



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA
EMPRESA TEXTIL UBICADA EN EL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO”**

Realizado por:

Ing. NIDIA ANDREA DÍAZ ROMERO

Director del proyecto:

Johanna Lucía Medrano Barboza MSc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

Quito, 19 de Febrero de 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, NIDIA ANDREA DÍAZ ROMERO, con cédula de identidad # 100283579-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Ing. Nidia Andrea Díaz Romero
100283579-9

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“Diagnóstico y propuestas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa textil ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito”

Realizado por:

Ing. NIDIA ANDREA DÍAZ ROMERO

Como requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

JOHANNA LUCÍA MEDRANO BARBOZA MSc.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Johanna Lucía Medrano Barboza MSc.

DIRECTOR

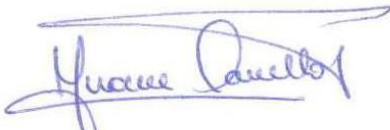
LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

EMMA IVONNE CARRILLO MSc.

MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA PhD.

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



Ivonne Carrillo Msc.



Miguel Martínez-Fresneda PhD.

QUITO, 19 de Febrero de 2018

DEDICATORIA

A mi familia, que en todo momento estuvieron alentándome para que cumpla mis sueños y metas, tanto personales como profesionales.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la oportunidad de estar aquí y permitir cumplir mis metas. A mi esposo e hijo que siempre me han apoyado en circunstancias buenas y malas. A la Universidad Internacional SEK, los profesores y la empresa textil que fueron entes fundamentales para alcanzar este objetivo profesional.

26/2/18 6:24:35 a.24.p.24.

Para ser sometido a: *Revista sobre el Tratamiento de agua Redalyc*

Diagnóstico y propuestas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa textil ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito.

Diagnosis and proposals for improvement of the wastewater treatment plant of a textile company in the Metropolitan District of Quito.

Nidia Díaz¹ & Johanna Medrano^{1*}

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: diazrnia@gmail.com

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: johanna.medrano@uisek.edu.ec

* Autor de correspondencia: Ing. Johanna Medrano MSc.,
johanna.medrano@uisek.edu.ec

Titulo corto: Diagnóstico y propuestas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales textiles.

Running title: Diagnosis and proposals for improvement of the textile wastewater treatment plant.

Resumen

Una empresa textil ubicada en la ciudad de Quito consciente de los impactos que generan sus efluentes, hace cinco años planteó una gestión adecuada de sus emisiones mediante la construcción y operación de la planta de depuración de aguas residuales que incluye pretratamiento, tratamiento biológico y tratamiento fisicoquímico. El presente trabajo se enfocó en la realización de un diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual para posteriormente sugerir mejoras que garanticen el cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente.

El diagnóstico evidenció que el agua residual presenta un índice de biodegradabilidad media de 3.14, y que el proceso de depuración en la planta no es eficiente ya que la DQO en el efluente no cumple con el límite permisible para la descarga al alcantarillado público de 500 mg/L expuesto en el Acuerdo Ministerial 097, por lo que se establecieron ajustes y mejoras, como la creación de procedimientos de dosificación de químicos, mantenimiento y limpieza en cada unidad de tratamiento, acciones que contribuyeron a obtener un 10.69 % más de eficiencia de reducción de la DQO respecto a tratamientos anteriores; no obstante, se concluyó que este porcentaje no es suficiente para garantizar el valor máximo para la descarga al alcantarillado público. Por este motivo, se realizó un proceso adicional utilizando el método Fenton a nivel de laboratorio verificando un 57.64 % de eficiencia de depuración de la DQO e incrementando a un 82.90% la eficiencia de todo el proceso; por otro lado se analizó la implementación de un tratamiento electroquímico, ya que por bibliografía resulta ser una opción viable para ofrecer una alta eficiencia en depuración de aguas residuales textiles, fácil operación y bajo costo de construcción y funcionamiento.

Palabras clave: Gestión ambiental, Agua residual textil, Biodegradabilidad, Parámetros fisicoquímicos, Normativa ambiental vigente, Demanda Química de Oxígeno “DQO”.

Abstract

A textile company located in the Quito's city aware of the impacts generated by its effluents, five years ago proposed an adequate management of its emissions through the construction and operation of the wastewater treatment plant that includes pretreatment, biological treatment and physicochemical treatment. The present research focused on the implementation of a wastewater treatment plant diagnosis to subsequently suggest improvements that guarantee the compliance with the established parameters in the current environmental regulations.

The diagnosis showed that the wastewater reported a medium biodegradability rate of 3.14, so the purification process in the plant is not efficient as COD in the effluent does not comply with the permissible limit for the discharging to the public sewer system of 500 mg / L set out in Ministerial Agreement 097, consequently was established adjustments and improvements, such as the creation of dosage chemical procedures, maintenance and cleaning in each treatment unit, which contribute with a 10.69% more efficiency in the reduction of the COD compared to the previous treatments ; nevertheless, it concludes that this percentage is not enough to guarantee the maximum value of discharge to the public sewage system. For this reason, an additional process was carried out using the Fenton method at laboratory level, verifying a 57.64% purification efficiency of the COD and increasing the efficiency of the entire process to 82.90%; On the other hand, the implementation of an electrochemical treatment was analyzed, since the bibliography is a viable option to offer high efficiency in textile wastewater treatment, easy operation and low cost of construction and operation.

Keywords: Environmental management, Textile wastewater, Biodegradability, Physicochemical parameters, Current environmental regulations, Chemical Oxygen Demand "COD".

Introducción

El impacto ambiental del sector textil es grave y radica en que las aguas residuales que generan, contienen una gran variedad de contaminantes, esto debido a que en sus procesos se utilizan diversidad de materias primas, reactivos y de métodos de producción (Morillo, 2012). Los problemas ambientales se derivan básicamente por la presencia de color en el agua, ya que los colorantes textiles son muy persistentes y provocan coloración intensa, aspectos que afectan los procesos fotosintéticos y la capacidad de autodepuración; por otro lado, interfiere en la liberación de moléculas tóxicas por la descomposición de los colorantes provocando un impacto negativo sobre la salud de humanos y animales al tratarse de moléculas mutagénicas (Llyve, 2012)(Morillo, 2012).

Los efluentes textiles se caracterizan generalmente por su elevada Demanda Química de Oxígeno (DQO), temperaturas elevadas, alto contenido en color, pH inestable y sólidos en suspensión, parámetros que deben encontrarse dentro de los rangos permisibles de la normativa ambiental vigente, para poder ser descargados al alcantarillado público o a un cuerpo receptor (Llyve, 2012), por lo que es importante dar un tratamiento adecuado que permita una disposición correcta para mitigar los problemas medio ambientales (Torres, 2010).

En Ecuador el sector textil constituye un área prioritaria para la economía nacional, ya que generan un 21 % de empleos de los que produce la industria manufacturera del país (El Comercio, 2017). Hasta el 2012, la mayor parte de las empresas textiles se ubicaron en la provincia de Pichincha en la ciudad de Quito (Bravo & Cuzme, 2012); dentro de estas, la empresa textil que facilitó sus instalaciones para el desarrollo del presente proyecto y la cual se localiza en el sector norte en Carcelén Industrial; dicha empresa se dedica a fabricar ropa deportiva y casual, y sus líneas de producción se orientan principalmente a tejidos de punto de poliéster 100 %, poli-algodón 65-35 % y algodón 100 %. En sus procesos se contemplan el área de tejeduría, tinturado y acabado, corte y confección, serigrafía y bordado.

La empresa textil consciente de los impactos que generan sus efluentes, planteó disminuir la carga contaminante de sus aguas residuales mediante un proceso de depuración que incluye tratamiento primario, tratamiento biológico y tratamiento fisicoquímico, mismo

que en los últimos nueve meses se ha visto desestabilizado debido a la fluctuación drástica de las características fisicoquímicas del agua residual, por cambios de productos químicos en el proceso de tintura, el aporte de agua procedente del proceso de desgrabado de marcos de serigrafía y la operación empírica de la planta de tratamiento, ya que no se disponía de manuales que aseguren un funcionamiento y mantenimiento adecuado, situaciones que además han dificultado el cumplimiento de parámetros de descarga al alcantarillado público exigidos por la normativa ambiental vigente.

En este contexto, el objetivo del presente proyecto fue realizar un diagnóstico de la operación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa textil, mediante el cotejo de parámetros fisicoquímicos en cada unidad de tratamiento, para posteriormente con las mejoras propuestas en el proceso y la generación del manual de operación, optimizar la depuración del efluente y cumplir con los parámetros fisicoquímicos de descarga al alcantarillado público establecidos en el Acuerdo Ministerial 097.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa textil ubicada en el sector industrial de Carcelén en el norte del Distrito Metropolitano de Quito. Dentro de la infraestructura de la empresa la planta se distribuye en un área de 59.4 m² y se encuentra situada entre el patio posterior, el área de transfer tradicional y desgravado, tal como se muestra en la Figura 1.

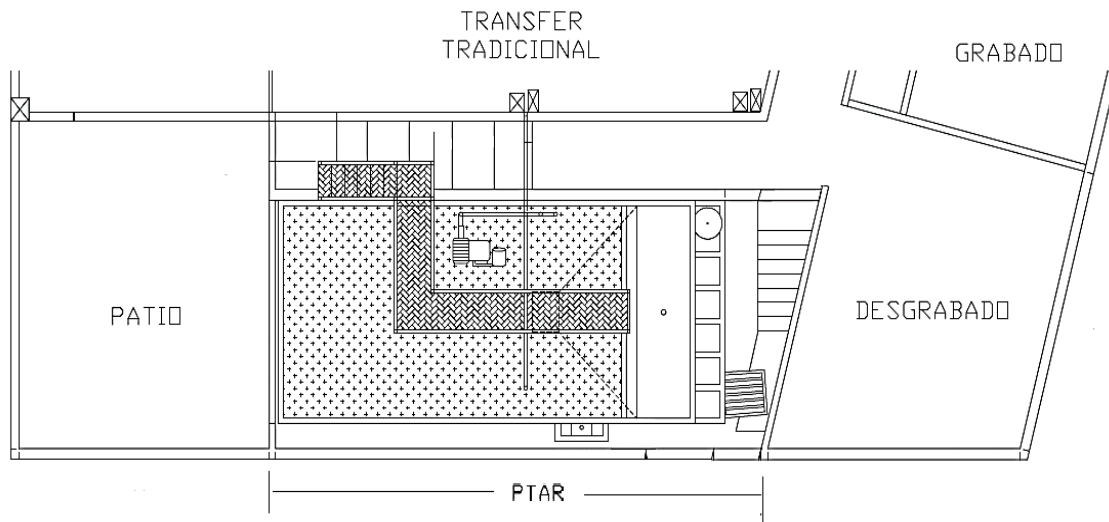


Figura 1. Localización de la planta de tratamiento de aguas residuales “PTAR” en la empresa textil. Fuente: (Empresa textil, 2017)

Métodos de campo

Para analizar el flujo de tratamiento del agua residual en las instalaciones de la planta, se chequeó la información disponible en informes presentados por el técnico responsable y se entrevistó a la persona de mantenimiento encargada de la operación. Se estimaron los caudales de entrada en las unidades de pretratamiento, tratamiento biológico y tratamiento fisicoquímico mediante el método volumétrico (Ecuación 1) (González & Ramírez, 2014). En cada unidad de tratamiento se midió el caudal una vez por semana durante los meses de agosto y septiembre del 2017. Se aplicó un muestreo de aguas manual compuesto, recolectando y conservando las muestras para los respectivos análisis de laboratorio conforme a lo expuesto en la Norma ISO 5667 - 2 y 3 (ICONTEC), 2004, 2008).

$$Caudal(Q) = \frac{Volumen (L)}{Tiempo (s)} \quad [1]$$

En el pretratamiento, se reguló el pH de un volumen de 60 m³ de agua residual cruda con una solución de sosa cáustica al 25 % para elevar el pH y con una solución de ácido sulfúrico al 10% para bajar el pH; programando la bomba dosificadora para adicionar 40 mL/min de producto regulador por un período máximo de 3 días, al mismo tiempo se aplicó 30 m³/h de aire para mezclar. Para la depuración biológica se utilizaron dos tipos de bacterias comerciales, una en estado sólido denominada 903 y otra líquida identificada como 923, mismas que fueron sembradas durante tres semanas, una porción inicial en un

lapso de 5 días y otra porción semanal por dos semanas posteriores, esto en base a recomendaciones del proveedor (Tabla 1).

Tabla 1. Dosis de siembra inicial y semanal de bacterias para el tratamiento biológico del agua residual textil

Bacteria	Siembra inicial	Frecuencia de aplicación
Líquida 923	1Litro	1 día
Sólida 903	0.5 libras	4 días
Bacteria	Siembra semanal	Frecuencia de aplicación
Líquida 923	1Litro	1 día
Sólida 903	1 libra	1 día

Para disminuir la concentración de sólidos suspendidos y una fracción de la carga contaminante en el tratamiento fisicoquímico, se dosificaron 1.5 m³ de una solución de policloruro de aluminio (PAC 160) al 10 %, cantidad que fue determinada realizando la prueba de jarras en el laboratorio y el respectivo escalado al volumen de agua tratada en la planta. La bomba dosificadora fue ajustada para un caudal de aplicación de 40 y 60 mL/min por tres días. En la desinfección del agua tratada previo a su descarga al alcantarillado, se adicionaron 0.80 kg/m³ de hipoclorito de sodio, flujo que se estableció en la bomba para la dosificación diaria.

Métodos de laboratorio

Durante el flujo de la depuración se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica del agua residual mediante espectrofotometría y el método electrométrico, utilizando un espectrómetro portátil DR-900, un reactor DRB-200 de HACH y un pH-metro SevenCompact Mettler Toledo, aplicando los métodos estandarizados como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis fisicoquímico del agua residual tratada

Parámetro	Unidad	Método estándar
pH	Unidades	ASTM D 1067 – 06 A
Temperatura	°C	-
DQO	mg/L	APHA 5220 D
DBO	mg/L	APHA 5210 B
Nitrógeno	mg/L	Digestión Persulfato TNT 10072
Fósforo	mg/L	APHA 4500-P E
Oxígeno Disuelto	mg/L	HRDO 8166

Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	Fotométrico 8006
-----------------------------	------	------------------

Se realizaron pruebas de jarras con PAC 160 al 10%, evaluando su comportamiento con concentraciones de 100 ppm, 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 5000 ppm y 1000 ppm a pH 7 y 8; y con reactivo Fenton, sulfato ferroso al 15 % y agua oxigenada al 30 % a pH 7 y 3, a nivel de laboratorio.

Resultados y Discusión

Diagnóstico de la situación actual de la planta de depuración de agua residual textil

La planta de tratamiento está conformada por tres etapas; la primera etapa inicia con un cribado seguido de un proceso de homogenización y neutralización, la segunda es un tratamiento secundario basado fundamentalmente en la depuración biológica con una posterior sedimentación, y la última es un tratamiento terciario que incluye una precipitación química y desinfección del agua residual tratada; como se observa en el esquema de la Figura 2 y Anexo 1.

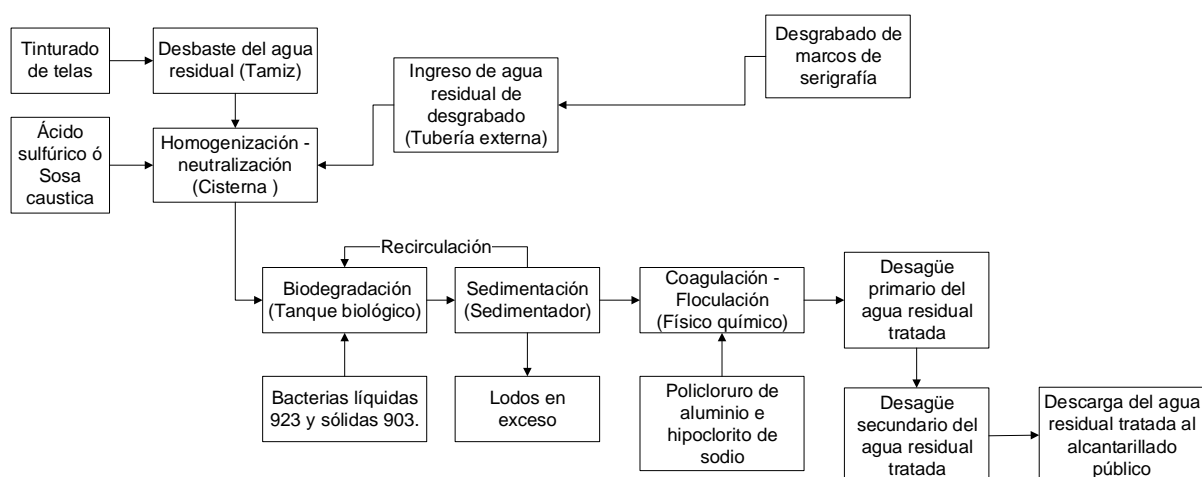


Figura 2. Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales en la empresa textil

En el agua residual proveniente del proceso de tintura se observó a partir del mes de julio del 2015 y hasta octubre del 2017, un incremento de la DQO de 950 a 3142 mg/L, con $\sigma = 897.29$; el pH varió entre 5.34 y 12.1 con $\sigma = 2.87$ (Figura 3 y 4); observando que en el 2017 los valores tanto de DQO como de pH presentan variaciones respecto a lo reportado en años anteriores; pudiendo deberse a la presencia de sales, peróxidos, agentes tensoactivos, enzimas, colorantes, metales y solventes inmersos en el agua residual

procedente del proceso global de tintura de telas y del lavado de marcos de serigrafía (Morillo, 2012).

Los productos químicos de tintorería y las tintas de serigrafía son catalogadas como sustancias peligrosas por provocar afectaciones a la salud y al medio ambiente; siendo los productos de serigrafía los más agresivos por contener PVC, pigmentos, disolventes, plastificantes, retardantes de llama, estabilizantes, espumantes, absorbentes de luz UV, antiestáticos, antibacteriales entre otros (Amorós, Gallardo, & García, 2002).

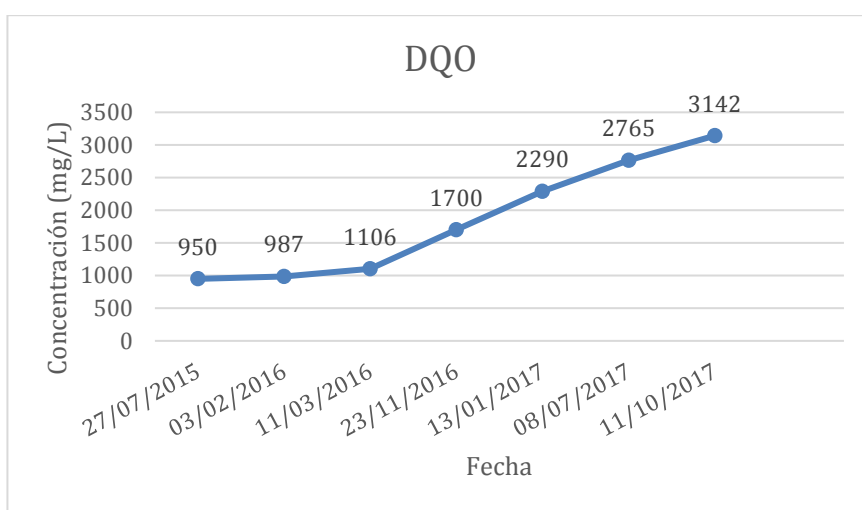


Figura 3. Incremento de la DQO desde julio del 2015 hasta octubre del 2017

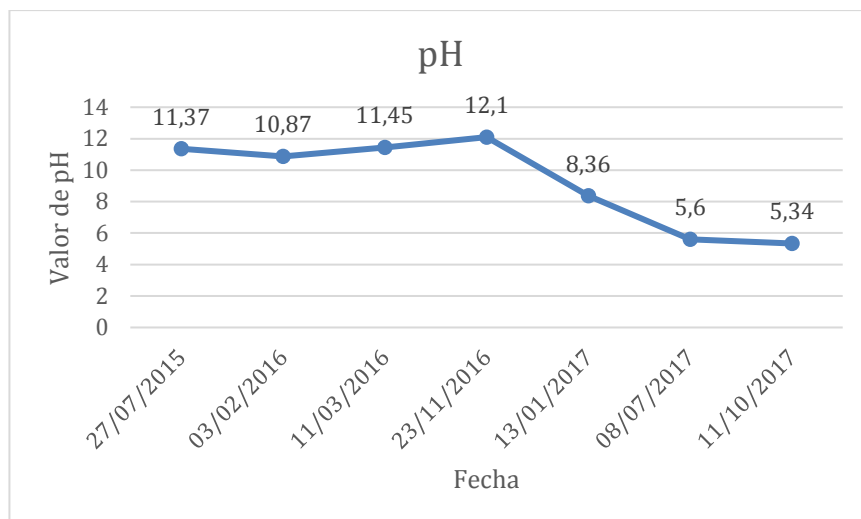


Figura 4. Variación de pH desde julio del 2015 hasta octubre del 2017

Para el pretratamiento el agua residual procedente del proceso de tintura y acabados de telas, y del desgrabado de marcos de serigrafía convergen a una cisterna de 60 m³ subterránea ubicada en el patio posterior de la empresa; el agua de tintorería ingresa a razón de 110 m³/día en promedio aproximadamente (Figura 5), mientras que el agua del desgrabado de marcos de serigrafía con un promedio de 27 m³/día (Figura 6).

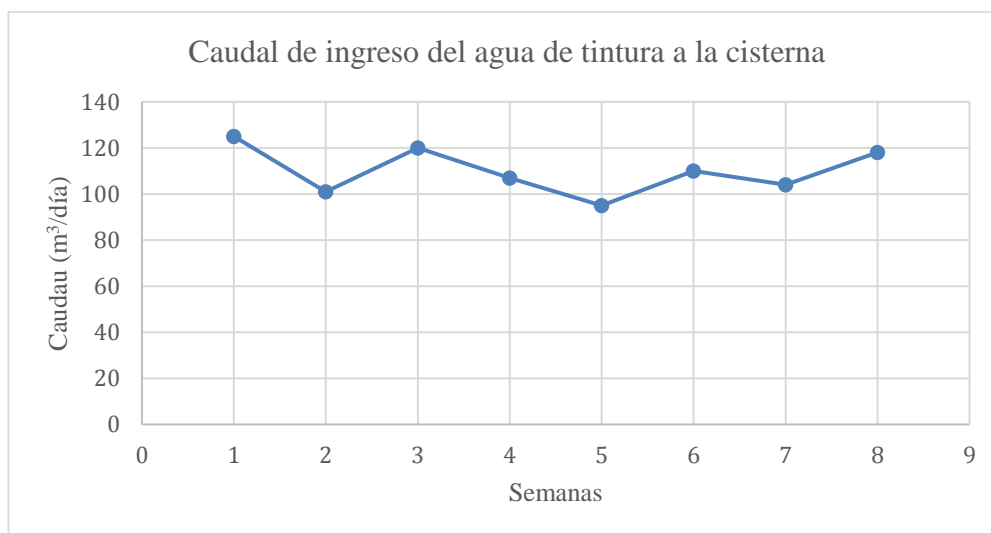


Figura 5. Caudal de ingreso del agua de tintorería en agosto y septiembre del 2017

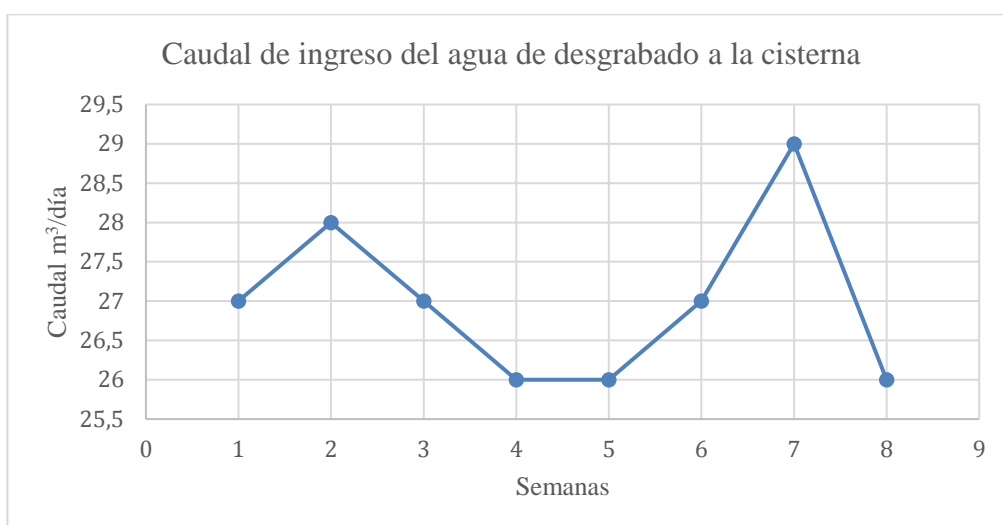


Figura 6. Caudal de ingreso del agua de desgrabado, a la cisterna en agosto y septiembre del 2017

El agua de tintorería es previamente cribada al pasar por un tamiz estático con una abertura de malla rectangular de 1 mm, en este tamiz se quedan retenidas las fibras y pelusas textiles inmersas; por otro lado el agua del lavado de marcos de serigrafía ingresa sin ser filtrada, arrastrando consigo residuos sólidos de plastificantes (Anexo 2), componentes fundamentales de las tintas de serigrafía conjuntamente con las resinas y aditivos.

En la cisterna se lleva a cabo la homogenización de caudales y neutralización del agua residual cruda, en donde se adicionan productos reguladores de pH en cantidades y frecuencia de dosificación supuestas con una bomba de dosificación en algunos casos y en otros de forma manual directa indiscriminadamente, y se suministra aire por difusión para mezclar y oxigenar de igual manera con flujo supuesto (Anexo 3); en este tratamiento se controla el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto. Una vez que el agua cumple con los parámetros requeridos es transportada al tanque de tratamiento biológico accionando la bomba que se encuentra a la entrada del punto de muestreo en la cisterna.

Para llevar a cabo el tratamiento biológico, el agua neutralizada sube al reactor biológico con un flujo de 60 L/min, caudal suministrado por la bomba de alimentación y el cual no puede ser regulado, por lo que se debe encender y apagar manualmente cuando sea necesario. Para iniciar la depuración biológica del agua residual se realiza la siembra de

las bacterias comerciales sin una dosificación específica cada semana en el transcurso de los 20 días de tratamiento (Anexo 4), se mide y controla fósforo, nitrógeno, oxígeno disuelto y pH para asegurar que sean los óptimos, y contribuyan al proceso de biodegradación, además de la DQO para llevar la trazabilidad de depuración durante el tiempo de tratamiento. Se airea el agua con un caudal de 80 m³/h, mediante aireadores de flauta ubicados en las paredes y suspendidos en la mitad de reactor, y aireadores de disco localizados en el fondo. La medición de los parámetros se realiza en el laboratorio de tintorería siguiendo los métodos estandarizados, utilizando equipos y reactivos de HACH y pH Mettler Toledo, sin embargo no se dispone de los protocolos o instructivos dónde se describa la información paso a paso.

Al finalizar la biodegradación, el agua tratada pasa al sedimentador para decantar los sólidos suspendidos totales, se deja asentar y recircular una cierta cantidad de lodos durante un tiempo y frecuencia supuestos. Los lodos excedentes extraídos, son almacenados en tanques para ser entregados a un gestor encargado de realizar la disposición adecuada (Anexo 5). Para conocer la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos presentes en el afluente textil crudo en este estudio se valoró la DBO y DQO, y mediante la ecuación (2) se determinó el índice de biodegradabilidad “IB”, dando como resultado 3.14, valor que se ubica en el rango de biodegradación media según De Jesús en el 2016 en su trabajo de caracterización de aguas residuales textiles de la industria cubana (Tabla 3). A pesar de resultar un agua residual textil medianamente biodegradable, realizar los ajustes necesarios en la planta, la depuración de la DQO no fue óptima, ya que en el efluente pasó a ser poco biodegradable con un valor de 10.36 por lo que se recomienda reemplazar la biodegradación por tratamiento más eficiente, como Fenton y electrocoagulación; tratamientos que en diversos estudios ha resultado ser eficientes para la depuración de aguas residuales textiles e industriales con carga contaminante recalcitrante (Darío et al., 2008; Mendoza, Guerrero, Bustos, & Arias, 2002; Pérez, 2015; G. Terán, Posligua, & Banchón, 2015; M. Terán, 2016).

$$IB = \frac{DQO}{DBO_5} \quad [2]$$

Tabla 3. Escala de valores de biodegradabilidad en aguas residuales textiles

Valor de IB	Biodegradabilidad
1 - 2.5	Alta
2.5 - 5	Media
>5	Baja

Fuente: (De Jesús, López, & Fiallo, 2016)

En el tratamiento fisicoquímico, el caudal de ingreso fluctúa entre 50 y 75 L/min, mismo que puede ser modificado dependiendo de las necesidades del proceso, ya que para bajar el agua desde el sedimentador se abre una llave de desfogue. Esta unidad posee cuatro compartimentos, en el primero se dosifica una cierta cantidad de solución de policloruro de aluminio (PAC 160); el cual es aplicado sin una dosificación razonable; luego el agua pasa por las cinco unidades de sedimentación pequeñas ubicadas a un costado del tanque fisicoquímico, al final de esta etapa ha disminuido la DQO y los sólidos coagulados/floculados. Una vez medianamente clarificada, el agua continúa al segundo y tercer compartimento en donde alcanza su nivel máximo de clarificación y luego pasa al cuarto compartimento para desinfectar mediante la adición de hipoclorito de sodio (Anexo 6). Finalmente el agua tratada es llevada a una cisterna para posteriormente ser descargada a la red de alcantarillado público con un caudal entre 35 y 50 L/min.

Al final de todo el proceso de depuración, con algunas mejoras implementadas y ajustes propuestos en este trabajo; el agua residual presentó una reducción del 56.14% de la DQO, 87.14% de DBO, 94.41% de los SST, 57.08% de P total y 40% de N total (Figura 7). Con estos resultados se logró optimizar la reducción de la DQO en 10.69% respecto al tratamiento original; no obstante el porcentaje de remoción alcanzado con las mejoras aplicadas no garantiza el cumplimiento de los 500 mg/L exigido por el Acuerdo Ministerial 097 para descarga al alcantarillado público. El pH y la temperatura se estabilizaron durante todo el proceso de tratamiento del agua, encontrándose en valores dentro de lo estipulado en la normativa ambiental para poder descargar al alcantarillado público.

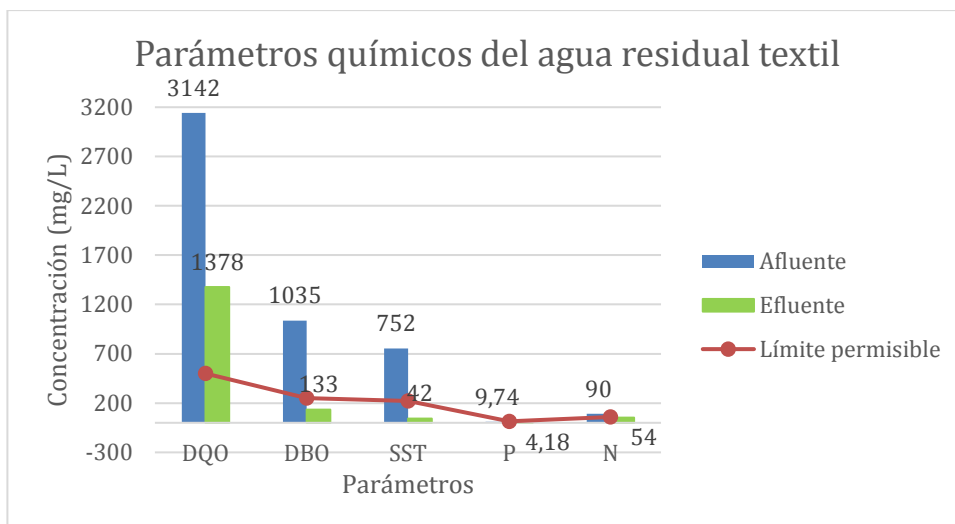


Figura 7. Parámetros cotejados antes y después de depurar el agua residual textil entre octubre y noviembre del 2017.

En cuanto al mantenimiento y limpieza de las instalaciones de la planta de tratamiento, el personal de mantenimiento es el encargado de ejecutar las acciones ordenadas por el técnico en la planta de tratamiento de aguas residuales, mientras que el personal de servicios generales realiza la limpieza de las instalaciones. Al momento de la realización de este trabajo, no se disponía de un plan de mantenimiento preventivo ni de una planificación de limpieza de las unidades de la planta. El operador de mantenimiento desconocía el funcionamiento de la planta y las labores pertinentes. Para las tareas de limpieza no se contaba con los materiales e insumos necesarios.

En general, la planta de tratamiento de aguas residuales operaba de manera empírica en vista de la ausencia de un manual que fundamentase las acciones ejecutadas en el proceso de depuración y consecuentemente el personal a cargo no se encontraba capacitado para llevar a cabo las labores de operación, mantenimiento y limpieza, situaciones que causaron un funcionamiento inapropiado, generando un agua residual tratada con valores de DQO fuera de especificación respecto al límite permisible del Acuerdo Ministerial 097. Esta situación no es exclusiva en el sector textil ya que también se ha suscitado en empresas manufactureras a nivel nacional y mundial (Aguilar, 2011; Sierra, 2005; Tigsilema, 2016; Torres, 2010), y es importante el planteamiento de mejoras continuas que minimicen los inconvenientes y garanticen una correcta operación y mantenimiento (Jaimes & Vega, 2009).

Propuestas de mejora

En el pretratamiento, la medición de caudal del agua proveniente del proceso de tintura es complicada ya que desemboca subterráneamente a la cisterna de homogenización, el único punto para poder muestrear y estimar un caudal es la zona de cribado; sin embargo, por las dimensiones estrechas del lugar, la presencia de espuma y pelusas, esta acción se dificulta. No disponer de los caudales de ingreso de agua al sistema de tratamiento influye directamente en la eficiencia de tratamiento de las unidades que conforman del sistema, ya que se está forzando a depurar volúmenes fuera de rango para los que fueron originalmente diseñados; por lo que se sugiere colocar un medidor de caudal a la salida del proceso productivo o acoplar las instalaciones necesarias para tener acceso al drenaje del agua y poder aplicar el método volumétrico. Por otro lado, es acertado realizar un rediseño de la cisterna de homogenización y neutralización, ya que en los picos de producción ésta tiende a rebosar y la acción inmediata es abrir una llave de desfogue directo al alcantarillado público, lo cual es conducente a sanciones por parte de la autoridad ambiental.

Los residuos sólidos del agua de desgrabado ocasionan que la bomba de alimentación al reactor biológico se obstruya frecuentemente, generando retraso en el flujo normal de tratamiento del agua residual además del deterioro de la bomba por cavitación; para eliminar este problema se recomienda colocar rejillas en el desagüe del agua del lavado de marcos de serigrafía.

Según el valor de pH que presente el agua residual cruda es importante valorar la cantidad de producto regulador a dosificar para neutralizar. Para incrementar el pH se debe utilizar sosa cáustica y para reducir ácido sulfúrico; la dosis determinada mediante pruebas y cálculos de laboratorio tiene que dosificarse con un caudal óptimo, la bomba dosificadora lo puede realizar en un rango entre 40 y 60 mL/min por un período de 3 o 5 días. Por otro lado, es necesario crear una carpeta que contenga las fichas técnicas y fichas de seguridad de los productos químicos utilizados, documentos que son útiles al momento de efectuar cálculos y tomar decisiones, además de dejar constancia del tratamiento realizado.

El flujo de aire en la cisterna se determinó en 30 m³/h, para la neutralización se recomienda estimar un caudal de aireación en base al oxígeno disuelto que se tenga y al

que se requiera disponer para el tratamiento biológico. Al aplicar el aire necesario al agua se disminuyen desperdicios y bajan los costos por este concepto en la depuración.

Para el tratamiento biológico, la siembra bacteriana debe realizarse bajo un esquema y dosificación establecido, una vez estabilizada la depuración en el reactor biológico (Tabla 1), ya que cualquier variación que ocurra influirá directamente en la eficiencia del tratamiento además de que el proceso se desequilibra y eso implicaría reanudar la depuración. Si al cotejar los parámetros fisicoquímicos se encuentra que estos están fuera del rango requerido se deben realizar los ajustes pertinentes en el proceso inmediatamente para evitar desestabilizaciones que afecten la depuración. Para ello se entregó a la empresa un manual de procedimientos para realizar dichos ajustes, a fin de optimizar la operación de la planta.

Para la realización de los ensayos de laboratorio es fundamental generar la documentación necesaria con el fin de agilizar su desarrollo y obtener los resultados oportunamente. Por lo que se creó una carpeta con los protocolos originales, instructivos y bitácoras de todos los ensayos, misma que debe ser debidamente revisada y actualizada cada tres meses o cuando se adquieran nuevos kits de detección (Anexo 7). Es fundamental que se adicionen a los parámetros fisicoquímicos de control la determinación de metales pesados, ya que pueden constituir una de las causas del incremento y permanencia de la DQO en el agua residual.

La cantidad de lodos y la frecuencia de recirculación deben ser determinada mediante pruebas de sedimentabilidad y sus cálculos respectivos, tomando en cuenta los factores propios del proceso (Anexo 7). Finalmente en el tratamiento fisicoquímico, se realizó un diagrama de flujo del funcionamiento de esta unidad, ya que posee cuatro compartimentos y en cada uno de ellos cuenta con llave de desfogue de emergencia, mismas que deben estar cerradas para no perder líquido tratado al paso del agua.

La dosificación del PAC y NaClO se debe determinar de acuerdo a las características del agua depurada y mediante las pruebas de laboratorio (Anexo 7). El PAC 160 a las condiciones que se venían aplicando no resultó eficiente, ya que no degradó lo suficiente la DQO como para cumplir con los valores permisibles exigidos por la normativa. Se realizaron pruebas con PAC 160 y reactivo Fenton a nivel de laboratorio para encontrar

una opción viable para optimizar la depuración en el tratamiento fisicoquímico. Al aplicar Fenton al agua residual luego del tratamiento biológico, con 2 mL de sulfato ferroso al 10% y 0.8 mL de agua oxigenada al 30% en 200 mL de agua residual a pH 3, se obtuvo resultados aceptables en todos los parámetros evaluados como se observa en la Figura 8, con una eficiencia de remoción del 57.64% de DQO.

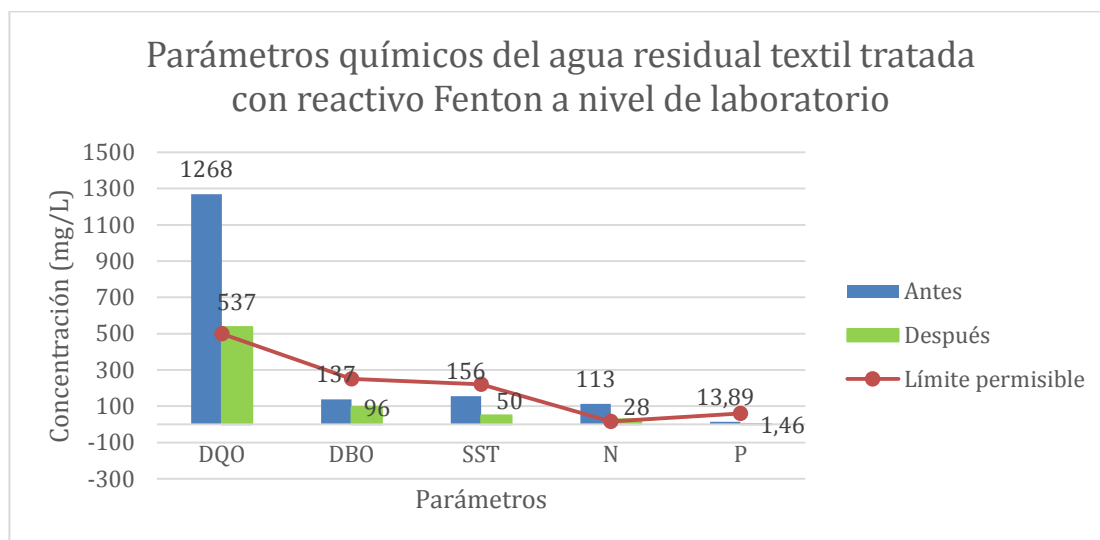


Figura 8. Parámetros químicos del agua residual textil tratada con reactivo Fenton a nivel de laboratorio

El pH cambió de 3 a 6.17 luego del tratamiento Fenton y la temperatura se conservó en 19 °C. En base a estos resultados se propone utilizar reactivo Fenton para mejorar el tratamiento fisicoquímico y garantizar los parámetros para la descarga al alcantarillado público según establece el Acuerdo Ministerial 097. La implementación de este tratamiento Fenton representa un costo aproximado \$15660 al año (Tabla 4).

Tabla 4. Costos de aplicar Fenton al agua residual textil

Reactivo	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo anual (USD)
Sulfato ferroso heptahidratado	30 kg/mes	3.5 USD/Kg	1260
Agua oxigenada 30 %	120 L/mes	8 USD/L	11520
Ácido sulfúrico 10 %	200 L/mes	1.2 USD/L	2880
Total			15660

Propuesta de implementación de unidad de tratamiento electroquímico

El tratamiento electroquímico en el control de contaminación de efluentes textiles es una alternativa viable ya que presenta ventajas económicas, operativas y de degradación respecto a los tratamientos fisicoquímicos y biológicos (Mendoza, Guerrero, Bustos, & Arias, 2002; Pérez, 2015); entre lo que se puede destacar que se requiere áreas menores de instalación (entre 50 y 60 % menos), el tiempo de depuración es corto, las unidades son compactas, menor producción de lodos y consumo energético, infraestructura fácil de operar, menos requerimientos de equipamiento y mantenimiento reducido, presenta versatilidad al manejar una amplia gama de concentraciones y selectividad en los contaminantes, no se utilizan productos químicos, no se presenta una contaminación secundaria y no encarece en costos por concepto de reactivos químicos (Darío et al., 2008).

El tratamiento consiste en aplicar corriente eléctrica al agua a través de placas metálicas formando productos coagulantes y especies radicales transitorias in situ con un gran poder oxidante; que desestabilizan las partículas contaminantes presentes (Pérez, 2015). El proceso implica varias etapas tales como formación del coagulante a causa de la disolución de iones metálicos provenientes del ánodo, desestabilización de partículas y suspensiones coloidales y por último agregación de la suspensión desestabilizada y formación de flóculos. (Darío et al., 2008). Un reactor de electrocoagulación está constituido por una celda electrolítica con electrodos conductores de corriente (ánodos) o de sacrificio (cátodos), mismos que están conectados a una fuente de poder externa y se encuentran sumergidos en el agua residual a tratar, y que al aplicar el potencial el material del ánodo es oxidado mientras que el material del cátodo es reducido (Darío et al., 2008)(Culqui, 2015) (Figura 9).

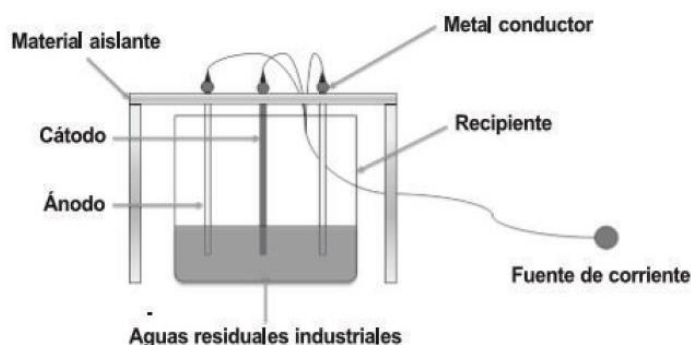


Figura 9. Celda de electrocoagulación

Fuente: Morales & Acosta, 2010, citado por (Culqui, 2015)

Las características fisicoquímicas del agua residual a tratar son fundamentales para definir los parámetros de diseño del sistema de electrocoagulación, no obstante en general se debe considerar el pH, potencial, densidad de corriente y tiempo (Pérez, 2015)(Arango & Garcés, 2007); además de establecer una zona de flotación, reacción y sedimentación como se aprecia en la figura 10.

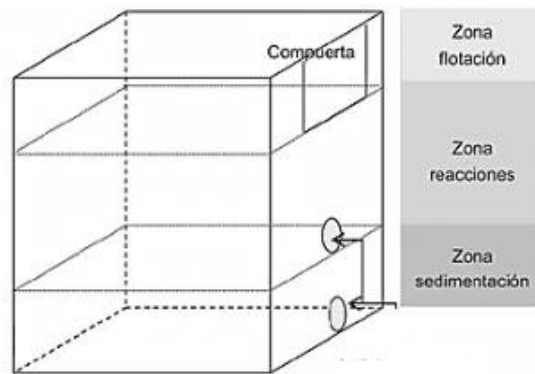


Figura 10. Dimensiones de una celda de electrocoagulación.

Fuente:(Arango & Garcés, 2007)

Para la empresa textil ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito se propone rediseñar la planta de tratamiento en dónde se contempla la adecuación de las unidades de depuración actualmente instaladas; es decir, se implementaría el tratamiento de electrocoagulación en la unidad de tratamiento biológico, se sedimentarían los flóculos en el decantador secundario acoplado al reactor biológico para finalmente descargar al alcantarillado público (Figura 11); los lodos evacuados serán entregados al gestor ambiental, tal como se ejecuta en la actualidad; se conservaría la unidad de homogenización y neutralización, y se retiraría la unidad de tratamiento fisicoquímico para disponer de espacio para destinarlo como bodega de la planta de tratamiento de agua residual.

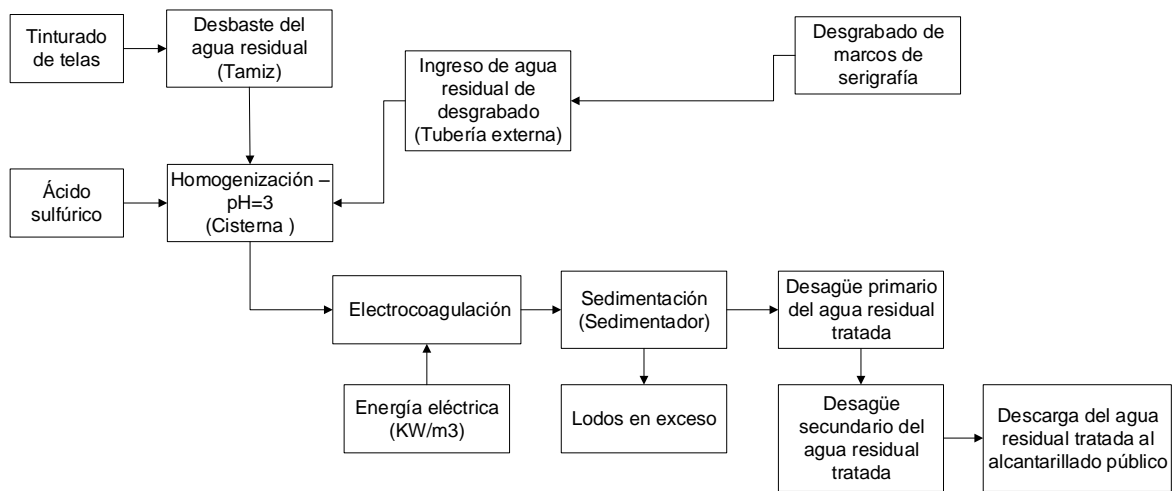


Figura 11. Esquema propuesto de tratamiento de aguas residuales textiles con electrocoagulación

La unidad de tratamiento de electrocoagulación presentaría forma rectangular de 162.63 m³ de capacidad (8.34 m de largo x 3.90 m de ancho x 5 m de altura) de acero inoxidable, contaría con 24 electrodos rectangulares de hierro A36 (1.20 m de ancho x 2.40 m de largo x 0.5 cm de espesor) (Ecuación 3)(Pullaguari, 2009), manteniendo una separación de 30 cm entre ellos, y de los cuales 12 serán el ánodo y 12 el cátodo (Mendoza, Guerrero, Bustos, & Arias, 2002; E. Terán, 2012). Los electrodos se encontrarán sostenidos con cuatro perfiles estructurales de acero A36 rectangulares (6 m de largo x 15 cm de ancho x 0.5 cm de espesor) y alejados uno de otro (Figura 12).

$$\text{Número de electrodos} = \frac{\text{Ancho del reactor} - 1.6 \text{ cm}}{\text{Distancia entre electrodos} + \text{espesor de electrodo}} \quad [3]$$

Fuente: (E. Terán, 2012)

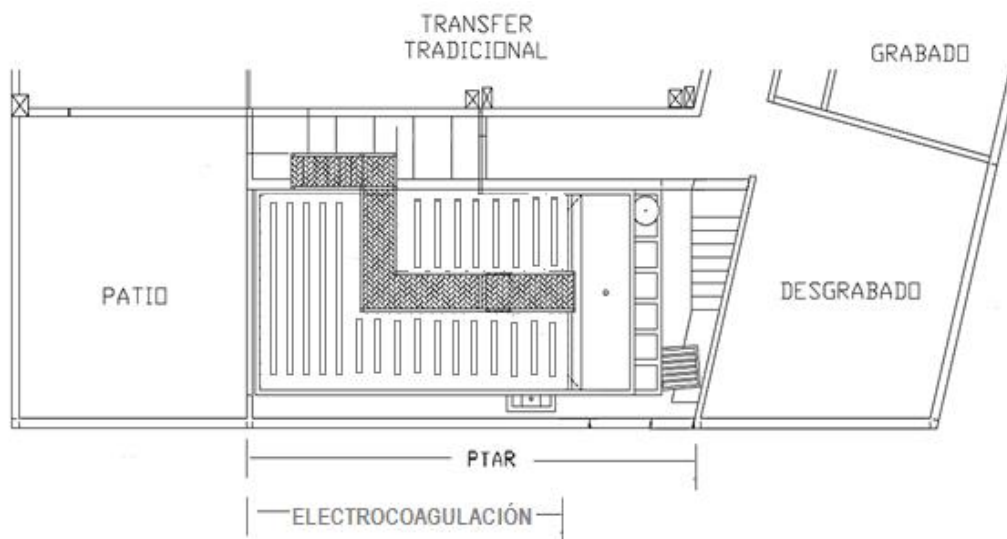


Figura 12. Diseño de unidad de electrocoagulación

Para el sistema eléctrico se dividiría el total de electrodos en dos campos mismos que estarán conectados entre sí en paralelo, para alimentar la misma tensión e poder incrementar la intensidad. No se define la densidad de corriente exacta que se va a aplicar ya que dependerá de las características que exhiba el agua residual. Este tipo de tratamiento se ajusta a los requerimientos de depuración además de que se ocuparían las instalaciones actuales y se utilizaría exclusivamente el área destinada para la planta. El costo asociado a esta propuesta oscila en \$20301.89, tal como se muestra en las Tablas 5 y 6; el cual incluye la inversión inicial, la operación y mantenimiento anual.

Tabla 5. Costos de implementación de tratamiento de electrocoagulación

Ítem	Cantidad (U)	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)
Plancha de hierro A36 (1.20m x 2.40m x 0.5cm)	24	96.9	2325.6
Perfil estructural rectangular A36 (6m x 15cm x 0.5cm)	4	6.79	27.16
Rectificador de corriente (2000 Amp - 3 Voltios)	1	6000	6000
Insumos	1	797	797
Accesorios	1	402.20	402.20
Mano de obra para readecuación	1	1500	1500
Total			11051.96

Tabla 6. Costos de mantenimiento y operación

Ítem	Cantidad	Costo anual (USD)
Planchas de hierro A36	3 cambios	6976.8
Energía eléctrica	KW/m ³	773.13
Limpieza y mantenimiento	3 veces	1500
Total		9249.93

Análisis de costo/beneficio de las propuestas planteadas

Al adoptar el tratamiento Fenton como tratamiento terciario o electrocoagulación como tratamiento secundario, la empresa textil enfrentaría altos costos de inversión y operación inicial respecto a los costos asociados actualmente al funcionamiento de la planta tratamiento de aguas residuales (Figuras 13 y 14), sin embargo, una vez que se recupere

la inversión los beneficios obtenidos justificarán estos gastos ya que la empresa contará con un proceso de depuración eficiente el cual garantizará el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos en el efluente tratado, y consecuentemente podrían evitarse multas que pudiese imponer la autoridad ambiental por la inobservancia de los límites permisibles y una posible suspensión de la licencia ambiental (Concejo Metropolitano de Quito, 2013).

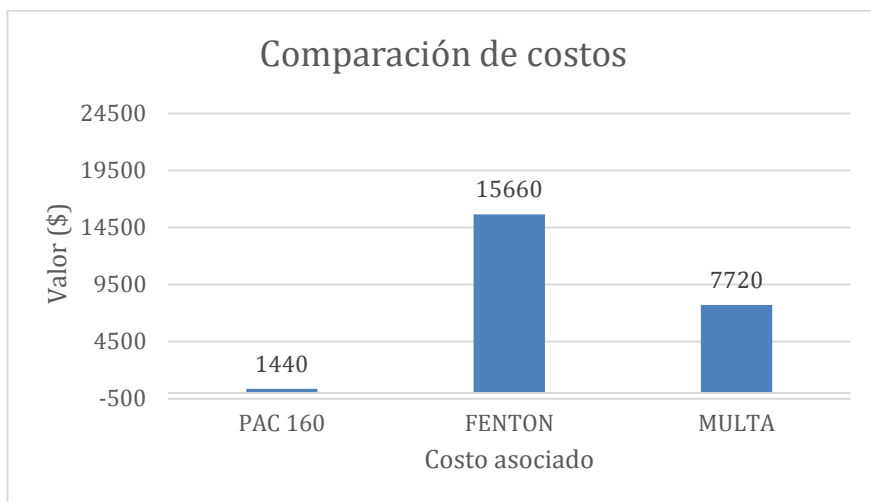


Figura 13. Análisis de costos entre la aplicación de PAC 160, reactivo Fenton y la multa impuesta por la autoridad ambiental distrital.

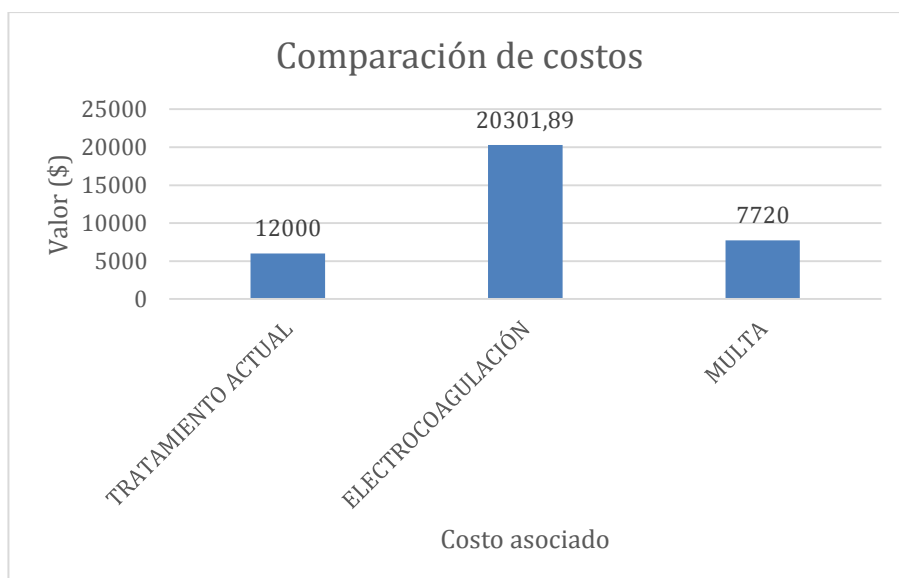


Figura 14. Análisis de costos entre la aplicación del tratamiento actual, electrocoagulación y la multa impuesta por la autoridad ambiental distrital.

La inversión de implementación de cada tratamiento se recuperaría en un plazo aproximado de 3 años según la determinación del período de recuperación en evaluación financiera realizada para cada tipo de tratamiento en un lapso de 5 años (Tablas 7 y 8). El tratamiento Fenton no escatima el consumo de reactivos, el costo es mayor al destinado mensualmente actualmente en la operación de planta de tratamiento de la empresa textil; sin embargo, es una opción viable desde el punto de vista técnico ya que se consigue un alto grado de decoloración y mineralización de los contaminantes, es ideal para contaminantes refractarios, se utilizan reactivos en bajas cantidades, no se forman subproductos clorados, no existen limitaciones de transferencia de masa por ser un sistema homogéneo además que la instalación es sencilla, semejante a un reactor agitado, y no es preciso emplear equipos adicionales (Rico, 2013; M. Terán, 2016).

Tabla 7. Determinación del período de recuperación para el tratamiento Fenton

TRATAMIENTO FENTON		Años	Flujo (\$)	Flujo Acumulado (\$)
Inversión Inicial (\$)	15660	1	3050	3050
Último Flujo (\$)	5584	2	5584	8634
Por Recuperar (\$)	10	3	7016	15650
Periodo de Recuperación (años)	3	4	2768	18418
Tasa de interés (%)	10	5	3145	21563
VAN (\$)	16502			
TIR (%)	12			

El tratamiento electroquímico una vez establecido y costeadado brinda ventajas tales como la supresión del uso de productos químicos en el tratamiento fisicoquímico (PAC 160 e NaClO) y bacterias en el tratamiento biológico, además de reducir el espacio dispuesto para su almacenamiento; finalmente con este tipo de depuración se obtiene un efluente tratado entre 60 y 90 minutos, tiempo que no se logra con un tratamiento biológico o fisicoquímico (Arango & Garcés, 2007; Darío et al., 2008; Mendoza, Guerrero, Bustos, & Arias, 2002; Pérez, 2015; Vilaseca, Gutierréz, & Crespi, 2003).

Tabla 8. Determinación del período de recuperación para el tratamiento de electrocoagulación

TRATAMIENTO DE ELECTROCOAGUALCIÓN		Años	Flujo (\$)	Flujo Acumulado (\$)
Inversión Inicial (\$)	20301	1	6170	6170
Último Flujo (\$)	7263	2	7263	13433
Por Recuperar (\$)	-948	3	7816	21249
Periodo de Recuperación (años):	3	4	8119	29368
Tasa de interés (%)	10	5	8525	37893
VAN (\$)	28352			
TIR (%)	24			

Antes de modificar el proceso actual de tratamiento de aguas residuales se recomienda realizar las pruebas de laboratorio y piloto pertinentes para definir los parámetros de diseño correctos, la implementación y operación adecuada. Por otro lado, la generación del manual de operación, mantenimiento y limpieza de la planta ayuda a gestionar los preparativos apropiados antes de iniciar la operación normal, dentro de los que se estima la capacitación previa a los operarios, inspección de la planta antes de su llenado y la manera de estabilizar el proceso para obtener la eficiencia esperada durante la operación. En base a esto, el manual de la planta de aguas residuales de la empresa textil ubicada al norte del Distrito Metropolitano de Quito (Anexo 8 y 9) creado en base al desarrollo de este estudio da a conocer a los operadores y los técnicos encargados las observaciones que deben tener en cuenta durante el funcionamiento y manejo de los diferentes procesos, con el fin de detectar rápidamente si el sistema está operando bien o no, de tal forma que se puedan tomar decisiones, sin necesidad de esperar varias horas mientras se realizan pruebas de laboratorio que demandan mucho tiempo. Adicionalmente, se presentan los principales parámetros que regulan la operación y control, y los instructivos de los principales ensayos que se deben realizar en el agua para el control y seguimiento de los procesos de tratamiento.

Las acciones de mantenimiento y limpieza para las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales planteadas en el manual tienen como objetivo principal el funcionamiento sin contratiempos de la planta, extender la vida útil de las estructuras y evitar contaminación en el agua que se esté tratando (Anexo 8 y 9). Por lo que sugiere realizar un mantenimiento preventivo y limpieza total cada 4 meses. Como parte del mantenimiento, se aconseja retirar las estructuras no funcionales en el proceso de

operación actual ya que entorpecen el flujo de tratamiento de aguas normal, entre estas tuberías, bombas, tanques de químicos, tanques adicionales y cables.

Conclusiones

El afluente presentó valores de SST, DBO y temperatura cercanos a los caracterizados en tratamientos pasados, sin embargo a partir de julio 2015 hasta octubre 2017 el pH varió entre 5.34 y 12.1 ($\sigma = 2.87$), y la DQO incrementó de 950 a 3142 mg/L ($\sigma = 897.29$), fluctuaciones experimentadas por el cambio de productos químicos en tintorería y principalmente a la inclusión del agua residual procedente del desgrabado de serigrafía al sistema de tratamiento actual, lo cual convirtió el agua residual cruda en moderadamente biodegradable ya que mostró con una relación DQO/DBO de 3.14.

El valor de la DQO en el agua residual va disminuyendo paulatinamente conforme avanza por las unidades de tratamiento, llegando a obtener una eficiencia de depuración del proceso actual con algunos ajustes y mejoras implantadas del 56.14%; respecto al 10.69% encontrado con tratamientos anteriormente realizados. No obstante este porcentaje no garantiza el cumplimiento del valor permisible exigido por la normativa ambiental, por lo que se recomienda aplicar otros tipos de depuración tales como el tratamiento Fenton o electrocoagulación, los cuales incrementarían la eficiencia de depuración del agua residual y minimizarán no conformidades y consecuentes multas impuestas por parte de la autoridad ambiental.

Al experimentar a nivel de laboratorio con el reactivo Fenton se logró una eficiencia de depuración del 57.64% en la DQO, esta remoción sumada a la eficiencia de tratamiento alcanzada en la planta (Pretratamiento - Tratamiento biológico) incrementa la eficiencia de depuración total de la DQO hasta el 82.90%. Mientras que por electrocoagulación se obtendría una eficiencia de remoción de la DQO entre el 78 y 87% según resultados reportados en estudios con aguas residuales textiles e industriales.

En el monitoreo de calidad del agua residual actualmente se mide DQO, DBO, SST, N y P, pero no se determinan metales pesados, por lo que se recomienda incluirlos dentro de los análisis, ya que valores de DQO altos, tanto en el efluente de descarga como en el tratamiento, podría tener una influencia directa de estos elementos. Es importante asignar

al presupuesto de la planta de tratamiento el valor para destinar a estos ensayos de laboratorio. En este estudio no se pudo cotejar metales pesados debido a una avería en el equipo.

La generación del manual de operación, mantenimiento y limpieza contribuyó a la gestión integral de la planta de tratamiento de aguas residuales actual, ya que favorece al correcto funcionamiento y a la conservación de su infraestructura, y principalmente aporta a un incremento en la eficiencia del proceso, agiliza la operación y proporciona el conocimiento del personal a cargo. Este manual debe ser revisado y actualizado periódicamente para establecer cambios en la parte operativa y estructural de la planta, para de esta manera disponer de una trazabilidad que ayude para instaurar en futuras mejoras.

Agradecimientos

A la empresa textil ubicada en norte del Distrito Metropolitano de Quito, por permitir que se lleve a cabo el presente proyecto en las instalaciones de su planta de tratamiento de aguas residuales, y por proporcionar el recurso económico y humano necesario para el desarrollo de las actividades que involucraron el proyecto.

A Johanna Medrano y Juan Carlos Navarro por guiarme con sus conocimientos y experiencia profesional en el desarrollo de este proyecto. A los revisores del proyecto Walberto Gallegos y Miguel Martínez-Fresneda.

Bibliografía

(ICONTEC). (2004). NTC-ISO-5667-3: Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras.

(ICONTEC). (2008). NTC- ISO 5667-2: Calidad del Agua. Muestreo. Tecnicas generales de muestreo.

Aguilar, R. (2011). Diagnóstico del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residualesmunicipiales “Calvillo.” *Instituto Del Agua*.

Amorós, V., Gallardo, A., & García, R. (2002). *Guía de tintas y disolventes*.

Arango, A., & Garcés, L. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el

tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *REVISTA Universidad EAFIT*, 43(147), 56–67.

Bravo, J., & Cuzme, K. (2012). *Análisis sectorial de la Industria Textil Ecuatoriana y Diseño de un Modelo de Planeación Estratégica para La Empresa Modatex S.A.*

Concejo Metropolitano de Quito. (2013). ORDENANZA METROPOLITANA No. 0404.

Culqui, N. (2015). *Diseño e implementación de una planta piloto para el tratamiento de efluentes líquidos generados en los laboratorios del Departamento de metalurgia extractiva*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/727/1/CD-1669%282008-09-15-11-00-15%29.pdf>

Darío, E., Luz, A., Sierra, M., White, C., Catalina, L., & Amézquita, O. (2008). Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. *Universidad EAFIT, Documento*, 85.

De Jesús, T., López, R., & Fiallo, H. R. (2016). Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana. *Ingeniera Hidráulica Y Ambiental*, 37(3), 46–58. Retrieved from <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2277/ehost/detail/detail?vid=28&sid=d581f0b5-d516-498b-901d-edc41aa8fbaa%40sessionmgr120&hid=128&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=119049446&db=eih>

El Comercio. (2017). Sector textil es el segundo de Ecuador que genera más empleo | El Comercio. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/actualidad/sectortextil-ecuador-feria.html>

González, A., & Ramírez, J. (2014). Manual Piragüero Medición de Caudal. *Programa Integral Red Agua, Primer edi*, 24. Retrieved from http://piragua.corantioquia.gov.co/piragua/publicaciones/3.Manual_Medición_de_Caudal.pdf

Jaimes, C., & Vega, J. (2009). *Manual de procedimientos de operación y mantenimiento preventivo para la planta de tratamiento de aguas residuales del centro comercial Galeris Coapa*.

Llyve, W. (2012). Análisis y evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria textil. *Universidad San Francisco de Quito*.

Mendoza, W., Guerrero, M., Bustos, E., & Arias, M. (2002). Tratamiento electroquímico de aguas residuales en la industria textil. *Green Tech*.

Morillo, S. (2012). Propuesta de producción más limpia (P+L) en el proceso de tinturado, en la industria “Textiles María Belén” ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito. *Universidad Central Del Ecuador*.

Pérez, G. (2015). Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante

procesos electroquímicos. *Tesis*, 110.

Pullaguari, S. (2009). *Diseño y construcción de un tanque rectangular de 400m³/día para un sistema de tratamiento de aguas residuales modalidad electrocoagulación para la empresa Yakupro Cia. Ltda.*

Rico, G. (2013). Eliminación del color en efluentes de la industria textil. Retrieved from <http://blog.condorchem.com/tratamiento-para-la-eliminacion-del-color-en-aguas-residuales-de-la-industria-textil/>

Sierra, C. (2005). Diagnóstico y propuesta de optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea. *Universidad de La Salle Bogotá*.

Terán, E. (2012). *Diseño y construcción de un reactor de electrocoagulación, para el estudio de tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil.*

Terán, G., Posligua, P., & Banchón, C. (2015). Dosificación mínima del reactivo Fenton para la remediación de agua contaminada con colorantes. *Enfoque UTE*, 6(3), 65–80. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/70%0Ahttp://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/download/70/74>

Terán, M. (2016). Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas. *Repositorio Unitécnica de Cataluña*, 100. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf

Tigsilema, C. (2016). Propuesta de optimización, evaluación de la eficiencia y mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de producción de la empresa Favalle S.A. *Escuela Politécnica Nacional*.

Torres, I. (2010). Propuesta de mejoramiento de las operaciones de la planta de tratamiento de agua residual en el municipio de la Calera (Cundinamarca). *Universidad Católica de Colombia*.

Vilaseca, M., Gutierrez, M., & Crespi, M. (2003). Biodegradabilidad de efluentes textiles con técnicas de oxidación electroquímica. *Revista Melliand Textilberichte*, 7–8, 45–50.