

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.



---

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
COLEGIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Floculación de colorantes dispersos  
utilizando hongos comestibles.”

**TESIS PROFESIONAL**

Para obtener el título de:  
Licenciatura en Ingeniería Ambiental.

Presenta:

**Guadalupe Lizbeth Daniel González**

Director de Tesis:

Dr. Sergio Juárez Del Carmen

Puebla, Pue. Mayo 2021

QUÍMICA

## **Agradecimientos.**

A la vida y al universo por dejarme llegar hasta este punto.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, a la facultad de ingeniería química por ser mi segundo hogar durante 5 años y por llenarme de sabiduría, alegría y recuerdos.

A mis padres por ser mi apoyo incondicional y siempre alentarme a ser mejor cada día.

A mi hermano Santi por abrazarme en momentos difíciles e inspirarme con su esfuerzo y dedicación y por ser el mejor hermano del mundo entero.

A mis mejores amigos porque siempre me ayudaron, confiaron en mí y me regalaron un pedacito de su amor y comprensión por siempre ayudarme y no dejarme nunca sola.

A Andrés por el apoyo brindado en la parte experimental y por la amistad que formamos.

A mi asesor, Dr. Sergio por corregirme siempre con paciencia y cariño, por su enseñanza y dedicación al apoyarme para terminar esta etapa. Así como a mis sinodales Mtra. Miriam y Mtro. Ángel por sus comentarios y aportaciones para realizar esta tesis.

La clave estuvo en tener siempre más ganas, que esperanza...

# Índice

<b>INTRODUCCIÓN.</b> ....	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I ANTECEDENTES.</b> .....	<b>10</b>
INDUSTRIA TEXTIL. ....	11
<i>Antecedentes de la industria textil.</i> .....	11
<i>Fabricación de telas.</i> .....	13
<i>Fibras de poliéster.</i> .....	16
<i>Demanda del Poliéster.</i> .....	18
<i>Importancia económica.</i> .....	19
<i>Impacto ambiental.</i> .....	20
<i>Mecanismos de contaminación.</i> .....	23
COLORANTES. ....	25
<i>Antecedentes de los colorantes.</i> .....	25
<i>Clasificación de los colorantes</i> .....	28
<i>Colorantes dispersos</i> .....	30
<i>Colorantes tipo Azo.</i> .....	32
<i>Estructuras.</i> .....	33
<i>Producción y consumo mundial de colorantes.</i> .....	34
<i>Impacto Ambiental de colorantes.</i> .....	35
MÉTODOS CONVENCIONALES (FÍSICO QUÍMICOS) PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES GENERADOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL.	37
TRATAMIENTOS FÍSICOS .....	38
<i>Método de Cribado.</i> .....	38
<i>Método Sedimentación.</i> .....	39
<i>Método Filtración.</i> .....	39
TRATAMIENTOS QUÍMICOS. ....	41
<i>Método Precipitación Química.</i> .....	41

<i>Método Adsorción</i> .....	41
<i>Ósmosis inversa</i> .....	41
BIORREMEDIACIÓN.....	43
<i>Generalidades de la biorremediación</i> .....	45
<i>Biorremediación in situ</i> .....	45
<i>Bioventeo</i> .....	45
<i>Bioestimulación</i> .....	46
<i>Bioaumentación</i> .....	46
<i>Fitorremediación</i> .....	47
<i>Atenuación natural</i> .....	48
<i>Biolabranza</i> .....	48
<i>Biorremediación ex situ</i> .....	49
<i>Mecanismos de biorremediación</i> .....	50
MICORREMEDIACIÓN.....	51
<i>Antecedentes de la micorremediación</i> .....	51
HONGOS.....	52
<i>Generalidades de los hongos</i> .....	52
<i>Anatomía del Hongo</i> .....	52
<i>Tipos de hongos</i> .....	54
<i>Especies utilizadas en el proyecto</i> .....	56
<i>Pleurotus ostreatus</i> .....	56
<i>Agaricus bisporus</i> .....	58
<i>Lentinula edodes</i> .....	60
<i>Producción nacional de Hongos</i> .....	62
<i>Acción enzimática y enzimas involucradas</i> .....	63
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>65</b>

METODOLOGÍA .....	66
<i>Solución utilizada</i> .....	66
<i>Experimento I. Efectos del hongo sobre el colorante</i> .....	67
<i>Experimento II. Curva de absorción</i> .....	68
<i>Experimento III. Efecto del pH sobre el efluente textil</i> .....	69
<i>Experimento IV. Inactivación de enzimas</i> .....	71
<b>CAPITULO III. RESULTADOS Y CONCLUSIÓN</b> .....	<b>72</b>
RESULTADOS.....	73
<i>Experimento I Efectos del hongo sobre el colorante</i> .....	73
<i>Explicación de nuestro método de clasificación por grado de precipitación</i> .....	76
<i>Experimento II Curva de absorción</i> .....	79
<i>Experimento III Efecto del pH</i> .....	80
<i>Experimento IV Inactivación de enzimas</i> .....	82
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>84</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>88</b>

## Índice Figuras

Fig. 1. Acomodo de hilo para ser tejido.....	15
Fig. 2. Hilo embobinado que comienza a ser tejido. ....	15
Fig. 3. Demanda total de fibras. ....	19
Fig. 4. Rio Atoyac, Puebla. ....	21
Fig. 5. Estructuras químicas con representación de grupos cromóforos y auxocromóforos. .....	27
Fig. 6. Estructura del cromóforo azo. ....	33
Fig. 7. Principales contaminantes involucrados en algunos procesos de la industria textil del algodón. ....	36
Fig. 8. Cribrado mediante rejillas.....	38
Fig. 9. Sedimentador rectangular, con rastas y cadenas para recolección de lodos y natas .....	39
Fig. 10. Filtrador de membranas para aguas residuales.....	40
Fig. 11. Estructura anatómica de un hongo.....	53
Fig. 12. Cuerpos fructíferos Pleurotus ostreatus.....	57
Fig. 13. Cuerpos fructíferos de Agaricus bisporus.....	59
Fig. 14. Cuerpos fructíferos de Lentinula edodes.....	60
Fig. 15. Estructura típica de la lignina.....	63
Fig. 16. curvas de absorbancia de Azul terasyl concentrado y del Azul terasyl tratado. ....	79
Fig. 17.Resultado de variación de pH. ....	81
Fig. 18. Efecto de hongos inactivados sobre efluentes textiles. ....	83

## Índice tablas.

Tabla 1. Procedimientos para elaboración de telar. ....	13
Tabla 2. Características de efluentes de la industria textil.....	23
Tabla 3. Clasificación de los colorantes de acuerdo a Colour Index. ....	29
Tabla 4. Estructura de colorantes dispersos. Tomado de Holland, 2015.....	31
Tabla 5. Producción y Comercio Exterior de los Pigmentos y colorantes 2011-2015.....	35
Tabla 6 Compuestos contaminantes y plantas biorremediadoras.....	47
Tabla 7. Hongos utilizados para la biorremediación de contaminantes A.....	54
Tabla 8. Hongos utilizados para la biorremediación de contaminantes B.....	55
Tabla 9. Clasificación taxonómica de <i>P. ostreatus</i> . ....	56
Tabla 10. Clasificación taxonómica de <i>Agaricus Bisporus</i> .....	59
Tabla 11. Clasificación taxonómica de <i>Lentinula edodes</i> .....	61
Tabla 12 Acidificación .....	69
Tabla 13 Alcalinización.....	69
Tabla 14 Resultados del efecto a las 2 horas. ....	73
Tabla 15 Resultados del efecto a las 4 horas. ....	74
Tabla 16 Resultados del efecto a las 24 horas. ....	75
<i>Tabla 17. Graduación de precipitación de floculación, de acuerdo a los símbolos usados..</i>	<i>76</i>
Tabla 18. Efecto a 2 horas. ....	80
Tabla 19. Efecto a 4 horas. ....	80
Tabla 20. Efecto a 24 horas. ....	80

## Resumen.

En esta tesis se propone una propuesta de solución al problema que generan las descargas de efluentes industriales textiles los cuales generan daños importantes en los cuerpos de agua. Se evaluó la acción de tres especies de hongos: *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes*, sobre efluentes del colorante azul disperso. El trabajo se desarrolló utilizando píleo y estípite de cada especie frente al efluente textil para determinar los efectos sobre el colorante. Se identificaron tres efectos que provocan los hongos utilizados en los efluentes textiles: la floculación del colorante disperso, la decoloración el efluente, y la absorción del colorante en el hongo. Se descarto la posibilidad de que la floculación se deba a cambios de pH. Podemos concluir en este trabajo los hongos utilizados pueden ser una alternativa de tecnología ecológica en el saneamiento de aguas residuales.

This work proposes a possible solution to the problem generated by the discharges of textile industrial effluents, which generate significant damage to the water. The action of three species of fungi was evaluated: *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* and *Lentinula edodes*, on effluents of the dispersed blue dye. The work was developed using cap and stalk of each specie front to the textile effluent to determine the effects on the dye. Three effects caused by the fungi used in textile effluents were identified: flocculation of the disperse dye, discoloration of the effluent, and absorption of the dye into the fungus. The possibility that flocculation is due to changes in pH was ruled out. We can conclude in this work the mushrooms used can be an alternative of ecological technology in the sanitation of wastewater.

## Introducción.

La industria textil genera una gran carga de contaminantes, desde el comienzo del procesamiento de la materia prima hasta el proceso final. Estos crean una acumulación de contaminantes durante sus diferentes etapas, y una gran cantidad de ellos terminan en el agua.

La cantidad de agua utilizada en los procesos textiles varía dependiendo del proceso específico, y el equipo utilizado en la planta, (Domos agua, 2018). En el teñido con colorantes dispersos se utilizan de 100 a 150 litros de agua por kilogramo de producto, en la tinción con colorantes reactivos las cifras oscilan entre 125 y 170 litros por kilogramo de producto, lo cual nos indica el elevado consumo de agua en la industria textil (H. D. Mansilla, *et al.*, 2007). Los colorantes dispersos, usados para teñir tejidos de poliéster, son de los colorantes más contaminantes, y su tratamiento químico genera productos tóxicos.

El incremento del consumo y la demanda de productos textiles diversificados y la “*Fast fashion*”<sup>1</sup>, acarrea un uso excesivo de colorantes con el correspondiente aumento de efluentes textiles provocando que los acuíferos se contaminen aún más con estos contaminantes.

Los efluentes que tienen su origen en la industria textil contienen altas concentraciones de colorantes, además de aditivos, solventes, sales inorgánicas, grasas, aceites, compuestos sulfonados, metales pesados, y fibras. Estos efluentes también pueden tener contaminantes como: cromo, cobre, zinc, níquel o plomo provocando un efecto carcinogénico y genotóxico, (Kuhad R.C. *et al.*, 2004).

---

<sup>1</sup> Se ha denominada a la *Fast fashion* (moda rápida) a la producción en serie de prendas de ropa, que se venden al consumidor por precios relativamente bajos. Esta ropa es desechada en poco tiempo, después de dos o cuatro usos.

El impacto que causa esta industria al ambiente es variado, algunos de los problemas registrados son disminución de la transparencia del agua, y disminución de oxígeno disuelto en agua, causando cambios en la biota acuática.

En el mundo hay diferentes tipos de procesos químicos y físicos para eliminar estos tipos de contaminantes, como, por ejemplo: procesos oxidativos, ozonización, fotoquímicos, membranas de filtración, intercambio iónico, etcétera, muchos de estos procesos pese a ser eficientes en la remoción de colorantes, presentan algunas desventajas en cuanto a costos operacionales y a generación de nuevos residuos, podemos considerar así que más que sanear, solo pasamos el contaminante de un sitio a otro.

Otra alternativa para sanear residuos es la utilización de procesos biotecnológicos estos son considerados como eficientes en la remoción de sustancias tóxicas. Estos procesos se pueden clasificar como tratamientos biológicos tanto aeróbicos como anaeróbicos, o mixtos; con este fin se han usado distintos tipos de organismos tales como plantas, algas, bacterias, levaduras y hongos.

Una rama de la biorremediación es la micorremediación, su uso se ha implementado desde los años 80's. Los hongos poseen un activo sistema enzimático que utilizan para degradar diferentes sustancias, entre ellas la lignina, esta sustancia es un polímero que tiene gran número de anillos aromáticos altamente polimerizados. La degradación enzimática es generada por la acción de oxidasas y peroxidasas. Estas enzimas son altamente específicas y tienen actividad en diferentes sustratos fenólicos y azo. Las enzimas antes mencionadas tienen efecto sobre los colorantes, pues poseen una estructura sobre la cual pueden actuar estas enzimas. De los colorantes estudiados en los procesos de biorremediación usando hongos, no existen actualmente reportes sobre floculación.

La industria textil presenta como principal problema la generación de efluentes contaminados con colorantes producidos durante el teñido de los tejidos. Para su remoción

y degradación existen diferentes procesos como físicos y químicos que se han tratado de implementar. Sin embargo, el alto costo de estos, hace que no sea rentable su uso para las empresas, no son del todo efectivos, además de no ser ecológicos, y solo trasladan la contaminación del agua a lodos; estos deben ser tratados para sanearse. Por esta razón, se ha apostado por la biotecnología la cual implementa la aplicación de tecnologías novedosas y amigables con el medio ambiente. Existen varias alternativas para remover los colorantes de los efluentes mediante procesos tales como: biosorción, biodegradación aeróbica o anaeróbica, y uso de enzimas que catalizan la degradación y/o decoloración de compuestos que poseen una alta concentración de anillos aromáticos. La biodegradación de colorantes textiles, usando hongos, se ha utilizado desde hace ya algunos años, encontrándose que los hongos degradan los pigmentos que contienen las aguas residuales en lo textiles por medio de enzimas del tipo oxidasas, siendo la más conocida la lacasa. La importancia de esta tesis es conocer sobre la biorremediación de colorantes dispersos mediante el uso de hongos.

En experimentos realizados en la facultad de Ingeniería Química de la BUAP se encontró que el hongo de la pudrición blanca (*Pleurotus ostreatus*), es capaz de flocular colorantes dispersos. No se tiene la certeza de que esta floculación es generada por enzimas del hongo. En los procesos de biorremediación se ha encontrado que enzimas de tipo polifenoloxidasas, especialmente la lacasa, que degradan los pigmentos utilizados en la industria textil. El fenómeno de floculación de colorantes dispersos, usando hongos no había sido reportado.

## **Capítulo I Antecedentes.**

## Industria textil.

### Antecedentes de la industria textil.

la palabra textil (del latín *texere*, tejer) se refería en un inicio al tejido de telas a usando fibras, en nuestros días su definición comprende una gran variedad de fases, como el punto, el enfurtido, el *tufting* o anudado de alfombras, etc. (León J.1998).

La industria textil mexicana, tiene una trayectoria de más de un siglo, es la segunda rama más importante productiva en relación a las exportaciones; está conformada por 43,774 unidades económicas, estas no están comprendidas la industria de la piel y el calzado (INEGI, 2004). En México la industria textil tiene gran impacto en el sector económico y comercial. Representa la segunda fuente de divisas del sector de la manufactura, y de la industria en general es la cuarta a nivel nacional (Banco De México, 2005).

El comienzo en México de la industria textil y del vestido, se dio a partir de 1830. Para 1837 se establecieron en Puebla 4 modernas fábricas de hilados con 8 000 husos (Arroyo *et al.*, 2010).

La maquinaria utilizada para la fabricación de textiles, fue traída de Estados Unidos, Inglaterra y Francia, estos países fueron los que notaron que México tenía el potencial de ser una pieza importante para la industria textil. Gracias a que hubo participación de las industrias extranjeras hubo un crecimiento exponencial en este sector y a la introducción de tecnologías y la capacitación de los empleados (Arroyo *et al.*, 2010).

La fundación de la Constancia Mexicana, fue en el año de 1835 fue la primera fábrica textil justo en el centro del país. En el siglo XIX se establecieron cerca del Atoyac, en los estados

de Puebla y Tlaxcala, 13 fábricas textiles, estas utilizaron la energía de la corriente, como su principal fuerza motriz (Rosas, 2012).

Gracias que la industria textil estuvo posicionada en un punto nacional estratégico, amplió la relación con otros subsectores industriales, el gobierno mexicano empezó a considerar a la industria del vestido, como una de las ramas prioritarias y con mejores prospectos a desarrollar, esta industria estuvo en el lugar 12 y desarrollar programas de competitividad sectorial (Secretaría de Economía, 2004).

Las industrias del giro textil representan una de las más grandes y complicadas cadenas productivas, por la heterogeneidad de sus productos.

Para 2010, el país de México produjo alrededor de 122, 422 toneladas de fibras textiles sintéticas, el 85% correspondían a fibras sintéticas la gran mayoría eran fibras principalmente de poliéster, fibra corta y nylon. Justo en el mismo año hubo un reporte de 14, 950 establecimientos del sector textil y vestido en México. En Puebla la industria textil representa el segundo lugar en producción a nivel nacional además de tener el 16.9% de producción. Mientras que Huejotzingo contribuyó con el 4.1% y aparece en la cuarta posición (INEGI, 2011).

El INEGI indica que la industria de la ciudad de Puebla y de la ciudad de Huejotzingo, aportaron el 3.2% del Producto Interno Bruto (PIB) de las industrias manufactureras en México y hasta 2018, empleaban a 1 millón 72 mil personas en el país (Gutiérrez, 2020).

## Fabricación de telas.

La industria textil tiene como propósito la fabricación de hilos y tejidos, que se usan para manufacturar distintos productos como: vestidos, textiles para el hogar, y el sector automotriz, etcétera. (Ferrer-Dalmau, 2020).

Dentro de esta industria existen una extensa gama de dibujos y texturas que se fabrican de acuerdo a las necesidades de los clientes, (Fernández, 2012). El proceso de elaboración de telas paso por paso se muestra en la tabla 1.

*Tabla 1. Procedimientos para elaboración de telar.*

<b>PROCESO.</b>	<b>CARACTERÍSTICA.</b>
<b>1. Obtención de fibras.</b>	Se fabrican a partir de plantas como el algodón, lino y otras; de animales como borrego, alpaca; también de insectos como los gusanos de seda, y también fibras sintéticas.
<b>2. Torcidos.</b>	La torsión ligera produce superficies suaves. La torsión dura genera tejidos resistentes, que son menos propensos a ensuciarse y arrugarse, estos tejidos tienden a encoger más que las anteriores.
<b>3. Acomodado.</b>	En esta etapa se coloca el hilo en pequeños conos, estos se acomodan de acuerdo al número de hilos para fabricar la tela, figura 1.
<b>4. Enrollado.</b>	Se acomodan los hilos en estructuras, y se alinean y enrollan en bobinas de gran tamaño llamadas enjulios que serán utilizados ya en el telar.
<b>5. Tejido.</b>	Las bobinas se acomodan en la base del telar, los hilos son enhebrados y comienzan a ser tejidos de acuerdo a la textura

---

programada y a las características deseadas por el cliente como se muestra en la figura 2

---

**6. Obtención de tela.**

Al final de este proceso se obtiene la tela.

---

Tomado de Maldonado, 2010.



*Fig. 1. Acomodo de hilo para ser tejido.*



*Fig. 2. Hilo embobinado que comienza a ser tejido.*

## Fibras de poliéster.

La fibra de poliéster es uno de los tipos de microplásticos más abundantes en el medio ambiente, estas fibras son muy comunes y demasiado usadas en la industria textil, ya que se pueden mezclar con otras fibras que ayudan a suavizar el tacto, reducir arrugas, y conseguir que el tejido se seque rápidamente, (Selonen *et al.*, 2020).

Las fibras de poliéster se han identificado como uno de los tipos de micro plásticos más abundantes en el entorno, (Dris *et al.*, 2016)

Estas fibras están hechas a partir de la fibra de poli tereftalato de etileno (PET), en 2016 supero los 50 millones de toneladas, sobrepasando la producción de cualquier otra fibra natural o sintética, hay varias razones por las cuales tienen mucho éxito, (Jaffe *et al.*, 2020).

Las fibras de poliéster son baratas, se fabrican a partir de derivados del petróleo, tienen múltiples propiedades, son fuertes y ligeras, son fáciles de teñir. Se fabrican tanto en fibra cortada con secciones transversales como en filamento continuo, o fibras huecas, se pueden hacer solas o mezcladas con otras fibras, (McIntyre, 2005).

Las fibras comercialmente se presentan por hilatura de fusión, el procedimiento de fabricación es el siguiente:

- Preparación, se toma el polímero fundido para la fabricación.
- Extrusión, el polímero fundido pasa a través de los orificios de la hilera.
- Extensión, los chorros de polímeros al salir de los orificios se extienden.
- Enrollado, los filamentos solidificados se enrollan en una. (Gacén, 1991).

El siguiente paso es el estirado donde los filamentos de polietilentereftalato (PET) son obtenidos en una hilera que presenta una baja orientación. Son estirados de manera

mecánica, y así se consigue la orientación necesaria para su uso en la industria textil. (Lewin *et al.*, 1985)

Texturación. En este paso se pretende generar variaciones de los hilos en propiedades como capacidad de absorción, alargamiento, volumen aparente, elasticidad, aislamiento térmico, tacto, opacidad etc. (Naik, 1991).

Después de que se obtiene las fibras con las características requeridas para su comercialización, se comienza con la tintura, esta técnica es muy sencilla gracias a la familia de colorantes que se utiliza.

El proceso de teñido para las fibras textiles existe una amplia variedad de colorantes. El binomio colorante/fibra debe resistir la decoloración por exposición a la luz, además de poseer una intensidad de color perdurable, puede ser lavado en seco, ser resistente al sudor, al frote y a otros agentes degradantes. Por su origen las fibras de PET tienen afinidad por los colorantes dispersos. (Gacén, 2004).

Las fibras sintéticas al igual que las naturales poseen características y ventajas específicas, la principal diferencia entre ellas es la tecnología con la que son fabricados, tomando en cuenta el uso final al que están destinados.

## Demanda del Poliéster.

La industria textil y de la confección es de las más importantes en México. El Poliéster para aplicaciones textiles se puede fabricar en una gran diversidad de títulos o calibres, como monofilamento o como multifilamento, puede ser rígido o texturizado, puede ser filamento continuo o fibra corta, y puede tener un lustre brillante, semi-opaco u opaco, inclusive puede hilarse en colores. (¿Qué es el poliéster?, 2021).

En el 2017 el poliéster fue aproximadamente el 51% de la producción mundial de fibra. Actualmente, las fibras sintéticas son las más utilizadas en la industria textil, con aproximadamente el 65% del mercado mundial, mientras que las fibras naturales tienen el 35%. De las fibras sintéticas el poliéster es la más utilizada. (*Poliéster una oportunidad sostenible*, 2019). A nivel mundial, se producen cada segundo 8323 kg de poliéster. Los principales productores son India y China. La mayor empresa productora de poliéster, Reliance, está en India, la cual produce aproximadamente 2,500,000 toneladas por año. (*Sobre el Poliéster*, 2013).

En la Figura 3 se muestra la demanda de fibras sintéticas y naturales, en millones de toneladas. Se puede apreciar el papel dominante del poliéster en el mercado, así como su crecimiento en demanda. También se puede ver la proyección del dominio del poliéster, en sus proyecciones de PCI Fibras, al año 2030. (Borneman, J, 2015)



Fig. 3. Demanda total de fibras.

Tomado de Borneman J, .2015.

Es evidente que el poliéster tiene la hegemonía en la fabricación de fibras tanto manufacturadas como naturales.

#### Importancia económica.

Durante la vigencia del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), hubo altas expectativas en México en cuanto a la inversión extranjera, acceso a la tecnología, y desarrollo de alianzas estratégicas (Odra, 2013).

Para producir una prenda se debe tener en cuenta el diseño, corte, confección, armado y acabado. En cada una de estas etapas se genera importantes fuentes de empleos. La industria del vestido representa el 10.3% del volumen de la industria manufacturera, a nivel nacional, produce el 2.7%. En agosto de 2011, el empleo a 400,696 personas. (Secretaría de Economía Textil y vestido, 2012).

En el primer cuatrimestre del 2018, se alcanzó un record de crecimiento en exportaciones, con un aumento del 26% con respecto al mismo periodo del año anterior, (Situación económica de la industria textil en México. 2019).

La industria textil mexicana logró exportar 4,695 millones de dólares, llegando a ser el quinto proveedor a nivel mundial, y el tercer generador más importante del Producto Interno Bruto (PIB), (Mireia. 2018).

Las exportaciones mexicanas hacia los Estados Unidos representan el 60% de las exportaciones totales. México tiene tratados de libre comercio con Nicaragua, Costa Rica, Venezuela, Colombia, Bolivia y Chile. En cuanto a las exportaciones a países fuera del continente americano estas alcanzan el 18% del mercado. (Mireia. 2018).

### Impacto ambiental.

En el siglo XIX, en los márgenes del río Atoyac se instalaron las primeras fábricas textiles, tanto en Puebla y Tlaxcala, aprovechando las corrientes pluviales para mover su maquinaria. De esta manera el río Atoyac se convirtió en un recurso estratégico para la industrialización durante los siglos XIX y XX. Al aumentar la población en el valle poblano tlaxcalteca, el impacto de la industria textil en el ambiente provocó conflictos pues competía por la demanda del agua, y su contaminación por colorantes (Handal *et al.*, 2017). Con el paso del tiempo el proceso textil fue cambiando, y muchas empresas se modernizaron, mientras otras desaparecieron.

La problemática del río Atoyac, inició a partir de la década de los 70s, ya que las descargas industriales contenían grandes cantidades de colorantes, metales pesados, sales,

detergentes y grasas, provenientes de las poblaciones de Tlaxcala, San Martín Texmelucan, Moyotzingo y la Ciudad de Puebla.

Convirtiendo la cuenca del Rio Atoyac en aguas totalmente negras y con un alto grado de anoxia, como se puede ver en la Figura 4.



*Fig. 4. Rio Atoyac, Puebla.*

Además, este río rebasa los límites, máximos permisibles citadas en la normativa oficial mexicana para Demanda Biológica de Oxígeno 5 (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), metales y compuestos tóxicos (NOM - 001-SEMARNAT-1996; NOM-002-SEMARNAT-1996; NOM-003-SEMARNAT-1997; Tribunal Latinoamericano del Agua, 2011). Otro daño que manifiesta la contaminación del Rio Atoyac en poblaciones de los estados Tlaxcala y

Puebla, son la pérdida en la biodiversidad, además de efectos en la salud pública con el aumento de enfermedades ligadas a la contaminación hídrica (Rodríguez, 2014).

Estrada, en 2018 recorrió el río Atoyac, desde la Covadonga hasta la presa de Valsequillo en el municipio Emilio Portes Gil, se aislaron e identificaron 11 especies de bacterias patógenas, pertenecientes a la familia de las Enterobacterias: *Morganella morganii*, *Enterobacteria cloacae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Hafniaalvei*, *Kluyvera sp.* Familia de las *Pseudomonadaceae*: *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomona ssp.* y a la familia de las *Xanthomonadaceae*: *Stenotrophomona maltophilia*. Dadas las bacterias patógenas aisladas y los contaminantes presentes en sus aguas se puede afirmar que el Río Atoyac tiene un grave deterioro, y que la supervivencia de fauna acuática es inviable (Anabella A, y Silva, H. 2018).

## Mecanismos de contaminación.

Las actividades del hombre tienen impacto en el medio ambiente, generando múltiples problemas ambientales. Se soslaya que el hombre forma parte de la naturaleza y sufre igual cuando se deteriora el medio ambiente. La sociedad continúa dependiendo de las fuentes naturales, y de las fuentes de energía para su reproducción (McKinney, *et al.*, 2012).

La industria textil se considera un problema del ambiente, por los contaminantes y desechos peligrosos que se generan durante la fabricación de bienes. Esta contaminación circunscribe diversas etapas que generan contaminación del medio ambiente. De los problemas que genera, destacan materiales peligrosos, emisiones al aire, residuos sólidos y líquidos, demanda de energía y generación de efluentes coloreados, en grandes cantidades.

Los efectos de los efluentes textiles en los ríos, generan problemas en varios parámetros, tales como: pH, Demanda Química de oxígeno (DQO), Demanda Biológica de oxígeno (DBO), color y salinidad. Se presentan los principales parámetros de estos efluentes en la Tabla 2. (Kuhad, *et al.*, 2004):

*Tabla 2. Características de efluentes de la industria textil.*

<b>Color visible</b>	1100-4500 unidades.
<b>DQO</b>	800-1600 mg/L.
<b>pH</b>	9-11.
<b>Sólidos totales</b>	6000-7000 mg/L

Los efluentes textiles presentan variaciones en su composición, y esta depende de los compuestos químicos que se usan durante la fabricación de las fibras textiles (Manu y Chaudhari, 2002). Las sales de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (generados en el teñido), agentes surfactantes, fenoles, metales pesados, usados en los colorantes, así como compuestos orgánicos tales como solventes clorados derivados del lavado y la limpieza de máquinas, biocidas como

pentaclorofenol, y aniones tóxicos como el sulfuro, provocan que las aguas del río Atoyac sean tóxicas (Bae *et al.*, 2005).

## Colorantes.

### Antecedentes de los colorantes.

El color se define como la respuesta neta de un observador a fenómenos físicos visuales, en la gama de longitudes de onda de 400 a 700 nanómetros (nm). (M. Clark, 2011). Es una respuesta del cerebro al estímulo de una radiación luminosa visible (Adams, 1923).

Se han encontrado pruebas del uso de colorantes textiles en el periodo Neolítico. En China, los colorantes naturales se usaron para teñir textiles hace ya más de cinco mil años, los colorantes empleados para teñir, hasta la segunda mitad del siglo XIX, fueron de origen natural (Seguin, 2017).

En todos los grupos humanos se usaron colorantes para teñir textiles, en algunas civilizaciones el teñido de tejido marcaba la diferenciación social, de autoridad, castas, religión, hasta de sexos; Se simbolizaron creencias y satisficieron necesidades estéticas (Sánchez, 2013). En México las culturas Mayas y Aztecas, desarrollaron el arte de teñir, utilizaban el colorante textil natural carmesí, el cuál es obtenido a partir de insectos como el *Kermes vermilio*. (Guirola, 2010).

Con la industrialización, la manufactura de textiles se hizo cada vez mas barata, sin embargo, los colorantes por ser de origen natural, aun eran muy caros. En el siglo XIX se dieron los primero aislamientos y purificación de compuestos orgánicos, además de la identificación de elementos y estructuras moleculares. La mauveína, fue el primer colorante artificial que se produjo, se sintetizó en 1856 por Perkin, con esto se dio inicio al declive de los colorantes naturales (Buchanan, 1987).

Los tintes pueden definirse como sustancias que, cuando se aplican a un sustrato, proporcionan color mediante un proceso que altera; al menos temporalmente, cualquier estructura donde se coloca proporcionándola de color (Kirk-Othmer, 2004).

Las sustancias con color que añadidas a ciertos productos sirven para darle, o color o teñirlas, se denominan colorante. Estas sustancias con capacidad colorante se emplean ampliamente en las industrias textil, farmacéutica, alimentaria, cosmética, plástica, fotográfica y papelera, (Zollinger, H. 1987).

Los tintes se clasifican de acuerdo a su uso y/o estructura química. El color se da por la acción de los cromóforos que son grupos de átomos en el ultimo orbital de los átomos., los grupos funcionales responsables del color del tinte son grupos: azo, antraquinona, metino, nitro, arilmetano, carbonilo y otros (Christie R., 2001)

En las aguas residuales el primer contaminante que se nota es el color, este es dado por colorantes y por pigmentos presentes en el agua. El colorante es totalmente soluble y se usa en materiales textiles en disolución acuosa. Mientras que los pigmentos son insolubles y se usan en pinturas, en tintas de imprenta y plásticos (Christie, 2003). Su presencia en los efluentes textiles en bajas concentraciones es evidente e indeseable (Nigam *et al.*, 2000)

Las moléculas de los colorantes están constituidas por dos grupos fundamentales: El grupo cromóforo, el cuál es el que produce el color y auxócromo, sus moléculas reaccionan y son solubles y conceden mayor afinidad hacia las fibras fig. 4 (Grupta y Suhas, 2009).

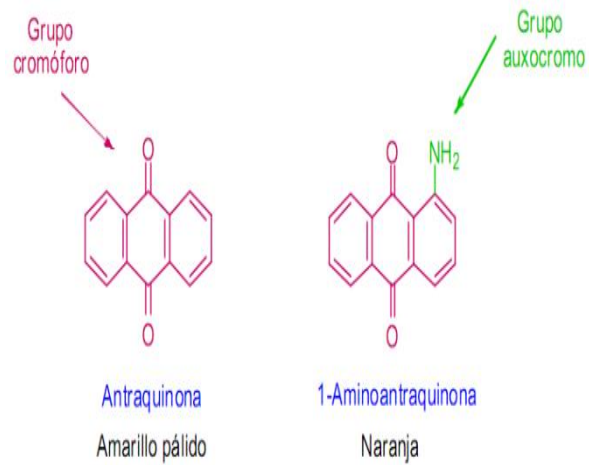


Fig. 5. Estructuras químicas con representación de grupos cromóforos y auxocromóforos.

Tomado de (Grupta y Suhas, 2009).

## Clasificación de los colorantes

Los colorantes como se mencionó anteriormente, se clasifican de acuerdo a su estructura química, su uso, o bien el método de aplicación (Konsowa, 2003). Se toma la estructura química para clasificarlos por los químicos que desarrollan nuevos colorantes, ya que facilita la identificación de estos, además de proporcionar información sobre el grupo al que pertenecen, así como sus propiedades características; por ejemplo, como con los colorantes azoicos, (de coloración fuerte y bajo costo), o bien, los colorantes antraquinónicos (de débil coloración y alto costo). Se conocen cerca de 10,000 colorantes que difieren en su composición, propiedades físicas y propiedades químicas (Christie, 2001).

Existen dos métodos generales para clasificar colorantes. Uno esta dado por la constitución química de los cromóforos, el otro se basa en las formas de aplicación. De estos sistemas, ninguno es totalmente satisfactorio, ya que hay colorantes que, a pesar de pertenecer a un mismo sistema de cromóforos, difieren completamente en su aplicación (Agarwal *et al*, 2010)

La utilidad de un colorante para su uso particular en textiles, se define tanto por peso molecular, solubilidad, aceptores de protones, longitud de la cadena, grupos alquilo etc. De acuerdo a su aplicación los colorantes se clasifican en dispersos, directos, ácidos y básicos (Christie, 2009).

La clasificación genérica de colorantes se da en el *Colour Index*, en esta se refiere el uso comercial, tono específico, y número de clasificación. Esta clasificación permite catalogar un determinado colorante comercial, con productos, con similar constitución química, además de las técnicas para su aplicación. En cuanto a su aplicación a los sustratos se refiere esencialmente a la manera de transferirlos y fijarlos a tejidos, papel, fibras y materiales relacionados, por ejemplo, el colorante disperso puede usarse frecuentemente como un

colorante de disolvente, o un colorante cuba usado como pigmento. En la tabla 3 se compendia la clasificación de los colorantes con base en su estructura química, y uso, basada en las categorías del *Colour Index*, 2013.

*Tabla 3. Clasificación de los colorantes de acuerdo a Colour Index.*

<b>Clasificación Química.</b>	<b>Clasificación de uso o Tintórea.</b>
Azoicos.	Ácidos.
Antraquinónicos.	Básicos.
Heterocíclicos.	Dispersos.
Indigoides.	Directos.
Derivados de ftalocianina.	Reactivos.
Polimetánicos.	A la Cuba.
Estilbénicos.	Sulfurosos.
Sulfurosos.	Azoicos sobre fibra.
Trifenilmetánicos.	Pigmentos.

Tomado de *Colour Index*,2016.

## Colorantes dispersos

Los colorantes dispersos son una clase de colorante no iónico, que tiene una baja solubilidad en agua y existe en agua principalmente en un estado altamente disperso por el efecto del agente dispersante en el proceso de teñido, este agente sirve para estabilizar las finas dispersiones y evitar los aglomerados del colorante en el medio acuoso. En el mercado son vendidos en forma líquida, como una pasta acuosa o en polvo, y su tamaño de partícula comúnmente varía de 1 a 2 micrómetros. Los colorantes dispersos de forma líquida contienen aditivos y estabilizadores para prevenir su sedimentación, congelación o secado y para el control de espuma. (M Jaberidoost. 2005).

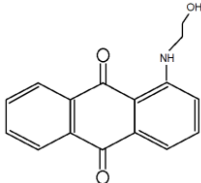
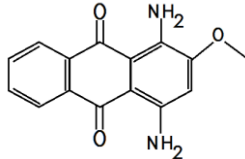
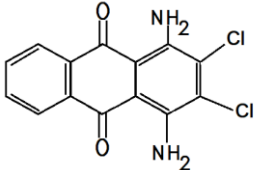
La aplicación de colorantes dispersos depende del tipo de proceso de teñido o estampado, en la gran mayoría es necesario aplicar calor. Se utilizan principalmente para teñir fibras de poliéster. (S Nikfar, 2014).

Se estima que el mecanismo de teñido del colorante disperso en el agua es: en la temperatura de teñido, parte de los colorantes dispersos se disuelven en moléculas de colorante en el baño de tinte por medio del efecto del agente dispersante, y luego se adsorbe en la superficie de la fibra en forma de molécula. Al mismo tiempo, la región amorfa de la fibra de poliéster se expande para formar un agujero, que es lo suficientemente grande como para acomodar las moléculas de tinte en la temperatura de teñido. Por lo tanto, es fácil hacer que las moléculas de tinte se difundan en la fibra, y al final de la tinción, el agujero previamente hinchado se encoge al disminuir la temperatura y hace que las moléculas de colorante se encajen dentro de la fibra, de modo que las moléculas de colorante puedan formar finalmente una sola molécula o agregados de bajo peso molecular que se encajen dentro de la fibra de bajo peso molecular para quedar encajadas dentro de la fibra sólida.

Los estudiosos extranjeros creían que la forma cristalina de los colorantes dispersos (es decir, cristalina) influye en su rendimiento de teñido, pero los resultados desmintieron

posteriormente esta afirmación. Sin embargo, si la forma cristalina de los colorantes dispersos es diferente, su energía de red también será diferente. Así que la forma cristalina de los colorantes dispersos afecta su proceso de comercialización. En la tabla 4 se tienen ejemplos de estructura de colorantes dispersos:

Tabla 4. Estructura de colorantes dispersos. Tomado de Holland, 2015.

Estructura	Nombre
	Disperse Blue 3
	Disperse Red 11
	Disperse Violet 28

Tomado de Holland, 2015.

## Colorantes tipo Azo.

Los colorantes tipo Azo constituyen la familia más importante de los colorantes usados industrialmente. Los colorantes tipo azo constituyen más del 70% de los colorantes textiles producidos. Es el más común de los colorantes reactivos (Carliell *et al.*, 1995).

Generalmente el grupo azo se une a dos anillos aromáticos. Las propiedades del grupo azo confieren una paleta de matices prácticamente total, y con una intensidad de color alta, por otra tiene estabilidad frente a la luz, al calor, al agua y a otros disolventes (Mishra *et al.*, 2006).

Este grupo se considera de los más importantes por su:

- Síntesis sencilla.
- Versatilidad estructural.
- Habilidad para enlazarse a diversas fibras sintéticas naturales.
- Gran capacidad de cubrir el espectro visible.

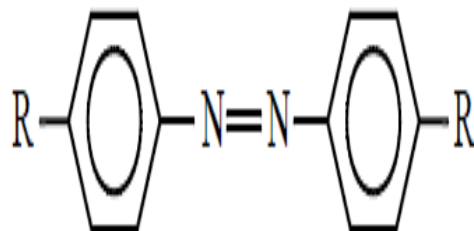
Los colorantes azo se subdividen en dos grupos: iónicos y no iónicos. De manera general, los colorantes azo iónicos, en solución acuosa, están parcialmente o totalmente disociados. Mientras que los colorantes azo no iónicos, presentan una baja solubilidad (<100 mg/L).

Por otra parte, de acuerdo a su estructura molecular y propiedades específicas, se consideran como colorantes azo: dispersos, ácidos, básicos, reactivos, directos y mordentes (Vandevivieri *et al.*, 1998). La aplicación de estos colorantes varia, y depende del proceso de teñido o estampado, por lo general se necesita aplicar calor y un mordente.

## Estructuras.

Los colorantes tipo azo se caracterizan por presentar un enlace insaturado entre moléculas de nitrógeno (Fig. 5.). Este enlace se caracteriza por tener un grupo funcional azo, se destaca por tener un enlace doble  $-N=N-$ , unido a átomos de carbono, asociado, por un lado, a un núcleo aromático o heterocíclico, y por el otro pueden estar unidos a una molécula insaturada de tipo carbocíclica heterocíclica o alifática (Bishop, 1996).

Los grupos azo generalmente se adhieren a anillos de benceno o naftaleno. Los enlaces de los cromóforos confieren el color a los grupos azo (Buitron, G. 1996). Los colorantes azo se subdividen de acuerdo al número de grupos azo presentes en la molécula de colorante.



Fenilazobenceno

*Fig. 6. Estructura del cromóforo azo.*

También, se les conoce como colorantes naftol a los colorantes azoicos. Su uso normal es para teñir celulósicas (particularmente algodón). Estos colorantes tienen la ventaja de conferir tonos claros y oscuros de diversos colores, aunado a su buena resistencia a la decoloración por la luz, peróxido de hidrogeno, y otros blanqueadores (Química orgánica industrial, 2021).

## Producción y consumo mundial de colorantes.

A nivel mundial, en la industria textil, papelera, cosmética, y farmacéutica, los principales colorantes usados, son del tipo azo, de estos se tienen cerca de 3000 tipos que son destinados para la industria textil (Bishop y Jiang, 1994).

Los principales países productores de colorantes son: Alemania, Inglaterra, Suiza, Japón y Taiwán. En menor medida en cuanto a producción tenemos a India, Brasil y México. En los primeros años del siglo 20, Alemania proporcionaba el 85% de la producción mundial de colorantes. Mientras que Suiza, Reino Unido y Francia, aportaron poco más del 10% de la producción (Cruz, 2000).

Europa domina aun el mercado, y se estima que continuará haciéndolo durante varios años mas (Visión, 2019). El volumen de producción del sector de los colorantes textiles avanzó 2.7% para el 2015. Mientras que las importaciones tuvieron un avance de 5.9% respecto a 2014. Las importaciones se incrementaron un 1.5%, tabla 5.

Tabla 5. Producción y Comercio Exterior de los Pigmentos y colorantes 2011-2015.

<b>Producción y Comercio Exterior de los Pigmentos y colorantes 2011-2015 (Toneladas)</b>					
	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Producción</b>	198,292	189,772	198,124	198,912	204,210
<b>Importación</b>	149,146	146,249	159,097	174,832	185,069
<b>Exportación</b>	154,216	155,524	163,384	173,208	175,868
<b>Consumo nacional aparente</b>	193,222	180,497	193,837	200,536	213,411

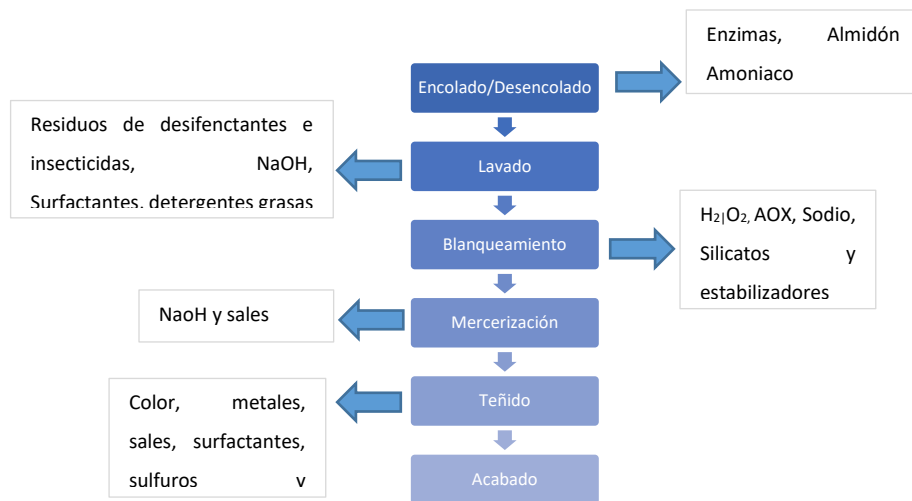
Tomado de la Elaboración con base en información de ANIQ y a la encuesta EMIM

#### Impacto Ambiental de colorantes.

Durante el teñido se generan una gran cantidad de aguas residuales, conteniendo colorantes. En el proceso de teñido textil aproximadamente se pierde un 30% de colorantes, debido a las ineficiencias del proceso. Dada la diversidad de colorantes utilizados, se tiene, además efluentes extremadamente complejos en su composición, con lo cual se necesitan estrategias de saneamiento variadas, lo que dificulta aun más su tratamiento (Nigam *et al.*, 1996).

Ademoroti *et al.* en el 1992, realizaron un estudio de las descargas de efluentes textiles en Nigeria, encontrando que tres procesos tienen la mayor demanda de agua, a saber: blanqueado, calentamiento, y teñido.

En la Figura 6 se muestra el proceso general de teñido en la industria textil, así como los contaminantes generados (Dos Santos *et al.*, 2007).



*Fig. 7. Principales contaminantes involucrados en algunos procesos de la industria textil del algodón.*

Modificado de Dos Santos et al., 2007.

Métodos convencionales (Físico químicos) para el tratamiento de efluentes generados en la industria textil.

Para intentar mitigar los daños causados al ambiente por la descarga de colorantes, diversos métodos se han implementado, tanto métodos químicos, físicos y biológicos. Entre los métodos físicos y químicos se incluyen: absorción, coagulación-floculación, adsorción con carbón activado, oxidación con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), ozonación, ultrafiltración con membranas y métodos electroquímicos y fotoquímicos. Estos métodos no resultan ser tan eficientes y para hacer que funcionen se tienen que cumplir ciertos parámetros.

## Tratamientos Físicos

El saneamiento de las aguas residuales textiles se realiza usando propiedades físicas de los contaminantes, tales como el tamaño de partícula, viscosidad, flotabilidad entre otras. En los elementos típicos de saneamiento podemos encontrar cribado, mezclado, adsorción, desorción, transferencia de gas, flotación, sedimentación y filtración (Noyola, 2000).

### Método de Cribado.

La separación de los materiales se efectúa de manera mecánica, los contaminantes se separan por su tamaño de partícula usando una malla o bien una placa perforada. Las partículas recuperadas se secan y la disposición final es en un relleno sanitario. Estos desechos pueden ser material de plástico (botellas, bolsas) telas, material vegetal vario.

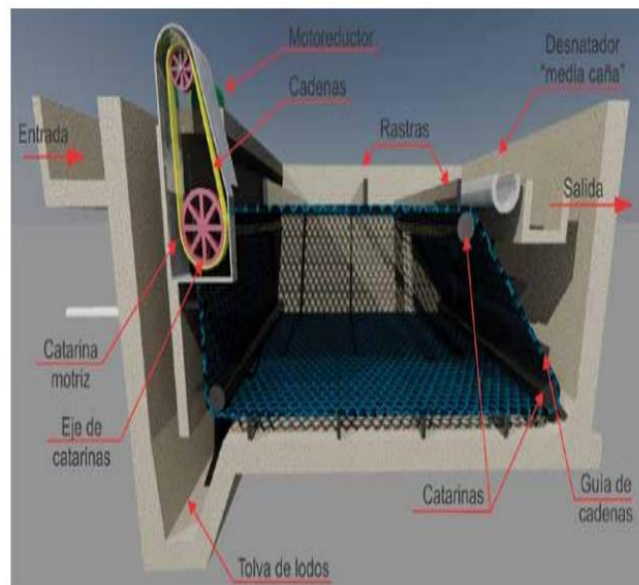


*Fig. 8. Cribado mediante rejillas.*

Tomado de Comisión Nacional del Agua.2019.

## Método Sedimentación.

Este método es un pretratamiento físico que se le da a los efluentes, previo a tratamientos de saneamiento mas eficientes como la filtración y desinfección. Consiste en eliminar partículas pequeñas que se encuentran suspendidas como arena, limo y arcilla. También se eliminan partículas orgánicas. Para llevar a cabo este proceso solo se mantiene el agua en reposo y las partículas, por acción de la gravedad se van depositando en el fondo. Con este método se eliminan los solidos suspendidos en el agua, Fig. 8. (Noyola, 2000).



*Fig. 9. Sedimentador rectangular, con rastas y cadenas para recolección de lodos y natas*

Tomado de Comisión Nacional del Agua.2019

## Método Filtración

Para llevar a acabo la filtración se hace pasar a través de un medio poroso, para poder retirar los contaminantes. El agua ya sin estos contaminantes continua para tratamientos subsecuentes. En general se usan dos tipos de medios filtrantes: membranas y medios porosos tales como grava, arena (Noyola, 2000).

Este método forma parte de otros procesos dada su efectividad, tales como potabilización y depuración de aguas residuales. Igualmente se utiliza para remoción de sustancias específicas usando filtración por membranas, han surgido en los últimos años propuestas de reúso de moléculas recuperadas por filtración. Sin embargo, solo se ha realizado a nivel de laboratorio, quedando pendiente su escalamiento industrial, Fig. 6. (Noyola,2000)



*Fig. 10. Filtrador de membranas para aguas residuales.*

Tomado de Membranas de Tratamiento de Agua y Sus Procesos. (2019)

## Tratamientos Químicos.

En estos procesos, los contaminantes químicos se eliminan del agua, utilizando productos químicos que los precipitan o los absorben, o bien que los oxidan. También se incluyen aquellos procesos que actúan sobre las propiedades químicas de los contaminantes (Sans, 1999).

### Método Precipitación Química.

Esta es la técnica más utilizada para retirar los metales tóxicos de los efluentes. El mecanismo utilizado es transformar a una forma insoluble a los metales iónicos, se retiran los complejos metal-reactivo precipitante por medio de precipitación o filtración (Aguas Residuales, 2020).

### Método Adsorción.

El proceso por el cual los iones, o las moléculas son retenidos sobre la superficie de un sólido, es lo que se denomina adsorción. El sólido recibe el nombre de adsorbente y la sustancia que es adsorbida el nombre de adsorbato. Este método utiliza el carbón activado para el tratamiento de aguas residuales, normalmente se utilizan para el refinado de las aguas procedentes de tratamientos químicos o de tratamientos biológicos (Sans, 1999)

### Ósmosis inversa.

Este es un método ampliamente utilizado en la industria. Cabe mencionar que el agua potable que se comercializa actualmente en nuestro país emplea este método como un

elemento central del proceso de potabilización. Consiste en hacer pasar el agua a través de una membrana. El agua atraviesa la membrana semipermeable (Osmosis Inversa, 2017)

## Biorremediación.

El término de biorremediación es el conjunto de procesos destinados al saneamiento de aguas y suelos utilizando organismos vivos o alguna de sus partes. El concepto de biorremediación empieza a ser empleado a partir de la década de los 80's, y fue la ampliación del concepto de remediación a los entes biológicos (Rodríguez, 2003).

Como sucede con muchas de las tecnologías y definiciones usadas en la biotecnología, encontramos que existen antecedentes del uso de la biorremediación aun cuando no había surgido esta como ciencia, y sin conocer bien el porque funcionaba. Por ejemplo, algunos autores atribuyen el surgimiento algunas técnicas de biorremediación a los romanos, en el tratamiento de sus aguas municipales (Rincón, 2004).

Desde mediados del siglo pasado se iniciaron los primeros desarrollos tendientes a utilizar a los seres vivos para biodegradar contaminantes, especialmente a las bacterias (Novell, 1946). Desde entonces se ha trabajado intensamente para eliminar contaminantes del medio ambiente y restaurar el entorno natural a su estado original (Sasikumar y Papinazath 2003).

La biorremediación es un medio de limpiar los ambientes contaminados explotando las diversas capacidades metabólicas de los microorganismos para convertir los contaminantes a productos inofensivos por mineralización, generación de óxido de carbono (IV) y agua, o por conversión en biomasa microbiana (Baggott, 1993).

Dado que la biorremediación parece ser una buena alternativa a tecnologías convencionales de limpieza investigación sustancial en este campo está aumentando rápidamente (King *et al.*, 1997).

Esta tecnología se basa en capacidad de los sistemas biológicos de degradar, absorber, concentrar los diversos contaminantes para remover o reducir los contaminantes vertidos sea por la industria o por los desechos urbanos. Los principales organismos empleados han sido miembros del reino vegetal o bien procariotas, el empleo de hongos en la biorremediación es relativamente nuevo (Di y Vicien, 2010; Rodríguez, 2003).

Gracias a los estudios realizados en la biorremediación se sabe que se pueden utilizar para eliminar o reducir una gran cantidad de contaminantes de agua y suelos. Actualmente, la biorremediación busca eficientar las técnicas, ya que, si bien se tienen logros importantes, muchos de estos continúan a nivel de laboratorio, o bien su implementación no es tan sencilla como los métodos físico-químicos comerciales. (Rodríguez, 2003).

## Generalidades de la biorremediación.

La EPA define a la biorremediación como la acción de los organismos biológicos vivos, componentes celulares o sus enzimas libres, típicamente, bacterias, hongos, plantas, algas. En ésta se estimula el crecimiento de microorganismos específicos, los cuales utilizan a los contaminantes como fuente de nutrientes. Se ha utilizado para limpiar aguas subterráneas y suelo contaminados con petróleo y/o algunos de sus derivados (US EPA, 2015).

Existen dos grandes procesos de Biorremediación, *in situ* y *ex situ*. El nombre nos indica si los suelos o aguas contaminados serán saneados en el lugar de origen o emplazamiento natural (*in situ*), o bien estos serán desplazados (*ex situ*) para su saneamiento en plantas tratadoras.

### Biorremediación *in situ*.

Como se mencionó este procedimiento es realizado en el emplazamiento natural, la principal ventaja es su bajo costo de implementación. Sin embargo, este tipo de tratamientos son por lo general procesos que emplean mucho tiempo. Su principal desventaja en suelos, es que al ser estos heterogéneos, el saneamiento no es uniforme (Deuren, 2002).

Los tratamientos *in situ* más comunes se presentan a continuación:

#### Bioventeo.

Es una serie de técnicas que aceleran la degradación de compuestos orgánicos bajo condiciones aerobias. Para estimular la acción de los microorganismos se suministra aire en

a través de piezómetros de extracción, o mediante extracción o inyección de aire, con el objeto de suministrar el oxígeno necesario para mantener el metabolismo de los microorganismos degradadores. De esta manera los compuestos orgánicos biodegradables semivolátiles (COSV) o no volátiles son tratados y eliminados. Un beneficio adicional es que los contaminantes adsorbidos se degradan al igual que orgánicos biodegradables volátiles (COV). En suelos contaminados con químicos como: HTP, solventes no clorados, pesticidas y conservadores de la madera, se han obtenido resultados notables (Volke, 2002).

#### Bioestimulación.

Consiste en hacer circular soluciones acuosas que contienen nutrientes y oxígeno, a través del suelo contaminado, estimulando el metabolismo de los organismos presentes de manera natural en el suelo. Es una técnica que se realiza *in situ*. Se ha utilizado exitosamente para la degradación de gasolina, compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos biodegradables semivolátiles (COSV) y pesticidas, en suelos contaminados. Incluso en algunas investigaciones se ha logrado el saneamiento de suelos contaminados con desechos de municiones. A pesar de todas sus bondades el bioventeo no se recomienda para suelos arcillosos, altamente estratificados o demasiado heterogéneos, pues su constitución puede provocar limitaciones en la transferencia de oxígeno. Además, tenemos que otros factores que pueden limitar su aplicación, incluyen: El tipo del suelo, que dificulte el crecimiento microbiano. Y la obstrucción en los piezómetros de inyección, provocada por los microorganismos al crecer (Volke, 2002).

#### Bioaumentación.

Para tratamientos *in situ*, cuando el microbioma no es abundante y en consecuencia su capacidad para biodegradar es mínima, se opta por introducir en el sistema microorganismos que sean capaces de degradar los compuestos presentes en el medio a

remediar. El volumen a adicionar depende de diversos factores como la concentración de las moléculas contaminantes, el área afectada, y la velocidad media de reproducción de los organismos introducidos. La bioaumentación ha tenido resultados positivos en la degradación de nitrofenoles, herbicidas, clorofenoles e insecticidas. Así como en suelos con presencia de metales pesados. Es necesario tener microorganismos que sean eficientes en la degradación de los compuestos contaminantes, para esto se pueden aislar del mismo suelo contaminado, enriquecerlos y seleccionar a los mas eficientes, para finalmente introducirlos en grandes cantidades (Volke, 2002).

### Fitorremediación.

El uso de vegetales en el saneamiento es ampliamente utilizado, principalmente porque en esta tecnología tenemos un efecto sinérgico, pues a la acción de las plantas se suman la acción de los microorganismos asociados a ellas, para mejorar el efecto se realizan labores agronómicas que ayudan en la transformación de los contaminantes al aumenta la interacción en el suelo. La fitorremediación se utiliza para degradar contaminantes orgánicos, así como el tratamiento de contaminantes inorgánicos. En la tabla 6 se enumeran los contaminantes que se han logrado degradar y/o remover, además de las plantas utilizadas (Volke, 2002).

*Tabla 6 Compuestos contaminantes y plantas biorremediadoras.*

Compuestos contaminantes	Plantas biorremediadoras
Compuestos orgánicos: hidrocarburos del petróleo, como benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos (BTEX); solventes clorados; HAP; desechos de nitrotolueno; agroquímicos clorados y organofosforados.	Zea mays L., Panicum maximun Jacq., Paspalum virgatum L., Echinochloa polystachya H.B.K., Sorghum vulgare L., Phaseolus vulgaris L., Phaseolus coccineus L., Chamaecrista nictitans (L.) Moench., Brachiaria
Compuestos inorgánicos: Cd, Cr (VI), Co, Cu, Pb, Ni, Se y Zn.	brizantha (Hochst. ex A. Rich) Stapf., Triticum aestivum L., Hordeum vulgare L.
Metales radioactivos y tóxicos de suelos y agua	

Hecho con información de Volke, 2002.

## Atenuación natural.

Esta opción requiere del modelamiento y evaluación de las velocidades de degradación del contaminante. Durante el proceso, es necesario llevar a cabo muestreo y análisis, para confirmar que la limpieza procede a una velocidad consistente con las metas de limpieza. Los contaminantes que pueden tratarse por esta tecnología.

Esta tecnología puede considerarse para la remediación de contaminantes en suelos, únicamente cuando las condiciones del medio a tratar son compatibles con la tecnología a usar. los factores a considerar son la geología, condición geoquímica favorable, así como un microbioma que degrade los contaminantes. Por lo cual es útil caracterizar y monitorear el sitio a tratar; así como verificar la toxicidad de los compuestos intermediarios y/o productos, es necesario contemplar también la migración de contaminantes antes de su degradación o transformación (Volke, 2002).

## Biolabranza.

En este método la microbiota, compuesta por bacterias, hongos y levaduras, se promueve por medio de la adición de nutrientes y agua, además de airear el suelo al hacer labores de labranza, esto ultimo consiste en hacer surcos de aproximadamente medio metro de alto. El suelo se labra frecuentemente para mantener la homogeneidad tanto de nutrientes como de contaminantes, además de generar mejores condiciones para la microbiota presente. Se controla tanto el pH, aireación y en lo posible la temperatura para incrementar la degradación, para controlar los lixiviados se pueden agregar cubiertas que los absorban. Se han tratado suelos contaminados con combustibles, aceites, PCP, creosota y coque, además de algunos pesticidas. Por su bajo costo es susceptible de emplearse en grandes

superficies. Se utiliza ampliamente en Estados Unidos de América, Canadá, Reino Unido, Holanda, Suiza, Dinamarca, Francia y Nueva Zelanda.

La principal desventaja de la biolabranza es la posibilidad contaminación del agua, tanto en la superficie como en acuíferos. El manejo cuidadoso de los lixiviados productos de la degradación es primordial pues podría contaminar agua, suelos y llegar a la cadena de consumo de alimentos. La principal critica que se hace a esta técnica es que se mezclan suelos contaminados con suelos limpios (Volke, 2002).

#### Biorremediación ex situ.

El tratamiento *ex situ* es mas eficaz que el tratamiento *in situ*, degrada en periodos cortos los contaminantes, el material se trata de manera uniforme, no se contaminan ni suelo, ni agua limpia, por lo cual son mas seguros. Se homogeniza continuamente, los contaminantes permanecen confinados y el material a tratar se libera hasta que es considerado seguro. Sin embargo, sus costos son elevados pues se retira el suelo a tratar, con el consecuente aumento de costos, por la excavación y equipos utilizados (Deuren, 2002).

## Mecanismos de biorremediación.

La Biorremediación se define como el proceso de remediación o saneamiento en el cual se empleen organismo vivos o parte de ellos para degradar total o parcialmente contaminantes presente en suelo o agua (Suarez, 2013)

### *Biodegradación.*

La biodegradación es la descomposición de contaminantes llevada a cabo por microorganismos, en esta los compuestos contaminantes se transforman en sustancias más simples, y contribuyen al reciclaje de nutrientes o a la eliminación de contaminantes en la naturaleza (pesticidas, plásticos, etc.) (Cai, 1993).

Este es un proceso por el cual por reacciones de oxidación y degradación que puede ser simultanea o darse de manera alternada se degradan los contaminantes presentes. La presencia de oxígeno es primordial para llevar a cabo la degradación del material contaminante (Biodegradación enzimática biodegradable, 2018.)

### *Biosorción.*

En este método los compuestos químicos se acumulan en la biomasa microbiana, aun cuando se trate de material biológico muerto. Este método tiene dos fases la Fase sólida la cual actúa como biosorbente y la segunda fase que es líquida que en la mayoría de los casos es agua (Bautista,2008).

La biosorción se utiliza para remover contaminantes que son absorbido por el microbioma o biomasa muerta que puede ser desecho agroindustrial o bien puede tener bajo costo.

Entre estos tenemos carbón activado, plantas, cascarilla de maní, materiales vegetales, materiales celulósicos, bacterias, macrófitas, sustancias húmicas, y algunos tipos de hongos (Donghee y Cols, 2007).

## Micorremediación.

### Antecedentes de la micorremediación.

Para la biorremediación se han usado una gran cantidad organismos. Sin embargo, los hongos no se han utilizado tan ampliamente. Su gran actividad enzimática es útil para la degradación de un amplio rango de compuestos orgánicos. La micorremediación es una de las técnicas más complejas de biorremediación, se refiere específicamente al uso de hongos micelio. Es un proceso donde se usa hongos para degradar o secuestrar los contaminantes en el ambiente contaminado (Thakur, 2014).

Se ha analizado la micorremediación como un procedimiento en donde los sitios más contaminados se convierten en sitios con menos polución; ya que el micelio estimula el desarrollo microbiano y la actividad de las enzimas, por lo tanto, se reduce la producción *in situ* de toxinas (Jagtap *et al.* 2003).

La micorremediación es un método económico y ambiental una buena alternativa para la biorremediación; Los hongos han demostrado que acumulan metales tóxicos e incluso raros elementos de la tierra, son grandes biodegradables y el abono se ha utilizado para mejorar el crecimiento de las plantas (Jagtap *et al.* 2003).

El micelio fúngico puede destruir toxinas en un medio específico, cortando la cadena de suministro y propagación. Este tratamiento es, por lo tanto, un mecanismo para destruir, transformar o inmovilizar contaminantes ambientales (Adenipekun and Lawal, 2012).

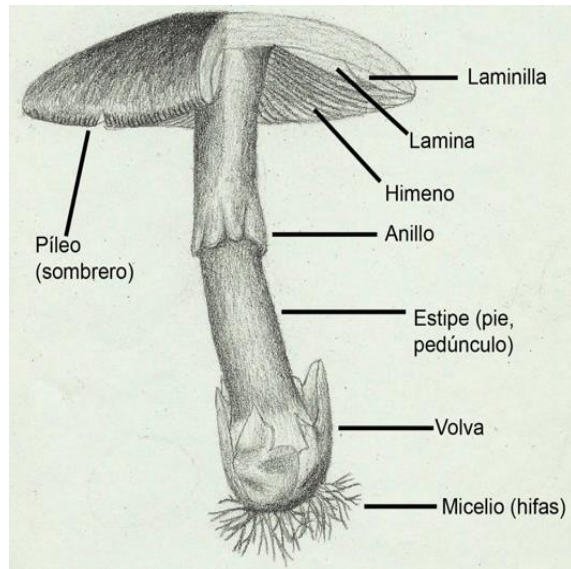
## Hongos.

### Generalidades de los hongos.

Los hongos son organismos eucariontes: Este reino está compuesto por un amplio grupo de especies se han descrito poco mas de quinientos mil individuos, sin embargo, se estima que pueden existir más de un millón y medio de especies. La quitina es el principal componente de su pared celular. Existen dos tipos principales levaduriformes y filamentosos (Mendivil, 1996).

### Anatomía del Hongo.

Los hongos presentan diversas partes en cuanto su anatomía, en primer los podemos clasificar como microscópicos y macroscópicos Figura 10 (Jaumes, 2020). Los hongos están compuestos por micelio, que es un conjunto de hifas, estas parecen filamentos. La pared celular de las células fúngicas contiene quitina, polisacárido presente también en artrópodos (LaEdu.digital 2020).



*Fig. 11. Estructura anatómica de un hongo.*

El carpoforo o esporocarpio es el cuerpo fructífero de los hongos filamentosos, se compone de diversas partes. Entre los Agaricales se reconocen dos principales elementos el estípite (pie) y el píleo (sombrero). debajo del píleo se encuentra una serie de laminillas que sirven como dispersores de esporas. El estípite sostiene al píleo tiene como función elevar, nutrir y sostener el píleo (Courtecuisse y Duhem, 2000).

## Tipos de hongos.

La micorremediación emplea el micelio de hongos seleccionados para remover o degradar contaminantes del ambiente (Stamets, 2005), para mayor información ver tabla 7.

Tabla 7. Hongos utilizados para la biorremediación de contaminantes A.

Tipo de hongo (Género y especie)	Antracenos	Benzopirenos	Arseniato de cobre cromado	Cloro	Fosfonato dimetil metil	Dioxinas	Organo fosforados persistentes	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	Bifenilos policlorados (PCB)	Pentaclorofenoles ("PENTAS")	Trinitotolueno (TNT)	Tipo de degradación [blanca(W), café (B)]
<i>Antrodia radiculosa</i>			x							x		W
<i>Armillaria ostoyae</i>					x							W
<i>Bjerkandera adusta</i>		x						X				W
<i>Gloeophyllum trabeum</i>			x			x						B
<i>Grifola frondosa</i>									x			W
<i>Irpex lacteus</i>								X				W
<i>Lentinula edodes</i>								X	x	x		W
<i>Meruliporia incrassata</i>			x							x		B
<i>Mycena alcalina</i>				x								-
<i>Naematoloma frowardii</i>								x			x	W
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>		x								x	x	W
<i>Pleurotus eryngii</i>						x						W
<i>Pleurotus ostreatus</i>		x			x	x		x	x		x	W

Tomado de Stamets, 2005.

Tabla 8. Hongos utilizados para la biorremediación de contaminantes B.

Tipo de hongo (Género y especie)	Antracenos	Benzopirenos	Arseniato de cobre cromado	Cloro	Fosfonato dimetil metil	Dioxinas	Organo fosforados persistentes	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	Bifenilos policlorados (PCB)	Pentacloro fenoles ("PENTAS")	Trinitotolueno (TNT)	Tipo de degradación [blanca(W), café (B)]
<i>Pleurotus pulmonarius</i>						x					x	W
<i>Psilocybe spp.</i>					x		x					W
<i>Serpula lacrymans</i>			x					x				B
<i>Trametes hirsuta</i>										x		W
<i>Trametes versicolor</i>	x		x		x	x	x			x	x	W

Tomado de Stamets, 2005.

## Especies utilizadas en el proyecto.

### *Pleurotus ostreatus*.

*Pleurotus ostreatus* es basidiomiceto, es un descomponedor primario, se le considera dentro de los hongos de la podredumbre blanca, crece sobre árboles muertos Fig. 12. Su nombre, *Pleurotus* proviene del griego “Pleuro”, significa lateral, refiriéndose a la posición del pie respecto al sombrero. El nombre de la especie: *ostreatus* del latín, forma de ostra, presenta cuerpos fructíferos de diferentes colores (Stamets, 2000).

Este hongo crecer en un amplio rango de temperatura, de 10 a 35 °C, la temperatura óptima de crecimiento es de 20 °C. Humedad relativa de 85 a 90%, y un rango de pH de 5.5- 6.5 (Monterroso, 2007). El sombrero de *P. ostreatus* tiene un diámetro entre 4 a 13 cm, puede alcanza tamaños mayores en condiciones óptimas de fructificación. La superficie puede presentar variaciones de color, que van desde blancos, cafés, grises o azulados. Sus orillas son suaves, delgadas, onduladas (Cardona y Bedoya, 1996;

De acuerdo a Venturella (2007) y CABI (2008), la clasificación de *P. ostreatus* es:

Tabla 9. Clasificación taxonómica de *P. ostreatus*.

<i>Reino</i>	Fungi
<i>División</i>	Basidiomycota
<i>Subdivisión</i>	Basidiomycotina
<i>Clase</i>	Basidiomycete
<i>Subclase</i>	Agaricomycetidae
<i>Orden</i>	Agaricales
<i>Familia</i>	Pleurotaceae
<i>Genero</i>	Pleurotus
<i>Especie</i>	Ostreatus



Fig. 12. Cuerpos fructíferos *Pleurotus ostreatus*.

*Pleurotus ostreatus* al igual que otros hongos de la pudrición blanca, posee aplicaciones biotecnológicas, el sistema enzimático que degrada la lignina los hace capaces de degradar contaminantes orgánicos, dentro de sus enzimas se encuentran oxidasas y lacasas (Sadiq, 2015).

*P. ostreatus* es la especie que más se ha estudiado y la cuál se sabe que funciona en micorremediación. Estudios recientes han demostrado que *P. ostreatus* es capaz de degradar y mineralizar múltiples compuestos químicos, algunos de estos, altamente tóxicos; igualmente degrada hidrocarburos policíclicos aromáticos (PHA's), y compuestos organofosfatados, plaguicidas, Dicloro difenil tricloroetano (DDT) y aguas residuales (Cohen et al, 2000). De acuerdo a Stamets (2005), de todos los hongos cultivados en el mundo, *P. ostreatus* es el más fácil de cultivar. Esta especie se adapta a una amplia gama de sustratos.

## *Agaricus bisporus*

*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach, es basidiomiceto perteneciente a la familia de los Agaricales, se le encuentra en Europa y América del norte, se le conoce como champiñón, del francés *champignon* (seta). Es la especie más cultivada a nivel mundial, se estima que la producción mundial para 2009, fue cercana a los 4 millones de toneladas. Se utiliza extensamente en la gastronomía (Sonnenberg *et al.*, 2011).

Se dice que el origen del cultivo de champiñón se remonta a 1650 en las catacumbas de la ciudad de París por ser espacios que ofrecían las condiciones ideales para su cultivo. Era un lugar ideal para el desarrollo de hongos ya que es muy húmeda y la temperatura no supera los 15° C. De ahí que en un comienzo este alimento se conocía como “Seta de Paris”. (Los secretos de los champiñones, 2019).

El píleo de la especie silvestre original es de color marrón grisáceo pálido, con escamas anchas y planas sobre un fondo más pálido y que se desvanecen hacia las orillas, tienen entre 5 y 10 centímetros de diámetro. El estípite cilíndrico mide hasta 6 cm de alto entre 1 y 2 cm de ancho y tiene un anillo grueso y estrecho, que puede tener rayas en la parte superior. La pulpa firme es blanca, aunque se tiñe de un rojo rosado pálido en los hematomas (Carluccio A. 2003).

Las características de este hongo son sus colores mientras este inmaduro que son entre blanco y café, fig. 13.

Su taxonomía es un poco complicada y fue descrita por el botánico inglés Mordecai Cubitt Cooke en su manual de los Hongos Británicos de 1871 (Cooke MC ,1871).



Fig. 13. Cuerpos fructíferos de *Agaricus bisporus*.

Tabla 10. Clasificación taxonómica de *Agaricus Bisporus*

<i>Reino</i>	Fungi
<i>División</i>	Basidiomycota
<i>Subdivisión</i>	Basidiomycotina
<i>Clase</i>	Basidiomycete
<i>Subclase</i>	Agaricomycetidae
<i>Orden</i>	Agaricales
<i>Familia</i>	Agaricaceae
<i>Genero</i>	<i>Agaricus</i>
<i>Especie</i>	<i>bisporus</i>

## Lentinula edodes

El Shiitake (*Lentinula edodes*) pertenece a la familia de las *Tricholomataceae*, es originario del este de Asia. En Asia crece sobre el árbol *Shii* (*Catanopsis cuspidata*). “Take” del japonés, significa hongo. Por lo cual Shiitake significa hongo del árbol shii. También se le llama hongo perfumado (Fernández, 2015). Es un hongo se que cultivaba tradicionalmente sobre troncos de encino desde hace más de 700 años en China, se usa en la medicina tradicional china y se le atribuyen propiedades sanadoras (Shiitake, 2014).

*Lentinula edodes* es notable por sus características sensoriales, contiene lentinan; el cual se ha mostrado como un agente antiviral y anticarcinógeno. Reduce niveles de colesterol en sangre. Tiene vitaminas B1, B2, B6, B12, riboflavina, niacina, hierro y minerales que son activadores del sistema inmune, tiene el doble de proteínas que los vegetales (Chimara 993; Curvetto *et al.*,2002)

El píleo del shiitake tiene un diámetro de 5-25 cm. de ancho, es convexo, es de color café oscuro, cuando esta en sus primeras etapas es casi negro fig. 14. Con el tiempo se vuelve café claro. sus laminillas son bancas y lisas, con el tiempo son a ser cerradas e irregulares. El estípite es central, corto y por lo general tiene por pequeñas escamas fibrosas. (Stamets, 2000).



Fig. 14. Cuerpos fructíferos de *Lentinula edodes*.

Tabla 11. Clasificación taxonómica de *Lentinula edodes*.

<i>Reino</i>	<i>Fungi</i>
<i>División</i>	<i>Basidiomycota</i>
<i>Subdivisión</i>	<i>Basidiomycotina</i>
<i>Clase</i>	<i>Homobasidiomycetes</i>
<i>Subclase</i>	<i>Agaricomycetidae</i>
<i>Orden</i>	<i>Tricholomatales</i>
<i>Familia</i>	<i>Pleurotaceae</i>
<i>Genero</i>	<i>Lentinula</i>
<i>Especie</i>	<i>Edodes</i>

Tomado de Stamets, 2005

## Producción nacional de Hongos.

En 2012 se produjeron alrededor de 31 millones de toneladas, con un valor de 20,000 millones de dólares. El volumen mundial de hongos comestibles cultivados ha nivel mundial aumentó más de 30 veces desde 1978; (Chang y Wasser, 2012).

México es uno de los países con la mayor variedad de hongos comestibles, de hecho, la producción inició en los años 30's, con el cultivo de champiñón, sin embargo, en los últimos años ha despuntado el cultivo de setas (*P. ostreatus*) y hongo shiitake (*Lentinula edodes*). (Fernández *et al.*, 2004).

La producción de *A. bisporus* es más del 50% de la producción de toda Latinoamérica, el resto se reparte entre *P. ostreatus*, y *L. edodes* principalmente. Desde 1994, en México, el volumen de hongos producidos se incremento un 96%. El monto económico del cultivo de hongos en México supera los doscientos millones de dólares anuales, y genera aproximadamente 25.000 empleos directos e indirectos (Martínez Carrera *et al.*, 2007).

Nuestro país es el principal productor de hongos en Latinoamérica, su producción representa aproximadamente el 80.8 % del volumen total regional, en segundo lugar, se encuentra Brasil con el 7.7 %, Colombia es el tercer productor con 5.2 % (Romero-Arenas *et al.*, 2015).

Las especies más cultivadas son: champiñón y portobello, seta, hongo blanco, shiitake y huitlacoche (Reyes *et al.*, 2009).

Si bien las setas son las segundas mas cultivadas, a nivel de pequeños productores tiene un impacto importante, y representa un alto porcentaje de los ingresos de las unidades domésticas. Además *P. ostreatus* tiene un importante papel en la biotecnología que abarca multitud de campos de aplicación (Akinyele *et al.*, 2012; Andrino *et al.*, 2011)

## Acción enzimática y enzimas involucradas.

Los hongos de la pudrición blanca tienen un activo sistema enzimático, componen un grupo fisiológicamente diverso que incluye basidiomicetos principalmente. Estos hongos son capaces de despolimerizar y mineralizar la lignina, principal constituyente de la pared celular de las plantas (Wesenberg, 2003).

Los hongos degradan la lignina figura 3, es de los principales carbohidratos que, en la naturaleza, es un constituyente de la estructura de las plantas. Las enzimas que degradan la lignina son capaces de degradar colorantes textiles (Echeverría *et al*, 2009).

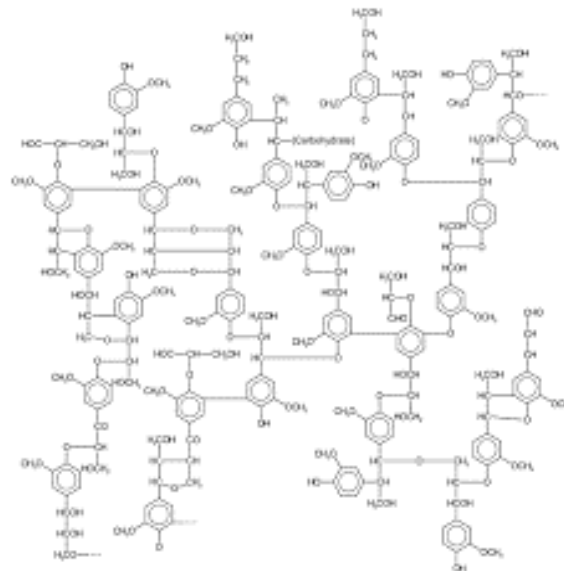


Fig. 15. Estructura típica de la lignina.

Tomada de T. Faravelli *et al.*, 2010.

La degradación de lignina se estima es debido a la acción de tres o más enzimas ligninolíticas extracelulares: Lignina Peroxidasa (LiP), Manganeso Peroxidasa (MnP) y Lacasa (Lac) están entre las más comunes. (Wesenberg, 2003).

Las enzimas fúngicas no son altamente específicas, con lo cual pueden actuar sobre un gran número de sustratos, teniendo efecto no solo sobre la lignina, también sobre múltiples contaminantes que se encuentran en la naturaleza, comprendidos los colorantes (Kaushik y Malik, 2009).

Las enzimas ligninolíticas se obtienen usando cultivos líquidos para su uso en el tratamiento de efluentes textiles. Pero, su costo de producción es elevado y su efectividad no es la mejor, ya los hongos sufren estrés al ser cultivados de esta manera. Las enzimas así obtenidas son menor eficientes y menos estables (Kaushik y Malik, 2009; Wesenberg, 2003)

## **Capítulo II. Metodología.**

## Metodología.

### Solución utilizada.

El reactivo químico empleado en el experimento I y III en este estudio fue de grado comercial para uso doméstico.

El colorante utilizado es el comercialmente conocido como azul disperso 79, es un compuesto con fórmula molecular  $C_{15}H_{13}BrN_2O_4$ , su nombre químico es 2-bromo-4,6-dinitroanilina. Este colorante al ser destinado para su uso al público en general ya tiene todos los aditivos necesarios para su uso

La solución utilizada en el experimento I y III, tuvo una concentración de 0.5%, preparada conforme las instrucciones del vendedor.

En el experimento II se utilizó colorante azul terasyl disperso con auxiliares de persulfato de amonio, EDTA, ácido acético, dispersante.

## Experimento I. Efectos del hongo sobre el colorante.

El experimento se realizó por triplicado.

De los cuerpos fructíferos maduros de cada especie, se separó el píleo y estípite, para utilizarlos por separado. Teniéndolos de manera independiente, se cortaron los cuerpos fructíferos en cubos de 3 mm.

En tubos de ensayo de 10 mL se colocaron 7 mL del efluente a tratar, más 1 gramo del cuerpo fructífero (píleo y estípite) previamente cortado.

Se dejaron reposar los tubos para que la especie entrará en acción y se monitorearon visualmente a las 2, 4, y 24 horas, para constatar si había algún cambio.

### A) *Pleurotus ostreatus*.

Se utilizaron cuerpos fructíferos maduros de *P. ostreatus* que se adquirieron en supermercados de la ciudad.

### B) *Agaricus bisporus*.

Se utilizaron cuerpos fructíferos maduros de *A. bisporus* que se adquirieron en supermercados de la ciudad.

### C) *Lentinula edodes*.

Se utilizaron cuerpos fructíferos maduros de *L. edodes* que se adquirieron en supermercados de la ciudad.

## Experimento II. Curva de absorción.

### A) *Pleurotus ostreatus*.

Se utilizó un espectrofotómetro de UV/Vis con celdas desechables de poliestireno óptico (PS), de 2 ml.

Para instrucciones sobre el manejo del espectrofotómetro consultar el anexo 1.

Para realizar las curvas de absorción del espectro electromagnético por parte del colorante textil, las lecturas se hicieron por triplicado, se utilizó el rango de longitud de onda 200 nm a 900 nm.

Con una micropipeta marca FOURES, Modelo TS-SP 100-1000  $\mu$ L se colocaron alícuotas de 2mL, en la celda del espectrofotómetro con:

A) Efluente textil sin tratar.

C) Efluente textil tratado por 24 horas, con cuerpos fructíferos de *P. ostreatus*.

Para cada muestra se hizo la lectura de absorción en el rango de longitud de onda 200 nm a 900 nm.

Se compararon las lecturas de los efluentes textiles tratado y sin tratar.

### Experimento III. Efecto del pH sobre el efluente textil.

El experimento se realizó por triplicado.

En tubos de ensaye de 20 ml, se colocaron alícuotas de 10 ml del efluente a tratar.

Se midió el pH del efluente inicial con un potenciómetro del laboratorio. Una vez conocido el pH del efluente se procedió a realizar el cambio de pH.

- A) Se acidifico el efluente en 1, 2 y 3 unidades diferentes como se muestra en la tabla 12 utilizando HCl 1N.

El pH inicial fue de 5.5

*Tabla 12 Acidificación*

<b>Número de prueba</b>	<b>pH final.</b>
Prueba 1.	4.5
Prueba2	3.5
Prueba3	2.5

- B) Se alcalinizó el efluente en 1, 2 y 3 unidades diferentes como se muestra en la tabla 13 utilizando NaOH 1N.

pH inicial de 5.5

*Tabla 13 Alcalinización.*

<b>NUMERO DE PRUEBA</b>	<b>pH</b>
Prueba 1.	6.5
Prueba2	7.5
Prueba3	8.5

Después de realizar el cambio de pH se dejaron los tubos aislados durante 24 horas  
Pasado el tiempo se hizo una verificación visual para comprobar si había algún cambio al  
modificar el pH inicial.

#### Experimento IV. Inactivación de enzimas.

El experimento se realizó por triplicado.

De los cuerpos fructíferos (píleo y estípite) maduros de cada especie se cortaron cubos de 3 mm.

En tubos de ensaye de 10 mL se colocaron 7 mL de agua destilada, a este tubo se le colocó 1 gramo del cuerpo fructífero por separado de cada especie previamente cortado. Los tubos se colocaron a temperatura de ebullición, durante 20 min, durante este tiempo la temperatura se mantuvo constante.

Terminado el tiempo de tratamiento térmico se dejó enfriar durante 2 horas a temperatura ambiente.

Posteriormente se colocó 1 gramo del cuerpo fructífero inactivado, a tubos de ensaye de 10 mL con 7 mL de efluente del colorante textil. Los tubos se estuvieron monitoreando visualmente a las 2, 4, y 24 horas, para constatar si había algún cambio.

Se usaron los siguientes hongos

A) *Pleurotus ostreatus*.

B) *Agaricus bisporus*.

C) *Lentinula edodes*.

### **Capitulo III. Resultados y conclusión.**

## Resultados

### Experimento I Efectos del hongo sobre el colorante.

Los resultados de las experimentaciones permiten intuir que la especie de *P. ostreatus* tenía mayor actividad para generar flóculos.

El efecto a las 2 horas como se muestra en la tabla 14, resulto ser nulo para las 3 especies *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes*, no hubo formación de bacterias y el efluente se mantuvo estable y sin algún cambio notorio.

Tabla 14 Resultados del efecto a las 2 horas.

	<i>Pleurotus ostreatus.</i>			<i>Agaricus bisporus.</i>			<i>Lentinula edodes.</i>		
Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Estípite	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Píleo	—	—	—	—	—	—	—	—	—

### Resultados del Efecto a la 4ª hora.

A partir de la cuarta hora la especie de *Pleurotus ostreatus* comenzó a tener actividad, y se comenzaron a formar flóculos más rápido, por su parte *Lentinula edodes* demostró poca actividad para la generación de flóculos, a partir de esta hora seguía sin haber crecimiento bacteriano para las 3 especies, la parte del hongo que más demostró actividad fue el estípite generando el doble de flóculos que el píleo, mientras que *Agaricus bisporus* por su parte tuvo actividad mínima para la formación de flóculos, como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15 Resultados del efecto a las 4 horas.

	<i>Pleurotus ostreatus.</i>			<i>Agaricus bisporus.</i>			<i>Lentinula edodes.</i>		
Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Estípites	++	++	+	—	—	—	+	+	+
Píleo	+	+	+	—	—	—	+	+	+

Resultados del efecto a las 24 horas.

Los resultados pasadas las 24 horas fueron muy favorables y exitosos para *Pleurotus ostreatus*, las 3 repeticiones utilizando esta especie y estípites tuvieron mayor actividad dentro del colorante esta especie fue favorable para generar flóculos, mientras que píleo fue medianamente exitoso ya que en 24 horas no se logró el 100% de la generación de flóculos del colorante, *Pleurotus ostreatus* fue la especie que fue más eficiente y resultó ser mejor en comparación a las otras dos especies (*Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes*).

*Lentinula edodes* fue una especie que a pesar de ser un poco tardía en actuar en el efluente para generar flóculos, tardó alrededor de 36 horas en provocar una precipitación total del colorante, tuvo 3 fenómenos, pues no solo generó floculación sino que absorbió el colorante y hubo una decoloración del mismo, la parte de este hongo que más tuvo efecto fue el estípites, esta especie tuvo una desventaja que fue que a partir del día 4 el efluente totalmente limpio comenzó a turbarse, esto puede explicarse por crecimiento bacteriano .

La especie *Agaricus bisporus* no generó tanta cantidad de flóculos y de las 3 especies fue el que menos efecto tuvo, la precipitación se dio hasta después de 48 horas esta fue

moderada en la utilización de estípite y fue escasa en cuanto el uso de píleo, la generación de bacterias fue exponencial suponemos que es por la forma de cultivo ya que para el crecimiento se usa suelo de cobertura para la fructificación, este suelo al ser poroso da pie a que crezcan bacterias y contaminen el cuerpo fructífero.

Tabla 16 Resultados del efecto a las 24 horas.

	<i>Pleurotus ostreatus.</i>			<i>Agaricus bisporus.</i>			<i>Lentinula edodes.</i>		
Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Estípite	++++	++++	++++	++	++	++	+++	+++	+++
Píleo	+++	+++	+++	+	+	+	++	++	++

## Explicación de nuestro método de clasificación por grado de precipitación

Ya que no contábamos con el equipo necesario para hacer las mediciones en cuanto al grado de floculación y disminución del colorante, optamos por hacer una clasificación visual y definir la manera en que se veía el efluente y su progreso. (Tabla 17)

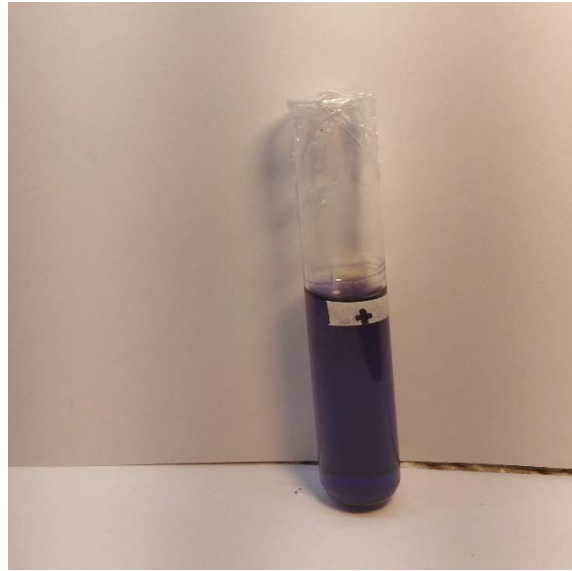
Tabla 17. Graduación de precipitación de floculación, de acuerdo a los símbolos usados.

Símbolo	Grado de precipitación	Imagen
=	Sin precipitación	

---

**+**

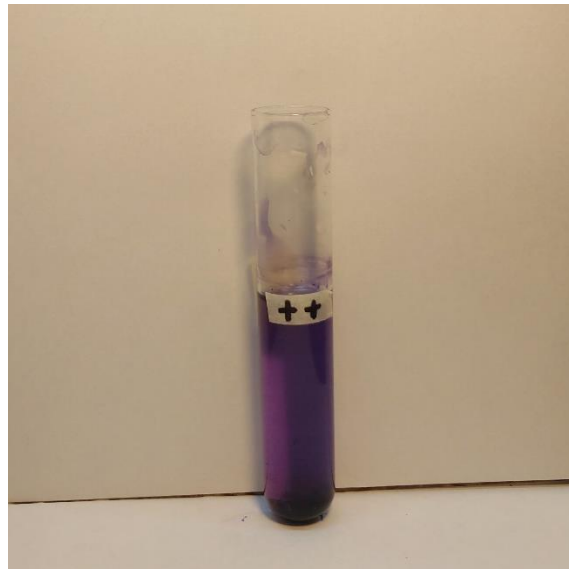
**Precipitación  
escasa**



---

**++**

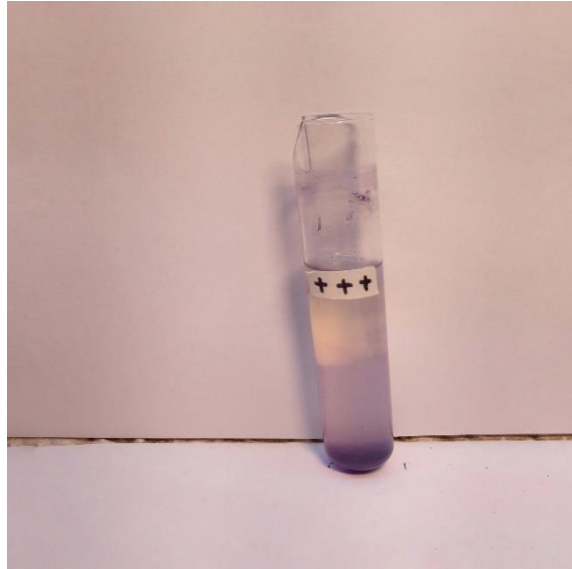
**Precipitación  
moderada**



---

+++

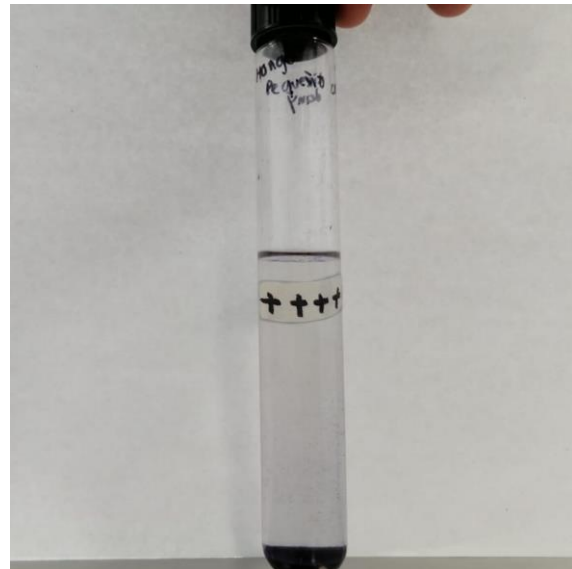
Precipitación  
abundante



---

++++

Precipitación  
total



|

## Experimento II Curva de absorción.

En la Fig. 16. se presentan las curvas de absorbanza de Azul terasyl concentrado y del Azul terasyl tratado.

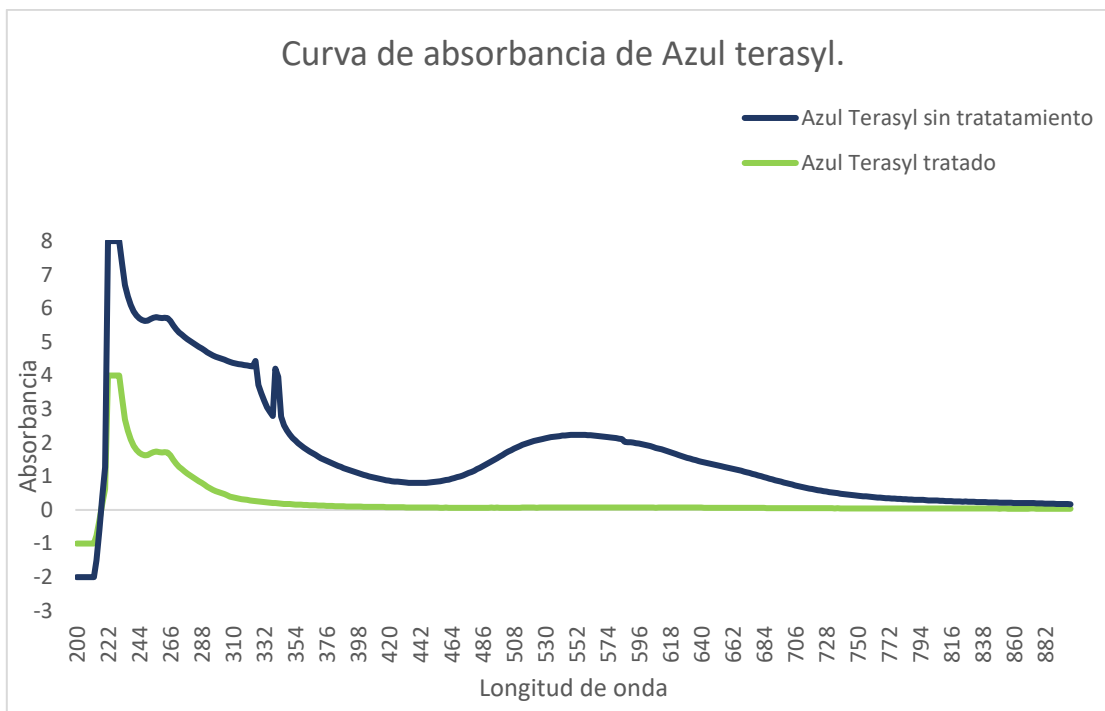


Fig. 16. curvas de absorbanza de Azul terasyl concentrado y del Azul terasyl tratado.

### Experimento III Efecto del pH.

Los resultados que se obtuvieron al añadir la solución de ácido y la solución alcalinizadora fueron nulas en cuanto a la generación de flóculos, ya que no se observó ningún cambio y el efluente se mantuvo estable.

Tabla 18. Efecto a 2 horas.

	HCl			NaOH		
PH	3.5	4.5	5.5	7.5	8.5	9.5
Azul disperso	-	-	-	-	-	-

Tabla 19. Efecto a 4 horas.

	HCl			NaOH		
PH	3.5	4.5	5.5	7.5	8.5	9.5
Azul disperso	-	-	-	-	-	-

Tabla 20. Efecto a 24 horas.

	HCl			NaOH		
PH	3.5	4.5	5.5	7.5	8.5	9.5
Azul disperso	-	-	-	-	-	-

- = sin precipitación

+ = precipitación escasa;



*Fig. 17. Resultado de variación de pH.*

#### Experimento IV Inactivación de enzimas.

Al aplicar un cambio térmico en los cuerpos fructíferos del hongo se esperaba que hubiese un cambio, que la formación de flóculos se realizaría más rápido o que la formación fuera nula, pero los resultados demostraron que la floculación fue exitosa aunque más tardía, en el sistema contamos 24 horas para que el cuerpo fructífero de la especie de *Pleurotus ostreatus* presentará el fenómeno de floculación, en realidad notamos que no se generó gran cantidad de colorante sedimentado, y lo clasificamos como precipitación moderada en el sistema, esta especie también generó formación de bacterias al pasar las 36 horas, pero el sobrenadante se mantuvo incoloro y el colorante sedimentado Fig. 17.

Para la especie de shiitake la generación de flóculo se clasificó como precipitación abundante de las tres especies fue la que demostró ser más eficaz para la formación de flóculo y la que tardó alrededor de 32 horas en sedimentar el flóculo del colorante, esta especie no generó crecimiento bacteriano., mucho del precipitado fue absorbido por el cuerpo fructífero y funcionó mejor el estípite para la sedimentación del color.

*Agaricus bisporus* tardó 36 horas en formar el flóculo y esta especie no demostró ser tan eficaz, y hubo crecimiento de bacterias, y el olor era muy fuerte.



Fig. 18. Efecto de hongos inactivados sobre efluentes textiles.

## Discusión de resultados.

Se esperaba tener solamente el efecto de floculación al tratar el efluente textil con diferentes especies de hongos. Sin embargo, al tratar el efluente con los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus*, *A. bisporus* y *L. edodes*, se encontró que además de la floculación se obtenía degradación y absorción.

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes en nuestro caso mediante floculantes orgánicos, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su precipitación y posteriormente su decantación y filtrado. La decoloración es un proceso físico donde hay una disminución del colorante en un medio en este caso nuestro efluente. Y la absorción es un fenómeno donde el sistema utilizado para el saneamiento del efluente provoca que nuestra especie de hongo, absorbiera el color que contenía el efluente textil.

Respecto a tratamiento térmico, se esperaba inhibir la floculación al inactivar por medio de desnaturalización térmica las enzimas presentes en los hongos, especialmente, lacasa, la cual es reportada frecuentemente como la causante de la degradación de colorantes en partículas y de compuestos orgánicos en general. Sin embargo, se continuó presentando el fenómeno de floculación, ciertamente la formación de flóculos y su precipitación fue mas lenta, aunque se logró la precipitación total. Esto indicaría que el fenómeno de floculación no es generado por enzimas, o bien, que la floculación es generada por enzimas termoresistentes. Se especulaba al inicio sobre la posibilidad que la floculación fuese generada por la acción de la quitina, compuesto mas abundante en los hongos, sin embargo, el hecho de que en los tubos de ensaye que contenían cuerpos fructíferos tratados térmicamente; el efecto de floculación se presentó de manera normal, a menor velocidad, pero finalmente se alcanzó la precipitación total. Si este efecto de floculación fuese debido a la quitina, los flóculos se generarían en la interfaz del efluente y el hongo. Sin embargo, los flóculos se generaron en todo el volumen del efluente bajo tratamiento. Lo cual indica

que la molécula que causa la floculación se encontraba distribuida de manera homogénea en el efluente bajo tratamiento.

De acuerdo con las gráficas de absorbancia de azul terasyl tratado y sin tratar, podemos observar que, al ser tratados los efluentes, estos pierden color, lo cual coincide con lo que se puede apreciar de manera visual en los tubos de ensaye.

En la curva de absorbancia del efluente de azul terasyl sin tratamiento podemos observar un pico a 222 nm con una clara disminución en la absorbancia. Teniendo los valores más bajos a los 442 nm, Posterior a este punto se tiene un aumento en la absorbancia lo que genera una curva que tiene su máximo a los 552 nm aproximadamente. Esto coincide con lo reportado en la literatura especializada, y que corresponde a la absorbancia del azul terasyl.

En la curva de absorbancia del efluente de azul terasyl tratado, podemos observar solo un pico en la curva de absorbancia, a los 222 nm, la absorbancia disminuye consistentemente y en el rango de 244 a 246 nm permanece constante, posteriormente disminuye hasta llegar prácticamente a cero de absorbancia.

El rango de luz visible va desde 400 a 700 nm. Por lo cual en el efluente solo se puede observar la curva que está a los 552 nm. En el efluente sin tratar se observa claramente que está presente esta curva. En el efluente sin tratar no puede observarse esa curva.

Con esto se demuestra que el colorante no se encuentra suspendido en el agua.

### **Conclusiones.**

Podemos concluir con base en los experimentos realizados, que se observaron tres fenómenos en los efluentes textiles:

Como conclusión podemos decir que en los experimentos observamos tres fenómenos

- Floculación del colorante disperso
- Decoloración del efluente
- Absorción del colorante por parte del hongo

Cada especie de hongo se comportó de manera diferente frente al colorante. Siendo *P. ostreatus* el más eficiente. *Pleurotus ostreatus*, en cuanto a rapidez de floculación. Este hongo produjo una precipitación total del colorante, tanto, cuando se utilizó cuerpo fructífero crudo, como cuerpo fructífero con tratamiento térmico. El estípite a parte presenta mayor efecto en la velocidad de floculación con respecto al píleo. Por otra parte, al hacer tratamiento térmico la floculación fue más lenta, y el tamaño de los flóculos de menor tamaño.

*Agaricus bisporus*, no fue eficiente considerando en la floculación, ya que la cantidad de flóculo que generó fue inferior a las otras dos especies; además de que tardó más de 24 horas en tener reacción. En cuanto al cuerpo fructífero con tratamiento térmico, *A. bisporus* presentó absorción, se observó que el cuerpo fructífero se tiñó con el colorante. A las 24 horas la decoloración fue moderada y la total decoloración después de 48 horas.

*Lentinula edodes*, fue el que presentó los tres fenómenos, el flóculo era menos evidente y observamos que se precipitó. Los cuerpos fructíferos con tratamiento térmico, presentaron una mayor absorción, la floculación se hizo más lenta que sin tratamiento térmico, tardando 8 horas más que usando el hongo sin tratamiento térmico.

También se determinó que el pH no induce ningún cambio en el efluente, ya que, al modificar el pH, tanto acidificándolo como alcalinizándolo, no se presentó ni floculación, ni decoloración.

Al hacer el tratamiento térmico se pudo comprobar que los hongos tomaban más tiempo en tener en generar la floculación, con respecto a los cuerpos fructíferos sin tratamiento térmico. el sistema se volvió totalmente transparente 36 horas después.

No se tiene evidencia concluyente de que la molécula que genera la floculación sea o no una enzima, sin embargo, el comportamiento de esta molécula en los diversos experimentos nos induce a pensar que se trata de una enzima termoresistente.

## Literatura citada.

- ¿Qué es el Poliéster? (2021). Hiladosdealtacalidad.com.  
<https://www.hiladosdealtacalidad.com/que-es-el-poliester>.
- Adams EQ. 1923. A theory of colour vision. *Psychological Review*.
- Ademoroti, A., Ukponmwan, O., Omode, A. 1992. Studies of textile effluent discharges in Nigeria. *Int. J. Environ. Stud.*
- Adenipekun C. O. and Lawal R. 2012. Uses of mushrooms in bioremediation: A review. En *Biotechnology and Molecular Biology* . Department of Botany, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria
- Adenipekun, C.O, Ogunjobi, A.A. and Ogunseye, O.A. 2011. Management of polluted soils by a white-rot fungus, *Pleurotus pulmonarius*. *Assumption Univ. J. Tech. Journal of Environmental Science*.
- Agarwal, R., Lata, S., Gupta, M., & Singh, P. 2010. Removal of melanoidin present in distillery effluent as a major colorant: a review. *Journal of Environmental Biology*.
- Aguas residuales y lodos. 2020. *Minerales y productor de cal*.
- Akinyele, B., J. Fakoy., and C. Adetuyi. 2012. Anti-Growth Factors Associated with *Pleurotus ostreatus* in a Submerged Liquid Fermentation. *Malaysian Journal of Microbiology*.
- Amjad, A.K. Qayyum, h. 2007. Decolorization and removal of textile and non-textile dyes from polluted wastewater and dyeing effluent by using potato (*Solanum tuberosum*) soluble and immobilized polyphenol oxidase. *Bioresource Technology*.
- Anabella A., D., & Silva, H. 2018. Evaluación toxicológica del agua residual textil (proceso denim) vertida al río Atoyac tesis para obtener el grado de maestro en ciencias.
- Andrino, A., A. Morte., y M. Honrubia. 2011. Caracterización y cultivo de tres cepas de *Pleurotus eryngii* (Fries) Quélet sobre sustratos basados en residuos agroalimentarios. *Anales de biología*
- Arroyo López, María del Pilar Ester; Cárcamo Solís, María de Lourdes. 2010. La evolución histórica e importancia económica del sector textil y del vestido en México *Economía y Sociedad*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, México.

- Bae S.J, Freeman S.H. y Kim D.S. 2006. Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem. *Fiber Polymer*.
- Baggott J (1993) Biodegradable lubricants. A paper presented at the Institute of Petroleum Symposium: "Life cycle analysis and eco-assessment in the oil industry," Nov. 1992. Shell, England.
- Banco de México. 2005. Política Monetaria. Programa para 2005. Website: <http://www.banxico.org.mx/bPolitica>.
- Bautista Hernández Dorian Antonio. 2008. Bioadsorción de metales pesados mediante el uso de biomasa bacteriana aislada de jales mineros tesis para maestría, Edo de México.
- Biodegradación enzimática - biodegradable. 2018. Retrieved from biodegradable.
- BioEnciclopedia. 2015. Anatomía de los Hongos - BioEnciclopedia. BioEnciclopedia | Biodiversidad, Animales, Medio Ambiente, Vida. <https://www.bioenciclopedia.com/anatomia-de-los-hongos/>.
- Bishop P. L, Coughlin M. F., Kinkle B.K. 1998. Degradation of acid orange 7 in an aerobic biofilm. *Chemosphere*.
- Bishop P. L. y Jiang H. 1994. Aerobic biodegradation of azo dyes in biofilms. *Wat. Sci. Technol*.
- Bishop, P. 1996. The biodegradation of textiles dyes using biofilm treatment systems. En: *Biodegradación de compuestos orgánicos industriales*.
- Borneman, J. 2015. Fibras Manufacturadas Continúan su Crecimiento Textiles Panamericanos. [https://textilspanamericanos.com/textilspanamericanos/articulos/2015/02/fibras-manufacturadas-continuan-su-crecimiento/](https://textilspanamericanos.com/textiles-panamericanos/articulos/2015/02/fibras-manufacturadas-continuan-su-crecimiento/).
- Buchanan Rita. 1987. *A Weaver's Garden: Growing Plants for Natural Dyes and Fibers*. Mineola New York : Dover Publications INC, 1987.
- Buitron, G. 1996. Biodegradación aerobia de compuestos xenobióticos. En: Kuppasamy, I. Y Briones, R. (Eds) *Biodegradación de Compuestos Orgánicos Industriales*. UNAM, Instituto de Ingeniería, DF, México.
- CABI (Centro internacional para agricultura y biociencias), 2008. *Species Fungorum* (en línea). Estados Unidos. en: <http://www.indexfungorum.org/Names/SynSpecies.Asp?RecordID=17422>

- Cai D, Tien M. 1993. Lignin-degrading peroxidases of *Phanerochaete chrysosporium*.
- Cardona, L.F. y Bedoya, A. 1996. Producción de orellanas (*Pleurotus ostreatus*), deshidratadas y condimentadas. Trabajo de grado M.Sc. (Ciencia y Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Carliell. 1995. Decolorization of Wastewater; Critical Reviews in Environmental Science and Technology.
- Carluccio A. 2003. The Complete Mushroom Book. Quadrille.
- Chang, S.T., and S. P. Wasser. 2012. The role of culinary medicinal mushrooms on human welfare with a pyramid model for human health. *Int J Med Mushrooms*.
- Chimara, G. 1993. Aspectos medico de lentinan aislado de *Lentinus edodes* (Berk). Singer, en *Mushroom Bioogy, concise Basics and current developments*. Primera edición. Miles Philip & Chang Shu-Ting. World Scientific. Singapore.
- Christie R. 2001. *Colour Chemistry*. Cambridge, United Kingdom: The Royal Society of Chemistry.
- Christie R. M. 2003. *La química del color*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Cohen Y. 2001. Biofiltration- The treatment of fluids by microorganism immobilized into the filter bedding material: A review *Bioresource Technology*.
- Comisión Nacional del Agua. 2019 . Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. En *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*.
- Cooke MC. 1871. *Manual de hongos británicos*. 1 . Londres: Macmillan and Co
- Courtecuisse, R. y Duhem. B. 2000. "Guide des champignons de France et d'Europe" Ed. Delachaux et Niestlé, Lausanne-Paris.
- Cruz Ojeda Arturo. 2000. Degradación de colorantes dispersos tipo monoazo a través de un proceso anaerobio/aerobio. Tesis.
- Curvetto, N.; Figlas D. and Delmastro, S. 2002. Sunflower seed hulls as substrate for the cultivation of Shiitake mushrooms. *Hort Technol*.
- Deuren Van J, 2002. *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*. 7

- Di Paola, M, Vicien C. 2010. Biorremediación: vinculaciones entre investigación, desarrollo y legislación. Argentina: CEUR-CONICET.
- Domos Agua. 2018. Plantas de Tratamiento de Agua en la Industria Textil. Domosagua.com <https://www.domosagua.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-en-la-industria-textil>.
- Donghee, P., Yeoung-Sang, Y., Chi Kyu, A., Jong Moon, P. 2007. Kinetics of the reduction of hexavalent chromium with the brown seaweed *Ecklonia* biomass. *Chemosphere*.
- Dos-Santos A., Cervantes F. y Van-Lier J. 2007. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B. 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? *Mar. Pollut. Bull.*
- Echavarria A. M, M. I. Montoya, V. A. López, and A. Hormaza. 2009. Biodegradación Azu Brillante adsorbido sobre residuos de flores,|| Revista del evento IV Simposio sobre Biofábricas.
- Fernández Guridi. 2015. SHII-TAKE | Hongos (Hongosfernandezguridi.com. <http://hongosfernandezguridi.com/shitake/>
- Fernández, J. L., Benítez, D. E., Gómez, I., Souza, A., Espinosa, R. 2004. Rendimiento de MS y contenido de proteína bruta del pasto *Panicum maximum* vc likoni en un suelo vertisol de la provincia Granma. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola*.
- Fernández Marta Laura. 2012. Teñido Reactivo pH, el secreto Artículo REIMSAC.
- Ferrer-Dalmau. 2020. Procesos y maquinaria en la industria textil – Textil, from Textil | Ferrer-Dalmau website: <https://fdtextil.es/procesos-y-maquinaria-en-la-industria-textil/>.
- Flores, P.M., Torras, O.S and Téllez, G.R. 2004. Medidas de contaminación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre. México: Secretaría de Telecomunicaciones y Transporte.
- Gacén, I. 2004. “Modificación de la estructura fina de las fibras de PET en el termofijado y en su tintura posterior. Tintura competitiva de sustratos termofijados a temperaturas vecinas”, from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. *Journal*.
- Gacén, J. 1991. “Fibras de poliéster” 2ª Edición Ampliada, Ed: UPC, Terrassa.

- Gamboa Leticia. 1985. Los empresarios de ayer: el grupo dominante en la industria textil de Puebla 1906-1929, Puebla. Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla.
- Gestel, C. A. M. 2020. Exploring the impacts of plastics in soil – The effects of polyester textile fibers on soil invertebrates. *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134451>.
- Guirola, C., Herrera S. 2010. Tintes naturales; su uso en Mesoamérica desde la época prehispánica. Asociación Flaar Mesoamérica 2010.
- Gupta, V.K. Suhas. 2009. Application of low Application of low-cost adsorbents for dye removal. A review. *Journal of Environmental Management*.
- Gutiérrez Rodríguez P. 2020. Puebla, dentro de las 10 entidades con mayor producción en la industria textil y de la confección: Inegi Puebla Economía y Ecología, La Jornada de Oriente. <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/puebla-dentro-de-las-diez-entidades-con-mayor-produccion-en-la-industria-textil-y-de-la-confeccion-inegi>.
- H.D Mansilla, C. Lizama, A.Gutarra, J. Rodriguez. 2007. Tratamiento de residuos de la industria de celulosa y papel. <http://www.cnea.gov.ar/ambiental/CYTED/20cap13.pdf>.
- Handal-Silva, Anabella, Pérez Castresana, Gabriela, Morán Perales, José L., García Suastegui, Wendy. 2017. Historia hídrica de la contaminación del Alto Balsas. *Ciencias Naturales y Exactas*.
- Hiladosdealtacalidad.com. 2021. ¿Qué es el poliéster? <https://www.hiladosdecalidad.com/que-es-el-poliester>.
- Holland Alison. 2015. Disperse Dyes for Dyeing and Printing. En *Dyes and Dyeing Printing*. <https://quantiasolutions.com/poliester-una-oportunidad-sostenible/>.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2004. Industria Textil del Vestido en México. Serie de Estadísticas Sectoriales. México.
- Jaffe, M., Easts, A. J., & Feng, X. 2020. Polyester fibers. *Thermal Analysis of Textiles and Fibers*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100572-9.00008-2>.
- Jagtap, V.S., Sonawane, V.R., Pahuja, D.N., Rajan, M.G. 2003. An effective and better strategy for reducing body burden of radiostronium *Journal of Biotechnology*.
- Jaumes Carles El mundo de los hongos principalcas. 2020. *Tinet.cat*. <https://usuaris.tinet.cat/fongs/principalcas.htm>

- Kandelbauer A. y Guebitz G.M. 2005. Bioremediation for the decolorization of textile dyes - a review. En *Environmental Chemistry* (Editores: Lichtfouse E, Dudd S, Robert D) Springer Berlin Heidelberg.
- Kaushik P y A. Malik. 2009. Fungal dye decolourization: recent advances and future potential.,|| *Environment international*.
- Kelley, C, Gaither, K. K., Baca-Spry, A., Cruickshank, B. J. 2000. Incorporation of phytoremediation strategies into the introductory chemistry laboratory. *Chem Educator*.
- King RB, Long GM, Sheldon JK (1997). *Practical Environmental Bioremediation: the Field Guide*, 2nd ed., Lewis, Boca Raton, FL.
- Kirk-Othmer. 2004. *Encyclopedia of Chemical Technology*, v. 7, 5th Edition. Wiley-Interscience.
- Konsowa H. 2003. Decolorization of wastewater containing direct dye by ozonation in a batch bubble column reactor, *Desalination*.
- Kuhad RC, Sood N, Tripathi KK, Singh A, Ward OP. 2004. Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Adv. Appl. Microbiol*.
- Leon R.C., Sood N., Tripathi K.K., Singh A. y Ward O.P. 2004. Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Adv. Appl. Microbiol*.
- LaEdu.digital. 2020. Hongos, anatomía y clasificación. <https://laedu.digital/2020/07/13/hongos-anatomia-y-clasificacion/>
- Lahmann, O., D.L. Rinker. 2004. Mushroom practices and production in Latin America: 1994-2002. In: Romaine, C.P., D.L. Rinker, D.J. Royse (eds.). *Science and cultivation of edible and medicinal fungi*, vol. 16. Penn State Univ., Pennsylvania.
- Leon J. Warshaw. 1998. *La industria textil: historia y salud y seguridad*. México.
- Lewin, M., y Pearce, E. M. 1985. "Handbook of Fiber Science and Technology: Fiber Science and Technology: Fiber Chemistry", Volume IV, Marcel Dekker.
- Los secretos de los champiñones. 2019. La seta de París (champiñon de Paris): historia y cultura PARISCityVISION. [Pariscityvision.com. https://www.pariscityvision.com/es/gastronomia/paseos-gastronomicos/seta-de-paris.](https://www.pariscityvision.com/es/gastronomia/paseos-gastronomicos/seta-de-paris)

- Lu, H., Zhou, J., Wang, J., Ai, H., Zheng, Ch. Yang, Y. 2007. Decolorization of anthraquinone dye intermediate and its accelerating effect on reduction of azo dyes by *Sphingomonas xenophaga* in anaerobic-aerobic process. *Biodegradation*.
- M Jaberidoost. 2005. *Dyes and Colorants*. En Tehran University of Medical Sciences Tehran.
- M. Clark. 2011. *Handbook of textile and industrial dyeing*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Maldonado. 2010. El proceso de teñido de telas, tendencias textiles de tintorerías. Artículo Publicado en *Industria Textil Tecnología*.
- Manu B. y Chaudhari S. 2002. Anaerobic decolorization of simulated textile wastewater containing azo dyes. *Biores. Technology*.
- Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla, W. Martínez. 2007. La cadena de valor de los hongos comestibles de México. Universidad Veracruzana. Xalapa.
- Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., & Martínez, W. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: El sistema de producción consumo de los hongos comestibles. In J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata, & H. Leal (Eds.), *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*
- Mathialagan T., Viraraghavan T. y Cullimore D. 2003. Adsorption of cadmium from aqueous solutions by edible mushrooms. *Water Quality Research Journal of Canada*.
- McIntyre, J.E. 2005. "Synthetic fibres: nylon, poliester, acrylic, polyolefin", Woodhead publishing in textiles. The Textile Institute. CRC Press, Cambridge.
- McKinney, Michael; Schoch, Robert. 2012. *Environmental science: systems and solution*, Jones and Bartlett Publishers.
- Mendivil, J., 1996. *Basidiomicetes: setas y hongos de Aragón, Aragón*.
- Mes Jurriaan. 2011. Breeding and strains protection in the button mushroom *Agaricus bisporus*.
- Mireia. 2018. Lo que debes saber sobre la industria textil en México Ibercándor. Ibercondor. <https://ibercondor.com/blog/la-industria-textil-mexico/>.
- Miretzky, P., Saralegui, A., Fernández-Cirelli, A. 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*.
- Mishra, A., Bajpai, M., Pandey S. 2006. Removal of dyes by biodegradable flocculants: a lab scale investigation. *Science Technology*.

- Monterroso Flores, O.G. 2007. Efecto de la suplementación de la caña de maíz (*Zea mays* L.) con nitrato de amonio, nitrato de potasio y urea en el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* (Cepa ECS- 152). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC.
- Naik, A. 1991. "Hilatura. Técnicas actuales" 2ª edición, Ed: UPC, Terrassa.
- Nigam, P., Armour, G., Banat, M., Singh, D., Marchant, R. 2000. Physical removal of textile dyes and solid. International Conference on Mushroom Biology and Mushrooms Products, Arcachon.Iran: Elsevier Inc.
- Nigam P, Banat I.M., Singh D. y Marchant R. 1996. Microbial process for the decolorization of textile effluent containing azo, diazo and reactive dyes. *Process Biochem.*
- Noyola Robles Adalberto, Eduardo Vega González Judith G. Ramos Hernández César G. Calderón Mólgora . (2000). Alternativas de tratamiento de aguas residuales. México.
- Odra a. Saucedo delgado. 2013. La industria textil en México: tlc, china y la globalización. Un análisis a favor de una estrategia de desarrollo integral. En white paper. Universidad anahuac.[https://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina\\_con\\_formato\\_version\\_oct/apa\\_libroarticulo.html](https://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/apa_libroarticulo.html).
- Ósmosis inversa ,2017 Condorchem Envitech. Condorchem Envitech. <https://condorchem.com/es/osmosis-inversa/>
- Poliéster una oportunidad sostenible - Quantia Solutions. 2019. Quantia Solutions. Quantia Solutions. <https://quantiasolutions.com/poliester-una-oportunidad-sostenible/>.
- Química Orgánica Industrial., 2021. Consultado enero 15, 2021, de Eii.uva.es website: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>.
- Rajashekharrao, B. and Samuel, A.M. 2003. An effective and better strategy for reducing body burden of radiostrontium. *J. Radiol. Protec.*
- Ramos K. Navarro A E., Chang L y Maldonado H. 2004. Evaluación de nuevos biosorbentes para la remoción de cadmio (II): Estructura vs. Capacidad de Adsorción. *Revista de la Sociedad Química del Perú.*
- Reyes, A., Bolaños, E. D., Hernández, D., Aranda, E. M., Izquierdo, F. (2009). Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto humidícola *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. 17 abril 2019, de Universidad y Ciencia Sitio web: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v25n3/v25n3a3.pdf>
- Rincon Lizcano Martha Cecilia. 2004. "Estudio de la Biorremediación como una alternativa en la mitigación de la contaminación ambiental," Facultad de Ciencias Básicas. Escuela

de Química. Especialización en Química Ambiental, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Monografía para optar al título de especialista en Química Ambiental.

Rivera, O. A., Albarracín, W., & Lares, M. 2017. Componentes Bioactivos del Shiitake (*Lentinula edodes* Berk. Pegler) y su impacto en la salud. Archivos Venezolanos de Farmacología Y Terapéutica

Rodriguez J, Sánchez J. 2003. Biorremediación: Fundamentos y aspectos microbiológicos. Industria y minería.

Rodríguez, L. 2014. Contaminación del Atoyac. Daños Ambientales y Tecnologías de Mitigación.

Romero Arenas, O., M. A. Martínez., M. A. Damián., B. Ramírez., y J. López-Olguín. 2015. Producción de hongo Shiitake (*Lentinula edodes* Pegler) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Rosas, Francisco. 2012. Agua e Industria en Puebla. El establecimiento de la fábrica textil La Covadonga.

Sadiq S, Inam HM, Ahmad I, Ahad K, Rashid A., 2015. Bioremediation Potential of White Rot Fungi, *Pleurotus* Spp against Organochlorines. J Bioremed Biodeg 6.

Sánchez, Victoria. 2013. Representaciones del vestir en la pintura de castas: el indumento como indicador en el marco de un modelo social estamentario.

Sans R, 1999, "Ingeniería Ambiental : Contaminación y tratamientos", Mexico Alfaomega.

Sasikumar CS, Papinazath T (2003) Environmental management: bioremediation of polluted environment. In: Bunch MJ, Suresh VM, Kumaran TV (eds) Proceedings of the third international conference on environment and health, Chennai, India, 15–17 Dec 2003. Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University, Chennai.

Savoie, J.M., M. Foulongme-Oriol, M. Largeau, G, Barroso (eds.) Proceeding of the 7th.

Secretaría de Economía - Textil y vestido. 2012. Economía.gob.mx. <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/economia-para-todos/abc-de-economia/mercado-interno/365-textil-y-vestido>.

Seguin Nadege. 2017. Tintes naturales / Organic dyes Historia y aplicaciones. SlowFashionNext; SlowFashionNext. <https://www.slowfashionnext.com/blog/tintes-naturales-organic-dyes-historia-aplicaciones/>.

Selonen, S., Dolar, A., Jemec Kokalj, A., Skalar, T., Parramon Dolcet, L., Hurley, R., & van Gestel, C. A. M. 2020. Exploring the impacts of plastics in soil – The effects of polyester textile fibers on soil invertebrates. *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134451>.

Shiitake. 2014. Cultivo Ecológico de Setas. <https://www.funginatur.com/productos/hongos/>.

Situación económica de la industria textil en México. 2019. Iniciativa Textil. <https://iniciativatextil.com/industria-textil-mexico/>.

S Nikfar,. (2014). Dyes and Colorants. En *Tehran University of Medical Sciences (114)*. Tehran, Iran: Elsevier Inc.

Sobre el Poliéster. 2013. Pecaltex.com.mx. [http://www.pecaltex.com.mx/Pecaltex/Sobre\\_el\\_Poliester.html#:~:text=Sobre%20el%20Poliester&text=Se%20produce%208323%20kg%20de,mundiales%20son%20India%20y%20China](http://www.pecaltex.com.mx/Pecaltex/Sobre_el_Poliester.html#:~:text=Sobre%20el%20Poliester&text=Se%20produce%208323%20kg%20de,mundiales%20son%20India%20y%20China).

Society of Dyers and Colourists, & AATCC. Consultado Marzo 2021. <http://www.colour-index.com/>.

Sonnenberg, A.S.M., J.J.P. Baars, P.M. Hendrickx, B. Lavrijssen, W. Gao, A. Weijn, J.J. A.S.M., J.J.P. Baars, P.M. Hendrickx, B. Lavrijssen, W. Gao, A. Weijn, J.J. Mes, 2011. Breeding and strains protection in the button mushroom *Agaricus bisporus*, In: Savoie, J.M., M. Foulongme-Oriol, M. Largeveau, G. Barroso (eds.) *Proceeding of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushrooms Products*, Arcachon

Stamets, P. 2000. *Growing gourmet and medicinal mushrooms*. 3rd ed. Berkeley, CA: Ten Speed Press Washington.

Stamets, P. 2005. *Mycelium running. How mushrooms can help save the world*. California.

Suarez Beltrán. 2013. *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Tesis de Maestría en Ingeniería Universidad libre, Colombia.

T. Faravelli, a. Frassoldati, G. Migliavacca, and E. Ranzi, Mar. 2010. Detailed kinetic modeling of the thermal degradation of lignins, || *Biomass and Bioenergy*. Ten Speed Press. ISBN-13: 978-1-58008-579-3. Berkeley, California, EEUU.

Thakur Monika. 2014. *Mycoremediation a potential tool to control soil pollution*. Asian

Tribunal Latinoamericano del Agua. 2011. Contaminación Industrial en los ríos Atoyac y Xochaic estados de Puebla y Tlaxcala.

US EPA,OLEM. (2015). Guía del Ciudadano Sobre la Biorremediación | US EPA. US EPA. <https://www.epa.gov/remedytech/guia-del-ciudadano-sobre-labiorremediacion#:~:text=La%20biorremediaci%C3%B3n%20consiste%20en%20usar,que%20viven%20en%20el%20ambiente.&text=Algunos%20contaminantes%20que%20se%20tratan,algunos%20derivados%20solventes%20y%20plaguicidas.>

Vandevivere, C, Phillippe, B. R., Verstraete, W., 1998. Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. Journal Chemical Technology.

Venturella, G. 2007. Red List of threatened species *Pleurotus nebrodensis* (en línea).

Estados Unidos. IUCN. Consultado 14 sep. 20011. Disponible en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)

Visión. 2019. Análisis global sobre el mercado de colorantes textiles, tamaño, ventas y pronóstico para 2026: dice RRI - Visión Digital. Visión Digital. <http://vision-digital.com.mx/2019/01/21/analisis-global-sobre-el-mercado-de-colorantes-textiles-tamano-ventas-y-pronostico-para-2026-dice-rri/>

Volke, T. 2002. Biorremediación de suelos contaminados. México D.F, México: Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, Revista BioTecnología Vol. 7 (1), ,

Wesenberg. 2003. White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents,|| Biotechnology Advances.

Winker M. 2005. Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho. Limusa México.

Zobell C.E. do1946. "Actions of microorganisms in hydrocarbons," Bacteriological Reviews.

Zollinger H. 1987. Synthesis, Properties of Organic Dyes and Pigments. In: Color Chemistry. New York, USA: VCH Publishers.