



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA
DECOLORACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES DE AZUL
ÍNDIGO**

Gabriela Alejandra González
Asesorado por la Dra. Milta de Rodríguez

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA
DECOLORACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES DE AZUL
ÍNDIGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GABRIELA ALEJANDRA GONZÁLEZ

ASESORADO POR LA Dra. MILTA DE RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodriguez
EXAMINADORA	Inga. Rosa Maria Girón Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA DECOLORACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES DE AZUL ÍNDIGO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la escuela de Ingeniería Química, en septiembre de 2005.

GABRIELA ALEJANDRA GONZÁLEZ

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuente de vida y dador de la sabiduría e inteligencia; gracias por haberme permitido culminar con éxito mi objetivo.
- Mi madre y padre** **Carolina González Orozco y Erwin Tobar Barrera**, por su amor, enseñanza y apoyo. El fruto de su esfuerzo se ha materializado con mi graduación, gracias por mi herencia.
- Mis hermanos** **Alexander, Carlos y Rony**, por su amor; sigan adelante con sus estudios.
- Mi abuela** **Julia Cristina Orozco** que en paz descanse.
- Mis compañeros de trabajo** Especialmente a la **Dra. Milta de Rodriguez**, por el apoyo técnico brindado en la elaboración de este trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por haberme dado la vida y a quien debo lo que soy.
- Dra. Milta de Rodriguez** Por todo su apoyo, paciencia y dirección en la realización de este trabajo; sin su ayuda no me hubiera sido posible llevarlo a cabo, gracias.
- Alkemy™, S.A** Por permitirme iniciar mi carrera profesional dentro de sus instalaciones, así como realizar mi trabajo de graduación, especialmente al **Ing. Danilo Soto** por permitir la realización del mismo.
- Licda. Silvia Soto** Por su colaboración y apoyo prestado para la realización de este trabajo.
- Lezbia Ávila** Por haber apoyado en la realización de este trabajo de graduación.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA DECOLORACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES DE AZUL ÍNDIGO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la escuela de Ingeniería Química, en septiembre de 2005.



GABRIELA ALEJANDRA GONZÁLEZ

Guatemala, 07 de noviembre de 2006

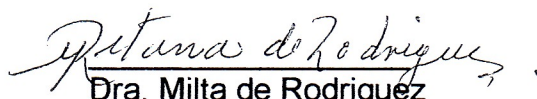
Ing. Msc.
William Álvarez
Director
Escuela de Ingeniería Química

Ing. Alvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación " ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLOGICO PARA LA DECOLORACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES DE AZUL INDIGO", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química Gabriela Alejandra González, carné No. 1999-10965.

Me permito informarle que después de haber realizado la revisión del respectivo informe y haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,


Dra. Milta de Rodriguez
Asesora



Guatemala, 19 de enero de 2,007.

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez.

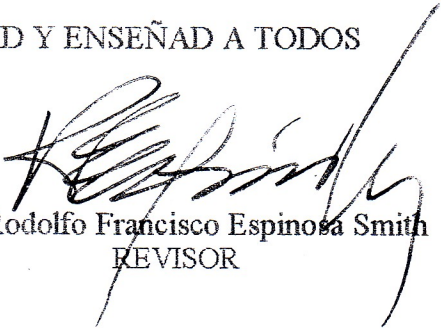
Atentamente me dirijo a usted para informarle que, he revisado el Informe Final del trabajo de graduación de la estudiante **Gabriela Alejandra González**, con número de carné 1999-10965 titulado: **"ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLOGICO PARA LA DECOLORACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES DE AZUL INDIGO"** .

Habiendo encontrado el informe final totalmente satisfactorio, lo remito a su consideración para proceder a la revisión final y aprobación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS




Ing. Rodolfo Francisco Espinosa Smith
REVISOR

c.c archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación de la estudiante Gabriela Alejandra González titulado: "ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA DECOLORACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES DE AZUL ÍNDIGO.", procede a la autorización del mismo.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA



Guatemala, mayo de 2,007

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 156.2007

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE UN PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA DECOLORACIÓN DE AFLUENTES TEXTILES DE AZUL ÍNDIGO**, presentado por la estudiante universitaria **Gabriela Alejandra González**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, mayo de 2007

/gdech

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES DE AGUAS RESIDUALES.....	1
1.1 Legislación ambiental.....	1
1.2 Orígenes del agua residual en las industrias.....	2
1.3 Definición de grado de contaminantes y tipo.....	3
1.3.1 Tipos de contaminantes.....	3
1.3.2 Grado de contaminante.....	4
1.4 Procesos químicos en el tratamiento de agua residuales.....	4
1.5 Procesos químicos utilizados para la remoción de color en aguas residuales provenientes de la industria textil.....	6
1.6 Aguas residuales de la producción de telas de la industria textil... ..	7
1.7 El Color y la visión.....	8
1.7.1 Antecedentes históricos del color azul índigo.....	9
1.7.2 Estructuras química del color azul índigo.....	10
1.8 Procesos biotecnológicos.....	12
1.8.1 Utilización de enzimas en procesos industriales.....	13
1.8.2 Elección de tipo de enzima a utilizar en el proceso industrial.....	13
1.9 Hongos.....	15

1.9.1	Hongos de pudrición de madera.....	16
1.9.2	Mecanismo de degradación de la lignina en HPB.....	17
2.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.1	Localización.....	21
2.2	Fase de búsqueda del hongo.....	21
2.2.2	Fase experimental.....	21
2.3	Recursos humanos.....	22
2.4	Recursos materiales.....	22
2.4.1	Cristalería y materiales.....	22
2.4.2	Equipo.....	22
2.4.3	Reactivos.....	22
2.5	Medición de resultados.....	23
2.5.1	Medición de turbiedad.....	23
2.5.2	Medición de color.....	24
2.6	Metodología experimental.....	24
2.6.1	Fase experimental para la elaboración de cada corrida.....	25
2.6.2	Proceso de medición de resultados.....	26
3.	RESULTADOS.....	27
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
	CONCLUSIONES.....	49
	RECOMENDACIONES.....	51
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	APÉNDICE.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

- 1 Estructuras de grupos cromóforos
- 2 Estructura de grupos aoxocromos
- 3 Estructura del color azul índigo
- 4 Estructura de la lignina según Freudendeg's en 1964
- 5 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes temperaturas, con 0.1g/mL concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* y pH 5 ambos variables óptimas experimentales y tiempo de 48 horas
- 6 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* a pH 5, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas
- 7 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes pH y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas

- 8 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 5 y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas
- 9 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 7 y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas
- 10 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 9 y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas
- 11 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes pH y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas
- 12 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 5 y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas
- 13 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 7 y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas

- 14 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 9 y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas

TABLAS

- I Sistemas de separación de contaminantes en aguas residuales

- II Tecnologías utilizadas para la eliminación de color en aguas residuales

- III Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes temperaturas con 0.1g/mL concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* y pH 5, ambos variables optimas experimentales y tiempo de 48 horas

- IV Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* a pH 5, temperatura de 15°C y tiempo de 48horas

- V Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 5 y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas

- VI Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 7, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas

- VII Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 9, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL y temperatura de 15°C

- VIII Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 5, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas
- IX Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 7, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas
- X Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 9, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas
- XI Datos iniciales de la muestra a analizar para el estudio biotecnológico
- XII Datos de la evaluación a pH 5, a dos concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* , después de 48 horas de reacción
- XIII Datos de la evaluación a pH 7, a dos concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* , después de 48 horas de reacción
- XIV Datos de la evaluación a pH 9, a dos concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* , después de 48 horas de reacción
- XV Datos de la evaluación a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* , a pH 5, después de 48 horas de reacción

- Datos de la evaluación a diferentes temperaturas con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/100mL, a pH 5, después de 48 horas de reacción
- XVI
- XVII Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 5, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/mL de agua residual
- XVIII Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 7, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/mL de agua residual
- XIX Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 9, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/mL de agua residual
- XX Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 5, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 1g/mL de agua residual
- XXI Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 7, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 1g/mL de agua residual
- XXII Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 9, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 1g/mL de agua residual
- XXIII Porcentajes de remoción de turbidez y color de la evaluación a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* , a pH 5, después de 48 horas de reacción

XXIV Porcentaje de remoción de color y turbiedad de la evaluación a diferentes temperaturas con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/100mL, a pH 5, después de 48 horas de reacción

GLOSARIO

Acidez y alcalinidad	Está relacionada con la acidez o alcalinidad de un agua vertida, determina la acción corrosiva sobre estructuras de abastecimientos, los cuales aportan elementos metálicos al agua.
Agentes tensoactivos	Formados por grandes moléculas orgánicas ligeramente solubles en aguas que producen espuma.
Agua residual	Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Biorremediación	Es la descontaminación y destoxificación de los contaminantes químicos presentes en un ambiente determinado llevada a cabo por los microorganismos.
Color	Es un contaminante que impide que los ciclos biológicos de las mismas continúe debido al impedimento de la absorción de la luz sobre el agua.
Contaminación	Permanencia de cualquier impureza material o energética (como ruido y radiación), en un medio a niveles superiores a los normales.

Cuerpo receptor	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan agua residuales.
DBO	Medida del contenido de sustancias biodegradables presentes en el agua residual.
DQO	Índice de la cantidad de contaminantes presentes en el agua que pueden oxidarse mediante un oxidante químico.
Ente generador	La persona individual o jurídica, pública o privada responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.
Materia orgánica	Compuestos orgánicos que están formados por carbono. Por ejemplo: hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, hidratos de carbono, azúcar, almidón y celulosa, etc.
Organismos patógenos	Se utilizan como organismos formados por un grupo de bacterias intestinales.
Tratamiento fisicoquímico	Tratamiento que se realiza para reducir la cantidad de sólidos en suspensión, así como la contaminación orgánica.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, habla acerca de la decoloración de aguas residuales provenientes de la industria textil con colorante azul índigo, por medio del hongo *trametes versicolor*, el cual tuvo como primera finalidad verificar la decoloración por medio de la utilización del hongo, habiendo encontrado que sí era posible la decoloración y remoción del color propuesto, se buscó el punto óptimo de decoloración en función de las variables de estudio (pH, temperatura, concentración de masa).

Esta tesis explica de una manera sencilla todas las variables que son necesarias a tomar en cuenta, para una correcta elección del punto óptimo de operación de un proceso biotecnológico, y demuestra cómo varían los resultados en función de la variación de las variables.

El hongo *trametes versicolor* por ser parte del grupo de los hongos de pudrición blanca que degradan la lignina tienen la capacidad de degradar compuestos orgánicos con grupos fenólicos que a su vez son similares a la estructura del color azul índigo, lo cual le confieren la propiedad de degradar el color en el estudio propuesto.

1. También en el presente estudio se presentan los conceptos generales y criterios que se toman en consideración en los procesos con enzimas.

HIPÓTESIS

Es posible remover el colorante azul índigo en las aguas residuales de la industria textil, por medio de la utilización de enzimas provenientes de hongo de podredumbre blanca de ciclos Redox, bajo condiciones controladas de pH, flujo de aire, temperatura y concentración de masa de hongo.

OBJETIVOS

GENERAL

Estudiar un proceso de tratamiento biológico catalizado por medio de enzimas producidas por el *hongo de podredumbre blanca Trametes Versicolor* para la remoción del azul índigo en aguas residuales de la industria textil.

ESPECÍFICOS

2. Evidenciar que a través de un tratamiento biológico asistido por medio de enzimas, es posible la remoción de colorantes en aguas residuales que poseen contacto con colorantes utilizados para la industria textil.
3. Determinar las condiciones fisicoquímicas de temperatura y pH para favorecer la actividad enzimática para la remoción de color de aguas residuales, provenientes de la industria textil por medio de la utilización de enzimas provenientes de los hongos de podredumbre blanca.
4. Establecer la dosis de la concentración de masa de hongo para remover el mayor porcentaje de colorante por metro cúbico de solución.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar la utilización del hongo de podredumbre blanca específicamente la cepa de *Trametes Versicolor* el cual pertenece a la familia de los hongos lignolíticos de podredumbre blanca, para la decoloración de aguas residuales por medio de someter muestras de agua residual que contiene colorante azul índigo proveniente de sus procesos de teñido.

Para realizar el presente estudio se propuso la hipótesis que indica: “A través del uso del hongo *Trametes Versicolor* es posible romper una gran cantidad de enlaces químicos diferentes entre ellos los grupos cromóforos, y por lo tanto, degradar el color”. Para ello se utilizó el hongo *Trametes Versicolor* el cual se sometió a un proceso tipo batch para alcanzar niveles de decoloración en determinado tiempo. Por medio de la elaboración de un reactor biológico aeróbico el cual tuvo como variables dependientes del proceso: control del pH, medida de oxígeno, temperatura.

En el estudio de las condiciones del reactor a diferentes variables se determinó que sí es posible remover el color a través del método propuesto.

1. CONCEPTOS GENERALES DE AGUAS RESIDUALES

1.1 Legislación ambiental

En el mundo existen una diversidad de leyes, acuerdos, convenios internacionales sobre el medio ambiente que conforman el marco jurídico ambiental de cada país, el cual tiene como visión proveer tanto a las presentes generaciones como a las futuras el poder resolver en forma integral los problemas ambientales. Dentro de esta legislación ambiental se puede mencionar, el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono, protocolo de Kioto, protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología de la diversidad biológica, etc.

En relación a la legislación ambiental guatemalteca actualmente existe el Acuerdo Gubernativo número 236-2006, en el cual se establecen el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de los lodos.

En el acuerdo anterior se establece que las “municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso al ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Para lo cual es necesario dictar normas que garanticen la utilización y el aprovechamiento racional de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, evitando su depredación.” (1)

El organismo que regula este Acuerdo Gubernativo específicamente actualmente en Guatemala es Ministerio de ambiente y recursos naturales, este organismo posee lineamientos acerca de los requisitos mínimos y máximos permisibles para la contaminación para la descarga de aguas servidas, los cuales están escritas en Acuerdo Gubernativo número 236-2006.

En el reglamento (entiéndase Acuerdo Gubernativo número 236-2006) los requisitos mínimos y límites máximos están en función del cuerpo receptor del agua residual. En el cual se establecen los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales en conjunto con un modelo de reducción progresiva de cargas DBO, el cual permite realizar descargas de contaminación del agua e ir las reduciendo en un lapso de tiempo para el caso de entes generadores ya existentes. Los parámetros de medición que abarca el reglamento son: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), grasa y aceites, materia flotantes, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc, color y coliformes fecales.

Estos parámetros de medición son directamente relacionados con el tipo de contaminante y grado de contaminante de un agua residual.

1.2 Orígenes del agua residual en las industrias

Dado que el agua es un elemento fundamental en las actividades industriales como vehículo energético (vapor, calentamiento), transporte (hidráulicos, lodos), disolventes, lavado, como solvente para reacciones, enfriamiento directo o indirecto (intercambiadores) y finalmente como materia prima, estando condicionada la localización de la industria a su disponibilidad de agua.

Se sabe como valores aproximados del consumo de agua en algunas industrias son los siguientes: se utilizan más 150m^3 de agua por tonelada de acero producida, más de $50\text{-}100\text{ m}^3$ de agua por tonelada de papel producida, etc. Lo anterior determina que aproximadamente $2/3$ de agua utilizada lo es para procesos industriales y que tienen que ver con la actividad que realiza cada industria.

Entre las industrias que mas contaminantes aportan al agua residual están: las industrias de papel, curtidos, siderúrgica, tratamientos de superficie, química (inorgánica, orgánica, fertilizantes), textil, alimentos, minera. Cada industria tiene su propia caracterización dependiendo de su actividad, por ejemplo: materia en suspensión (típica, muy superior a la urbana), materia orgánica disuelta o en suspensión, color, pH ácido y básico, elementos tóxicos disueltos (fenoles, metales pesados, disolventes, organoclorados, cianuros, plaguicidas y gran variedad de compuestos que exigen determinaciones específicas), temperaturas superiores al receptor, aceites y gasas.

1.3 Definición de grado de contaminantes y tipo de contaminantes presentes en las aguas

Cuando se refieren a calidad de aguas residuales debe de tenerse claro los conceptos que se refieren a la caracterización de un efluentes de aguas residuales, siendo esto la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas.

1.3.1 Tipos de contaminantes

Son aquellos referentes a elementos o sustancias cuyas concentraciones interesa conocer dentro de los cuales se puede mencionar, los de origen orgánico (agente tensoactivos, fenoles, pesticidas, etc.), los de origen inorgánico (nitrógeno, fósforo, gases, metales, etc.) Y los de origen patógeno (bacterias, hongos, protozoos y algas).

1.3.2 Grado de contaminante

Son todas las medidas y cantidades que se realizan para caracterizar el agua residual y determinar su calidad, dentro de los cuales se puede mencionar: sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total, oxígeno disuelto, nitrógeno total, pH, color, gasas y aceites, fenoles, alcalinidad, etc.

1.4 Procesos químicos en el tratamiento de aguas residuales

Cuando se aborda el tratamiento de una agua residual lo principal es fijar los objetivos de depuración, posteriormente se evalúan las alternativas tecnológicas para elegir la combinación óptima.

En el tratamiento de las aguas residuales, el proceso químico se utilizara principalmente, para denominar los métodos basados en reacciones netamente químicas y fisicoquímicas. La finalidad de este tipo de procesos químicos es lograr lo siguiente:

- Neutralización de las descargas alcalina o ácidas
- Separación de los sólidos que no pueden eliminarse a través de medios mecánicos simples, como lo es la floculación y coagulación.
- Eliminación de residuos de gasa y aceites.
- Oxidación mediante el usos de cloros o compuestos clorados

Con relación a los procesos químicos existentes, las normas alemanas sobre tratamiento de aguas residuales (ATV) establecen una distinción entre las reacciones con o sin conversión:

- Cuando las sustancias disueltas se tratan sin conversión de material, se producen las siguientes reacciones fisicoquímicas: adsorción, extracción, separación por membrana, destilación.
- Cuando las sustancias disueltas son tratadas con conversión de material ocurren las siguientes reacciones químicas: neutralización, precipitación, oxidación, reducción, intercambio de iones.
- Cuando se tratan sustancias no disueltas ocurren generalmente los siguientes procesos: sedimentación, filtración, floculación, adsorción, flotación.

Las principales operaciones y procesos empleados en el tratamiento de aguas residuales son:

Tabla I. Sistemas de separación de contaminantes en aguas residuales

CONTAMINANTE	SISTEMA DE SEPARACION
Sólidos gruesos y fibrosos	Tamizado
Aceites y gasas	Separación líquido-líquidos
Sólidos	Decantación, flotación o filtración
Partículas coloidales	Coagulación y floculación
Sustancias orgánicas disueltas	Oxidación biológica
Amoniaco	Oxidación biológica
Sustancias orgánicas coloidales y disueltas no floculable, ni biodegradables	Adsorción
Bacterias y otros microorganismos patógenos	Desinfección
Fangos o lodos	Espesamiento o deshidratación

1.5 Procesos químicos utilizados para la remoción de color en aguas residuales provenientes de la industria textil

El siguiente cuadro comparativo muestra las tecnologías químicas que se utilizan para la remoción de color, objetivo de estudio de la presente tesis.

Tabla II. Tecnologías utilizadas para la eliminación de color en aguas residuales

METODO	ELIMINACION DE COLOR	CAPACIDAD (VOLUMEN)	VELOCIDAD	COSTO	OTRAS CARACTERISTICAS
Carbón Activo	Muy buena	Pequeña	Lenta	Alto	regeneración
Tecnología de membranas	Buena	Grande	Rápida	Alto	Problemas de limpieza y mantenimiento
Ozonización	Buena	Media	Rápida	Alto	Subproductos y reducción DQO
Cloro	Buena	Grande	Rápida	Bajo	No elimina moléculas solo decolora, venenoso, corrosivo
Coagulantes- Floculantes	Buena	Grande	Medio Rápida	– Medio	Producción de fango, Nitrificación y reducción DQO

1.6 Aguas residuales de la producción de telas de la industria textil

En la fábrica de telas, el tejido fibroso se convierte en tela lista para teñir a través del abatanado con soluciones alcalinas débiles. En este proceso se eliminan las hilachas y las hebras sueltas mediante procesos mecánicos y luego son arrastradas por el agua de enjuague.

En las plantas de teñido, primero se lavan los materiales con soluciones jabonosas o agentes humectantes, para que así los tintes penetren más fácilmente y en forma pareja. Esto genera aguas con residuos de las soluciones de lavado y aguas de enjuague. En general, se utiliza como colorantes: el sulfuro, anilina, azo y otros tintes los cuales están presentes en sus aguas residuales.

En las plantas de procesamiento, un porcentaje importante de los constituyentes de las aguas residuales son sustancias orgánicas disueltas o, en el caso de la lana, sustancias orgánicas como grasas y suciedad. Por otro lado, los residuos de las plantas de acabado suelen tener sustancias que son tóxicas o que no se biodegradan fácilmente.

En las plantas de estampado de telas, los pigmentos se aplican mediante presión solo sobre ciertas áreas. Los agentes espesantes que se emplean para las pastas de tintes son almidones de diferentes orígenes, dextrina, alginatos, tragacanto y otras gomas naturales, también albúmina, caseína y en muchos casos acetilcelulosa. Además de los pigmentos y los agentes espesantes, los tintes de estampado contiene otros aditivos necesarios para fijar el pigmento, como tanino, ácido acético, sales metálicas, agentes reductores de álcali, etc.

Todo lo anterior nos provee un esquema para saber cuales son los contaminantes que poseerá el agua residual de una industria textil.

1.7 El color y la visión

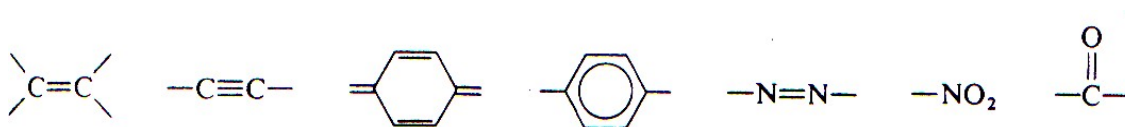
El color ha desempeñado un papel muy significativo en la sociedad humana desde que el hombre aprendió a teñir sus ropas y otros objetos. El color es el resultado de una compleja serie de respuestas fisiológicas y psicológicas a las radiaciones de longitud de onda situada en el intervalo de 400 – 750nm, cuando estas inciden en la retina del ojo. Cuando todas las radiaciones del intervalo mencionado inciden simultáneamente en la retina, percibimos el color blanco, si por el contrario, no llega ninguna radiación, recibimos la sensación de negro u oscuridad. Cuando llega a la retina radiación de un rango estrecho de longitud de onda, observamos colores solos.

La percepción de color se produce como consecuencia de una serie de procesos físicos:

1. Por emisión de luz producida cuando electrones excitados retornas a orbitales de menor energía; este es el mecanismo que explica el color amarillo de las flamas de sodio con longitud de onda de 589nm
2. Por difracción de luz causada por un prisma u otro dispositivo semejante, que no permite observar las radiaciones componentes en forma de arcoiris.
3. Por interferencia de luz, cuando esta se refleja en las dos superficies de una película muy fina.

Pero el color químicamente se produce por estructuras orgánicas denominadas grupos cromóforos, termino creado en 1876 a partir de las raíces griegas chromas, "color" y foros "soportar". Estos grupos son aquellos iones o grupos atómicos que provocan la aparición de un color estrechamente relacionados con el espectro de la zona visible, ejemplo de estos grupos con dobles enlaces son: carbonilos, nitros, aromáticos, azos, nitrilos.

Figura 1. Estructuras de grupos cromóforos



Además se sabe que la presencia de otros grupos da lugar a la intensificación del color, los cuales se denominan auxocromos (del griego aumentar) como aminos, hidroxilos o halogenuros.

Figura 2. Estructuras de grupos auxocromos (donde X es un grupo halógeno)



En los compuestos coloreados naturales existe la presencia de estos grupos los cromóforos y los auxocromos.

1.7.1 Antecedentes históricos del color azul índigo

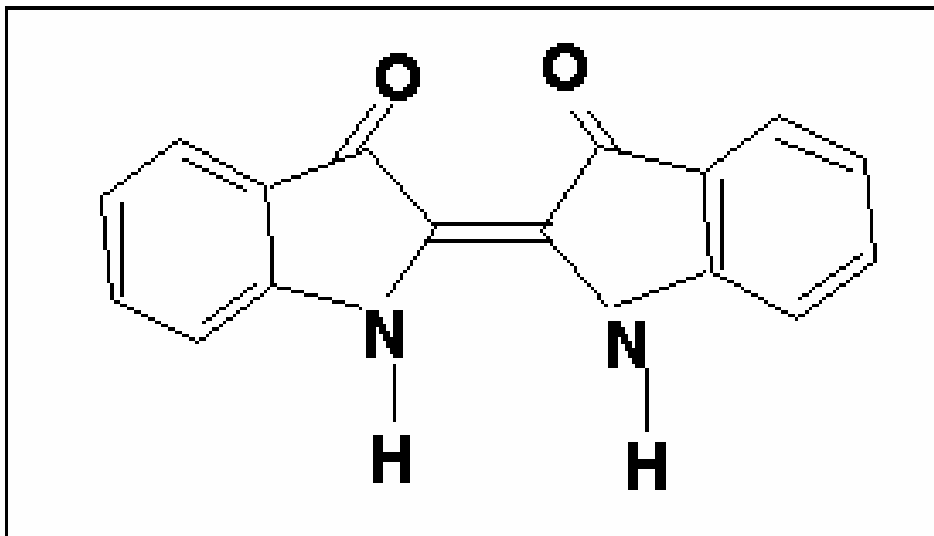
Es uno de los tintes naturales más antiguo que se conoce como “Añil de índigo”. El añil del índigo fue extraído de un arbusto llamado “añil o índigo” en la India, Indonesia y China. Aunque en la actualidad centenares de derivados del índigo se han sintetizado y se han evaluado como tintes sobre los jeans, relativamente pocos de estos han alcanzado importancia comercial ya que el compuesto original sigue siendo de hecho en gran medida el más importante de su clase. El índigo se aplica a las telas como tinte de la tina, equipo que se utiliza para el proceso en el cual se realiza el teñido de la tela y en el que se imparte un color azul atractivo con características deseadas principalmente a las telas de los jeans.

1.7.2 Estructura química del color azul índigo

La estructura del añil primero fue propuesta por Von Baeyer, Adolf (1835-1917, nacido en Starnberg, actual Alemania, químico alemán, premio Nobel de Química en 1905, entre sus logros científicos destacan el descubrimiento de la fenoftaleína y fluoresceína y las resinas de fenol-formaldehídos, es conocido sobre todo por haber conseguido tras más de diecisiete años de investigación la síntesis del índigo), sugiriendo su configuración, pero no fue hasta 1928 cuando se determinó que la estereoquímica del doble enlace era trans y no cis como proponía Baeyer, mediante el uso de la cristalografía de rayos X.

El color azul índigo pertenece al grupo de colorantes que posee quinonas que comúnmente se denomina antraquinonas. Una quinona es la adición de dobles enlaces por radicales libres conocidos como compuestos de dicarbonílico. Su naturaleza indica que el color es proveniente de la hidrólisis de la glucosa, cuando este es tratado por medio de un proceso de fermentación libre de hidrólisis este es generado por una enzima hidrolítica y sus componentes sufren oxidación por medio del aire, formando la molécula del color azul índigo.

Figura 3. Estructura del color azul índigo



En solución no polar es de color violeta, mientras se encuentra en una solución polar es de color azul. Acerca de sus elementos químicos consiste en dos grupos cromóforos grandes nitro (NH) y en grupos carboxílicos (C=O), como lo indica la figura no. 3 en su estructura molecular.

1.8 Proceso biotecnológicos

Un proceso biotecnológico son todos aquellos en los cuales se utilizan organismos vivos o compuestos obtenidos de organismos vivos para obtener productos de valor o interés para un proceso determinado.

Dado que los organismos vivos están constituidos por una gran cantidad de moléculas que participan en procesos cuidadosamente controlados, que van desde un impulso nervioso, la digestión de un alimento o la coagulación de la sangre. Y a sus ves estos procesos consisten en una serie de reacciones químicas altamente ordenadas, ejecutadas a cierta velocidad, siendo el motor de estas reacciones las enzimas.

Las enzimas sintetizadas por células activas son un grupo especial de proteínas que sintetizan la bioquímica en el mundo vivo. Se dice que la especialización de órganos y sistemas en microbios, animales y plantas está íntimamente ligada al uso de las enzimas y de su especificidad (esta característica se refiere a la capacidad que tienen de interactuar en forma íntima con una molécula determinada y generar el producto deseado).

Existen varios tipos de enzimas dentro de ellas están: las enzimas microbianas, vegetales y animales. Las enzimas microbianas son aquellas que se utilizan para la fermentación de productos, las enzimas vegetales son todas aquellas enzimas que se encuentran disponibles en forma de polvo, ejemplo papainas y bromelainas y las enzimas animales son aquellas que son producidas en organismos vivos como las lipasas pancreáticas.

1.8.1 Utilización de enzimas en procesos industriales

Existen muchas restricciones legales que se refieren a medidas de seguridad que afectan, por un lado, a la maquinaria utilizada en el proceso y, por otro, a los planes posteriores con el producto.

Existen varias áreas de restricción en el uso de las enzimas:

1. Microbiológica
2. Toxicidad química
3. Toxicidad relacionada con la actividad de la enzima
4. Reacciones alérgicas

Los problemas derivados de la actividad microbiológica dependerán del organismo elegido como material de partida y deberán reflejarse en las medidas de seguridad incorporadas al proceso de producción. La toxicidad química procede normalmente de contaminaciones provocadas por sustancias producidas en el metabolismo secundario de microorganismos, ejemplo de los cuales lo constituyen las micotoxinas y aflotoxinas.

Este tipo de metabolitos pueden aparecer en un gran número de alimentos como consecuencia de una contaminación microbiana. La toxicidad relacionada con la actividad enzimática se define con claridad considerando el ejemplo que ofrecen las enzimas proteolíticas utilizadas para la producción de detergentes biológicos. Al inhalar el polvo que contiene estas enzimas se pueden dañar la superficie de los bronquiólos pulmonares produciendo irritación en los mismos y alteraciones respiratorias.

Una vez que se conocen los riesgos potenciales asociados con la utilización y obtención de las enzimas, es importante considerar los criterios generales que han sido adoptados para controlar su manejo.

1.8.2 Elección del tipo de enzima a utilizar en el proceso industrial

En los procesos biotecnológicos realizados a gran escala, las fermentaciones con células libres constituye todavía el método mas utilizado. Pero en general las enzimas se emplean frecuentemente para:

- Mejorar los procesos.
- Mejorar las propiedades físicas de un material con el fin de procesarlo más fácilmente.
- Mejorar el producto como cambios de color, aroma y textura.

Siendo las dos características mas destacadas de las enzimas, en su papel de catalizadores, son su alta actividad y su especificidad.

Su especificidad se refiere a que cada enzima tiene un pH óptimo diferente y una estabilidad distinta frente a la temperatura, por lo que los problemas se multiplican cuando se planifica un proceso de síntesis que transcurre en varias etapas, en el que cada una de las mismas es catalizada por una enzima distinta.

Su alta actividad se refiere a la capacidad de efectuar biotransformaciones en los tejidos completos, vegetales o animales. En el contexto de esta tesis es conveniente limitar la discusión a comparar los métodos con enzimas pertenecientes al grupo de los ciclos Redox de las hidroquinonas dado como se observó en las características químicas del azul índigo.

1.9 Hongos

Los hongos son organismos vivos pero diferentes de las plantas y animales, estos obtienen las sustancias necesarias para vivir del ambiente en que se encuentre se nutren por absorción y no poseen clorofila como las plantas, se reproducen solo por medio de esporas, crecen en lugares muy diversos como bosques, potreros, desiertos, en el aire, el suelo y nuestros alimentos. Por ser organismos vivos especiales y diferentes se les agrupa dentro de un reino único, “El reino Fungí”.

Los hongos macroscópicos del reino Fungí están conformado por dos grandes divisiones: la myxomycota ó hongos inferiores y la Eumycota o hongos verdaderos macroscópicos que pueden observarse a simple vista. Los myxomycota presentan diferentes características que se utilizan para su identificación y localización en diversos grupos. De esa forma y a lo largo del tiempo, el hombre ha aprendido a diferenciar las distintas especies de hongos en general y con ello aprovechar las especies comestibles, a evitar las ingesta venenosas y a combatir las especies destructoras.

Los hongos destructores invaden todo tipo de madera, dañadolas o destruyéndolos y causando graves repercusiones económicas, estos algunas veces crecen sobre los árboles, debilitándolos estructuralmente hasta causarles la muerte, entre ellos se encuentra los hongos de pudrición blanca.

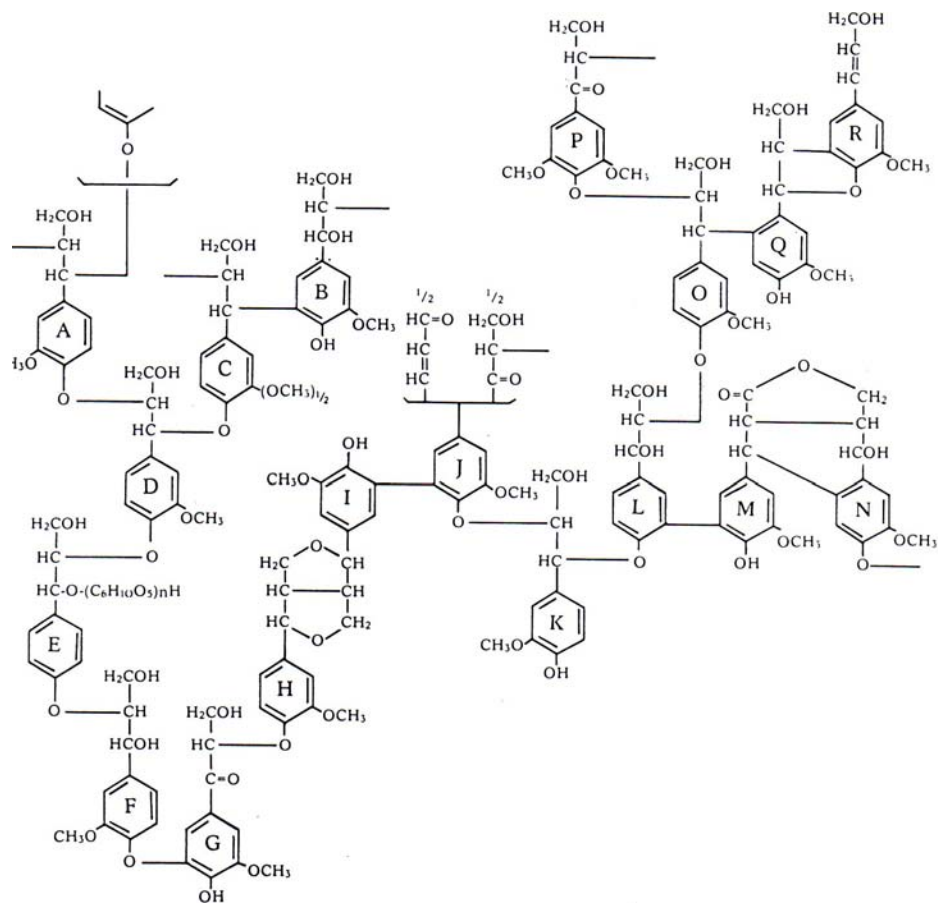
1.9.1 Hongos de pudrición de madera

Los hongos de pudrición de madera pueden ser agrupados en dos categorías según la forma en la cual pudren la madera. Estos dos grupos son denominados hongos de pudrición blanca (HPB) y hongos de pudrición castaña (HPC).

Es importante antes de conocer mas acerca de los hongos realizar una referencia sobre que la madera consiste principalmente de tres componentes, lignina, celulosa y hemicelulosas. La celulosa es un polisacárido estructural en las plantas ya que forma parte de los tejidos de sostén. Las hemicelulosas consisten de polímeros similares de glucosa con otras uniones o polímeros de monosacáridos diferentes a la glucosa. La lignina es un polímero complejo de unidades fenolicas.

La madera en general tiene un mayor contenido de ligninas. La lignina provee un soporte a los árboles actuando como un adhesivo uniendo las células y las microfibrillas de celulosa. Este es un polímero aromático tridimensional heterogéneo que contiene uniones bioquímicas carbono-carbono y uniones éter entre las unidades monomericas de fenilpropano. La lignina es degradada por varios agentes como peroxido de hidrógeno ciertas peroxidadas llamadas ligninasas. Ambas son secretadas hacia el medio y su acción combinada oxida un rango amplio de subestructuras de lignina tan bien como estructuras más pequeñas despolimerizadas. Los productos solubles despolimerizados son absorbidos por las células fúngicas y metabolizados por intermediarios del ciclo de Krebs y convertidos en dióxido de carbono.

Figura 4. Figura de una lignina según Freudenberg's en 1964



Los HPB tienen un sistema de enzimas celulasas y ligninas que les permite degradar todos los componentes de las paredes celulares de la madera. Estos son capaces de degradar los polímeros de lignina los cuales son generalmente resistentes a la degradación microbiana. Debido a que la lignina es una estructura insoluble no repetitiva y no estereoselectiva requiere un proceso de degradación no específico.

La mayoría de ellos aparentemente remueven la lignina y polisacáridos casi al mismo tiempo, y la madera en estado intermedio o avanzada de pudrición contiene casi iguales proporciones de estos componentes que en la madera sana.

La madera podrida por HPB tiende a perder gradualmente sus propiedades de solidez y retiene su estructura fibrosa aun en estados avanzados. La madera podrida se vuelve esponjosa, filamentosa o laminada y usualmente esta manchada y descolorida en relación a la madera sana. Los HPC remueven selectivamente células y hemicelulosa de la madera. La madera podrida por HPC pierde rápidamente sus propiedades y experimentan roturas drásticas. En estados avanzados la madera es reducida a un residuo de trozos amorfos, blancos castaños, cúbicos, compuestos mayormente de lignina ligeramente modificada.

Los HPB producen fenol-oxidadas extracelulares y generalmente dan positivo en los ensayos de oxidasas sobre medios con ácido tánico o galico y con goma de guayaco. Los HPC no producen fenol-oxidadas extracelulares y generalmente dan negativo los ensayos.

Los HPB eventualmente pudren la madera completamente y los residuos de la pudrición blanca no son componentes muy estables de los suelos forestales. En contraposición, los residuos de la pudrición castaña son extremadamente estables y son importantes componentes orgánicos en los suelos forestales.

Si un HPB como *Tratametes Versicolor* se le somete a condiciones limitadas de nitrógeno, sulfuro o carbohidratos, degradara a la lignina.

1.9.2 Mecanismo de degradación de la lignina en los HPB

En degradación de la madera se han propuesto teorías en las que la formación de hidroperóxidos tiene importancia en la degradación del soporte de la madera (ligninas, celulosas y hemicelulosas), estas reacciones que tiene lugar en proceso degradativo se caracterizan por tener las siguientes fases:

1. Pudrición: la pudrición de la madera es producida por el hongo que se alimenta de celulosa, hemicelulosa y lignina.
2. La etapa de colonización de la madera en la cual la lignina es oxidada.
3. La acción de despolimerización de celulosa con pérdida de peso en la madera.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

2.1 Localización

Para la realización del presente trabajo de investigación se realizaron las siguientes etapas:

2.2 Fase de búsqueda del Hongo

Para la búsqueda hongo se realizo en área protegida de la región de Chimaltenango, este trabajo se realizo en conjunto con un curso de la universidad de San Carlos facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas titulado "*Workshop on Mixomicetes*" impartido por el departamento de ciencias biológicas de la universidad de Arkansas.

2.2.2 Fase experimental

Los ensayos experimentales se realizaron en los laboratorios de Alkemy S.A., y los análisis de agua se realizaron en el laboratorio del centro de investigación de ingeniería, Facultad de Ingeniería.

2.3 Recursos Humanos

- Responsable del proyecto: Gabriela González
- Asesora: Dra. Milta de Rodríguez
- Revisor del protocolo Dr. Rodolfo Espinosa
- Revisor del Informe final Dr. Rodolfo Espinosa

2.4 Recursos materiales

Dentro de los recursos materiales se utilizaron: cristalería, equipo, muestras de agua residual y reactivos.

2.4.1 Cristalería y materiales

- Kitasato de 500 mL
- Varillas de vidrio
- Beacker de 250 mL
- Papel filtro
- Recipientes plásticos de 4 onzas

2.4.2 Equipo

- Potenciómetro, Hanna modelo H18314
- Sistema de aire comprimido, como portador de oxígeno
- Balanza analítica
- Turbidímetro marca HACH 2100AN, turbidímetro
- Colorímetro marca MERCK SQ118

2.4.3 Reactivos

- Hidróxido de sodio 1N
- Ácido cítrico

2.5 Medición de resultados

Los resultados de la medición del proceso biotecnológico en el presente trabajo de investigación están dados por: medición de turbiedad y medición de color.

2.5.1 Medición de turbiedad

La apariencia turbia del agua es producida por la materia en suspensión. La unidad de medida es el FTU (Unidad de Turbidez Formalina) la cual es idéntica que el NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica). La medición de turbidez se realiza en el proceso de purificación de agua potable, control del agua natural de abastecimiento y control del tratamiento de agua residual. La medición de la turbidez al final del tratamiento de agua residual, es necesaria para verificar que los valores están dentro de las normas establecidas, también sirve para verificar en los procesos de filtración y purificación, se han completado correctamente.

Si un líquido contiene sustancias sólidas no disueltas, la luz que atraviesa el líquido queda tanto absorbida como dispersada. Por lo tanto, para nuestros ojos ya no parece claro, sino turbio. Esta turbidez puede ser causada por lodos, algas, microbios y otras partículas insolubles. El grado de turbidez depende, en primer lugar, de la cantidad de sólidos no disueltos, pero la forma,

el tamaño y composición de las partículas influyen adicionalmente en el grado de turbidez.

Para éste trabajo de investigación se hizo la relación que el color se encuentra, “No disuelto en el agua residual, al ser sometido al proceso biotecnológico el agua residual por procesos enzimáticos el color se solubilizará en el agua”.

2.5.6 Medición de color

El color junto con el olor, el sabor y la turbidez forma una parte integral de un sistema de medición sensorial de un proceso. El termino “color” es utilizado normalmente para indicar el color “real”, por ejemplo el color del agua de la cual se ha eliminado la turbidez. El término “color aparente” se refiere al color debido a las sustancias en solución y la materia en suspensión.

El método de comparación platino-cobalto es el establecido como método normalizado ASTM y la unidades de medición pueden ser Hazen, PCU (unidades platino cobalto).

2.6 Metodología experimental

Para la realización de las corridas experimentales se hicieron las siguientes evaluaciones:

- Se evaluaron a 3 pH 5,7 y 9 con una misma cantidad de masa de hongo (1g/ L), quedando fija la temperatura y tiempo.
- Se evaluaron a 3 pH 5,7 y 9 con una misma cantidad de masa de hongo (10g/L), quedando fija la temperatura y tiempo

- Con los resultados anteriores se determinó que pH es el que presentaba mayor remoción de color y turbiedad. El cual llamaremos pH óptimo.
- Con el pH óptimo se varia la cantidad de masa de hongo desde (1g/L hasta 10g/L), quedando fija la temperatura y tiempo
- Con los resultados anteriores se determinó que pH y cantidad de masa de hongo presentaba mayor remoción de color y turbiedad. La cual llamaremos masa óptima.
- Con pH óptimo y la cantidad de masa óptima se varió a tres diferentes temperaturas, quedando fijo el tiempo. Siendo este el punto óptimo para que ocurra la mayor remoción de color y turbiedad en el proceso biotecnológico propuesto.

2.6.1 Fase experimental para la elaboración de cada corrida

1. Se toma una muestra de agua residual de estudio y se mide el pH, se deposita en un kitasato la cantidad de 500mL de muestra de agua.
2. Dependiendo del pH en el cual se realiza el proceso biotecnológico se ajusta, con hidróxido de sodio para pH arriba de 7 y con ácido cítrico para pH debajo de 7.
3. Se pesa la cantidad de masa de hongo a utilizar en la corrida experimental y se deposita en la solución previamente preparada en el paso 2.
4. Se mantiene el sistema de aire durante 48 horas.
5. Se toma una muestra del agua residual después del proceso biotecnológico, para su análisis y evaluación.

2.6.2 Proceso de medición de resultados

Con la muestra del agua residual tratada por medio del proceso biotecnológico se procede a realizar la medición de turbiedad y color, esto fue realizado en el laboratorio de química y microbiología sanitaria “Dra. ALBA TABARINI MOLINA”, ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y RECURSOS HIDRAULICOS (ERIS), EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES (CII) DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12.

3. RESULTADOS

Los resultados se presentan de acuerdo al diseño experimental del punto óptimo donde se encuentra la variable fisicoquímica que mayor remoción de color y turbiedad que se observó.

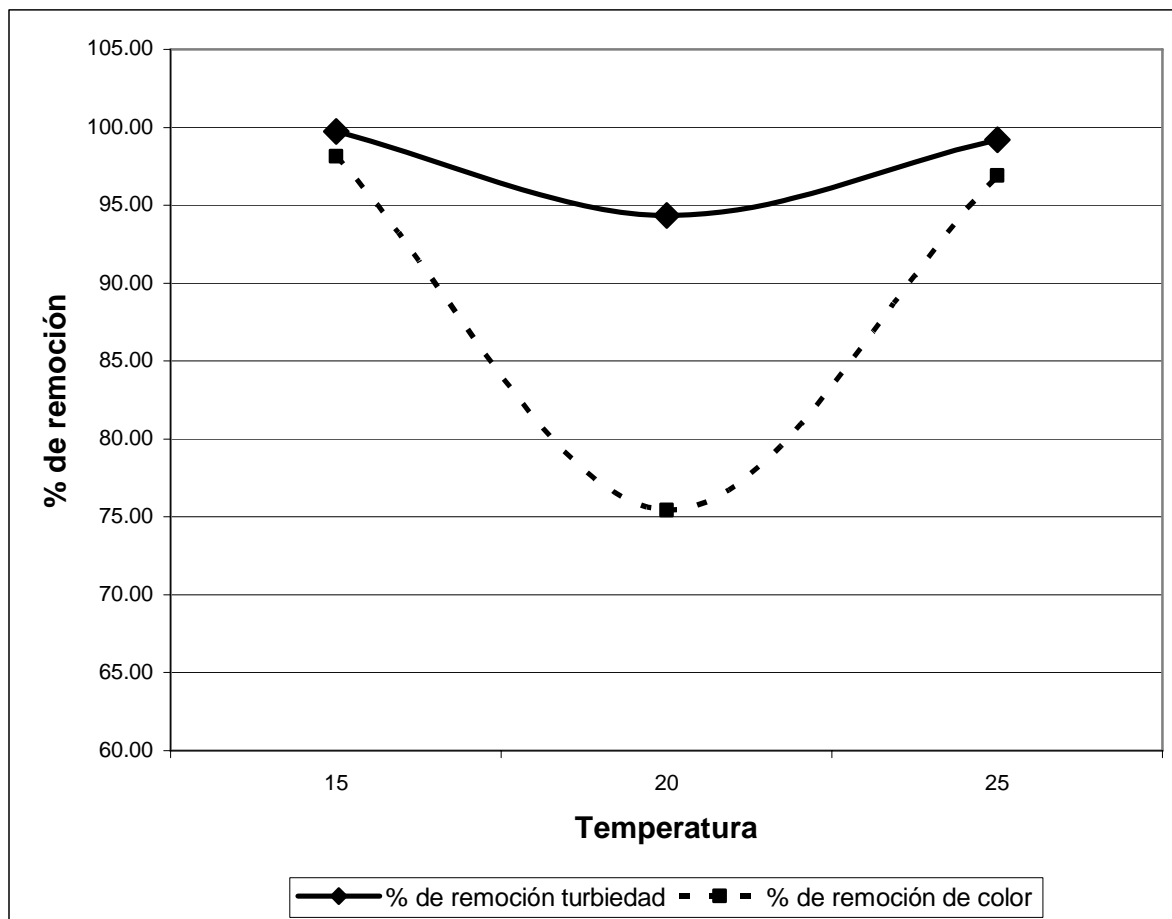
3.1 Determinación de la temperatura óptima de degradación de color.

Tabla III Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes temperaturas con 0.1g/mL concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* y pH 5, ambos variables óptimas experimentales y tiempo de 48 horas.

No. corrida	Temperatura (°C)	% Remoción Turbiedad	% Remoción color
1	15.00	94.30	87.65
2	20.00	94.36	75.42
3	25.00	94.44	66.67

Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XXIV

Figura 5 **Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes temperaturas, con 0.1g/mL concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* y pH 5, ambos variables óptimas experimentales y tiempo de 48 horas.**



Fuente: sección resultados, tabla III

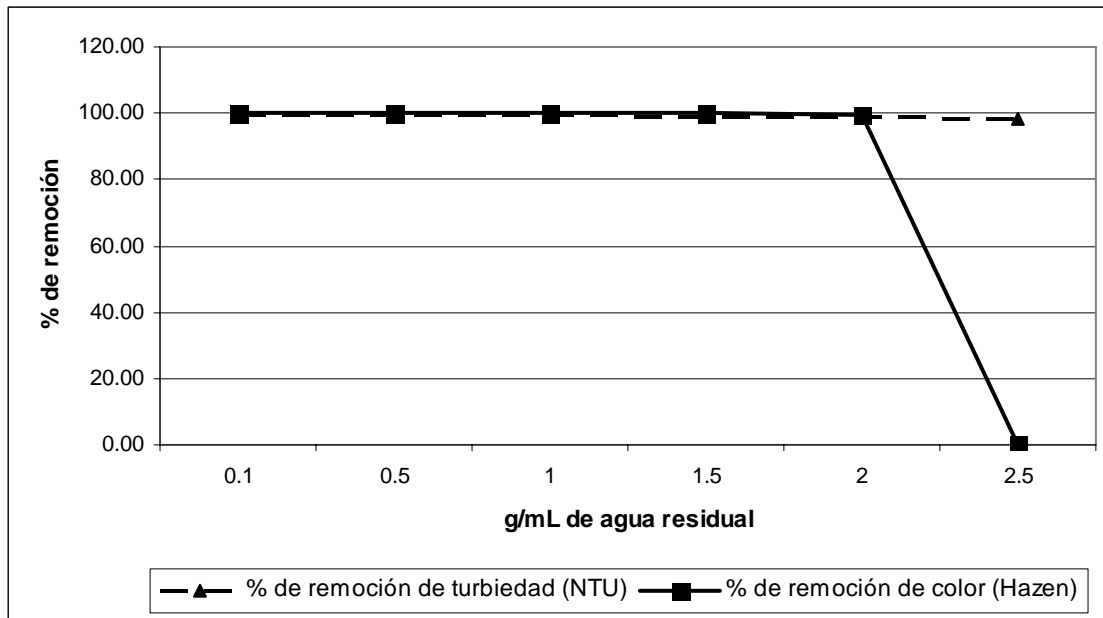
3.2 Determinación de la concentración de masa óptima a una temperatura de 15°C y un pH de 5.

Tabla IV Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* a pH 5, temperatura de 15°C y tiempo de 48horas.

No. corrida	Concentración (g/100mL de agua residual)	% Remoción Turbiedad	% Remoción de Color
1	0.1	99.74	99.99
2	0.5	99.48	99.94
3	1	99.21	99.88
4	1.5	98.95	99.81
5	2	98.69	99.75

Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XXIII

Figura 6 **Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* a pH 5, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.**



Fuente: sección de resultados, tabla IV

3.3 Determinaciones del pH del agua residual óptimo que contiene azul índigo, dejando las variables fijas de concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* a 0.1g/100mL de agua residual y una temperatura de 15°C.

Tabla V Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 5, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas.

No. corrida	% Remoción de Turbiedad	% Remoción de Color
1	97.05	89.78
2	96.48	92.47
3	96.62	95.16
4	95.81	89.25
5	97.08	94.62

Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XVII .

Tabla VI Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 7, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas.

No. corrida	% Remoción de Turbiedad	% Remoción de Color
1	92.45	79.57
2	94.89	97.85
3	92.91	68.28
4	93.73	75.27
5	94.68	81.72

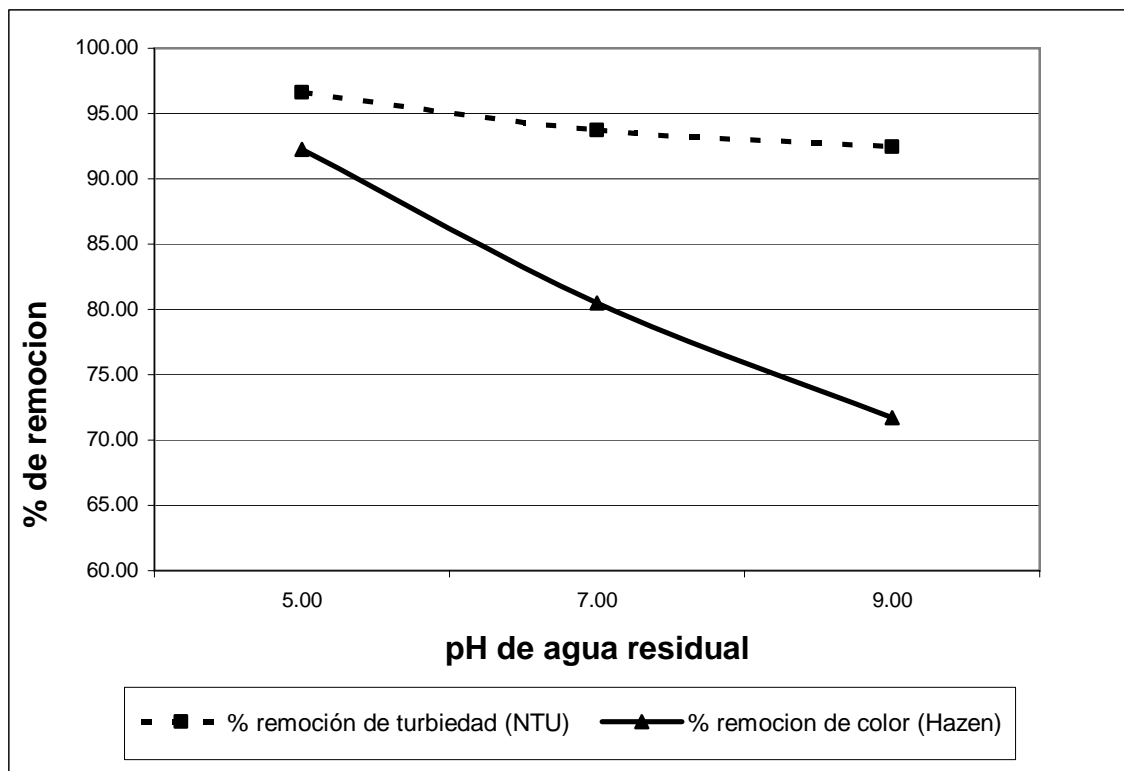
Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XVIII.

Tabla VII Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 9, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas.

No. corrida	% Remoción de Turbiedad	% Remoción de Color
1	92.44	73.66
2	91.09	69.89
3	92.21	68.82
4	93.22	71.51
5	93.37	74.73

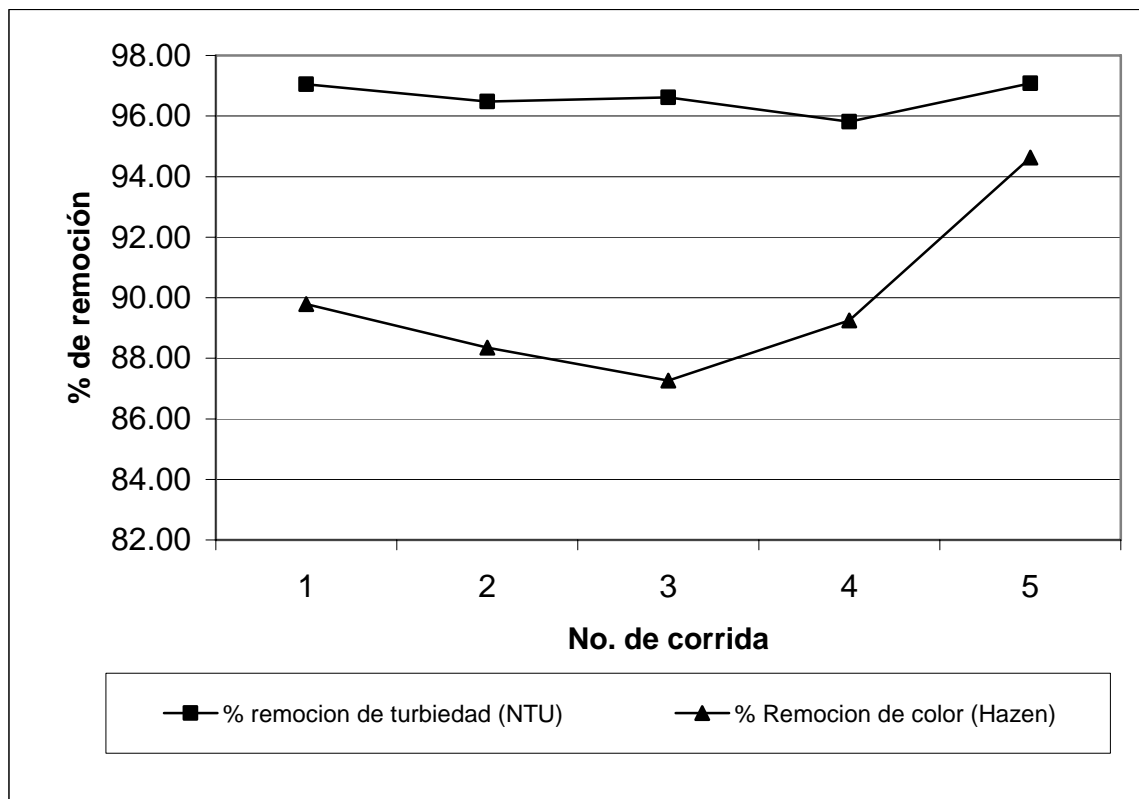
Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XIX.

Figura 7 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes pH y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.



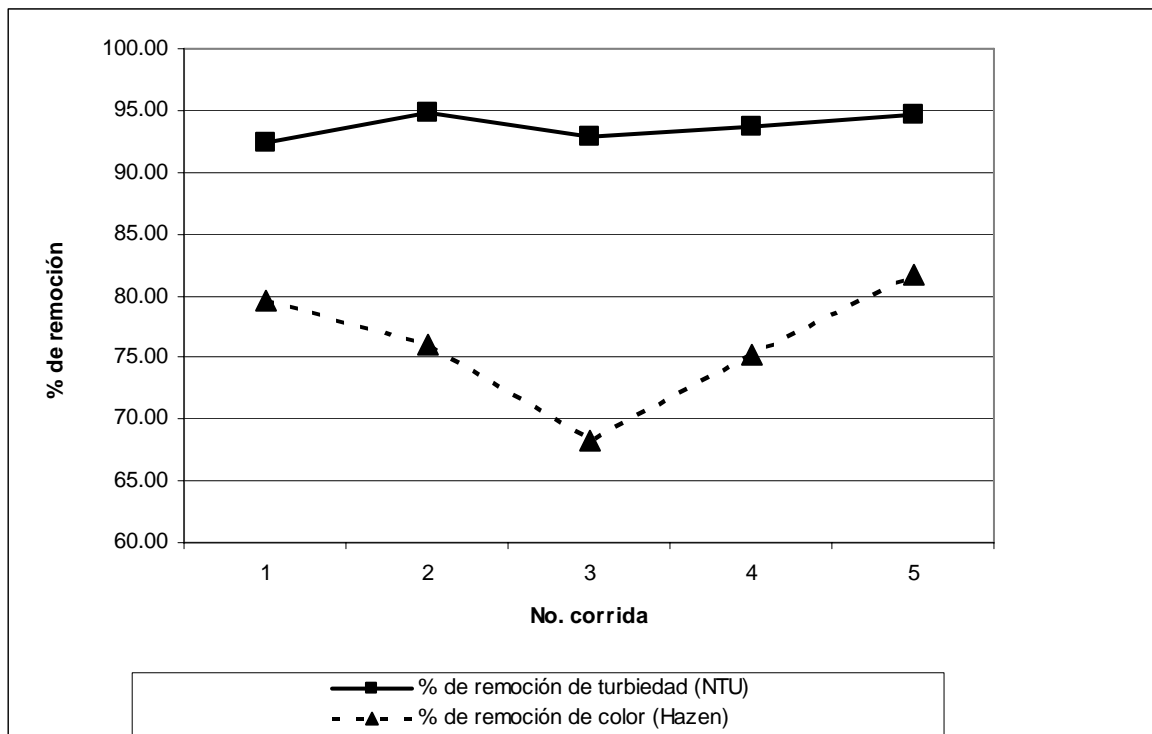
Fuente: sección de resultados, tabla V, VI, VII,

Figura 8 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 5, y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.



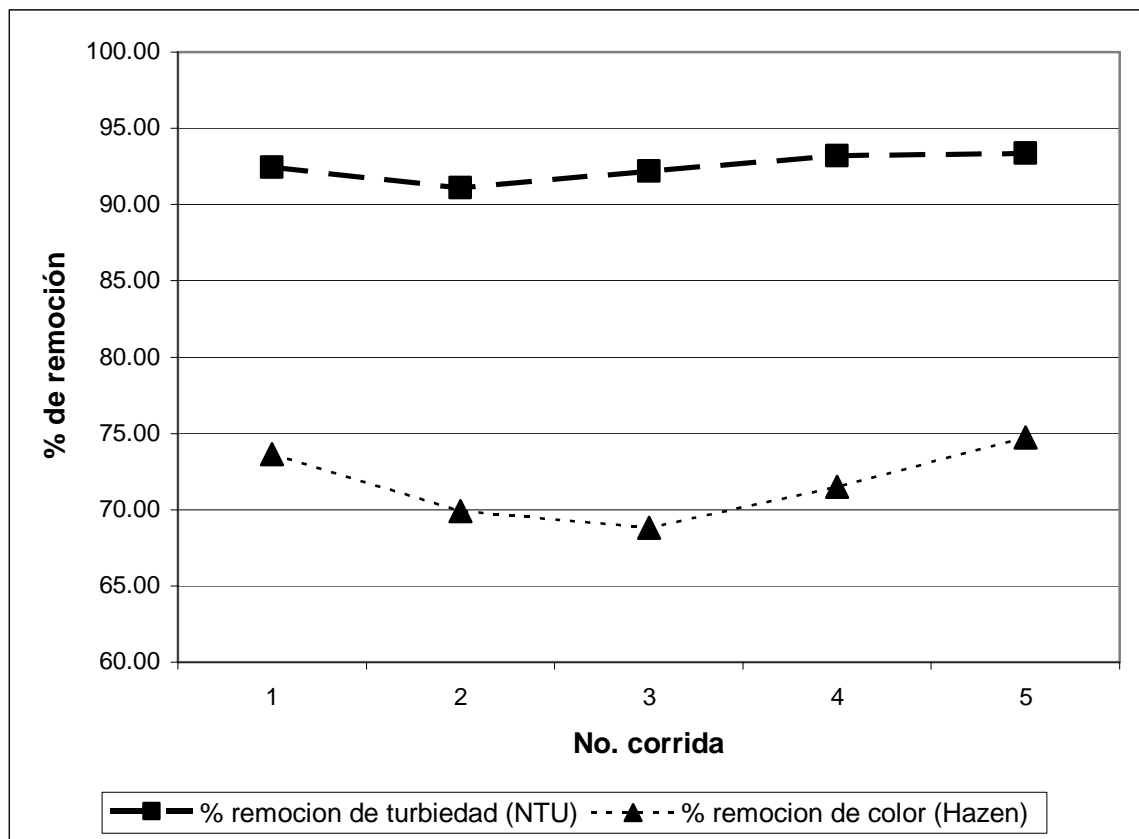
Fuente: sección de resultados, tabla V

Figura 9 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 7, y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.



Fuente: sección de resultados, tabla VI

Figura 10 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 9, y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 0.1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.



Fuente: sección de resultados, tabla VII

Determinaciones del pH óptimo del agua residual que contiene azul índigo, dejando las variables fijas de concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* a 1g/100mL de agua residual y una temperatura de 15°C.

Tabla VIII Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 5, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas.

No. corrida	% Remoción de Turbiedad	% Remoción de Color
1	98.06	89.78
2	96.83	97.85
3	97.02	98.39
4	97.44	98.39
5	97.20	97.85

Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XX

Tabla IX **Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 7, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas.**

No. corrida	% Remoción de Turbiedad	% Remoción de Color
1	93.29	75.81
2	91.00	79.03
3	91.17	76.34
4	73.85	70.97
5	91.09	68.28

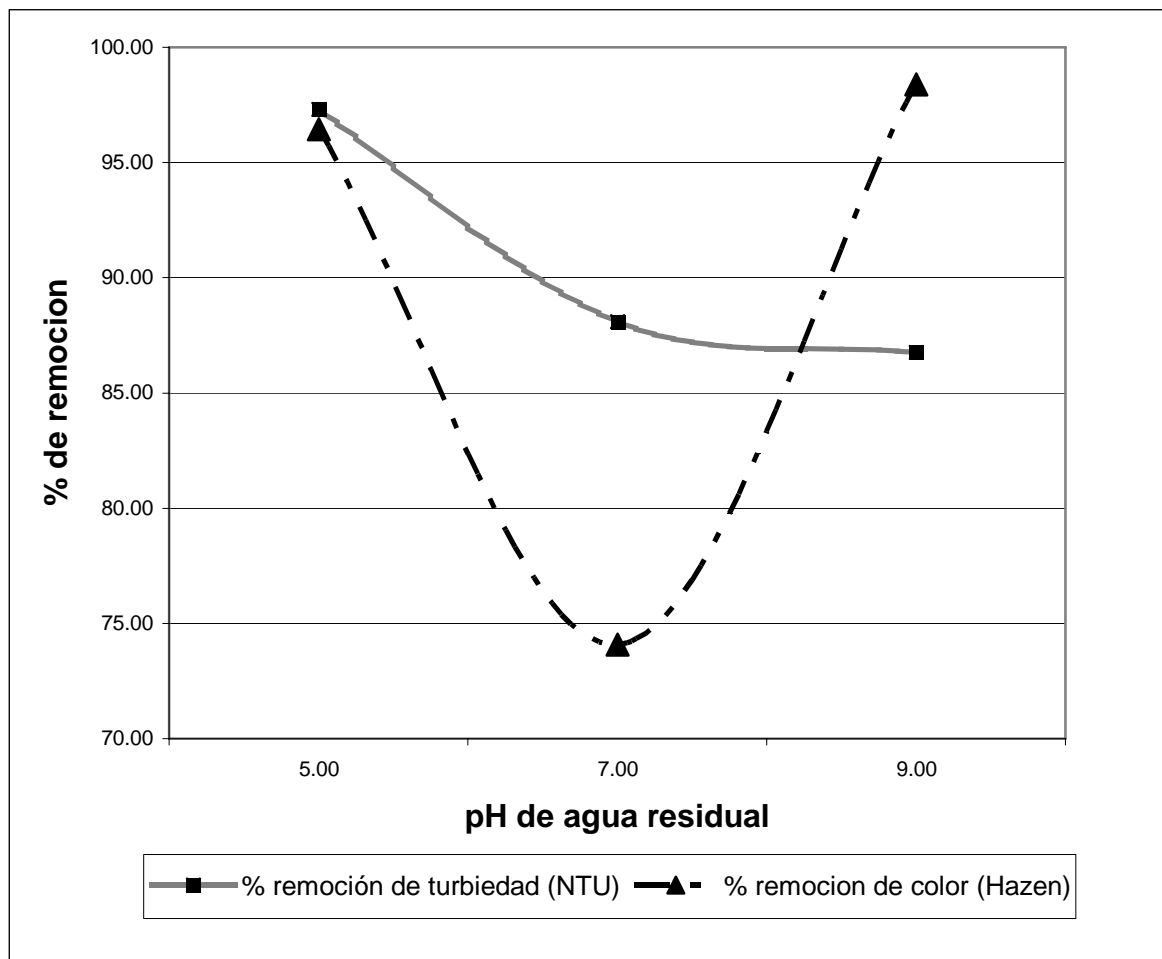
Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XXI.

Tabla X Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a pH 9, y concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL y temperatura de 15°C en un tiempo de 48 horas.

No. corrida	% Remoción de Turbiedad	% Remoción de Color
1	83.56	99.46
2	81.13	98.92
3	86.91	98.39
4	93.22	97.85
5	88.95	97.31

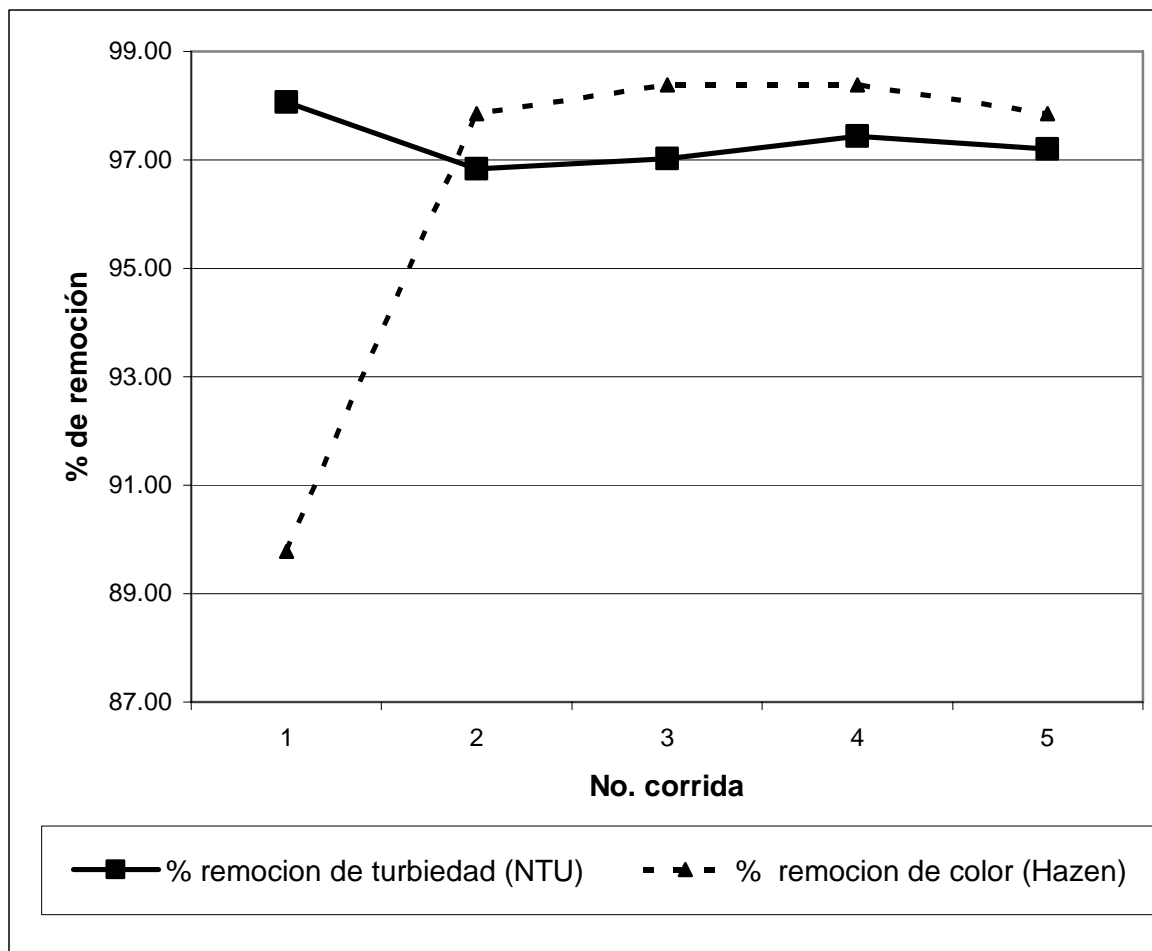
Fuente: apéndice 3, datos calculados, tabla XXII

Figura 11 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes pH y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.



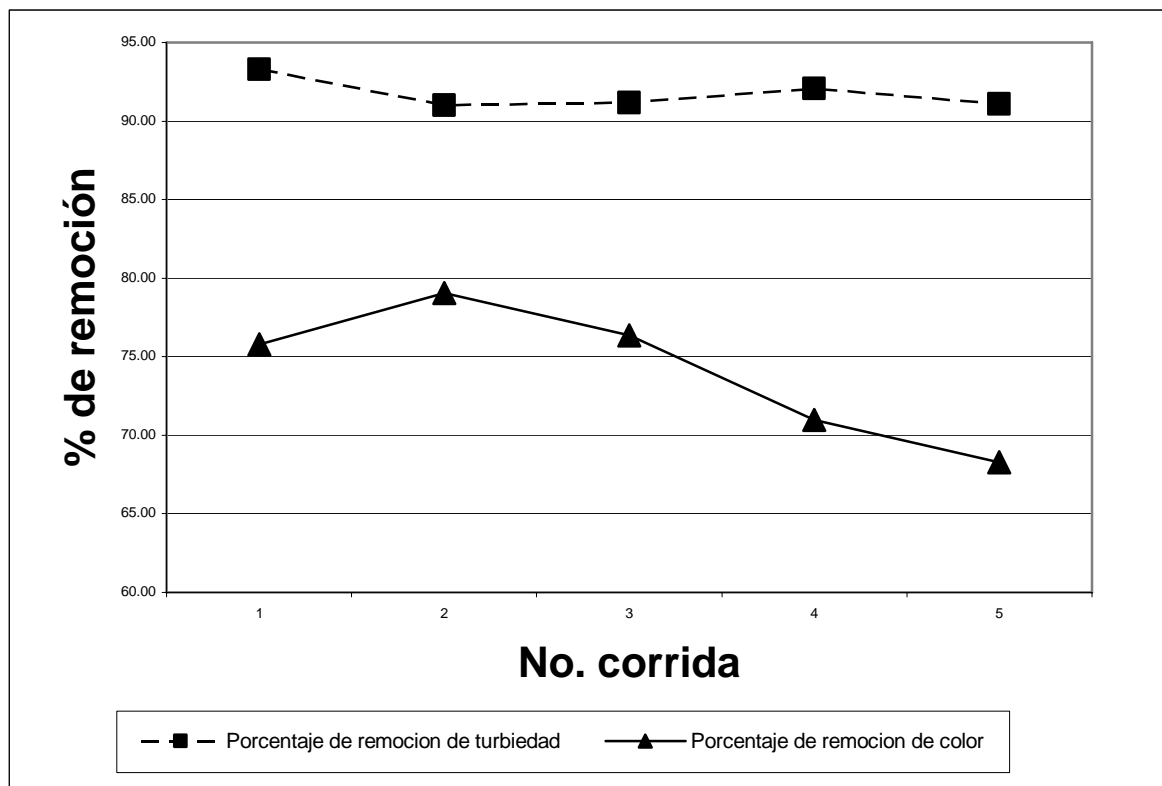
Fuente: sección de resultados, tabla VIII, IX, X

Figura 12 **Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 5, y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.**



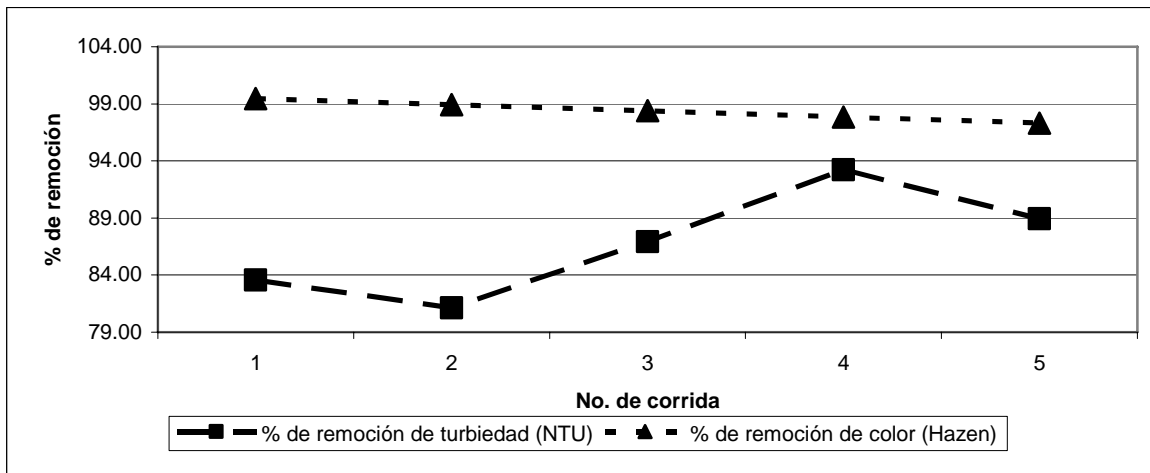
Fuente: sección de resultados, tabla VIII

Figura 13 Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 7 y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.



Fuente: sección de resultados, tabla IX

Figura 14 **Porcentaje de remoción de color y turbiedad de una muestra de agua residual que contiene azul índigo a diferentes corridas de pH 9, y variables fijas de: concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor* 1g/100mL, temperatura de 15°C y tiempo de 48 horas.**



Fuente: sección de resultados, tabla X

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como resultado del presente trabajo de investigación, se ha obtenido una gran cantidad de resultados muy interesantes, ya que revelan tendencias que son de mucha utilidad para analizar el comportamiento de los procesos de tratamientos biológicos catalizados por medio de enzimas producidas por el hongo *Trametes versicolor*, con este trabajo de investigación y diversos estudios, se demuestra que las enzimas de los hongos de pudrición blanca oxidan moléculas orgánicas que poseen grupos cromóforos como lo es el caso del agua residual tratada que poseía color azul índigo.

En este estudio la degradación del color azul índigo muestra que existe una reducción de color en los efluentes residuales según la caracterización de agua residual efectuada por el proceso de medición de turbidez y color.

Del diseño experimental para encontrar las variables fisicoquímicas que presentan mayor remoción de turbiedad y color se obtuvo que: dentro de un rango de 15° C a 25° C es posible remover 97% de turbiedad y color, siendo el pH óptimo de 5 a una concentración de masa de hongo de 0.1 g/100mL de agua residual (ver la sección no. 3 de resultados 3.1), observándose que:

1. Cuando se realizó el proceso de variación de temperatura el proceso biológico de degradación de color no existió un cambio significativo en los porcentajes de reducción.

2. A pH 5 muestra una mejor formación dado que en la naturaleza el pH que más favorece el crecimiento de hongos son los pH de 2-9 (Relazar, Pág. 255) y el óptimo 5.6, para este caso favoreció el proceso biológico puesto que sus requerimientos fisiológicos y nutricionales se ven favorecidos provocando mayor remoción de color y turbiedad.
3. La concentración de masa de *Trametes Versicolor* que proporciona mejor remoción de color y turbiedad fue a 0.1 g por cada 100mL de agua residual.

A lo largo de la elaboración de las corridas para encontrar la variable óptima se pudo observar lo siguiente:

- Visualmente, cuando el agua residual que contiene azul índigo se sometía al proceso biológico y se cambiaban los pH, el pH que favorecía el color final del agua era el pH 5 dado que la solución al final de las 48 horas presentaba una coloración ligeramente ámbar, en cambio con pH 7 y pH 9 las coloraciones se presentaban de color ámbar más intenso.
- En la parte 3.2 de la sección de resultados se buscó la concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor*, tomándose la de 0.1g por cada 100 mL de agua residual puesto que se observó que dentro del rango de 0.1 a 2 la remoción es casi uniforme tomándose por consiguiente la dosis mínima, puesto que los resultados no se ven tan grandemente afectados.

- En la parte 3.3 de la sección de resultados se buscó el pH que presentaría la mayor cantidad de remoción de color. Para el caso de un pH 5 la remoción de turbiedad y color no varían dentro de si más de un 10% dentro de sus valores estando íntimamente relacionada los porcentajes de remoción de turbiedad y color. Para el caso de un pH 7 los porcentajes de remoción varían dentro de un rango de un 20% mostrando una diferencia significativa dentro de la turbiedad y el color, dado que la turbiedad es un factor que mide directamente el porcentaje de sólidos presentes en el agua, este pH mostró porcentajes muy parecidos al del pH 5 pero para el caso del análisis del color.

El cual esta relacionado directamente con el color azul índigo que poseía la muestra. Para el caso del pH 9 se ve claramente la tendencia que proceso de dar menor cantidad en la remoción del color y la turbiedad a medida que el pH del agua aumenta.

La propuesta para el tratamiento de aguas residuales por medio de hongos (biorremediación) se propone el siguiente esquema de trabajo para la planta de aguas residuales, dado que el agua que se tomo era después del proceso de floculación es: después del proceso de tratamiento de floculación donde se quitan materia orgánica en suspensión se traslada a un tanque de aeración donde se coloque hongos *Trametes Versicolor* para la remoción de color directo del agua residual, acondicionando el agua a un pH de 5 con aire en un tiempo de reacción de 48 horas.

Se propone como esquema para el tratamiento de agua residual que contenga un colorante azul índigo es el siguiente:

1. Primer tratamiento floculación para remoción de materia orgánica en suspensión.
2. Tanque de aireación que contenga el hongo acondicionado el pH a 5 y suministro de aire como fuente de oxígeno, conteniendo el hongo *Trametes Versicolor*.

CONCLUSIONES

1. Al tratar un agua residual que contiene colorante azul índigo con el hongo *Trametes Versicolor* en condiciones controladas de pH, temperatura, concentración de hongo y oxígeno, es posible lograr remoción de color y turbiedad en el agua residual.
2. Al realizar un tratamiento biológico al agua residual con el hongo *Trametes Versicolor*, fue posible la remoción del color y turbiedad por medio de las enzimas del hongo.
3. Se logró una remoción máxima del 94% de color con las variables fisicoquímicas de pH 5, concentración de masa de hongo de 0.1g por cada 100mL de agua residual, temperatura dentro de 15°C a 25°C, en tiempo de 48 horas con aire saturado.
4. La reducción máxima de turbiedad y color al variar los pH de 5, 7 y 9 se logró en pH 5.
5. En todas las corridas realizadas a pH 5 y 7, el porcentaje de remoción de turbiedad fue mayor al porcentaje de remoción de color.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar el comportamiento del hongo *Trametes Versicolor* con otra agua residual que contenga otros colorantes, para determinar su comportamiento.
2. Realizar un estudio para los hongos de pudrición blanca especialmente del *Trametes Versicolor* donde se determine si la remoción del color y turbiedad se debe por absorción del hongo o procesos enzimáticos con el fin de caracterizar el mecanismo de acción del hongo frente al agua residual.

BIBLIOGRAFÍA

1. PETER, Gaesa y John Hubble. Tecnología de las enzimas. Madrid; Editorial ACRIBA, S.A., Tr. Lopez, Enrique y otros, 1990. 206 pp.
2. RABIAN, Louis y Nicholas Moramarco. Everything you want to know about coagulation & Flocculation. 4ta. Ed. Estados unidos; Ed. Zeta-Meter, 1998.44pp.
3. R.M., Christie. Color chemistry. Inglaterra; Ed. RSC PAPERBACK S, 2001. 205 pp.
4. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA. Escuela técnica superior de ingeniería: Desarrollo de un proceso biotecnológico sostenible para la decoloración de efluentes textiles. (En línea). <http://www.fitec.org/general/APLIMATEC/Presentaciones/APLI_MATEC04_Vicent.pdf, > (consulta: 21-Ago-05).
5. REVISTA IBEROAMERICANA DE MICOLOGÍA Tratamientos de efluentes industriales coloreados con Pleurotas spp. Aceptado para la publicación el 29 de diciembre de 2003, pp. 164-168. <<http://www.reviberoammicol.com/2003-20/164168.pdf>> (Consulta: 21-Ago-05).

6. FREEMAN,H.M. (1998).*StandardHandbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. Ed. McGaw-Hill. 2ªEdición.

7. MANUAL DE COLORANTES TEXTILES APERBACKS, 2001. 205 pp.

APÉNDICE

APÉNDICE 1
DATOS ORIGINALES

Tabla XI **Datos iniciales de la muestra a analizar para el estudio biotecnológico**

Color inicial (Hazen)	1860
Turbiedad Inicial (NTU)	742
Tiempo de reacción (horas)	48
Aire saturado	20 pis
Temperatura de reactor (°C)	15 y 25

Tabla XII Datos de la evaluación a pH 5, a dos concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor*, después de 48 horas de reacción.

No. corrida	Concentración 0.1 g/mL		Concentración 1 g/mL	
	Turbidez (NTU)	Color (Hazen)	Turbidez(NTU)	Color (Hazen)
1	21.90	190	14.40	190
2	26.10	140	23.50	40
3	25.10	90	22.10	30
4	33.11	200	19.00	30
5	21.70	100	20.80	40

Tabla XIII Datos de la evaluación a pH 7, a dos concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor*, después de 48 horas de reacción.

No. corrida	Concentración 0.1 g/mL		Concentración 1 g/mL	
	Turbidez (NTU)	Color (Hazen)	Turbidez(NTU)	Color (Hazen)
1	49.8	450	56.1	490
2	66.8	390	66.1	560
3	65.5	440	57.8	580
4	194	540	50.3	530
5	66.1	590	49.2	470

Tabla XIV Datos de la evaluación a pH 9, a dos concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor*, después de 48 horas de reacción.

No. corrida	Concentración 0.1 g/mL		Concentración 1 g/mL	
	Turbidez (NTU)	Color (Hazen)	Turbidez(NTU)	Color (Hazen)
1	56.1	490	122	920
2	66.1	560	140	1060
3	57.8	580	97.1	1160
4	50.3	530	50.3	1220
5	49.2	470	80.2	600

Tabla XV Datos de la evaluación a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor*, a pH 5 después de 48 horas de reacción.

No. corrida	Concentración g/100mL de agua residual	Turbiedad (NTU)	Color (Hazen)
Solución inicial	0	381	810
1	0.1	21.7	100
2	0.5	21.2	270
3	1	21.7	244
4	1.5	20.2	345
5	2	50.5	850
6	2.5	68.5	1120

Tabla XVI Datos de la evaluación a diferentes temperaturas con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/100mL, a pH 5 después de 48 horas de reacción.

No. corrida	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	Color (Hazen)
Solución inicial	-	381	810
1	15	21.7	100
2	25	21.2	270

APÉNDICE 2

MUESTRA DE CÁLCULO

1. Determinación del porcentaje de remoción de color en el agua tratada
 - Se toma como base 1860 UN Pt-Co de dato inicial que representa el 100% de color en la muestra. (Dato base).
 - Se toma el dato que se obtuvo en el colorímetro después del tratamiento biotecnológico (190) (Dato experimental).
 - Se procede al cálculo del porcentaje de remoción por medio de la fórmula:

Porcentaje remoción = $(\text{Dato base} - \text{Dato experimental}) / \text{Dato base} * 100$

Porcentaje remoción = $(1860 - 190) / 1860 * 100$

Porcentaje de remoción = 89.78

APÉNDICE 3

DATOS CALCULADOS

Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para cada una de las corridas utilizadas, incluyendo la variación de dosis al pH óptimo encontrado.

Tabla XVII Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 5, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/mL de agua residual.

No. corrida	Turbidez final (NTU)	Color final (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
1	21.9	190	97.05	89.78
2	26.1	140	96.48	92.47
3	25.1	90	96.62	95.16
4	33.11	200	95.54	89.25
5	21.7	100	97.08	94.62

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XI, XII

Tabla XVIII Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 7, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/mL de agua residual.

No. corrida	Turbidez final (NTU)	Color final (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
1	56	380	92.45	79.57
2	37.9	400	94.89	78.49
3	52.6	590	92.91	68.28
4	46.5	460	93.73	75.27
5	39.5	340	94.68	81.72

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XIII

Tabla XIX Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 9, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/mL de agua residual.

No. corrida	Turbidez final (NTU)	Color final (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
1	56.1	490	92.44	73.66
2	66.1	560	91.09	69.89
3	57.8	580	92.21	68.82
4	50.3	530	93.22	71.51
5	49.2	470	93.37	74.73

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XIV

Tabla XX Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 5, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 1g/mL de agua residual.

No. corrida	Turbidez final (NTU)	Color final (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
1	14.40	190	98.06	89.78
2	23.50	40	96.83	97.85
3	22.10	30	97.02	98.39
4	19.00	30	97.44	98.39
5	20.80	40	97.20	97.85

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XII

Tabla XXI Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 7, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 1g/mL de agua residual.

No. corrida	Turbidez final (NTU)	Color final (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
1	49.8	450	93.29	75.81
2	66.8	390	91.00	79.03
3	65.5	440	91.17	76.34
4	194	540	73.85	70.97
5	66.1	590	91.09	68.28

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XIII

Tabla XXII Determinación de los porcentajes de remoción de color y turbiedad para los datos de pH 9, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 1g/mL de agua residual.

No. corrida	Turbidez (NTU)	Color (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
1	122	920	83.56	50.54
2	140	1060	81.13	43.01
3	97.1	1160	86.91	37.63
4	50.3	1220	93.22	34.41
5	66.1	590	91.09	68.28

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XIV

Tabla XXIII Porcentajes de remoción de turbidez y color de la evaluación a diferentes concentraciones de masa de hongo *Trametes Versicolor*, a pH 5 después de 48 horas de reacción.

No. corrida	Concentración g/100mL	Turbidez final (NTU)	Color final (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
1	0.1	21.7	100.00	94.30	87.65
2	0.5	31.2	270.00	91.81	66.67
3	1	21.7	244.00	94.30	69.88
4	1.5	20.2	345.00	94.70	57.41
5	2	50.5	350.00	86.75	56.79
6	2.5	68.5	1120.00	82.02	0.00

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XV

Tabla XXIV Porcentaje de remoción de color y turbiedad de la evaluación a diferentes temperaturas, con una concentración de masa de hongo *Trametes Versicolor* de 0.1g/100mL, a pH 5 después de 48 horas de reacción.

No. corrida	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	Color (Hazen)	% remoción turbiedad	% remoción color
Solución inicial	-	381	810	-	-
1	15	21.7	100	94.30	87.65
2	25	21.2	270	94.44	66.67

Fuente: apéndice 1 datos originales, tabla XVI