis”.

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- El valor de la Demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales de la Tenería Núñez alcanzó un porcentaje importante de reducción posterior al proceso electrolítico de oxidación avanzada, mismo que puede vincularse como un tratamiento secundario a las curtiembres del sector, los valores de parámetros de degradabilidad de las muestras para tratamientos más eficientes fueron certificados por laboratorios acreditados, mismos que comprobaron los datos del análisis propio. Sin embargo, los valores finales no logran reducirse hasta cumplir con límites permisibles según el acuerdo ministerial 097-A -500 para DQO y 250 para DBO- (**Ministerio de Ambiente, 2015**)

- El diseño de la celda electrolítica contempló el volumen suficiente en función a las pruebas, así como el material -titanio- de los electrodos con características propicias para el proceso electro oxidativo; el material sufrió daños mínimos de coloración y corrosión a simple vista; sin embargo, estos daños pudieron ser químicamente importantes para la reacción, ya que una de las causas posibles en la caída de la pendiente de las curvas de reducción de parámetros, es la inactivación de los electrodos como lo explica **Arias (2011)** debido a generación de óxido en la superficie del electrodo. Se debería procurar una protección previa del electrodo.

- Mediante análisis químico de DQO y DBO5 se caracterizó las muestras de agua residual de Tenería Nuñez; una muestra sin dilución se envió al laboratorio “Lacquanálisis S.A” para caracterización de la demanda química y bioquímica de oxígeno y otro análisis se lo realizó en el laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato siguiendo los

protocolos de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. El resultado inicial certificado para DQO sin dilución fue de 16821; paralelamente, la media del DQO inicial obtenido por triplicado en el laboratorio universitario a una dilución de 1:20 fue de 879,71 (Valor sin dilución = 17594). Así mismo para DBO (con dilución 1:20) un valor inicial de 492,2 y final de 472,2 (Valores sin dilución = 9844 y 9444)

- En las **Tablas 3, 4 y 5**, juntamente a la **Ilustración 2**, se detalló la comparación de datos iniciales y finales para nueve tratamientos distintos con dos factores de variación: Voltaje y Tiempo; cada factor fue modificado en tres posiciones, 5 V, 10 V y 20 V para voltaje, y 0,5 horas, 1 hora y 2 horas para tiempo. De estas variaciones se obtuvo tratamientos con un mayor porcentaje de reducción -13% aproximadamente- para valores de Demanda química de oxígeno, mismos resultados que fueron sometidos a un diseño factorial de a x b, que permitiría reconocer si algún factor tenía más representatividad por sobre otro, a lo cual se concluyó que el voltaje poseía mayor incidencia sobre los tratamientos, que el tiempo y su interacción.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda utilizar una protección para los electrodos, con el fin de evitar distorsiones en los resultados, valorando los recursos disponibles, o el cambio de material para electrodos.

- Con el fin de determinar la incidencia del factor conductividad, en el experimento se recomienda realizar un diseño experimental que contemple este factor; y así valorar y estandarizar el volumen a utilizar de hidróxido de sodio, como sal conductora de la electrooxidación

- Se recomienda la adquisición de un sistema de elevación de voltaje, con el objetivo de alcanzar la potencia necesaria para llevar al equipo electroquímico a su valor requerido, dependiendo del volumen residual a tratar.

CRONOGRAMA

Tabla 8

Cronograma de actividades estimadas

ACTIVIDADES ESTIMADAS	TIEMPO ESTIMADO EN MESES																							
	Mes 1			Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Aprobación de Tema investigativo	■	■																						
Revisión bibliográfica		■	■	■																				
Redacción del perfil de Tesis							■	■	■	■	■													
Desarrollo experimental				■	■	■	■	■	■	■	■													
Desarrollo del Capítulo I												■	■											
Desarrollo del Capítulo II													■	■										
Desarrollo del Capítulo III														■										
Desarrollo del Capítulo IV														■	■									
Trámites para la evaluación de la Investigación														■	■	■								
Calificación del jurado evaluador																■	■	■						
Trámites para la defensa de la Investigación																				■	■			
Defensa del trabajo de Investigación																							■	

Elaborado por: Ricardo Vásquez

Fecha de inicio: 09-03-2021

Fecha estimada de culminación: Agosto 2021

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, M; Isaacs, M; Pavez, J y Zagal, J (2003) Electrocatalisis sobre electrodos modificados con complejos macrocíclicos, reducción de oxígeno y Co₂. N° de proyecto 1000218
- American Public Health Association (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Arias, V (2011) Diseño y construcción de un reactor electrolítico multielectródico para laboratorio. *RIIGEO*. Vol. 14, N.º 27, pp. 53-57
- Arcos, L. (2019) La electrooxidación como método efectivo de remoción de amonio en las aguas de lagos eutrofizados. *Brotos científicos*. Vol. 3 I N° I. Pag. 33-41
- Arrango, A. (2005) La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de Investigación*, Vol. 2, núm. 1, enero-junio, 2005, pp. 49-56. Corporación Universitaria Lasallista.
- Belzona Inc (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Primera Edición.
https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- Cardona, I. (2021) *Desarrollo de nuevos materiales de electrodo para la obtención de Hidrógeno a partir de la electrólisis alcalina del agua*. Universidad Politécnica de València
- Chacón, M. (2016) *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. ISBN: 9781512956498, 9789586319669
- Corplabec SA (2015) *Procedimiento Analítico*. Corporación de laboratorios ambientales del Ecuador
- Espíndola, E. (2011), Evaluación de efluentes industriales descargados por la industria embotelladora de bebidas gaseosas The Tesalia Springs Company
- El Universo (21/06/2021), *Ecuador, sexto en ranking de tarifas eléctricas residenciales, por debajo de Colombia y Perú*.

- GEMA (2007) *Validación demanda química de oxígeno (DQO)*. Grupo de investigación y mediciones ambientales. Colombia
- Guerra, J, (2013) *Calidad del agua*. Universidad Francisco José de Caldas. Tecnología en Saneamiento Ambiental
- Gómez, F. (2017) *De agua*. ISBN: 9789586709200, 9789587655773
- Molina, M., et al. (2004) Experimentos de química inorgánica, DIGITALIA, 2004. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/uta-ebooks/detail.action?docID=355197>.
- Hernández, L., et. al (2011). Oxidación de materia orgánica persistente en aguas residuales industriales mediante tratamientos electroquímicos. Vol. 2(1), pp. 21-36
- Lerman, B (s.f.) Demanda Biológica de oxígeno. Recuperado el 10/04/2021 en: http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaBiologicadeOxigeno.pdf
- Monge, S. (2018). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*
- Ministerio de Ambiente. (2015) *Acuerdo ministerial 097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria*
- O'callaghan, C. (2021) *Salud planetaria y COVID-19: la degradación ambiental como el origen de la pandemia actual*.
- NTE INEN 2169 (2013) *Agua, Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras*. Primera Edición. Quito- Ecuador
- Núñez, A. (2021) *Diseño e implementación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tenería Núñez*. Universidad Técnica de Ambato
- Sierra, R (2017) *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. ISBN: 9781449278113, 9789588692067

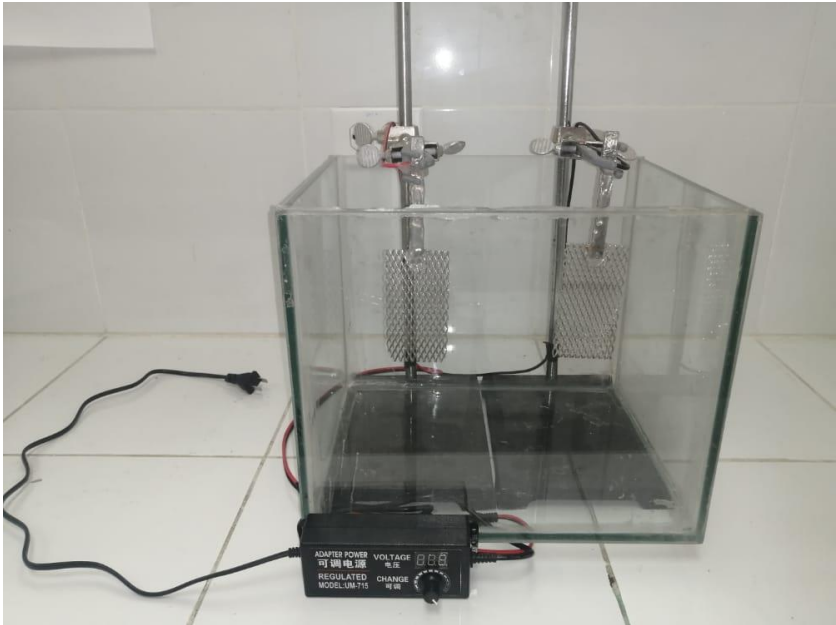
Veintimilla, N & Salazar, L. (2008). *Obtención de hidrógeno combustible por electrólisis del agua, utilizando paneles fotovoltaicos*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca] Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/8378>

Yehuala, G; Worku, Z; Angassa, K. et al. (2021). *Electrochemical Degradation of Chemical Oxygen Demand in the Textile Industrial Wastewater Through the Modified Electrodes*. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05776-4>

YUNCH (2019) Aplicación del titanio en el tratamiento de aguas. SHAANXI YUNZHONG METAL TECHNOLOGY. China

ANEXOS

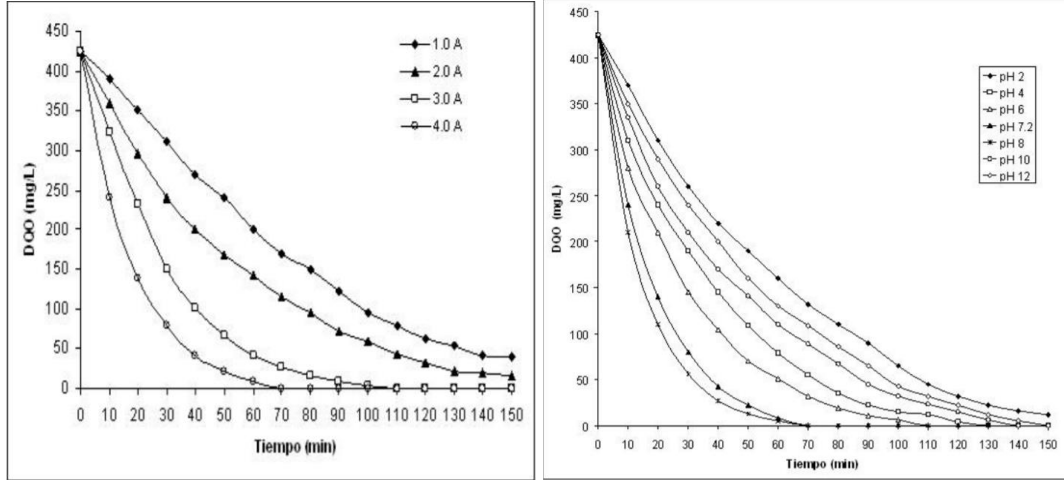
Anexos 1 Diseño de la celda electrolítica



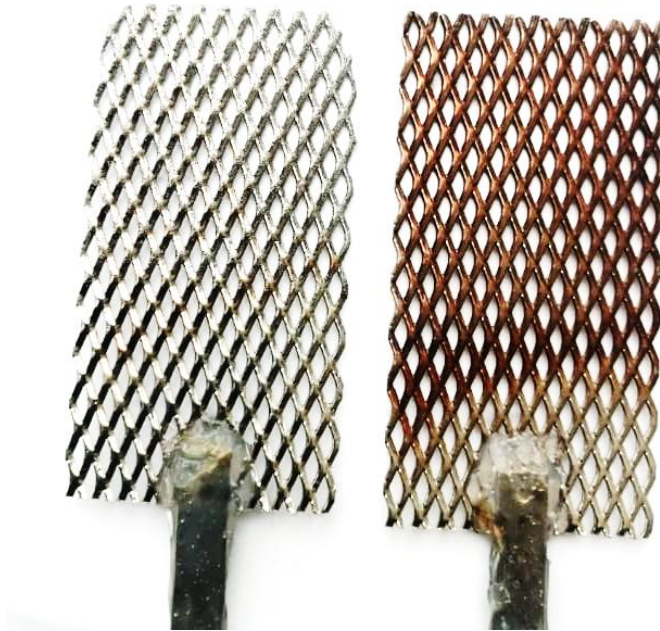
Anexos 2 Diseño de la celda electrolítica 2



Anexos 3 Reducción de DQO por tratamiento combinado de electrocoagulación y electrooxidación



Anexos 4 Malla antes y después del proceso electrolítico sin películas de protección



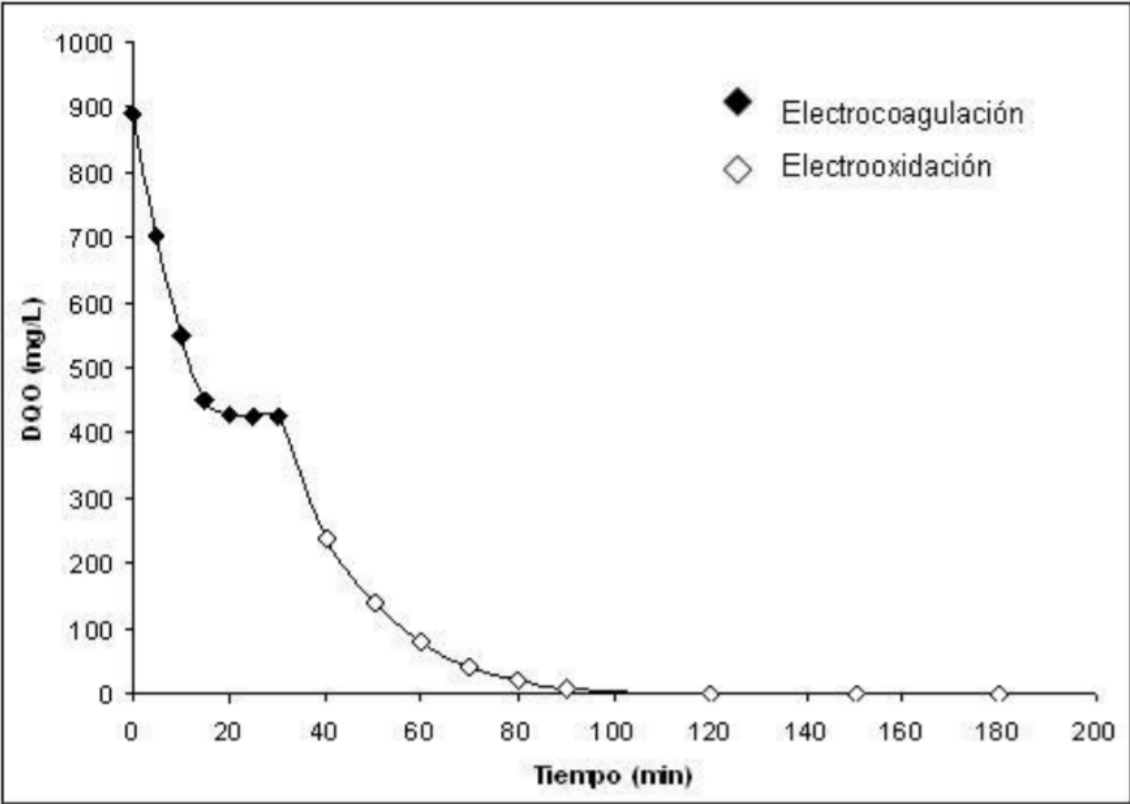
Anexos 5 Análisis de Varianza a partir de análisis de datos Excel

RESUMEN	0,5	1	2	Total
<i>5V</i>				
Cuenta	3	3	3	9
Suma	2621,666667	2624,99667	2566	7812,66333
Promedio	873,8888889	874,998889	855,333333	868,073704
Varianza	559,2592593	277,833337	410,333333	403,390835
<i>10V</i>				
Cuenta	3	3	3	9
Suma	2501,666667	2471,66667	2486	7459,33333
Promedio	833,8888889	823,888889	828,666667	828,814815
Varianza	114,8148148	648,148148	450,333333	322,08642
<i>20V</i>				
Cuenta	3	3	3	9
Suma	2468,333333	2358,33333	2318,33333	7145
Promedio	822,7777778	786,111111	772,777778	793,888889
Varianza	270,3703704	459,259259	337,037037	769,444444
<i>Total</i>				
Cuenta	9	9	9	
Suma	7591,666667	7454,99667	7370,33333	
Promedio	843,5185185	828,332963	818,925926	
Varianza	778,0864198	1838,86389	1630,68827	

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>X C</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Fc</i>
Muestra	24793,40222	2	12396,7011	31,6297163	1,2841E-06	3,55455715
Columnas	2771,667161	2	1385,83358	3,53590222	0,05067365	3,55455715
Interacción	2132,928644	4	533,232161	1,36052179	0,28665105	2,92774417
Dentro del grupo	7054,777785	18	391,932099			
Total	36752,77581	26				

Anexos 6 Resultados del acoplamiento de los tratamientos electrocoagulación-electrooxidación de Hernández (2011)



Anexos 7 INFORME DE RESULTADOS No LACQUA 21 – 3425



INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 21 - 3424



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	-----	N/D	
Atención a	Ricardo Vásconez		
Dirección	Río Alajua y Río Patate		
Teléfonos	0992662779		
e-mail	rickder_30@hotmail.com		
Procedencia	Curtiembre	Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	04-jun.-21	Fecha de análisis	del 07 al 10 de junio de 2021	Código Muestra	A-3204
Fecha ingreso al Laboratorio	07-jun.-21	Fecha emisión Informe	10 de junio de 2021	Coord. muestra	-----
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0766539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	58	Temperatura amb. (°C):	20,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
DQO	mg/l	16821	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods, Ed. 23, 2017, 5220 D	± 25,26 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

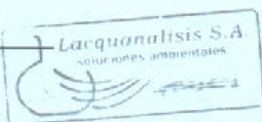
** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado:
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado:

Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
- Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
- Prohíbida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. Andrés Manzano
Analista



Dr. Harold Jiménez
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 - Móvil: 099-5363620 - info@lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América

Anexos 8 INFORME DE RESULTADOS No. A21-178

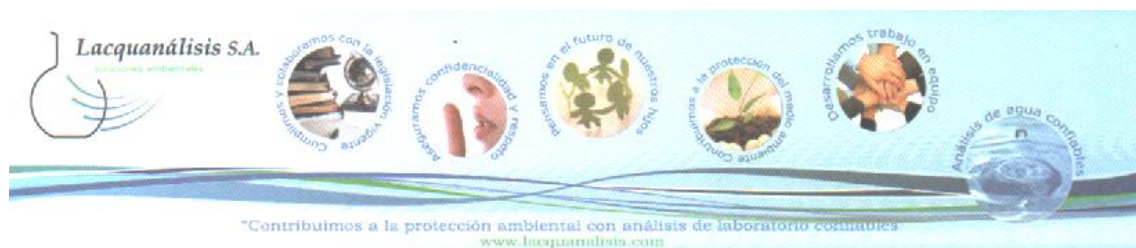
	INFORME DE RESULTADOS No. A21-178	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° SAE LEN 18-040 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

Cliente:	TENERIA NUÑEZ - Bolívar Núñez
Teléfono:	0991006216
Dirección:	Ambato, Totoras
Fecha emisión de informe:	19/7/2021
Muestra tomada por:	Environovalab
Procedimiento de Toma de muestras:	Instructivo Toma de muestras IT-5.8-01
Fecha y hora de recepción de muestras:	29/6/2021 15:00
Período de análisis:	29/6/2021-19/7/2021

INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A21-178	Agua residual	25/6/2021	10:43	Descarga final	17M 0766490 9855164	Agua residual, muestra simple

RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE ¹	INCERTIDUMBRE	
pH	PE-01 4500H+ B, Ed. 23, 2017	upH	5.1	6-9	0.17 upH	
DBO ₅	PE-17 SM 5210 B, Ed. 23, 2017	mg/l	284.6	250	58 mg/l	
DQO	PE-13 SM 5220 C, Ed. 23, 2017	mg/l	1543	500	236 mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PE-05 SM 2540 D, Ed. 23 2017	mg/l	185,3	220	25 mg/l	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	PE-05 SM 2540 F, Ed. 23 2017	ml/l	<0.5	No aplica	---	
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr-B, Ed. 23 2017	mg/l	<0.10	0.5	---	
TENSOACTIVOS	PE-12 SM 5540 C, Ed. 23 2017	mg/l	0.94	2.0	0,22 mg/l	
SULFATOS	PE-15 SM 4500 E, Ed. 23 2017	mg/l	278	400	37 mg/l	
SULFUROS	PE-14 SM 4500 S ² -D, Ed. 23 2017	mg/l	0,27	1.0	0,05 mg/l	
CAUDAL DE DESCARGA *	AFORO VOLUMETRICO	l/s	0.01	No aplica	No aplica	

Anexos 9 INFORME DE RESULTADOS No LACQUA 21 – 3425



INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 21 - 3425



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	-----	Tratamiento electrolisis 2h.	
Atención a	Ricardo Vásconez		
Dirección	Río Alejua y Río Patate		
Teléfonos	0992662779		
e-mail	rickier_30@hotmail.com		
Procedencia	Curtiembre	Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:

Fecha toma muestra	04-jun.-21	Fecha de análisis	del 07 al 10 de junio de 2021	Código Muestra	A-8205
Fecha ingreso al Laboratorio	07-jun.-21	Fecha emisión informe	10 de junio de 2021	Coord. muestra	-----
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	58	Temperatura amb. (°C):	20,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
DQO	mg/l	15611	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 25,26 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado

* Parámetro acreditado fuera del alcance

** Parámetro No acreditado

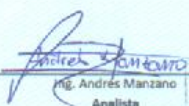
*** Parámetro Subcontratado Acreditado:


**** Parámetro Subcontratado No Acreditado:

Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
- Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SOC y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:


 Mg. Andrés Manzano
 Analista

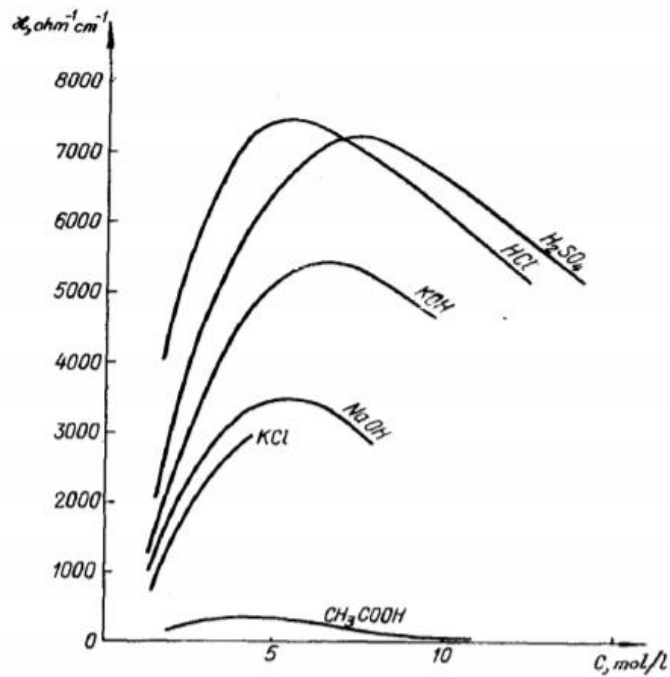

 Dr. Harold Jiménez
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
 Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com
 Ambato, Ecuador - Sud América

Anexos 10 Adaptador Universal Ajustable 3-24 Voltios 3 Amperios con Indicador de Voltaje UM-715



Anexos 11 Variación de la conductividad específica K con la concentración para distintos electrolitos



Anexos 12 INFORME DE RESULTADOS DBO5 inicial



INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 21 - 3511



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:
Nombre	-----	N/D
Atención a	Ricardo Vásconez	
Dirección	Río Alajua y Río Patate	
Teléfonos	0992662779	
e-mail	rickfer_30@hotmail.com	
Procedencia	-----	750 ml
Identificación muestra	Agua residual	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Cliente
Contenido declarado		
Conservación de la muestra		
Toma de muestra / Muestreo		

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	21-jul.-21	Fecha de análisis	del 21 al 28 de julio de 2021	Código Muestra	A-3268
Fecha Ingreso al Laboratorio	21-jul.-21	Fecha emisión informe	28 de julio de 2021	Coord. muestra	-----
Lugar de realización de los ensayos			Laboratorio Lacquanalisis	Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	46	Temperatura amb. (°C):	19,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
DQO	mg/l	939	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBO5	mg/l	492,20	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado:
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado:


Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
- Los analisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este analisis
- Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los analisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:


Ing. Andrés Manzano
Analista




Dr. Harold Jiménez
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América

Anexos 13 INFORME DE RESULTADOS DBO5 posterior al tratamiento de 20V por 1 hora



INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 21 - 3510



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	-----	N/D	
Atención a	Ricardo Vásconez		
Dirección	Río Alajua y Río Patate		
Teléfonos	0992662779		
e-mail	rickfer_30@hotmail.com		
Procedencia	-----	Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:

Fecha toma muestra	21-jul.-21	Fecha de análisis	del 21 al 28 de julio de 2021	Código Muestra	A-3267
Fecha Ingreso al Laboratorio	21-jul.-21	Fecha emisión Informe	28 de julio de 2021	Coord. muestra	-----
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	46	Temperatura amb. (°C):	19,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
DQO	mg/l	868	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBO5	mg/l	472,20	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado:
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado:

Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
- Los analisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este analisis
- Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los analisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:

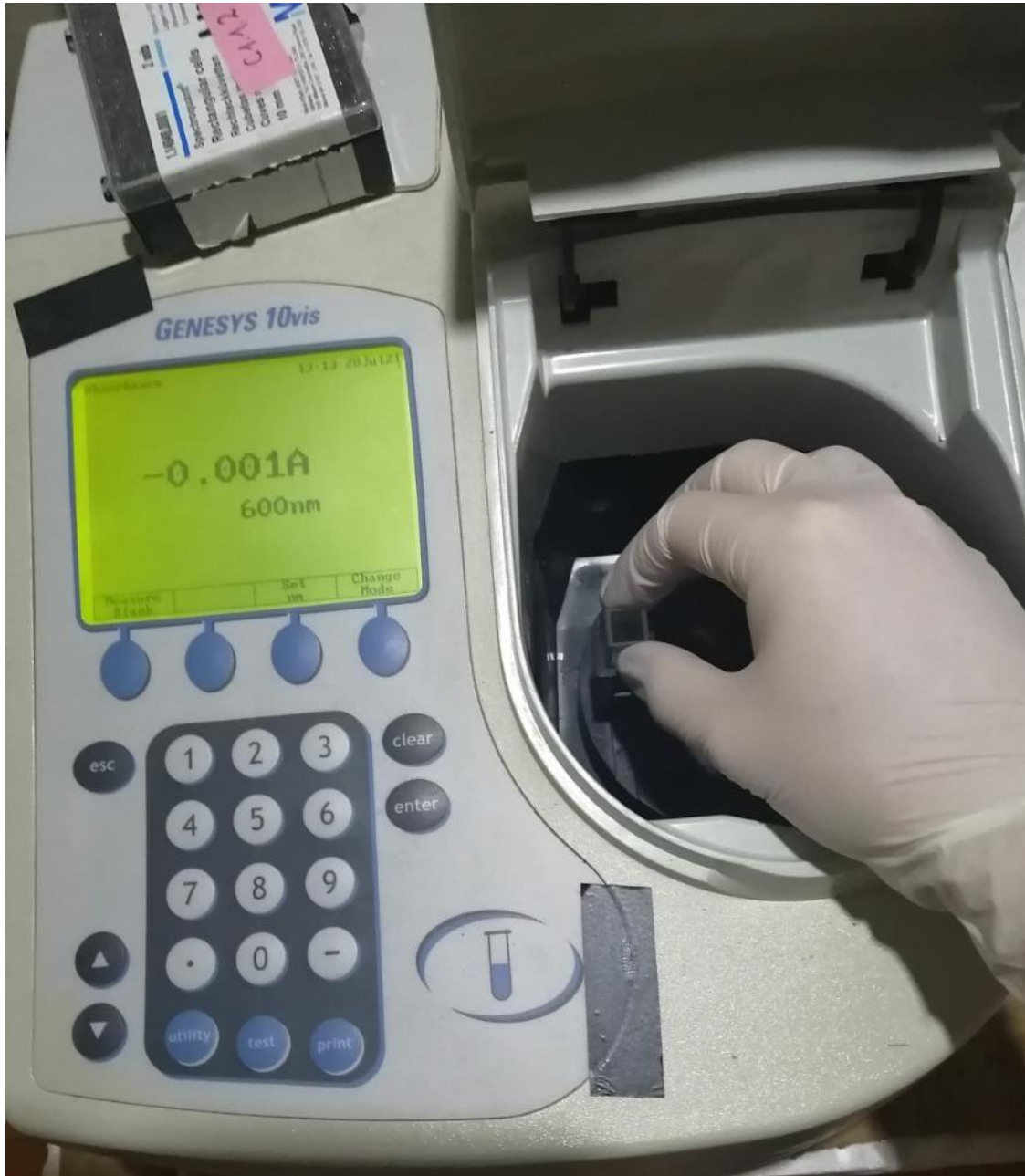
Ing. Andrés Manzano
Analista



Dr. Harold Jiménez
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América

Anexos 14 Espectrofotómetro



Anexos 15 Valores para DQO multiplicados por factor de dilución para muestra original

	Tiempo	1	2	3	Media
Original	0 h	17980	17695	17108	17594
5 V	0,5 h	17900	17567	16967	17478
	1 h	17833	17500	17167	17500
	2 h	17233	17433	16653	17107
10 V	0,5 h	16767	16833	16433	16678
	1 h	17033	16367	16033	16478
	2 h	16700	16920	16100	16573
20 V	0,5 h	16833	16233	16300	16456
	1 h	15900	16033	15233	15722
	2 h	15633	15700	15033	15456

Anexos 16 Comparación de las caracterizaciones con valores permisibles según A.M. 097 A

COMPARACIÓN DE LAS CARACTERIZACIONES CON VALORES PERMISIBLES SEGÚN A.M. 097 A										
TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO				INFORME DE RESULTADOS						
Parámetros	Expresado como	Unidades	Límite máximo permisible	2014-05-22	2014-11-24	2015-05-04	2018-12-05	2019-05-27	2020-01-13	2020-02-06
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/L	70,0	36	-	-	-	-	-	-
Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/L	0,5	0,053	1,19	4,11	0,00	0,17	0,0	0,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/L	250,0	21293	2697	6327	9170,54	5462	1614	34,45
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500,0	32757	4149	9733	29955,0	8540	5417	114,5
Potencial de Hidrógeno	Ph	-	6-9	12,81	6,44	11,63	9,89	13,9	10,0	6,80
Sólidos sedimentables	SS	ml/L	20,0	0,00	4,5	80	1000	10	43,0	131,0
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220,0	1335	89	1758	13550	4040	2995	58,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	400,0	6226	10,0	1189	24,0	93,4	503,5	-
Sulfuros	S ⁻	mg/L	1,0	518,13	1,24	195,2	46,4	908,13	487,34	-
Temperatura	°C	°C	<40,0	19	-	-	21,4	15,5	17,6	18,2
Tensoactivos	SAAM	mg/L	2,0	-	0,72	0,16	0,00	0,329	5,34	0,25
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/L	-	3814,5	-	-	-	-	-	-
Cromo total	-	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Color	-	Unid. Pt-Co	-	10705	-	-	-	-	-	-
Material Flotante	-	Visible	-	Ausencia	-	-	-	-	-	-
Carbonatos	-	mg/L	-	0,00	-	-	-	-	-	-
Caudal de descarga	Q	L/s	-	0,027	1,26	1,15	-	0,10	2,5	1,3

Anexos 17 Experimentos con voltaje variable

