



SECCIONAL SOCORRO

**“CARACTERIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS APLICADAS AL TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TEXTIL”
“CHARACTERIZATION OF TECHNOLOGIES APPLIED TO TEXTILE INDUSTRIAL
WATER TREATMENT”**

ESTUDIANTES:

IVÁN YESID HERNÁNDEZ LARROTTA ivanyesid_9604@hotmail.com
SUSANA PATRICIA MUÑOZ HIGUERA sue_munoz46@hotmail.com

Director:

Ing. FABIÁN LEONARDO YORY SANABRIA

UNIVERSIDAD LIBRE DE SOCORRO
Programa de Especialización en GESTIÓN AMBIENTAL
Socorro, Enero 2018

CONTENIDO

Resumen.....	3
Introducción	4
Marco referencial	7
Metodología	14
Resultados	15
Conclusiones	20
Bibliografía	21
Anexo	24

Resumen

Los avances en investigaciones acerca del efecto de ciertos contaminantes, normas ambientales más estrictas, y factores económicos, han generado nuevas tecnologías. Con el uso de nuevos sistemas de tratamiento, en algunas industrias se han dejado prácticas como el almacenamiento de desechos y el confinamiento, que desde el punto de vista de preservación del medio ambiente y protección de la salud humana no son de ninguna manera recomendable (Garcés Giraldo & Peñuela Mesa, 2007, p.25).

Dicho esto, con esta investigación se buscó generar una base de información coherente y eficaz a la hora de requerir elegir una opción de tratamiento para las aguas residuales de la industria textil. Para lograr lo anterior se hizo la revisión de 25 documentos de los cuales se extrajo información relevante al caso tal como variables que afectan los diferentes tratamientos, posterior a esta revisión bibliográfica se realizó el análisis de relación y afectación de variables con los diversos tipos de tratamiento, para concluir en la caracterización de los tratamientos hallados y la sugerencia del mejor tratamiento para este tipo de aguas residuales.

Abstract

Advances in research on the effect of certain pollutants, stricter environmental standards, and economic factors have generated new technologies. With the use of new treatment systems, in some industries practices such as waste storage and confinement have been left, which from the point of view of environmental preservation and protection of human health are by no means recommended (Garcés Giraldo & Peñuela Mesa, 2007, p.25).

That being said, this research sought to generate a coherent and effective information base when it comes to requiring the choice of a treatment option for wastewater from the textile industry. To this end, a review was made of 25 documents from which information relevant to the case was extracted, such as variables that affect the different treatments. Following this bibliographic review, the analysis of the relationship and affectation of variables with the different types of treatment was carried out. to conclude in the characterization of the treatments found and the suggestion of the best treatment for this type of wastewater.

Palabras Clave: Planta de Tratamiento, Agua residual, Eficiencia, Textil, Contaminantes, Remoción.

Keywords: Treatment Plant, Wastewater, Efficiency, Textile, Contaminants, Removal.

Introducción

Los avances en la ciencia y la tecnología desde la revolución industrial, han aumentado la capacidad del ser humano para explotar los recursos naturales. Sin embargo, esto ha generado perturbaciones en los ciclos biogeoquímicos elementales. La introducción repentina de compuestos químicos xenobióticos o la reubicación masiva de materiales naturales en diferentes compartimientos ambientales, con frecuencia puede abatir la capacidad de autolimpieza de los ecosistemas receptores y por lo tanto dar como resultado la acumulación de contaminantes a niveles problemáticos y hasta perjudiciales (Rosa Olivia Cañizares-Villanueva, 2000, p.131).

En lo que compete a saneamiento y específicamente al tratamiento de aguas residuales, el agua recolectada de los pueblos y ciudades, debe devolverse al medio ambiente en condiciones tales que no la deteriore. Durante las últimas décadas de este siglo, el mundo ha venido observando

con inquietud una serie de problemas relacionados con la disposición de desechos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial (Ricardo Rojas, 2002, p.3).

A través del tiempo se ha marcado lo importante de la relación entre el hombre y el medio ambiente, el ser humano pretende desarrollar y fomentar posibles soluciones ante los desastres ocasionados por el mismo, lo anterior teniendo control sobre el consumo de los recursos naturales y a su vez minimizando y reparando impactos generados al ambiente.

En la actualidad, los requerimientos ambientales y el crecimiento de los sistemas de gestión ambiental, han generado un cambio de conciencia a nivel industrial, llevando esto a satisfacer las expectativas de los clientes tanto en la calidad de los productos o servicios, como en las formas de producción amigables con el medio ambiente, lo anterior sumado a las regulaciones ambientales, han generado un cambio en la cultura de producción en la cual las pérdidas enormes de materias primas que se desechan a los alcantarillados deben ser recuperadas y reincorporadas al proceso productivo, redundando en beneficios económicos y ambientales (Ayala, Peñuela Mesa, & Montoya, 2006, p.55).

Las diferentes etapas de elaboración de un producto textil involucran un sinnúmero de operaciones que generan diversos tipos de contaminantes de estructura variada. Dentro de estos, los colorantes, son los compuestos que más aportan en concentración y en las aguas residuales de estas industrias (Goyes, Uribe, & Palma, 2013, p.94). El proceso textil comprende tres fases: a) hilatura, b) tejeduría y c) acabados. Los efluentes industriales se generan principalmente en el proceso de acabados, siendo este proceso el responsable de los desechos o efluentes líquidos (Colotta, 2003). Este tipo de situaciones lleva a daños en el ecosistema; en los cuales se pueden llegar a suprimir procesos fotosintéticos de los microorganismos, alteraciones a nivel estético por

la fuerte coloración que imparten en el agua aun en pequeñas concentraciones, y alta toxicidad debido a las características estructurales de sus componentes (Goyes et al., 2013, p.94).

“El sector textil se puede considerar de alto impacto ambiental, y de acuerdo a la clasificación creada por CINSET, se puede catalogar como de "Alta Significación Ambiental ASA", siendo el impacto más negativo en los efluentes líquidos” (Garcés Giraldo & Peñuela Mesa, 2007, p.25).

Ibañez y otros (como se citó en Linares Hernández, Barrera Díaz, Roa-Morales, & Ureña Núñez, 2008) afirma que: En los últimos años se ha incrementado el interés por el desarrollo de tecnologías económicas y efectivas para la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales, los cuales por su variada naturaleza, resultan difíciles de eliminar complicando consecuentemente el tratamiento y elevando los costos del mismo.

Los avances en investigaciones acerca del efecto de ciertos contaminantes, normas ambientales más estrictas, y factores económicos, han generado nuevas tecnologías. Con el uso de nuevos sistemas de tratamiento, en algunas industrias se han dejado prácticas como el almacenamiento de desechos y el confinamiento, que desde el punto de vista de preservación del medio ambiente y protección de la salud humana no son de ninguna manera recomendable (Garcés Giraldo & Peñuela Mesa, 2007, p.25). Dada esta situación es necesario identificar cuales tecnologías son las apropiadas para implementarse en el tratamiento de este tipo de agua residual industrial textil donde se evidencia un alto conflicto a la hora del vertimiento, ya que se afecta el recurso hídrico y así mismo los ecosistemas, provocando también problemas en la salud humana. Lo anterior con el fin de brindar una información base a la hora de estudiar y desarrollar alternativas aplicadas a la solución del tratamiento de estas aguas.

“Es indispensable llevar a cabo estudios propios para la determinación de consorcios eficientes que estén bien adaptados a las condiciones en las que van a cumplir su función y que no representen un peligro para el ecosistema” (Puga & Pamela, 2010, p.3).

Marco referencial

La contaminación en el recurso hídrico producto de las actividades económicas realizadas por el hombre se clasifica en tres tipos de agua, doméstica, agrícola e industrial, en este caso se realizó el estudio en tipos de agua industrial principalmente en la industria textil debido a que es una de las más aportantes a la contaminación del recurso hídrico, por tal motivo es necesario buscar la mejor solución para reducir todos los contaminantes generados, una de las posibles soluciones es la implementación de diferentes plantas de tratamiento con especificaciones diferentes que se acoplan a el tipo de agua que se va a tratar.

La presencia de colorantes en las aguas residuales representa un problema ambiental, ya que este tipo de compuestos no puede eliminarse con los métodos de tratamiento convencionales. Debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento basados en métodos químicos o físicos son costosos y requieren de gran cantidad de energía y reactivos, la biotecnología ofrece una alternativa de tratamiento ... Una de las ventajas de este tipo de tecnologías es que, además de la decoloración, se puede alcanzar la completa mineralización del colorante (Cortazar-Martínez et al., 2012, p.187).

La eliminación de los colorantes de los efluentes de la industria textil representa un gran reto ambiental. Existen numerosas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil pero, por la complejidad de la composición de estas aguas, generalmente se tiene que utilizar dos o más estrategias para lograr la remoción de los contaminantes. La industria textil

consume grandes volúmenes de agua en sus procesos, por lo que es importante la búsqueda de tecnologías que permitan el reciclaje del agua residual, o bien, que permitan que el agua pueda ser vertida sin que perjudique al ambiente. Los procesos microbiológicos son una opción para el tratamiento de efluentes contaminados (Cortazar-Martínez et al., 2012, p.194).

Durante los procesos de producción y decoloración de telas, del 10% al 15% de la cantidad de colorantes utilizada en la industria textil no se fija a la fibra y es vertida en los efluentes o alcantarillas como desechos contaminantes. Además de la contaminación visual existe el impacto adverso de altas demandas de oxígeno químico (DQO), elevada toxicidad, efecto carcinogénico y efectos genotóxicos, los cuales han hecho de la industria textil una de las principales fuentes de problemas ambientales a nivel mundial. Estos colorantes textiles se caracterizan por ser sustancias recalcitrantes y tóxicas, resistentes a la degradación biológica, y por tanto no se eliminan fácilmente en plantas de tratamiento de aguas residuales. Actualmente, la remoción de estos colorantes se lleva a cabo a través de procesos, tales como adsorción, precipitación, degradación química, electroquímica, foto degradación, filtración por membranas, microbiológico, entre otros. Algunas de estas técnicas presentan serias restricciones por no ser consideradas métodos económicamente factibles por sus altos costos, generando residuos acumulados en forma de lodos concentrados, lo que representa un problema posterior (Soto et al., 2010, p.26).

Adicional a esto, la industria textil utiliza alrededor del 15% del total del agua empleada para labores industriales en el mundo, la cual después del paso por los diversos procesos, resulta altamente contaminada. La mayor parte de su carga contaminante está constituida por impurezas inherentes al textil, productos adicionados para facilitar el hilado y el tejido, auxiliares y colorantes. La aplicación de colorantes a las fibras textiles, genera un problema ambiental

asociado con la presencia de ciertas cantidades de colorantes no fijados en las aguas residuales, puesto que el grado de fijación de los colorantes sobre los materiales textiles normalmente está en el rango del 60-80%. Estudios de toxicidad realizados con ratones de laboratorio, revelan que la ingesta de aguas residuales textiles genera alteraciones en el sistema reproductor y reducción de la movilidad; (...). La presencia de colorantes en cuerpos de agua reduce el paso de la luz solar, lo que puede generar desequilibrio en los ecosistemas acuáticos y provoca desagradables efectos visuales en el paisajismo natural ya que el ojo humano puede detectar residuos de colorantes en concentraciones del orden de 0,01 ppm en causas limpias (Osorio Echavarría, Benavides, Isabel, Díaz, & Carlos, 2011, p.86).

Kuhad (como se citó en Cortazar-Martínez et al., 2012, p.188) indica que: existen muchos métodos para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorantes. En la Tabla 1 se resumen los métodos más utilizados para el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil. Se incluyen algunas tecnologías recientes como la filtración por membrana y los procesos fotoquímicos. Estos métodos se aplican de manera eficiente y se encuentran disponibles comercialmente.

Tabla 1. Métodos convencionales para el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil.

Tipo de Método	Método	Ventajas	Desventajas	Referencias
Físico	Adsorción	Remueve eficientemente varios colorantes. Como alternativas se han usado sílica y recientemente materiales celulósicos obtenidos de residuos agroindustriales (maíz, cebada, etc.). Además de su eficiencia, es una tecnología económicamente atractiva.	Algunos de los materiales utilizados, como el carbón activado, tienen costos elevados y pérdidas en la regeneración. Por otro lado, los materiales menos costosos como las virutas de madera, requieren más tiempo de contacto y generan residuos.	Raghavacharya 1997; Nigram et al. 2000; Chandran et al. 2002.
	Filtración de membrana	Se utiliza para remover colorantes que se encuentran en bajas concentraciones. Es un sistema resistente a temperatura y ataques microbianos.	Tienen altos costos. Es ineficiente para la remoción de sólidos disueltos, por lo que son necesarios los tratamientos adicionales.	Xu et al.1999; Fersi y Dhahbi 2008.
	Intercambio iónico	Es un método muy efectivo para remover colorantes catiónicos y aniónicos. No hay mucha pérdida en la regeneración de los solventes.	Los solventes orgánicos utilizados son caros. Solo tiene aplicaciones específicas.	Slokar y Le Marechal 1998.
Químico	Electroquímico	Es un proceso relativamente nuevo que tiene una eficiente remoción de colorantes y la degradación de contaminantes sin generar subproductos tóxicos o lodos.	Los costos de la electricidad son altos.	Pelegri et al. 1999.

	Oxidación	Es uno de los métodos más usados. Involucra el rompimiento de los anillos aromáticos. La oxidación con el reactivo de Fenton es un método adecuado para el tratamiento de aguas residuales resistentes a un tratamiento biológico, sin embargo se forman lodos. El hipoclorito de sodio (NACL) al igual que el ozono, son efectivos en el rompimiento de enlaces azo.	El reactivo de Fenton tiene como desventaja la formación de lodos. El uso de hipoclorito de sodio genera subproductos tóxicos y carcinógenos. El ozono no resulta tan eficiente en oxidación de colorantes dispersos.	Raghavacharya 1997; Pak y Chang 1999.
	Fotoquímico	Se puede utilizar para degradar moléculas orgánicas en CO ₂ y agua, ya sea en lote o en un sistema continuo con cortos tiempos de exposición. No se generan lodos.	Se pueden generar subproductos como halogenuros, metales, ácidos y aldehídos. Solo es efectivo si las concentraciones de colorantes son bajas. Presentan altos costos.	Yang et al. 1998, Kositzi et al. 2007.
	Coagulación	Presenta buena eficiencia de remoción, se realiza en un periodo corto de tiempo y tiene bajos costos de inversión.	Se obtienen resultados pobres con colorantes ácidos y hay un alto costo de disposición por los volúmenes de lodos que resultan de este método.	Slokar y Le Marechal 1998.
Biológico	Bio absorción	La biomasa microbiana puede usarse para absorber y remover colorantes de las aguas residuales. El proceso de absorción puede ir acompañado de una biodegradación.	Este método aun esta en etapa de investigación, por lo que no se ha utilizado para tratar grandes volúmenes de agua. También ocasiona problemas en cuanto a la disposición de la biomasa con los colorantes adsorbidos.	Knapp et al. 1997; chen et al. 1999.

	Bio degradación	Se han aislado microorganismos con la capacidad de degradar diversos colorantes. Se han utilizado consorcios mixtos en sistemas combinados aeróbicos/anaeróbicos para remover colorantes, así como sistemas con células inmovilizadas.	Es necesaria más información fisiológica y genética. Se requiere una larga fase de aclimatación y se presenta resistencia a compuestos recalcitrantes.	Nigam et al. 1996; Supaka et al. 2004; Dafale et al. 2008.
	Enzimáticos	Las preparaciones de lacasas y peroxidasas ofrecen un método para la decoloración de agua residual. Requiere tiempos cortos de contacto. Es muy eficiente para ciertos compuestos.	Es necesario un mayor análisis sobre los subproductos que se generan, estudios de escalamiento y una evaluación económica para poder aplicarse comercialmente. El aislamiento y purificación de las enzimas es difícil. Las enzimas se ven afectadas por un gran número de variables presentes en el agua residual.	Shaffique et al. 2002; Chhabra et al. 2008; Cristovso et al. 2008.

Fuente: Kuhad et al. (como se citó en Cortazar-Martínez et al., 2012, p.192)

En suma a lo anterior se hallan diferentes tratamientos que si bien no han sido aún debatidos a detalle, poseen características que deben ser tomadas en cuenta a la hora de pensar en utilizar dichos tratamientos, algunos de ellos son nombrados a continuación.

Recientemente se ha propuesto el empleo de enzimas con actividad peroxidasa para ser utilizada en la degradación oxidativa de compuestos coloreados. Estas enzimas pueden actuar sobre determinados contaminantes y transformarlos en otros menos nocivos. La peroxidasa es una enzima que cataliza la oxidación de un amplio número de sustratos orgánicos e inorgánicos, la cual se puede extraer de varias plantas incluyendo rábano (*Armoracia rusticana*), melocotón (*Prunus persica*), el ñame (*Macrorrhiza Alocasia*), yuca (*Manihot utilissima*), alcachofa (*Cynara*

scolymus L.), batata (*Ipomoea batatas* exL.Lam), nabo (*Brassica campestris rapifera*), el calabacín (*Cucurbita pepo*) y otros (Soto et al., 2010, p.26).

También se han generado estudios para “evaluar la decoloración de mezclas de colorantes presentes en aguas textiles sintéticas y efluentes residuales textiles, empleando el hongo anamorfo R1 de *Bjerkandera* sp, el cual en estudios previos ha mostrado un alto potencial para la decoloración de tintes textiles y otros xenobióticos”(Osorio Echavarría et al., 2011).

Otros estudios pretenden “desarrollar una alternativa eficaz para la eliminación de materia orgánica de efluentes residuales mediante la aplicación procesos de Fenton, de Foto-Fenton y de la combinación de un tratamiento biológico” (Jose Blanco Jurado, 2009).

Una investigación realizada por (Alonso-Calderón et al., 2008) demostró que “logró utilizar una peroxidasa con un índice de pureza relativamente bajo en la remoción de compuestos fenólicos y colorantes textiles. Se logró remover al fenol y sus polímeros obtenidos en un 88.5 y 99.1% respectivamente. Para el 2-clorofenol se logró una remoción del 95.9% y para sus polímeros del 99.5%.”

Por otra parte (López-Grimau, García, & Gutiérrez, 2010) “estudio de viabilidad técnica y económica de la integración de un tratamiento de decoloración de baños agotados de tintura a un proceso de tintura textil convencional con el objetivo de reutilizar el agua tratada y en especial, de aprovechar la sal necesaria para realizar la tintura”. Y otros como (Rendón, Arango, & Palacio, 2007) hacen una “descripción de la situación general de siete tintorerías pertenecientes al sector textil, su infraestructura, equipos, maquinaria, procesos, y la identificación de posibles oportunidades de producción más limpia que permitirían mejorar su organización y cumplir con la normatividad vigente”.

Con base en el estudio realizado de los diferentes autores se procedió a realizar el estudio investigativo que ayuda a realizar la caracterización de los tipos de tratamiento con el ánimo de aportar variedad de alternativas a la solución de la problemática que generan los vertimientos de la industria textil y sus afectaciones que tienen tanto en el recurso hídrico, los ecosistemas, como en la vida humana.

Metodología

Inicialmente se hizo la recolección en bases de datos de información y material bibliográfico sobre las diferentes tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales textiles, reunido el material se realizó la lectura de dicha información para conseguir extraer las variables requeridas para el proceso de estudio, que para este caso fueron treinta y un variables encontradas, de las cuales se seleccionaron seis las cuales se hallaron más pertinentes para el estudio, las obtenidas fueron las siguientes: Tipo de tratamiento, potencial de hidrogeno, porcentaje de eficiencia, caudal, remoción de color y remoción de otros contaminantes. Luego de determinar las variables a estudiar, se procedió a realizar un análisis estadístico con MS Excel con las variables seleccionadas, permitiendo la distinción de los resultados a través de tablas y gráficos detallados.

Resultados

Mediante los análisis realizados entre las variables más significativas se encontró lo siguiente:

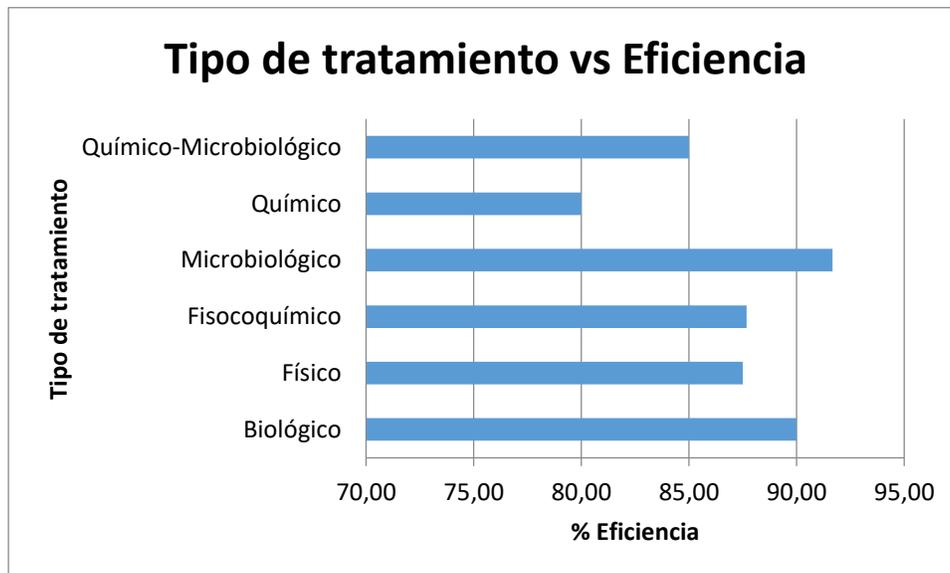
Se revisaron las variables tipo de tratamiento con su respectiva eficiencia en donde se obtuvo que el tratamiento con más eficiencia para el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil fue el microbiológico con una eficiencia del 91.67% y obteniendo el resultado más bajo de eficiencia en el tratamiento químico con una eficiencia del 80%.

Tabla 2. Porcentaje de eficiencia por tratamiento

Tipo de tratamiento	Eficiencia (%)
Biológico	90,00
Físico	87,50
Físico químico	87,67
Microbiológico	91,67
Químico	80,00
Químico- Microbiológico	85,00
Total general	87,95

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Grafica 1. Tipo de tratamiento vs Eficiencia



Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

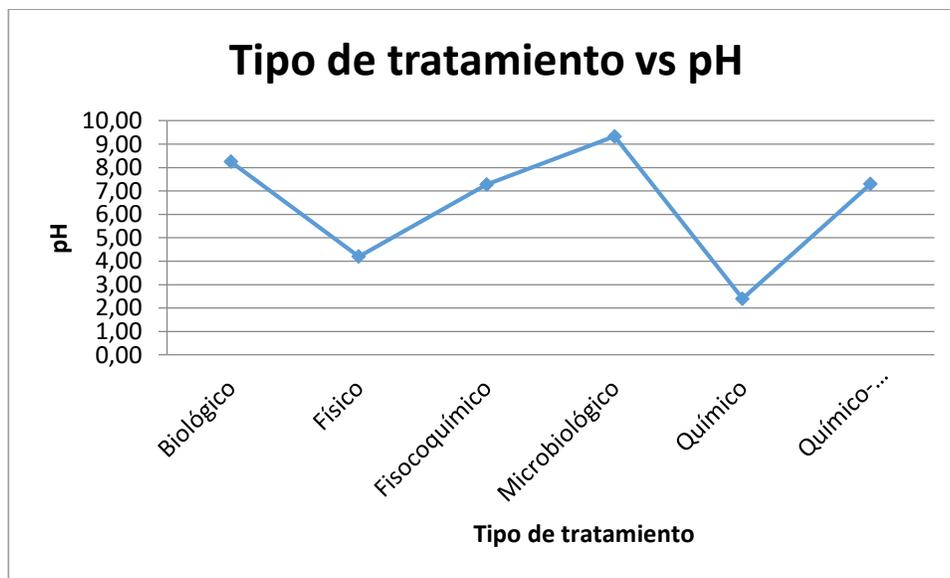
Además de la eficiencia analizada con el tipo de tratamiento se analizó el potencial de hidrogeno con el tipo de tratamiento en donde se encontró que el tipo de tratamiento que trabaja con mayor potencial de hidrogeno es el microbiológico que trabaja con un pH de 9.33 que significa pH básico y se encontró que el tratamiento con potencial de hidrogeno más ácido en el tratamiento químico que trabaja con un pH de 2.40.

Tabla 3. Promedio de pH por tipo de tratamiento

Tipo de Tratamiento	pH
Biológico	8,25
Físico	4,20
Físico químico	7,28
Microbiológico	9,33
Químico	2,40
Químico- Microbiológico	7,30
Total general	7,14

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Grafica 2. Tipo de tratamiento vs pH



Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

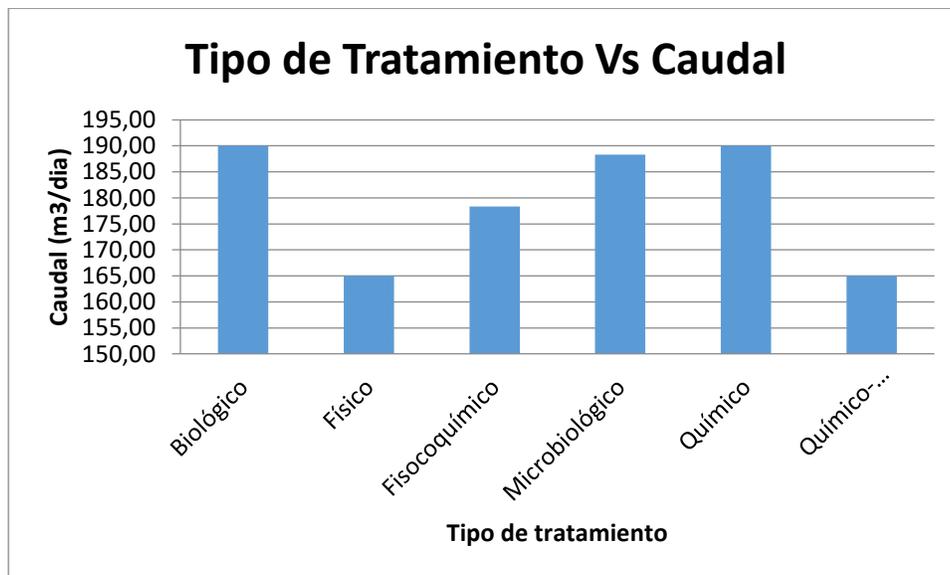
Otra variable analizada frente al tipo de tratamiento es el caudal que puede tratar en donde se obtuvo que el tratamiento que trabaja con más caudal es el tratamiento Biológico y Químico con un caudal de 190 m³/día además se encontró que los tratamientos que pueden tratar menor caudal son el Físico y el Químico-Microbiológico con un caudal de 165 m³/día.

Tabla 4. Promedio de caudal por tipo de tratamiento

Tipo de Tratamiento	Caudal (m ³ /día)
Biológico	190,00
Físico	165,00
Físico químico	178,33
Microbiológico	188,33
Químico	190,00
Químico-Microbiológico	165,00
Total general	179,52

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Grafica 3. Tipo de tratamiento vs Caudal



Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

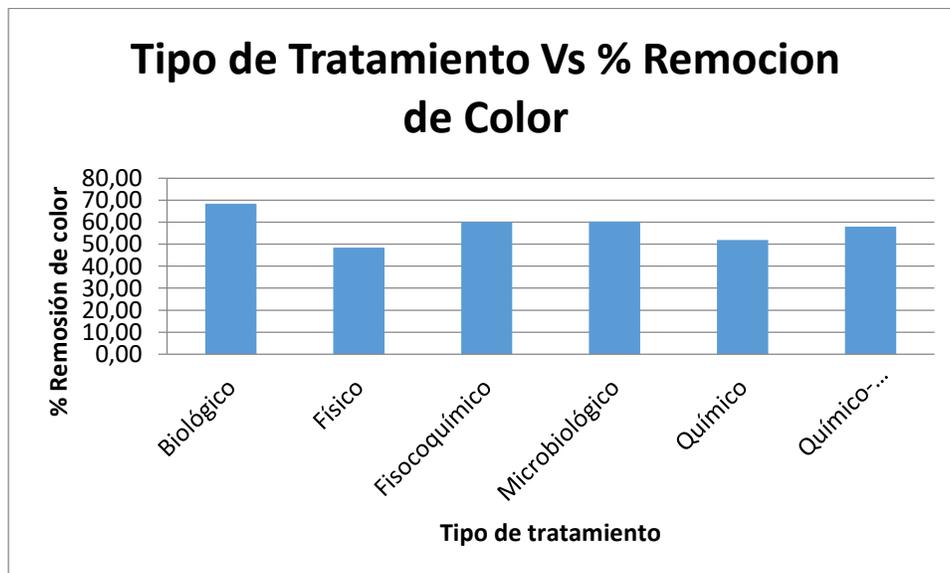
También se hizo la revisión del tipo de tratamiento frente al porcentaje de remoción de color en donde se encontró que el tratamiento con el porcentaje de remoción de color más alto es el tratamiento Biológico y el menos eficiente para la el porcentaje de remoción de color es el tratamiento Físico.

Tabla 5. Promedio de remoción de color por tipo de tratamiento

Tipo de Tratamiento	Remoción de color (%)
Biológico	68,50
Físico	48,50
Físico químico	60,08
Microbiológico	60,33
Químico	52,00
Químico- Microbiológico	58,00
Total general	59,33

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Grafica 4. Tipo de tratamiento vs porcentaje de remoción de color



Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

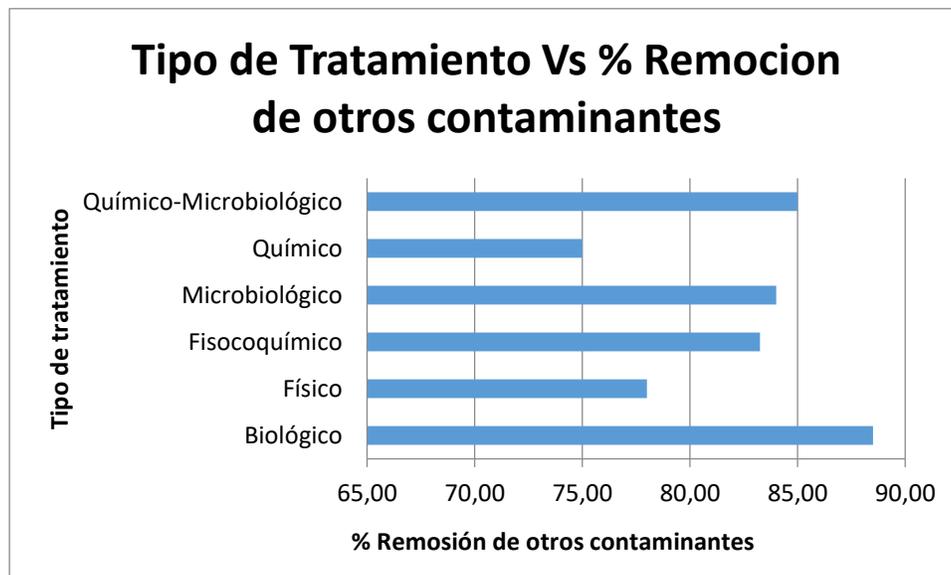
Otra de las variables analizadas contra el tipo de tratamiento fue el porcentaje de remoción de otros contaminantes, en donde se obtuvo que el tratamiento Biológico fue el que obtuvo mayor porcentaje de remoción con un resultado de 88.5 % y se determinó que el tratamiento Químico fue el que obtuvo menor porcentaje de remoción con un resultado de 75%.

Tabla 6. Remoción de otros contaminantes por tipo de tratamiento

Tipo de Tratamiento	Remoción de otros contaminantes (%)
Biológico	88,50
Físico	78,00
Físico químico	83,25
Microbiológico	84,00
Químico	75,00
Químico- Microbiológico	85,00
Total general	83,05

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Grafica 5. Tipo de tratamiento vs porcentaje de remoción de otros contaminantes



Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Conclusiones

Se obtuvieron los datos suficientes para confrontar comportamientos de las variables y los tipos de tratamiento hallados. Se identificó mediante análisis estadísticos que el tratamiento con mayor eficiencia es el tratamiento Químico-Microbiológico y además es el tratamiento que genera el potencial de hidrogeno más básico de todos y en las demás variables analizadas obtuvo resultados bastante aceptables que al ser compilados se dio a notar mejor tratamiento para implementar en la descontaminación de aguas residuales en la industria textil.

Existe un sin número de tratamientos para las aguas residuales, sin embargo para las aguas residuales provenientes de la industria textil se hacen más específicos, ya que requieren de una atención especial en los parámetros adicionales a corregir, por lo que es necesario verificar su eficiencia teniendo en cuenta las condiciones a las que será sometido cada tratamiento habitualmente.

El segundo tratamiento que obtuvo mejores resultados en el estudio realizado fue el Tratamiento Bilógico ya que nos arroja el segundo porcentaje de eficiencia más alto pero que al analizar las demás variables obtenidas nos arroja que supera al tratamiento microbiológico pero se encuentra en el segundo puesto debido a que se le dio mayor valor a la variables con el porcentaje de eficiencia que a las demás analizadas.

El tratamiento con los resultados más bajos luego de realizar su respectivo análisis con las variables escogidas es el tratamiento químico ya que nos arroja no solo el resultado más bajo en la variable de porcentaje de eficiencia sino que en las demás variables estudiadas para este tratamiento obtuvo los resultados más bajos de todo el estudio.

Bibliografía

- Alonso-Calderón, J. Pérez-Curiel, C. Montiel-Salinas, G. Geissler, M. T. Zayas-, & Villegas-Rosas. (2008). eliminacion-de-fenol-2-clorofenol-y-colorantes-en-agua artificialmente contaminadas y aguas residuales textiles utilizando a la peroxidasa de chayote. Recuperado 25 de agosto de 2017, a partir de <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v4-n2-32-eliminacion-de-fenol-2-clorofenol-y-colorantes-en-agua.pdf>.
- Ayala, M. E., Peñuela Mesa, G., & Montoya, J. L. (2006). Procesos de membranas para el tratamiento de agua residual industrial con altas cargas del colorante amarillo ácido 23. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (38). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=43003805>.
- Colotta, G. S. (2003). TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 6(2), 64-71.
- Cortazar-Martínez, A., González-Ramírez, C. A., Coronel-Olivares, C., Escalante-Lozada, J. A., Castro-Rosas, J., & Villagómez-Ibarra, J. R. (2012). Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil. *Universidad y ciencia*, 28(2), 187-199.
- Garcés Giraldo, L. F., & Peñuela Mesa, G. A. (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. *Revista Lasallista de Investigación*, 4(2), 9.
- Goyes, R. E. P., Uribe, J. M., & Palma, R. A. T. (2013). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE OXIDACIÓN ELECTROQUÍMICA. *Revista Colombiana de Materiales*, 0(4), 93-108.

- Jose Blanco Jurado. (2009). Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton. Recuperado 8 de septiembre de 2017, a partir de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/8325>.
- Linares Hernández, I., Barrera Díaz, C., Roa-Morales, G., & Ureña Núñez, F. (2008). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES BIOREFRACTARIOS EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES MEDIANTE MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS. *Quivera*, 10(1). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=40113197001>.
- López-Grimau, V., García, B. A., & Gutiérrez, M. C. (2010). Estudio de viabilidad de la reutilización de baños de tintura textil. *Afinidad*, 67(547). Recuperado a partir de <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269140>.
- Osorio Echavarría, J., Benavides, V., Isabel, A., Díaz, Q., & Carlos, J. (2011). Decolorization of textile wastewater using the white rot fungi anamorph R1 of *Bjerkandera* sp. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (57), 85-93.
- Puga, M., & Pamela, J. (2010). Evaluación de la disminución de concentración de fenol en agua sintética por medio de dos consorcios bacterianos nativos. Aerobio y anaerobio facultativo, a nivel de laboratorio para su aplicación futura en la biorremediación de efluentes textiles. Recuperado a partir de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/2629>.
- Rendón, C. O., Arango, J. A. M., & Palacio, J. A. G. (2007). Oportunidades de producción más limpia en tintorerías del sector textil. *Scientia et Technica*, 1(37). <https://doi.org/10.22517/23447214.4193>.

Ricardo Rojas. (2002, septiembre). Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf.

Recuperado 24 de agosto de 2017, a partir de

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41228623/2002_Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1503552359&Signature=p%2BwjToLbBRScw%2Fn7kUmgjQcUVLc%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSistema_de_tratamiento_de_aguas_residual.pdf

Rosa Olivia Cañizares-Villanueva. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana.pdf. Recuperado 24 de agosto de 2017, a partir de

<http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>.

Soto, A. M., Garzón, M. J. G., Jiménez, T. de J., Usma, J. I., Gutiérrez, O. D., & Sánchez, G. L.

S. (2010). Comparación en la decoloración del efluente proveniente de la industria textil de un municipio antioqueño empleando extracto de alcachofa con actividad peroxidasa y peróxido de hidrógeno. *Comparison in the decoloration of an effluent's sample from a textile industry located in an antioquian municipality by the use of an artichoke extract with peroxidase activity.*, 5(2), 24-34.

Anexo

Tabla 7. Variables seleccionadas

Id	Artículos	Caudal (m3/día)	pH	Remoción de color (%)	Eficiencia (%)	Tipo de tratamiento	Remoción de otros contaminantes (%)
1	Evaluación del tratamiento biológico para remoción de color índigo de agua residual industrial textil por un consorcio microbiano en lecho fluidizado	185	6.5	70	90	Biológico	90
2	Tratamiento biológico con biomasa suspendida anaerobio/aerobio de un agua real textilera con colorante azo	195	10	67	90	Biológico	87
3	Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial lanasol navy ce en aguas residuales de la industria textil	155	6	24	80	Físico	74
4	Desarrollo de un sistema de reciclaje de aguas residuales textiles coloreadas mediante la utilización de un fotoreactor solar	175	2.4	73	95	Físico	82
5	Procesos de membranas para el tratamiento de agua residual industrial con altas cargas del colorante amarillo ácido 23	140	7.5	80	85	Fisicoquímico	90
6	Remoción de colorantes sintéticos mediante el proceso fenton heterogéneo usando fe ₂ o ₃ soportado en carbón activado obtenido a partir de residuos de rosas	215	8.5	60	95	Fisicoquímico	90

7	Remoción de contaminantes biorefractarios en aguas residuales industriales mediante métodos electroquímicos	185	9	64	59	Fisicoquímico	75
8	Tecnologías para la decoloración de tintes índigo e índigo carmín	205	11	43	85	Fisicoquímico	64
9	Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria textil mediante oxidación electroquímica	150	6.5	51	100	Fisicoquímico	90
10	Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar	215	8.3	79	95	Fisicoquímico	87
11	Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles	185	5	90	100	Fisicoquímico	76
12	Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de <i>Caesalpinia spinosa</i>	150	9	20	95	Fisicoquímico	94
13	Comparación en la decoloración del efluente proveniente de la industria textil de un municipio antioqueño empleando extracto de alcachofa con actividad peroxidasa y peróxido de hidrogeno	170	5	53	70	Fisicoquímico	68
14	Estudio cinético de la foto degradación del naranja de metilo en presencia de TiO_2 : efecto de la fuente de radiación u.v., concentración del azo-colorante y del catalizador	150	5	57	75	Fisicoquímico	79
15	Estudio de la reducción, oxidación y oxido-reducción electroquímica aplicado a la decoloración / degradación de aguas de tintura textiles que contienen colorantes reactivos con grupos azo como cromóforo	180	8	40	95	Fisicoquímico	89

16	Estudio de viabilidad de la reutilización de baños de tintura textil	195	4.3	84	98	Fisicoquímico	97
17	Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil	210	17	40	90	Microbiológico	92
18	Decoloración de aguas residuales textiles utilizando el hongo ligninolítico anaerobio de <i>bjerkandera</i> sp.	155	7	80	100	Microbiológico	86
19	Evaluación de la disminución de concentración de fenol en agua sintética por medio de dos consorcios bacterianos nativos. Aerobio y anaerobio facultativo, a nivel de laboratorio para su aplicación futura en la biorremediación de efluentes textiles	200	4	61	85	Microbiológico	74
20	Eliminación de fenol, 2 cloro fenol y colorantes en agua artificialmente contaminadas y aguas residuales textiles utilizando a la peroxidasa de chayote.	190	2.4	52	80	Químico	75
21	Degradación de un efluente textil real mediante procesos fenton y foto-fenton	165	7.3	58	85	Químico-microbiológico	85

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel