



**EVALUACION PRELIMINAR DE LA REMOCION DE  
COLOR EN AGUAS DE DESCARGA PRODUCTO DEL  
PROCESO DE CURTIDO DE PIELES USANDO EL HONGO  
*Phanerochaete chrysosporium* EN CURTIEMBRES  
CAMELO**

**FRANCY JANETH MÉNDEZ CASALLAS**

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
Manizales, Colombia

2013



**EVALUACION PRELIMINAR DE REMOCION DE COLOR  
EN AGUAS DE DESCARGA PRODUCTO DEL PROCESO  
DE CURTIDO DE PIELES USANDO EL HONGO  
*Phanerochaete chrysosporium* EN CURTIEMBRES  
CAMELO**

**FRANCY JANETH MÉNDEZ CASALLAS**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título  
de:

**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director:

PhD. Nelson Rodríguez

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2013



## Dedicatoria

*A Dios, a Nicolás y Samuel la luz de mis ojos,  
a Orlando mi esposo, a mi adorada madre y a  
mi leal padre, quienes me alentaron, me  
apoyaron y han tenido la paciencia y el amor  
incondicional necesario para materializar este  
sueño.*



## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad de la Salle por permitirme el uso del laboratorio, a Fanny auxiliar del laboratorio por la colaboración, a mis amigos Álvaro Fajardo y Andrea Aguirre quienes con sus comentarios académicos y disciplinares retroalimentaron el contenido y me brindaron apoyo bioestadístico.



## Resumen

Los basidiomicetes actúan eficientemente en los procesos de degradación biológica en diferentes sectores industriales. En el caso de las curtiembres, el alto nivel de contaminación presente en los vertimientos, han planteado la necesidad de buscar alternativas para mejorar la Salud Ambiental del Recurso Hídrico. Por ello, el presente trabajo planteó realizar una evaluación preliminar de remoción de color en un agua de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas en Curtiembres Camelo ubicada en el Barrio San Benito de Bogotá. Se planteó un diseño experimental completamente al azar con 4 tratamientos y control, inmovilizando en promedio 51 mg/l de biomasa micelial en espuma de poliuretano de baja densidad estéril. Se realizaron seguimientos por triplicado a los 5,10, 15 y 20 días mediante la cuantificación de unidades de color a 450 nm de longitud. El análisis estadístico incluyó un análisis de varianza ANOVA y una prueba de Duncan con el fin de determinar que la diferencia entre los pares de las medias obtenidas no es significativa. La caracterización inicial del agua permitió establecer 1295 Unidades de Color Pt-Co, 20 días después de realizado el monitoreo las unidades de color se redujeron significativamente hasta 702 Unidades de Color Pt-Co, lo que representa un porcentaje de remoción real del 46%. El presente estudio determinó que el uso del hongo *Phanerochaete chrysosporium* inmovilizado en espuma de poliuretano de baja densidad se constituye en un tratamiento primario eficiente para el mejoramiento del recurso hídrico del sector de San Benito en Bogotá.

**Palabras clave:** agua residual, hongos de podredumbre blanca, remoción de color

## Abstract

The Basidiomycetes act efficiently in biological degradation processes in different industrial sectors. In the case of the tanneries, the high level of contamination present in the discharges, have raised the need for alternatives to improve Environmental Health Water Resources. Therefore, this paper proposed a preliminary assessment of color removal in a water discharge product tanning process in tannery Camelo bovine located in Barrio San Benito de Bogotá. It posed a completely randomized design with 4 treatments and control, pinning on average 51 mg / l of mycelial biomass in polyurethane foam low density sterile. Follow were performed in triplicate to 5,10, 15 and 20 days by quantifying color units to 450 nm in length. Statistical analysis included analysis of variance and Duncan test in order to determine the difference between pairs of means obtained is not significant. Initial characterization of the water allowed to established Color Units 1295 Pt-Co, made 20 days after monitoring the color units decreased significantly to 702 units Pt-Co Color, representing actual removal percentage of 46%. This study found that the use of the fungus *Phanerochaete chrysosporium* polyurethane foam immobilized in low density constitutes an effective primary treatment for the improvement of water resources of San Benito sector in Bogotá.

**Keywords:** wastewater, white-rot fungi, color removal

---

## **Tabla de contenido**

1. INTRODUCCIÓN	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	21
4. HIPÓTESIS DE TRABAJO	21
5. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	22
6. OBJETIVOS	26
6.1. Objetivo General	26
6.2. Objetivos específicos	26
7. JUSTIFICACIÓN	27
8. MARCO TEÓRICO	29
8.1. Curtiembres	29
8.2. Proceso de Curtido	29
8.3. Efectos Medioambientales	34
8.4. Normatividad aplicable al sector de las curtiembres	37

---

8.5. Color	42
8.6. Tratamiento de aguas residuales	43
8.6.1. Usos de sistemas Biológicos	44
8.6.2. Tratamiento con hongos	46
8.7. Espuma de poliuretano	48
<b>9. METODOLOGÍA</b>	<b>50</b>
9.1. Toma de muestra	50
9.2. Ceba	52
9.2.1. Reactivación de la Ceba	52
9.2.2. Cálculo de la Biomasa utilizada	53
9.2.3. Mantenimiento de la cepa	54
9.3. Diseño Experimental	54
9.4. Inmovilización	55
9.5. Degradación Biológica	56
9.6. Determinación de las unidades de color	58
9.7. Cálculo de la decoloración	59
<b>10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>59</b>
10.1. Muestra de agua	59
10.2. Ceba	60
10.3. Degradación biológica	61
<b>11. CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>12. RECOMENDACIONES</b>	<b>75</b>

Anexos

## Listado de tablas

Tabla 1. productos utilizados en Curtiembre Camelo durante el proceso de curtido de pieles bovinas .....	31
Tabla 2. Valores establecidos por la Resolución 3957 de 2009 de la Secretaría de Ambiente de Bogotá.....	37
Tabla 3. Condiciones de la Cuenca del Río Bogotá según la resolución 3957 de 2009 de la Secretaría de Ambiente de Bogotá.....	38
Tabla 4 Estado actual de la WQI del Río Tunjuelo .....	40
Tabla 5 Valores máximos permisibles para cada parámetro en cuerpos de agua superficial y alcantarillado público .....	41
Tabla 6. Tratamiento de aguas residuales.....	43
Tabla 7. Densidades en Kg/m <sup>3</sup> de los diferentes tipos de espumas.....	49
Tabla 8. Mediciones in situ para la muestra tomada en Curtiembres Camelo.....	50
Tabla 9. Límites de detección del método .....	51
Tabla 10. Parámetros a evaluar en la muestra de agua .....	51
Tabla 11. Resultados iniciales del agua .....	60
Tabla 12. Resultados de los promedios de las absorbancias a lo largo de los 20 días...	61
Tabla 13. Cálculos de las unidades de color Pt-Co para cada una de las absorbancias a lo largo de los 20 días .....	62
Tabla 14. Resultados de los porcentajes de remoción real.....	62
Tabla 15. Resultados de los pH medidos durante el experimento .....	69
Tabla 16. Prueba de homogeneidad de varianzas.....	70
Tabla 17. Prueba de ANOVA.....	71
Tabla 18. Prueba de Duncan para las absorbancias .....	71
Tabla 19. Prueba de Duncan para las unidades de color .....	72
Tabla 20. Prueba de Duncan para los promedios de las unidades de color.....	72
Tabla 21. Prueba de Duncan para los valores de remoción .....	73

## Listado de figuras

Figura 1. Reactivación de la cepa .....	53
Figura 2. Balanza analítica usada .....	54
Figura 3. Discos de micelio y discos de agar salvado utilizados.....	54
Figura 4. Inmovilización del hongo.....	55
Figura 5. Salvado de trigo utilizados y rehidratado.....	55
Figura 6. Colonización hifal en la espuma.....	56
Figura 7. Montaje .....	57
Figura 8. Montaje del control abiótico.....	58
Figura 9. Cultivo de <i>Phanerochaete chrysosporium</i> en agar salvado .....	61
Figura 10. <i>Phanerochaete chrysosporium</i> con azul de lactofenol en 40X.....	61
Figura 11. Promedio de las absorbancias del hongo y del control.....	63
Figura 12. Medias obtenidas a partir de la absorbancia .....	64
Figura 13. Unidades de color promedio para el hongo y el control .....	64
Figura 14. Valores promedios obtenidos para las unidades de color.....	65
Figura 15. Porcentajes de remoción de color por parte del hongo y del control .....	66
Figura 16. Porcentajes de decoloración real .....	66
Figura 17. Comportamiento del pH .....	69
Figura 18. Valores promedios del pH por parte del hongo .....	70

---

## Anexos

Anexo 1 Depilamin GS Casa Comercial MK.....	82
Anexo 2 Eravit.....	82
Anexo 3 Agar Salvado de trigo.....	85
Anexo 4 Caldo salvado de trigo.....	86
Anexo 5 Base de datos .....	87



---

# 1.Introducción

La protección del medio ambiente es un objetivo legítimo de política, tanto de países industrializados como en vías de desarrollo. Según la OMS ha establecido que: *“La salud ambiental está relacionada con todos los factores, físicos, químicos y biológicos externos de una persona y engloba factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud.”*, así mismo el CONPES 3550 de 2008 establece que la Salud Ambiental se define como *“ el área de las ciencias que trata la interacción y los efectos que, para la salud humana, representa el medio en el que habitan las personas”*; por lo tanto, las condiciones ambientales se deben abordar como un determinante que genera un perfil de protección o deterioro de la salud humana (SDA, 2011).

En cuanto a la calidad de agua y saneamiento básico, cada vez es mayor el número de sustancias químicas que son necesarias de extraer y concentrar a partir de materiales naturales, o de procesos de síntesis en el laboratorio, y su descarga al medio ambiente intencional o no, causa serias consecuencias (George, 1998).

Cuando se generan y manejan grandes cantidades de productos que no existían en la naturaleza, se plantean graves problemas, en especial, cuando no se cuenta con procesos físicos y biológicos conocidos que puedan degradarlos hasta convertirlos en forma inocua (Ramos *et al*, 2005).

En el caso de las industrias que vierten residuos a las redes de alcantarillado, han aumentado en los últimos años (Lancheros *et al*, 2013). Bogotá ha dejado de recibir 6 millones de dólares en los últimos veinte años por los servicios ecosistémicos que han dejado de prestar los ríos, por ejemplo la preservación de flora y fauna, el consumo de agua potable, el uso agrícola, la generación de energía y el uso recreativo de los mismos.

La realidad de las aguas residuales de Bogotá, es que van en alcantarillas que circulan en paralelo a los ríos por sólo unos metros y se vierten directamente al río, lo ideal sería que las aguas residuales circularan en paralelo a los ríos hasta llegar a las plantas (Lancheros *et al*, 2013).

Se requiere entonces buscar diversos tipos de alternativas primarias, secundarias que replanteen la validez de la práctica general de combinar vertidos industriales (pretratados o parcialmente tratados) con vertidos domésticos, debido a los efectos tóxicos que a menudo generan los residuos industriales, incluso cuando su presencia se da en concentraciones muy bajas (Eddy, 1995).

El presente estudio plantea una evaluación preliminar de remoción de color en aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles de Curtiembres Camelo usando el hongo *Phanerochaete chrysosporium* mediante la aplicación de un diseño experimental completamente al azar con 4 tratamientos y un control evaluados el día 5, día 10, día 15 y día 20. El análisis de varianza ANOVA y la prueba de Duncan permitieron realizar las comparaciones entre los promedios de los resultados.

## 2.Planteamiento del problema

Los avances en la ciencia y la tecnología desde la revolución industrial, han aumentado la capacidad del ser humano para explotar los recursos naturales. Sin embargo, esto ha generado perturbaciones en los ciclos biogeoquímicos elementales. (Gadd, 1986). La introducción repentina de compuestos químicos xenobióticos o la reubicación masiva de materiales naturales en diferentes compartimientos ambientales, con frecuencia puede abatir la capacidad de autolimpieza de los ecosistemas receptores y por lo tanto dar como resultado la acumulación de contaminantes a niveles problemáticos y hasta perjudiciales; se hace necesario entonces, acelerar la eliminación de los contaminantes para remediar los problemas existentes y disminuir el impacto de incidentes futuros mediante el control del ingreso de contaminantes (Olivia, 2000).

En el caso de las aguas de curtido, éstas se caracterizan por presentar altas concentraciones de contaminantes, una gran cantidad y variedad de compuestos que acarrearán cambios de tecnología y de compuestos químicos naturales o artificiales utilizados en los procesos de curtido.

A pesar de que la mayoría de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual pueden ser tratados usando métodos convencionales, está creciendo el número de compuestos que no son susceptibles de ser tratados de esta manera; en muchos de los casos, la información es escasa o nula acerca de los efectos a largo plazo sobre el medio ambiente (George, 1998); por tales razones, dentro de la concepción racional del tratamiento es lógico contemplar un proceso de gradualidad en la implementación de las soluciones que deben abarcar el acondicionamiento, la remoción de sólidos suspendidos, la remoción de la demanda biológica de oxígeno soluble (DBO), la remoción de patógenos, la remoción de nitrógeno y de fósforo así como también la de metales pesados y sustancias refractarias. (Collazos, 2008)

La normatividad vigente en Colombia considera la medición de parámetros asociados a la presencia de metales pesados como cromo total y hexavalente, DBO<sub>5</sub>, DQO, Fenoles, sólidos suspendidos totales, sulfuros, presencia de tensoactivos, sólidos sedimentables y temperatura (SDA, 2011). Sin embargo el seguimiento del cumplimiento se ha hecho de manera muy laxa en el sector, debido a que se considera que los metales pesados son los más importantes de remover hasta cantidades pequeñas que cumplan con los parámetros establecidos en la normatividad para este tipo de vertimientos (SDA, 2011); pero en el caso del color, su presencia en las aguas, además de ser desagradable indica de manera indirecta su grado de contaminación en la mayoría de los casos ocasionada por la presencia de metales pesados.

En el caso del Río Tunjuelo, el índice de *Water Quality System*, WQI, ha establecido que se trata de aguas con valores muy altos cercanos a 45 WQI, lo que se traduce en una alta cantidad de contaminantes presentes en el sector específico de San Benito donde se encuentran concentradas las curtiembres de Bogotá y es por ello que se requiere plantear alternativas para el manejo de dichos vertimientos, la implementación de nuevas técnicas de tipo químico o biológico que mejoren las condiciones del agua y que permitan pensar en tratamientos primarios para el agua producto de descarga del proceso de curtido de pieles antes de ser vertidos al río Tunjuelo.

### **3. Pregunta de investigación**

¿Es el hongo *Phanerochaete chrysosporium* una alternativa biológica efectiva para la remoción del color presente en las aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas en Curtiembres Camelo?

### **4. Hipótesis de trabajo**

Hipótesis nula: El uso del hongo *Phanerochaete chrysosporium* como alternativa biológica no es efectiva para el remoción del color presente en las aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas en Curtiembres Camelo.

Hipótesis alternativa: El uso del hongo *Phanerochaete chrysosporium* como alternativa biológica es efectiva para el remoción del color presente en las aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas en Curtiembres Camelo.

## 5. Antecedentes investigativos

Las aplicaciones de los hongos no incluyen únicamente la microbiología sino también su uso en la ingeniería en países como Estados Unidos y China, entre otros (Daewn, 2010).

Los contaminantes presentes en las aguas residuales producto del proceso de curtido presentan grandes diferencias debido a los procesos artesanales que cada curtiembre utiliza además de los productos químicos específicos del proceso. Sin embargo, estudios como los de Hoigne *et al* en 1978 y Jochimsen *et al* en 1997 afirman que la mayoría de los compuestos contaminantes orgánicos son cloruros donde los rangos sobrepasan los 10 000 mg/l Cl<sup>-</sup> y sulfatos VI en concentraciones más bajas; la composición de los contaminantes orgánicos es compleja, las proteínas provenientes de las hidrólisis predominan además de las grasas en pequeñas cantidades. Los compuestos orgánicos más importantes usados en el tratamiento de pieles son taninos naturales, sintéticos, aldehídos y quinonas. Generalmente los compuestos contienen aminas alifáticas, surfactantes no iónicos, aceites y pigmentos. La mayoría de estos compuestos están en forma soluble pero algunos de ellos se presentan en suspensión o en forma de coloides (Jochimsen *et al*, 1997).

Dentro de los métodos de tratamiento para este tipo de aguas residuales se encuentran los métodos físicos, los químicos y los biológicos, los cuales pueden ser aplicados en el tratamiento o corrección del pH, tal es el caso de la coagulación con sales de hierro y aluminio (Jochimsen *et al*, 1997).

La eficiencia de los pretratamientos de las aguas residuales de las curtiembres por coagulación tiene resultados significativos en los procesos finales de purificación, Jochimsen *et al* en 1997 mostraron que la coagulación con grandes dosis de cal acompañado de compuestos no iónicos con polielectrolitos a pH 11 reduce en un 63 % el valor inicial de 8 200 mg O<sub>2</sub>/l, la coagulación con FeCl<sub>3</sub> más cal a un pH 8,8 reduce la concentración de oxígeno disuelto (COD) únicamente a un 43 %. Cuando este proceso se realiza en las mismas condiciones pero con Al<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> el porcentaje de COD se reduce al 47 % (Jochimsen *et al*, 1997). Además de esta técnica para la eliminación de

colorantes industriales presentes en el agua, se han empleado procesos como adsorción, neutralización, coagulación, degradación química, degradación fotocatalítica, fijación por membrana e intercambio catiónico, entre otros (Lucasa, 2007).

En el estudio publicado por Vidal *et al* en 2003, evaluaron el efecto de un tratamiento secuencial de oxidación avanzada-lodo activado sobre la eliminación de la materia orgánica en aguas residuales provenientes de la etapa de pelambre del proceso de producción de cuero. Como pretratamiento oxidativo usaron reactivo de Fenton. Los resultados indicaron que un pre-tratamiento mediante procesos de oxidación avanzada (POA), efectivamente ayuda a mejorar la eliminación global de materia orgánica recalcitrante contenida en efluentes de pelambre. Los radicales libres generados en el pre-tratamiento mediante la reacción de Fenton no produjeron efectos relevantes sobre la actividad de la biomasa durante los 30 días de operación del sistema biológico (Vidal *et al*, 2003), estos resultados reflejan que los procesos químicos son muy eficientes en la remoción de materia orgánica, y que combinados con la utilización de microorganismos como tratamiento combinado, podrían establecer remociones más altas de las obtenidas de manera individual.

Estos procesos han demostrado ser útiles en la remoción de colorantes, sin embargo, tienen la desventaja de tener un alto costo a nivel industrial, se saturan rápidamente y no remueven la totalidad de los colorantes usados en el proceso de curtido de pieles.

En el caso de la decoloración fotoquímica o Foto Fenton ( $UV/Fe^{+2}/H_2O_2$ ), se han observado resultados importantes. Masahiro *et al* en el 2006 realizaron un estudio de remoción del color proveniente de los efluentes del café donde examinaron la capacidad de decoloración y los efectos de la intensidad de la luz, la cantidad de Fe y de peróxido presentes en dichos vertimientos. El estudio mostró un decrecimiento en la concentración de color en presencia de éstas dos sustancias, lo que permite establecer que la reacción de Fotofenton es una alternativa de remoción eficiente para este tipo de aguas.

Analizando los estudios de Masahiro *et al* en el 2006 y Vidalen el 2003 se confirma la posibilidad de combinar técnicas químicas con tratamientos biológicos para optimizar los procesos degradativos. Los procesos físicos tienen la desventaja de tener un tiempo de

vida útil relativamente corto, lo que conlleva a ser reemplazados y aumentar los costos del proceso disminuyendo su viabilidad (Psillakis, 2004).

Los procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales como lodos activados y sistemas anaerobios han demostrado una baja remoción de color y susceptibilidad a ciertos compuestos. En el caso del estudio realizado por Balaguera en el 2011, se logró establecer la remoción del colorante índigo en aguas provenientes del teñido de la industria textil por medio de la combinación de dos mecanismos, bioadsorción y biodegradación empleando *Pleurotus ostreatus*. Se reporta un porcentaje de decoloración del 70% al cabo de 11 días y del 90% en medio suplementado con glucosa al cabo de 5 días (Balaguera, 2011) lo que prioriza la utilización de la glucosa como fuente de carbono y agente primario del metabolismo del hongo utilizado.

En el caso específico del uso de hongos de podredumbre blanca en aguas de curtiembre, Gómez *et al* en 2008 en el laboratorio de Biotecnología de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá evaluaron la capacidad de biodecoloración y remoción de cromo por parte de los hongos *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* y *Aspergillus niger*, usando aguas residuales proveniente de la etapa de curtido de pieles observando que la biomasa viable permitió obtener valores de remoción del 97 % de Cromo total (Cr T) , 97 % de Cr (III), 85 % Cr(VI), 12 % DQO y 67 % de color en condiciones de agitación, lo que evidencia la capacidad que tienen estos hongos lignolíticos para remover y biotransformar colorantes industriales (Gómez *et al*, 2008) y convirtiéndolos en microorganismos de interés, ya sea como estrategia de biotransformación, o inactivos, como bioadsorbentes (Moreno, 2009).

Estudios como los de Balaguera en el 2011, Daewn *et al* en 2010 , Gomez *et al* en 2008, Liang *et al* en 2008, Jaramillo *et al* en 2005 confirman que los hongos de podredumbre blanca son una alternativa viable a nivel económico y ambiental para la remoción de color, tratamiento de aguas de colorantes provenientes de la industria textil, remoción de color en aguas con altas concentraciones de cromo.

Se conoce también que la combinación de tratamiento primario-degradación biológica y tratamiento nuevamente con sales optimiza la remoción no sólo de color sino de materias contaminante incluidos los metales pesados (Jochimsen *et al*, 1997). Sin embargo, la

acción decolorante de las hongos se ve afectada por factores como especie utilizada, estructura del colorante, pH, temperatura, tiempo de reacción y el uso de inductores enzimáticos como glucosa y nitrógeno (Yesilada, 2003) y permite inferir que gran parte de la materia degradada por el hongo, es aportada por los compuestos coloreados utilizados en la última fase del proceso de curtido de las pieles bovinas, que en el caso de Curtiembres Camelo son colorantes químicos tipo azo que favorecen la degradabilidad por parte de las enzimas producidas en el metabolismo primario del hongo.

## 6. Objetivos

### 6.1. Objetivo General

Evaluar el hongo *Phanerochaete chrysosporium* como alternativa biológica para la remoción de color mediante un proceso de inmovilización en las aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas en Curtiembres Camelo.

### 6.2. Objetivos específicos

1. Reactivar y conservar la cepa de *Phanerochaete chrysosporium*.
2. Realizar la inmovilización del hongo *Phanerochaete chrysosporium* en espuma de poliuretano como soporte inerte con el fin de adecuar las condiciones para el proceso de degradación biológica.
3. Evaluar la eficiencia del hongo *Phanerochaete chrysosporium* en la remoción de color presente en una muestra de las aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas en Curtiembres Camelo.

## 7. Justificación

La utilización de los hongos de podredumbre blanca y su uso ambiental se remonta a la década de los 80's (Bumpus, 1987). Su mecanismo de acción se da mediante la penetración de sus estructuras en la cavidad celular, permitiendo la producción de enzimas lignolíticas para la producción de biomasa (Daewn, 2010), así como también las enzimas requeridas para la degradación de compuestos colorantes tipo azo mediante la producción de tres tipos de enzimas extracelulares las cuales no tienen una alta especificidad en la descomposición de la lignina (Mohammadi, 2009). Los hongos de podredumbre blanca además de degradar la celulosa presente en las paredes celulares de los árboles son capaces de degradar o mineralizar algunos contaminantes ambientales (Daewn, 2010). Para el caso específico del tratamiento de aguas residuales se incluyen las siguientes especies: *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* (Balaguera, 2011), *Bjerkandera adusta*, *Pleurotus ostreatus* (Bumpus, 1987), los cuales han sido estudiados también en la degradación de compuestos orgánicos xenobióticos ambientales (Daewn, 2010).

La capacidad de los hongos de podredumbre blanca para biodegradar colorantes y aguas residuales se basa en la capacidad de sorción y biotransformación de dichos compuestos altamente contaminantes debido a la producción de enzimas extracelulares como peroxidasas y polifenoloxidasas entre otras (Yu *et al*, 1999).

Una ventaja distintiva de éstos hongos es que no requieren acondicionamiento previo, en cambio las bacterias generalmente deben ser previamente expuestas al contaminante para permitir que las enzimas que lo degradan sean inducidas, y por otro lado, el contaminante debe estar en una concentración significativa, de lo contrario, la inducción de la enzima no puede ocurrir (Balaguera, 2011). En el caso de los procesos de curtido, la aplicación más común de los colorantes sobre las pieles es la tinción (Balaguera, 2011) y su utilización ya sea de origen natural o químico, acarrea una acumulación de

restos que no logran penetrar completamente en las pieles y que quedan en soluciones acuosas que, unidas a los demás químicos utilizados potencian su poder contaminante.

La remoción del color presente en las aguas residuales resulta importante ya que es un indicador indirecto de la presencia de componentes tipo azo y de metales pesados que al tener contacto con el agua producen color, tal es el caso del cromo, el cual le brinda al agua una tonalidad naranja.

El buscar alternativas para la remoción de color de manera económica y amigable con el medio ambiente fortalecen la idea de trabajar con microorganismos vivos, en este caso específico, micelio de hongos inmovilizados en espuma (Balaguera, 2011) (Gómez *et al*, 2008) ya que se cuenta con evidencias fuertes frente a su papel degradador en este tipo de vertimientos; se sabe además, que las aguas residuales crudas provenientes de las curtiembres, al ser descargadas en cuerpos de agua, ocasionan efectos negativos al disminuir drásticamente el oxígeno disuelto debido a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la variación de pH, limitando sus usos posteriores para el consumo doméstico, la agricultura, la industria, el turismo, la recreación, etc. (Collazos, 2008).

A nivel normativo, el Acuerdo 43 del 2009 de la Secretaría de Ambiente de Bogotá establece los límites de la Cuenca del Río Tunjuelo, la cual está comprendida por el río Tunjuelo y sus afluentes, desde su cabecera hasta la desembocadura del río Bogotá, incluidos los Embalses de la Regadera y Chisacá (CAR, 2006). En esta cuenca está incluida la zona de San Benito, específicamente en la subcuenca del río Bajo Tunjuelo, que comprende el río Tunjuelo y sus afluentes desde la descarga del Embalse de La Regadera, hasta su desembocadura en el río Bogotá. Lo anterior permite establecer que el agua presente en la zona de las Curtiembres ubicadas en el Barrio San Benito corresponde a la clase IV, donde los parámetros de referencia adoptan valores altos; para el caso de la Demanda Biológica de Oxígeno, DBO, y los Sólidos Suspendidos Totales, SST, se encuentran alrededor de los 270 mg/L y 200 mg/L respectivamente, y donde la condición de anoxia en el río se hace presente durante la totalidad de este tramo, mostrando el gran impacto que la ciudad de Bogotá y particularmente sus vertimientos, causan sobre el río (SDA, 2009). Con respecto al color los valores

obtenidos en el río se encuentran por encima de lo establecido, lo que resalta la importancia de buscar alternativas para su degradación en dichas aguas.

Al analizar los valores de la muestra del agua de descarga del proceso de curtido de pieles bovinas de Curtiembres Camelo cumple con la mayoría de los parámetros establecidos en el decreto 3957 de 2009 y el decreto 3930 de 2010. Sin embargo, las unidades de color, tienen un valor superior al máximo permitido. Por ello el plantear una degradación biológica para el tratamiento primario de dichos vertimientos surge como una alternativa viable, económica y su implementación puede desencadenar en un mejoramiento de las condiciones de Salud Ambiental y humana de los habitantes de dicha zona.

## **8. Marco teórico**

### **8.1. Proceso de Curtido**

La curtición es el proceso mediante el cual se convierten las pieles de los animales en cuero. El oficio de la curtición está caracterizado por prácticas artesanales basadas en ensayo y error, la mayoría de los procesos no se encuentran estandarizados aunque si hay claridad en las etapas generales que son: el pretratamiento y el almacenamiento, ribera, curtido y acabado.

El procesamiento del cuero puede empezar poco después del sacrificio del animal, pero en muchos casos se almacenan las pieles por tiempo prolongado. Cuando ellas son almacenadas, deben recibir un tratamiento para impedir el desarrollo de microorganismos y la consecuente putrefacción de las mismas (CNPL, 2004).

## **Pieles Verdes**

Cuando el tiempo entre el sacrificio del animal y el procesamiento de la piel es corto, la curtición se puede iniciar sin ningún pretratamiento.

## **Pieles Saladas**

La preservación se realiza por inmersión en salmuera. Las pieles se apilan, intercalándolas con una capa de sal. En estas condiciones se puede guardar por meses previos al proceso de curtición, ya que saladas presentan una fuerte resistencia a los microorganismos. Por otro lado, salar le permite a la empresa tener un stock que no es afectado por problemas de escasez o por ciclos de estación.

Ribera: En esta etapa el cuero es preparado para ser curtido, en ella es limpiado y acondicionado asegurándole la humedad, los pasos intermedios comprenden.

- Remojo: proceso para rehidratar la piel, eliminar la sal y otros elementos como sangre, excretas y suciedad en general.
- Pelambre: proceso a través del cual se disuelve el pelo utilizando cal y sulfuro de sodio, produciendo además, al interior del cuero, el desdoblamiento de fibras a fibrillas y preparan al cuero para la curtición.

Desencalado: proceso donde se lava la piel para remover la cal y luego aplicar productos neutralizantes, por ejemplo. Ácidos orgánicos tamponados, azúcares y melazas y ácido sulfoftálico.

Desencarnado: proceso que consiste en la eliminación mecánica de la grasa natural y del tejido conjuntivo, esencial para las operaciones secuenciales posteriores hasta el curtido.

Purga enzimática: el efecto principal del rendido tiene lugar sobre la estructura fibrosa de la piel, pero existen una serie de efectos secundarios sobre la elastina, restos de

queratina de la epidermis y grasa natural de la piel. Su acción es un complemento en la eliminación de las proteínas no estructuradas, y una acción sobre la limpieza de la flor, la que se traduce en la lisura del cuero y le confiere mayor elasticidad.

**Piquelado:** Comprende la preparación química de la piel para el proceso de curtido, mediante la utilización de ácido fórmico y sulfúrico principalmente.

**Curtido:** Estabilización de la estructura de colágeno que compone el cuero, usando productos naturales o sintéticos, el cromo es el principal químico usado en esta etapa.

**Poscurtido:** Se agregan nuevos reactivos que reprocesan el colágeno del cuero con el fin de obtener el punto final dependiendo el uso que se le vaya a dar al cuero (CNPL, 2004).

En el caso de curtiembres Camelo los principales productos comerciales utilizados dentro del proceso de curtido se encuentran: Iguamen en reemplazo del sulfuro, Depilamin (ver anexo 1) como agente desescalante, Eravit como inmunizante (ver anexo 2), koramin Eko Sello como desinfectante y sellador de ubres, Eko Yodo - Sanitizante a base de yodóforos (koramin) como suavizante y auxiliar de la etapa de Calado. A continuación se relacionan la procedencia y la aplicación de los productos usados.

Tabla 1 productos utilizados en Curtiembre Camelo durante el proceso de curtido de pieles bovinas

PRODUCTO	PROCEDENCIA	APLICACIÓN
<b>IGUALEM SA 3</b>	MK - Brasil	Agente de remojo.
<b>ENZIMAR SE 12</b>	MK - Brasil	Enzimas de remojo.
<b>TRICIDE 71</b>	Síntesis Química	Bactericida, primer paso en el proceso del curtido.
<b>TENSOACTIVO 2 BR</b>	MK - Brasil	Emulsionante, humectante y dispersante.
<b>TENSOACTIVO IV T</b>	MK - Brasil	Desengrasante, humectante y dispersante.
<b>KORAMIN EKO</b>	MK - Brasil	Auxiliar de pelambre.
<b>DEPILAMIN GS</b>	MK - Brasil	Agente de depilación

Fuente: (Quinn, 2013)

En el caso de algunas curtiembres como ésta, se ha tomado conciencia en la reducción de la cantidad de agua, en la calidad de los colorantes y pigmentos utilizados en el proceso, buscando en el mercado alternativas que permitan reducir el nivel de contaminación causado, obviamente falta mucho esfuerzo y compromiso colectivo, pero se están adelantando acciones en este sentido.

## **8.2. Curtiembres**

La industria del curtido se considera muy a menudo como en conjunto de operaciones genéricas diferentes. Son escasos los trabajos publicados relacionados con el comportamiento de diferentes procesos de tratamiento ante la variedad de corrientes residuales que se generan (Daewn, 2010).

El principal problema es la carencia de soluciones tecnológicas nacionales para los residuos líquidos de la producción de las pieles, que generan aguas residuales no caracterizadas ni evaluadas antes del proceso de tratamiento. Su disposición produce serios impactos en los recursos hídricos y causan incumplimiento de normas y regulaciones ambientales vigentes (Ramos, 2005).

La ubicación de las curtiembres en Bogotá, se centra en la localidad de Tunjuelito donde de los 976 establecimientos, 102 utilizan sustancias peligrosas para la salud Ambiental debido a los bajos costos de los insumos utilizados en el proceso de curtido; representan el 10,45% de la contaminación total de la localidad (SAD, 2011). Dentro de los indicadores de contaminación para estos establecimientos la IVC ha determinado:

### **Carga contaminante de sólidos suspendidos totales (total Kg/año)**

Este indicador muestra la cantidad de sólidos suspendidos totales promedio vertidas a la red de alcantarillado de la ciudad por los usuarios que generan vertimientos de aguas residuales por actividades no domésticas y que son objeto de regulación de sus vertimientos. A partir de la resolución 3957 de 2009 de la Secretaría Distrital de Ambiente se redujeron los límites máximos permisibles para éste parámetro a los usuarios que

generen vertimientos a la red de alcantarillado público de la ciudad, lo que refleja una mejoría en este aspecto (SDA, 2011).

### **Carga contaminante de sólidos suspendidos totales en el sector industrial (Kg/mes)**

Este indicador, al igual que el anterior, presenta la información obtenida en el programa de seguimiento de efluentes industriales, el cual, mediante la caracterización de los vertimientos realizados por los usuarios objeto de control, utilizan el parámetro de sólidos suspendidos totales como indicador del desempeño ambiental del sector industrial (SDA, 2011).

### **Carga contaminante de materia orgánica DBO<sub>5</sub> demanda biológica de oxígeno por el sector industrial (total año)**

Otro de los parámetros utilizados como indicador de la calidad de los vertimientos generados por los usuarios objeto de control, es la demanda biológica de oxígeno, que establece la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia presente en el agua residual (SDA, 2011).

Los valores calculados para estos indicadores del sector industrial son influenciados directamente por las acciones de control y seguimiento adelantadas por la Secretaría Distrital de Ambiente en cumplimiento de las normas de vertimientos distritales, entre las que se destacan las acciones de evaluación, control y seguimiento a vertimientos, el seguimiento al Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, Cobro de tasas Retributivas y Ejercicio de la Autoridad ambiental en Zonas de Control Prioritario (SDA, 2011).

En cuanto a la mejora de la calidad de las corrientes se han realizado avances en las obras de saneamiento de los ríos Fucha y Tunjuelo, donde específicamente en el caso del segundo, se tienen diseñados 5 tramos: Tunjuelo Canoas que se encuentra en fase de diseño, la II etapa de Tunjuelo Alto derecho, dos puntos de interceptación y que se encuentra en operación, la I etapa del Tunjuelo Alto Derecho, con 3 puntos de interceptación y el Refuerzo Tunjuelo Medio II Etapa con 6,8 Km y 4 puntos de

interceptación y Tunjuelo Bajo con 8,122 Km con 36 puntos de interceptación , todas en ejecución (SDA, 2011). Los puntos de interceptación fueron establecidos teniendo en cuenta la resolución 3957 de 2009, sin embargo, la clasificación de la calidad de agua sigue por debajo de 40 en el *Water Quality System*, WQI , lo que permite pensar que los esfuerzos aún no han permitido llegar a un nivel deseable, por tanto, se requiere de acciones concretas y decididas por parte del gobierno Distrital (SDA, 2011).

Desde el punto de vista productivo, el sector de las curtiembres ha sido fuertemente golpeado por el contrabando de pieles como consecuencia de las actividades ilícitas del narcotráfico. La consecuencia directa ha sido el incremento indiscriminado del valor de las pieles sin curtir y la imposibilidad de seleccionar los cueros de acuerdo con las características requeridas para el proceso; por ejemplo, si se trata de cuero para zapatos, deberá contener mayor cantidad de grasa que las pieles que son utilizadas para la elaboración de bolsos o ropa. La compra masiva ilegal para lavar dinero o para encaletar la droga, ha desencadenado el quiebre o cierre de muchas curtiembres legales fomentando la práctica de la curtición ilegal (Jaramillo *et al*, 2005).

Por otro lado, es importante destacar un aspecto económico que no sólo ha generado consecuencias en el sector de los cueros sino que ha disminuido la producción de otros sectores y es el aumento de las importaciones legales e ilegales, desencadenando un aumento exagerado de los productos ofrecidos en el mercado y ha ocasionado que los precios de los artículos terminados no sean competitivos con los producidos no sólo en países como Colombia sino en toda Latinoamérica. Los tratados de libre comercio entre algunos países han generado una desaceleración del sector ya que las competencia por precio y tecnología deja por fuera a los pequeños productores de cuero (Jaramillo *et al*, 2005).

### **8.3. Efectos Medioambientales**

Las etapas del proceso productivo incluyen cerca de 40 sustancias en diferentes niveles de toxicidad, esto, unido a la mala disposición de residuos tanto sólidos como líquidos generan diferentes tipos de problemas que afecta directamente la porosidad del suelo

debido a la desintegración de la arcilla y la consecuencia directa es la disminución de actividades de tipo agrícola a pequeña escala en las zonas rurales donde hay presencia de este tipo de industrias (Jaramillo *et al* , 2005). Los desechos de curtiembre contienen un número de constituyentes en cantidades variables y significativas, de acuerdo a la materia prima, proceso y producto final. Los materiales que pueden aparecer en los desechos de curtiembre, incluyen entre otros: pelos, pedazos de piel y carne, sangre estiércol, sales, sal común, sales de cromo y sulfuros entre otros.

Los residuos se descargan en estado gaseoso, líquido o sólido. Los desechos líquidos son los de mayor significación. Sin embargo, los materiales gaseosos y sólidos son importantes en ciertas operaciones individuales y se deben considerar para su disposición. Después del proceso de curtido se generan lodos, los cuales actualmente son separados y no se evacuan junto con las aguas residuales.

Los lodos están constituidos por productos orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos pueden provenir de la piel o de los materiales empleados en la fabricación del cuero y los inorgánicos que más abundan son sales insolubles así como otros metales pesados. Aunque el cromo no represente una alta toxicidad dentro del componente global de los efluentes, si es objeto de una alta persecución normativa.

La descomposición de la materia orgánica, así como la emisión de sulfuro de las aguas residuales causan el característico mal olor, y tienen su origen en inadecuadas prácticas productivas y una falta de políticas de mantenimiento e higiene de las instalaciones es así, que la localización de este tipo de industrias es motivo de controversia en muchos países. En el caso Colombiano, un ejemplo claro de migración de las instalaciones de curtición fue lo sucedido en Cundinamarca, más específicamente en Villapinzón donde muchas de las plantas de procesamiento debieron ser trasladadas hacia otras zonas, entre ellas, el Barrio San Benito de Bogotá, el cual se encuentra ubicado en la ladera del Río Tunjuelito: Es claro que con el cambio geográfico lo único que se consiguió fue trasladar el problema de contaminación del Río Bogotá, a uno de sus afluentes, el Río Tunjuelito ampliando así la zona de contaminación, lo que ha ocasionado la migración de las plantas de curtido hacia lugares apartados de las cabeceras municipales,

generando asentamientos en las laderas de los ríos que hacen parte de la cuenca del río Bogotá (CNPL, 2004).

### **Efectos sobre cuerpos de agua**

Las aguas residuales cuando son descargadas directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en la vida acuática y en los usos posteriores de dichas aguas. Un cuerpo contaminado disminuye su uso como bebida o para fines agrícolas e industriales. Afecta la vida acuática, mueren los peces por disminución del oxígeno disuelto y el agua se convierte en no apta para el consumo. Por otro lado, El problema con los tensoactivos radica en que disminuyen la tensión superficial del agua y favorecen la formación de espumas, aún en bajas concentraciones, cuando se acumula en la interfaz aire-agua, gracias a la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales disueltas, las grasas y aceites causan iridiscencia y problemas de mantenimiento e interfieren con la actividad biológica ya que son difíciles de biodegradar, el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) no ionizado es tóxico además de causar graves problemas de olores a valores de pH menores a ocho (Collazos, 2008).

### **Efectos en el alcantarillado y plantas de tratamiento**

Los efluentes crudos de curtiembres, lanzados a una red de alcantarillado, provocan incrustaciones de carbonato de calcio y gran deposición de sólidos en las tuberías. La presencia de sulfuros y sulfatos también acelera el deterioro de materiales de concreto o cemento. Los residuos químicos líquidos que son descargados sin tratamiento provocan una drástica disminución del oxígeno disuelto en ella por efecto del sulfuro.

### **Efectos en el suelo**

El suelo tiene cierta capacidad para neutralizar la carga contaminante recibida, sin embargo, los niveles de contaminación deben ser cuidadosamente controlados para evitar el daño en la estructura del suelo y la consecuente disminución de la producción agrícola y la aceleración de la erosión.

### Calidad del aire

Los materiales particulados y sulfuro de hidrógeno son las dos descargas gaseosas potencialmente significativas. Los malos olores también afectan la calidad del aire.

## 8.4. Normatividad aplicable al sector de las curtiembres

La calidad del agua es una característica de vital trascendencia en el consumo humano y uso doméstico, de ahí que su preservación y manejo deben ser una constante preocupación de usuarios y autoridades. Dentro de la normatividad legal vigente para el sector de las curtiembres, la resolución 3957 de 2009 emitida por la Secretaría de Ambiente de Bogotá, establece los valores máximos permitidos en los vertimientos así como también las condiciones actuales de la Cuenca del río Bogotá teniendo en cuenta todos sus afluentes.

Tabla 2. Valores establecidos por la Resolución 3957 de 2009 de la Secretaría de Ambiente de Bogotá

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR RES. 3957 de 2009	CARGA CONTAMINANTE (Kg/DIA)
Color	Unidades Pt-Co	50	No aplica
Cromo	mg/L	1	0,0001
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,00005
DBO <sub>5</sub>	mg/L	800	0,1192
DQO	mg/L	1500	0,5961
Fenoles	mg/L	0,2	0,0002
Sólidos suspendidos totales	mg/L	6	0,0138
Sulfuros	mg/L	5	0,0071
Tensoactivos	mg/L	10	0,0006

pH	unidades	5-9	N/A
Sólidos sedimentables	mL/L	2	N/A
Temperatura	°C	30	N/A

Fuente (SDA, 2009)

Las condiciones de la Cuenca del río Bogotá se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Condiciones de la Cuenca del Río Bogotá según la resolución 3957 de 2009 de la Secretaría de Ambiente de Bogotá.

Parámetro	Cuenca del Río Bogotá				
	Alta – Superior	Alta - Inferior	Media	Baja- Superior	Baja- Inferior
DBO (mg/L)	20-70	70-150	200-270	100-200	100-200
SST (mg/L)	20-100	20-100	100-200	+200	100-200
OD (mg/L)	+6	2-6	0-2	4-6	0-2
C. Totales (NMP/100 ml)	$10^3 - 10^5$	$10^3 - 10^5$	$10^5 - 10^9$	$10^5 - 10^9$	$10^5 - 10^8$
Cadmio (mg/L)	0,003	0,000	0,003	0,008	0,009
Cromo (mg/L)	0,021	0,005	0,041	0,050	0,033
Níquel (mg/L)	0,016	0,016	0,029	0,050	0,028
Plomo (mg/L)	0,025	0,019	0,032	0,034	0,034

Fuente: (SDA, 2009)

En Bogotá, la línea de Calidad de Agua y Saneamiento reúne las acciones técnicas y sociales que tienden a alcanzar niveles de salubridad y comprende además el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales y las excretas, los residuos sólidos y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación (SDA, 2011).

Dentro de las problemáticas identificadas en Bogotá, y que tienen una relación directa con la Calidad del Agua y Saneamiento Básico, se encuentra la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico. Para contrarrestar este efecto, la unidad de Inspección, Vigilancia y Control (IVC) ha sido designada dentro de la Política Distrital de Salud Ambiental de Bogotá, como el ente regulador, y dentro de los establecimientos que son usuarios intensivos de sustancias peligrosas, metales pesados, solventes, combustibles y sustancias corrosivas se han determinado los puntos críticos y los grupos de intervención dentro de los cuales se encuentran: la industria extractiva, la industria fabricante y distribuidora de materiales de construcción, la industria textil, la industria manufacturera, la cual está conformada por los establecimientos en donde se utilice como materia prima el cuero, fábricas de calzado con proceso industrial definido y curtiembres (SDA, 2011).

En el caso específico de la calidad de agua de Bogotá, el Plan de Desarrollo Bogotá Positiva 2008-2012 presenta resultados de la implementación de un programa para el mejoramiento del agua mediante el uso de tasas retributivas, donde se refleja un mejoramiento en la calidad del agua del río Tunjuelo en los 4 tramos que fueron evaluados. Sin embargo, la calidad del agua sigue estando en nivel pobre, 40 WQI, *Water Quality system* (por sus siglas en inglés) que mide la calidad del agua (Ambiente, 2011); teniendo en cuenta estos resultados, se han realizado actividades para el control de la contaminación en los ríos de Bogotá. En cuanto al avance de las obras de saneamiento de los ríos Tunjuelo y Fucha, se presenta un resumen del avance porcentual en las obras que incidirán directamente en la mejora de la calidad de las corrientes (SDA, 2011).

Tabla 4 Estado actual de la WQI del Río Tunjuelo

RIO	TRAMO	ESTACIONES	WQI 2009-2011	WQI 2007-2008	COMPORTAMIENTO
TUNJUELO	1	Regadera	82	80	los valores calculados de WQI para este tramo se clasifica como buena, teniendo valores por encima de 80 unidades desde el inicio de la serie en 2007, se mantiene la calidad de la corriente
	2	Cra 7a. Río Fucha	33	27	El valor calculado establece que la calidad de la corriente es pobre, se espera el mejoramiento de la calidad una vez entre en totalidad el interceptor Tunjuelo Alto derecho y generen el efecto esperado las acciones de control sobre las actividades de transformación de materiales pétreos en la zona de influencia
		Avenida Ferrocarril			
	3	Doña Juana	34	31	Se presenta una mejora sostenida en la calidad del agua de la corriente, sin embargo, históricamente se clasifica este sector del río como POBRE (inferior a 40)
		Barrio México			
		San Benito			
	4	Makro autosur	41	23	Mejoramiento en la calidad, para estos tramos se espera una mejora gradual sostenida al entrar en operación los interceptores Tunjuelo Alto derecho, refuerzo del interceptor Tunjuelo Medio e interceptor Tunjuelo bajo.
		Makro autosur			
		Transversal 86			
		Puente La Independencia			
		Isla Pontón San José			

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2011

Además de la normatividad mencionada con anterioridad, en el artículo 50 del proyecto de norma de vertimientos de octubre de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo sostenible, establece los parámetros a monitorear en los vertimientos puntuales de aguas residuales de generadores que desarrollan actividades del Código CIU integrados con la fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles estableciendo los valores máximos permisibles para los parámetros relacionados en la siguiente tabla:

Tabla 5 Valores máximos permisibles para cada parámetro en cuerpos de agua superficial y alcantarillado público

PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
		CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL	ALCANTARILLADO PÚBLICO
<b>Generales</b>			
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	1.500	3.500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	750	1.750
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	700	700
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2,0	10
Grasas y Aceites	mg/L	80	100
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	5,0	8
<b>Hidrocarburos</b>			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	5,0	1
<b>Nutrientes</b>			
Fósforo Total (P)	mg/L	5,0	10
<b>Compuestos Nitrogenados</b>			
Nitrógeno Total (N)	mg/L	100	100
<b>Iones</b>			
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	5.000	5.000
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	3.000	3.000
Sulfuros (S <sup>2-</sup> )	mg/L	3,0	5,0
<b>Metales y Metaloides</b>			
Cromo (Cr)	mg/L	1,0	1,0

Fuente (Ministerio Medio Ambiente, 2012)

Es claramente observable que los parámetros establecidos marcan un camino sobre el cual las empresas y las personas dedicadas al oficio del curtido deben establecer procesos de tratamiento para sus vertimientos que cumplan con la normatividad, sin embargo, el color es un parámetro no establecido a pesar de su alta toxicidad en los diferentes sistemas ambientales: aire, suelo y obviamente agua.

La ausencia del color como parámetro a evaluar dentro de la normatividad vigente, acentúa la importancia de buscar, utilizar e implementar soluciones viables, económicas que permitan disminuir su presencia en las aguas, trayendo como consecuencia una mejor calidad del agua.

## 8.5. Color

Los colorantes son sustancias orgánicas fluorescentes o de color intenso que imparten color a una sustancia incolora, o bien a un sustrato, por medio de una adsorción selectiva de luz dentro de las longitudes de onda de 400 nm a 700 nm del espectro electromagnético (Abdula, 2000). El compuesto está constituido por tres grupos funcionales, el cromóforo, que es el grupo responsable de la adsorción de la luz, dándole la propiedad de color al compuesto; los auxocromos, que le dan afinidad por la fibra del cuero e intensifican el color y por último el solubilizador, que le da afinidad a solventes diversos y está dado por la presencia de iones como  $\text{SO}_3\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_3\text{Cl}$ ,  $-\text{SO}_2\text{NH}_2$ ,  $-\text{ONa}_2$  (Anastasi *et al*, 2009).

Los colorantes usados industrialmente poseen una compleja estructura química encontrando así a aquellos que contienen grupos tipo azo, diazoantraquinonas y complejos metálicos, los cuales generalmente se aplican como mezclas (Balaguera, 2011) según sus propiedades pueden ser clasificados como ácidos, básicos, reactivos y directos (Fieser, 2010). La referencia más importante acerca de la clasificación de los colorantes y pigmentos es el color index, en dicha publicación los colorantes y pigmentos se clasifican de acuerdo con su estructura química como: azo ( $-\text{N}=\text{N}-$ ), carbonil ( $\text{C}=\text{O}$ ), diversas clases de colorantes orgánicos (colorantes polienos y polimetinos, colorantes con ion arilcarbonilo, dioxacinas) (Christie, 2001). En el caso del curtido de pieles la mayoría de los colorantes son tipo azo, lo que permite establecer su pico de absorción en 450 nm ( Fieser, 2010).

## 8.6. Tratamiento de aguas residuales

En la actualidad se producen más de 6 millones de metros cúbicos de aguas residuales cada día donde el 80% de los vertidos no tienen tratamiento previo antes del descargue que se realiza a los suelos, ríos, quebradas, lagos y el mar (Collazos, 2008).

A continuación se relacionan los principales tipos de técnicas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales lo que amplía las posibilidades de utilizarlas de manera combinada con el fin de obtener mejores resultados de descontaminación final.

Tabla 6. Tratamiento de aguas residuales

PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	Ventajas	Desventajas
Coagulación	Fácil de operar utilizado a gran escala	Baja eficiencia en la remoción del porcentaje de DQO, no remueven color
Intercambio catiónico	Alta eficiencia para remover el % de DQO, capacidad para eliminar sustancias hidrófilas	Altos costos de operación, producción de residuos con alta selectividad, no remueven color
Procesos de oxidación	Altas eficiencias de remoción	Eficiencias variables, no aplicables a gran escala, generación de biopelículas en los sistemas de distribución
Membranas	Alta eficiencia	Costos altos y no remueven color
Carbón activado	Apropiado para la disminución del % de DQO	Bloqueo de los sitios activos debido a la presencia de altas concentraciones de materia orgánica
Hongos de podredumbre blanca	Potencial en la reducción de color, potencial en la remoción de DQO; reducción del uso de compuestos químicos	Altamente efectivo en la remoción de color, su aplicación en el tratamiento no ha sido ampliamente demostrada

Fuente: (Gregorio, 2005)

El tratamiento del agua puede dividirse en tres categorías principales:

- La purificación para uso doméstico
- El tratamiento para aplicaciones industriales especializadas
- El tratamiento de las aguas residuales para hacerlas aceptables para vertimiento o vertido o su reutilización.

El tipo y el grado de tratamiento dependen fuertemente de la fuente y del uso que se pretende dar al agua. El agua para uso doméstico debe desinfectarse completamente para eliminar los microorganismos que causan enfermedades pero puede contener niveles apreciables de calcio y magnesio disueltos (dureza). El agua residual que se descarga en un gran río puede requerir un tratamiento menos riguroso que el agua que va a ser reutilizada en una región árida. Conforme aumenta la demanda mundial de los limitados recursos hídricos para tratar el agua, tendrán que emplearse medios más amplios y sofisticados (Manahan, 2007).

Los métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales con metales incluyen: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación resultan costosos e ineficientes, especialmente cuando la concentración de los metales es muy baja. (Gadd *et al*, 1986)

Los efectos de los metales sobre el funcionamiento de los ecosistemas varían considerablemente y son de importancia económica y de salud pública. Entre los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de los metales pesados se encuentran: el desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales, la modificación de la conformación activa de biomoléculas, especialmente enzimas y polinucleótidos, la ruptura de la integridad de biomoléculas y por último, la modificación de otros agentes biológicamente activos (Anushree, 2008). Los métodos químicos resultan costosos debido a que el agente activo no puede ser recuperado para su posterior reutilización (Anushree, 2008).

### **8.6.1. Usos de sistemas Biológicos**

El uso de sistemas biológicos para la eliminación de metales pesados a partir de soluciones diluidas tiene el potencial para hacerlo mejor y a menor costo que los métodos químicos. Además, el producto final es un lodo con alta concentración de metales lo que dificulta su eliminación. Si se considera el uso de células vivas para un sistema de eliminación de metales, la toxicidad puede conducir a un envenenamiento e inactivación. El uso de biomasa muerta o productos derivados de ella eliminan el problema de la

toxicidad, no sólo de la provocada por metales disueltos, sino también por condiciones adversas de operación, además del componente económico de mantenimiento incluyendo el suplemento de nutrientes (Gadd *et al*, 1986). Sin embargo, las células vivas pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos para la acumulación de metales como el transporte, la formación de complejos extracelulares y la precipitación. De manera adicional, la tolerancia y resistencia a los metales pesados son propiedades que están muy distribuidas en los microorganismos de todos los grupos (Galvín, 2003).

La biomasa microbiana (o sus productos) es puesta en contacto con una solución de metales y una vez que éstos han sido removidos por ella, se tiene la opción de recuperar la biomasa íntegra (funcional) utilizando reactivos químicos suaves para retirar los metales sin destruirla, permitiendo así su utilización posterior en un nuevo ciclo de tratamiento. En caso de que no importe la integridad de la biomasa, el metal puede ser retirado de la misma por métodos más drásticos. (Galvín, 2003)

Los microorganismos y sus productos pueden ser bioacumuladores muy eficientes de metales solubles y particulados, especialmente a partir de concentraciones externas diluidas, por esto las tecnologías basadas en los microorganismos ofrecen una alternativa o ayudan a las técnicas convencionales para la eliminación/recuperación de metales (Galvín, 2003).

Con relación a bacterias y hongos, ambos son capaces de degradar prácticamente todos los compuestos orgánicos, bien disueltos o en suspensión del agua residual, pudiendo llegar a convertirlos en último extremo en CO<sub>2</sub>, aguas y sales inorgánicas, es decir, remineralizándolos( Belliveau, 1987). Esta acción, que consume oxígeno disuelto del agua, se extiende a proteínas, azúcares, almidón e incluso a grasas, celulosa y lignina (Galvín, 2003) y suele provocar la reducción de la proporción de bacterias proteolíticas, mientras se incrementa la de las bacterias descomponedoras de celulosa. (Gadd *et al* 1986).

De este modo, tras un vertido de aguas residuales domésticas a un río, disminuye el número de Eubacterias y de algas, mientras el de bacterias vaginadas aumenta; más tarde se detectan incrementos en la cantidad de protozoos y finalmente, de algas. Esta

secuencia es válida para el seguimiento de la correcta explotación de una estación depuradora de aguas residuales (Galvín, 2003).

Las aguas residuales (fuertemente orgánicas) son ricas en hongos, sobre todo levaduras y hongos levaduriformes, siendo los géneros más frecuentes *Saccharomyces*, *Candida*, *Rhodotorula*, en los vertidos de industrias alimentarias del tipo de cerveceras y lácticas, la proporción de levaduras puede ser superior a la de las bacterias (Galvin, 2003), dado el empleo de estos microorganismos en los procesos industriales (Collazos, 2008).

Por otro lado, los hongos autóctonos de las aguas residuales pueden desarrollarse en condiciones ambientales más extremas que las soportadas por las bacterias, es decir, un rango más amplio de temperatura y pH (Galvín, 2003). Las especies *Leptomitus lacteus* y *Fusarium aquaeductuum* son típicas de aguas domésticas y contribuyen a la formación de los episodios de “hongos de aguas residuales” junto con *Sphaerotilus natans* (Collazos, 2008).

### **8.6.2. Tratamiento con hongos**

Dentro de las técnicas de tratamiento de aguas residuales con hongos, entre los más utilizados se encuentran los hongos de podredumbre blanca, los cuales reciben ese nombre debido a la apariencia exterior que poseen cuando se encuentran localizados sobre las cortezas de los troncos de árboles frondosos. Son degradadores de celulosa y lignina gracias a su maquinaria enzimática y se ha constituido en un método de remediación muy distinto comparado con sistemas bacterianos (Bumpus, 1987).

Las diferencias se deben principalmente a los mecanismos inusuales que la naturaleza les ha proporcionado y con varias ventajas para la degradación del contaminante. El uso de hongos se encuentra dentro de las opciones biológicas que pueden ser utilizados como tratamiento primario en las aguas de descarga debido a que han sido reportados como poseedores de gran potencial degradador de contaminantes como hidrocarburos, explosivos, plaguicidas, bifenilos policlorados, entre otros (Anastasi *et al*, 2009) (Anushree, 2008) (Faraco, 2009) (Rekuc, 2010) (Salame, 2010).

En los hongos, la inducción de la enzima degradante no depende del contaminante sino de la limitación de nutrientes, por lo tanto, el cultivo de hongos de la pudrición blanca sobre un sustrato de nutrientes limitado permite el funcionamiento del sistema enzimático (Anushree, 2008). Se sabe además que son capaces de reducir la demanda química y bioquímica de oxígeno por medio de la biodegradación aeróbica convencional (Gomez, 2008).

Los mecanismos de acción de estos hongos se clasifican en dos grupos: Físicos, mediado por el micelio fúngico que actúa como un absorbente natural, proceso que favorece por el área superficial de las hifas y por los grupos funcionales presentes en su pared que actúa como ligando, este proceso no implica gasto energético para el microorganismo (Chaves, 2006) y el segundo tipo es el bioquímico, asociado al metabolismo, en el cual participan de manera simultánea tres sistemas enzimáticos: el primero de ellos denominado complejo lignolíticos que está conformado por un amplio grupo de enzimas de la familia polifenoxidasas dependientes del peróxido. Su actividad catalítica se basa en la sustracción de electrones a partir de compuestos aromáticos y no aromáticos con diferentes grados de sustituciones, empleando como aceptor final de electrones el oxígeno molecular (Martinez, 2011).

El segundo sistema está compuesto por todas las enzimas que favorecen la producción de peróxido de hidrógeno a partir de las transformaciones de monómeros (aril alcohol oxidasa, glucosa oxidasa, entre otras). La generación de peróxido es un mecanismo de retroalimentación fundamental para producir el activador del compuesto de las peroxidasa, intermediario que genera la primera sustracción de electrones en los anillos aromáticos. Por último se tiene la participación de todas las enzimas que actúan en las rutas metabólicas del catabolismo y anabolismo para generar energía e intermediarios claves como ciertos ácidos orgánicos, que intervienen en quelación de iones metálicos como el manganeso, activador específico para la enzima manganeso peroxidasa (Balaguera, 2011) Gracias a la interacción de los tres sistemas, gran variedad de colorantes son oxidados parcialmente o mineralizados hasta dióxido de carbono y agua (Pedroza, 2010) (Martinez, 2011).

Dentro de los factores limitantes del crecimiento fúngico se encuentran la no disponibilidad de fuentes de carbono y nitrógeno, que en el caso de las aguas de las curtiembres está representado por la materia orgánica presente, el pH es otro factor relacionado con el crecimiento óptimo de los hongos ya que el metabolismo funciona a pH menores a 7 y cercanos a 6,5. En el caso de los hongos de podredumbre blanca la oscuridad favorece su esporulación debido a su naturaleza no fotosintética, sin embargo se conoce bien que las altas concentraciones de metales pesados pueden inhibir tanto la producción de enzimas degradadoras (Gomez, 2008) como el crecimiento del micelio.

## **8.7. Espuma de poliuretano**

Es un material muy versátil ya que, según los aditivos y los sistemas de fabricación utilizados, se pueden conseguir características muy distintas y espumas destinadas a usos muy diferentes. Desde los bien conocidos bloques de espuma elástica para colchones hasta espumas casi rígidas para juguetería, automoción o calzados.

La espuma de poliuretano tiene múltiples usos en el mundo actual, en el caso de los colchones se usa como relleno principal o como integrante de los acolchados, en muebles es utilizado en asientos de sofás y sillas, relleno de acolchados, etc. En la construcción, como aislante térmico, absorbente acústico; también hace parte de muchos artículos como juguetes, prendas de vestir, esponjas, calzados, almohadas, cojines, envases y en general todo tipo de acolchados o rellenos (Quinn, 2013).

La Espuma de Poliuretano tiene una elevada capacidad aislante debido a la baja conductividad térmica que posee el gas espumante de sus células cerradas, que puede situarse en  $10\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,022\text{ W/m}\cdot\text{K}$ , según la Norma UNE 92202; aunque este valor se eleva ligeramente con el paso del tiempo, hasta estabilizarse definitivamente; presenta una gran resistencia frente a los efectos del paso del tiempo y tiene una larga vida útil, manteniéndose sin deteriorarse durante más de 50 años (ABM, 2013)

Los valores de la Espuma de Poliuretano en lo que a la humedad se refiere garantizan, en la mayoría de los casos, la ausencia de condensaciones intersticiales, haciendo posible la transpiración del cerramiento y permite mantener durante mucho tiempo las características de la solución constructiva.

Algunos estudios donde se ha evaluado el porcentaje de remoción de color ( Balaguera, 2011) (Bumpus, 1987) o de algún otro compuesto, han utilizado la espuma de baja densidad como soporte inerte (Gomez *et al*, 2008) ya que debido a la alta porosidad se constituyen en un buen soporte mecánico permitiendo la colonización de la hifas de los hongos en los espacios vacíos entre los poros además de su bajo costo y la gran estabilidad del material a lo largo del tiempo.

A continuación se relacionan las densidades de los diferentes tipos de espumas. En el caso del presente estudio se trabajo con espuma estéril de baja densidad debido a las ventajas expuestas anteriormente.

Tabla 7. Densidades en Kg/m<sup>3</sup> de los diferentes tipos de espumas

17	20	24	27	30 y 35
Espuma de poliuretano flexible de baja densidad	Mediana densidad, color azul	Excelente material, buena resiliencia y larga vida útil, color rosa claro, suave al tacto, relación costo beneficio, recomendado en general de acolchamiento en colchón, muebles, sofás, etc.	Espuma de poliuretano de alta densidad, color naranja claro, tacto amable, excelente, por consecuencia larga vida útil. Comportamiento excelente bajo cualquier uso. Material altamente recomendable par acolchamiento.	Espuma de poliuretano de alta densidad, cualidades excelentes, cuenta con alto factor de soporte, buena resiliencia, tacto, vida útil, soporte y confort
Color natural blanco, celulosa ligera, resiliencia baja, vida útil moderada. Es apropiada para el trabajo ligero. Da volumen a cojines, pantuflas, capitoneados, vistas, rellenos de prendas, bajo precio y diversidad de aplicaciones.	regular, buen aspecto al tacto, mejor desempeño en relación a la densidad	17. Posible uso en acolchamiento.		

Fuente: Espumas de Méjico (consultado en línea el 7 de agosto de 2013)

## 9. Metodología

### 9.1. Toma de muestra

El punto de captación fue la caja de inspección Externa de Curtiembres Camelo ubicada en la Cra 18 C No. 59-62 Sur Bogotá D.C. Hora: 10 y 15 a.m. las condiciones climatológicas durante la jornada de monitoreo presentaron cielo nublado sin alterar las condiciones de la toma de una sola muestra puntual representativa equivalente a 15 litros.

La muestra se envasó en recipientes debidamente rotulados y preservados con el fin de evitar su alteración hasta realizar la caracterización en el laboratorio. A la muestra recolectada se le midieron en campo los parámetros de pH, temperatura, sólidos sedimentables y caudal.

#### Mediciones *In Situ*

Los parámetros que se evaluaron fueron: pH y temperatura con equipo previamente calibrado. El caudal se determinó por método volumétrico con uso de balde, probeta y cronómetro. Los sólidos sedimentables se midieron con cono Imhoff.

Tabla 8. Mediciones in situ para la muestra tomada en Curtiembres Camelo

EQUIPO	MARCA/MODELO	CARACTERISTICA	SENSIBILIDAD
pH metro	Lutron ANQ 237	Digital	0,01 unidades
Termómetro	B&C Germany	Bulbo	1°C
Cronómetro	Casio	Digital	0,01 s
Cono Imhoff	-	Volumétrico	0,1 mL

Fuente: autora

Es importante tener en cuenta el tipo de equipo utilizado y la sensibilidad del mismo, ya que de ello depende la confiabilidad de los datos provenientes del agua analizada.

Tabla 9. Límites de detección del método

PARAMETRO	LIMITE DE DETECCIÓN DEL METODO (mg/L)
Color	0,76
Cromo	0,06
Cromo hexavalente	0,02
DBO5	2
DQO	6
Fenoles	0,07
Solidos suspendidos totales	5
Sulfuros	1,2
Tensoactivos SAAM	0,07

Fuente: autora

Para realizar la caracterización del agua residual de los procesos se requirió hacer un muestreo de tipo puntual. Según lo recomendado por el “*Estándar Methods for the examinations of Water and wastewater*” los recipientes utilizados para la toma de muestras representativas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Parámetros a evaluar en la muestra de agua

PARAMETRO	RECIPIENTE	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	TIPO DE MUESTRA	PRESERVACIÓN
DQO Fenoles	Frasco ámbar vidrio	500	Puntual	H2SO4
DBO5	Garrafa	1 000	Puntual	Refrigeración a 4°C

Tensoactivos SAAM	plástica			aproximadamente
Sólidos suspendidos totales				
Cromo hexavalente				
Color				
Cromo	Frasco de vidrio ámbar	250	Puntual	HNO <sub>3</sub>
Sulfuros	Frasco vidrio ámbar	1 000	Puntual	NaOH + acetato de Zinc
Prueba degradación biológica	Garrafa plástica	5 000	Puntual	Temperatura ambiente

Fuente: autora

## 9.2. Ceba

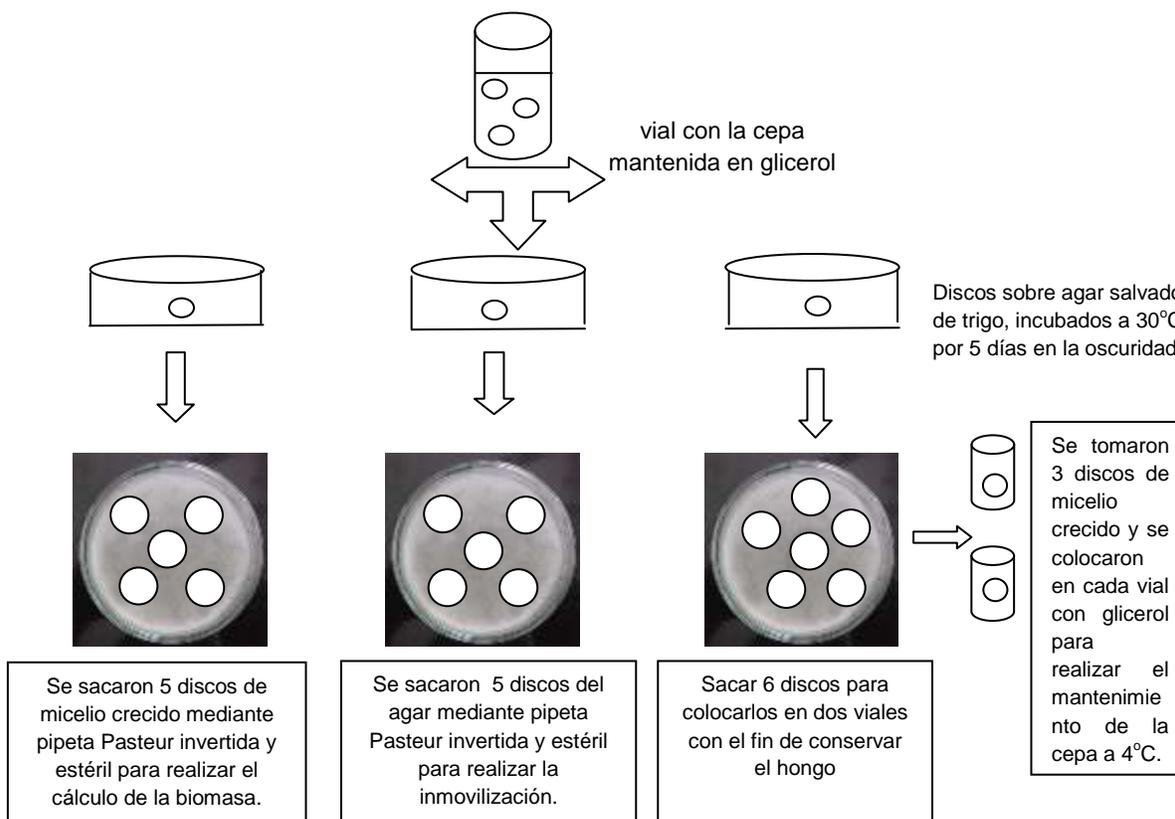
La cepa de *Phanerochaete chrysosporium* fue facilitada por el laboratorio de Biotecnología de la Pontificia Universidad Javeriana en un vial mantenido con glicerol con fecha mayo de 2010 donde se encontraban tres discos de agar salvado con micelio conservado en óptimas condiciones, lo que garantiza la identificación del hongo como *Phanerochaete chrysosporium*.

### 9.2.1. Reactivación de la Ceba

Partiendo de tres discos de micelio del hongo *Phanerochaete chrysosporium* mantenido en un vial con glicerol, se realizó la activación del hongo colocando en contacto la parte crecida del disco con el agar salvado de trigo (Ver anexo 4) mediante una técnica de siembra en sándwich. Este procedimiento se realizó en tres cajas de agar salvado de trigo donde se colocó un disco en el centro de cada caja de Petri, las cuales fueron colocadas en una incubadora marca Labtech durante 5 días a 30°C en la oscuridad para favorecer la esporulación del hongo. Una caja se usó para el cálculo de la biomasa, otra

para la inoculación al caldo salvado de trigo y la otra para colocarla en dos viales con glicerol y realizar el mantenimiento de la cepa de *Phanerochaete crhysosporium* a 4°C.

Figura 1. Reactivación de la cepa



### 9.2.2. Cálculo de la Biomasa utilizada

Para calcular la biomasa utilizada en la prueba se tomó la diferencia en peso del disco crecido con el hongo y el disco solo realizando cinco mediciones y promediando los valores obtenidos. La balanza analítica usada es marca Sartorius modelo LA 130S-F. El promedio de biomasa fresca usada fue de 0.0102 g /disco. Lo que representa una biomasa inicial de 51 mg en los 5 discos que se colocaron en el Erlenmeyer de la inmovilización.

Figura 2. Balanza analítica usada



Figura 3. Discos de micelio y discos de agar salvado utilizados



### 9.2.3. Mantenimiento de la cepa

A partir de una caja crecida de agar salvado de trigo se cortaron 6 discos de micelio crecido con el hongo *Phanerochaete chrysosporium* mediante el uso de pipeta Pasteur invertida y estéril. Se colocaron 3 discos en cada vial y se adicionó glicerol para el mantenimiento de la cepa a 4°C.

## 9.3. Diseño Experimental

Los montajes corresponden a un diseño experimental completamente al azar con un estado inicial, cuatro montajes y un control abiótico. Las mediciones de unidades de color se realizaron por triplicado los días 5, 10, 15 y 20. Los datos fueron consignados en tablas para el análisis estadístico se realizó una prueba de ANOVA de una vía usando

SPSS y una prueba de Duncan con un  $\alpha = 0.05\%$  con el fin de determinar el grado de significación entre las medias obtenidas en los tratamientos.

## 9.4. Inmovilización

Se tomaron 5 discos previamente crecidos con el hongo *Phanerochaete chrysosporium* y fueron inoculados en un erlenmeyer de 2 litros de capacidad, el cual contenía un litro de caldo salvado de trigo y 30 cubos de 1 cm x 1 cm x 1 cm de espuma de poliuretano de baja densidad previamente esterilizados a 121°C x 15 minutos y 15 libras de presión como soporte inerte el fin de realizar la inmovilización (Pedroza, 2007).

Figura 4. Inmovilización del hongo

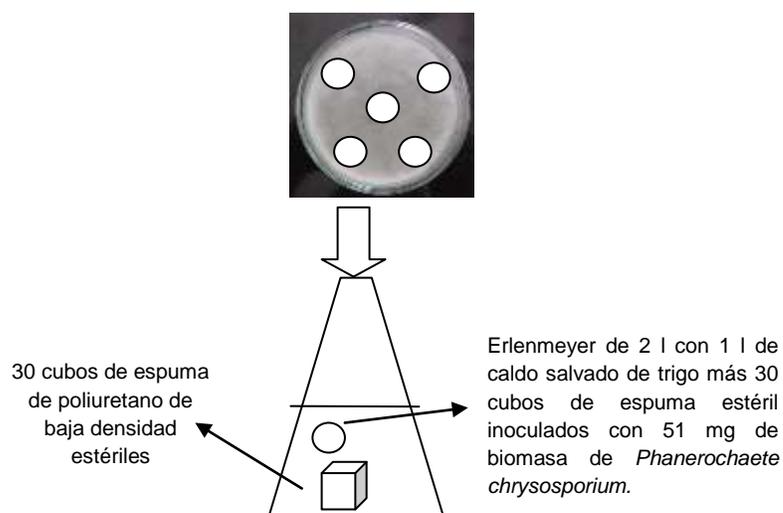


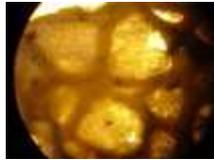
Figura 5. Salvado de trigo utilizados y rehidratado



La espuma de poliuretano trabajada fue de baja densidad debido a que el tamaño del poro permite la colonización hifal por parte del hongo.

Después de la incubación del hongo en caldo salvado de trigo mediante filtración con gasa y utilizando pinzas estériles en condiciones de esterilidad se tomaron los cuadros de espuma de poliuretano colonizados, a uno de ellos se le realizó un corte fino y delgado que fue observado en el estereoscopio con el fin de evidenciar la colonización hifal en el soporte inerte.

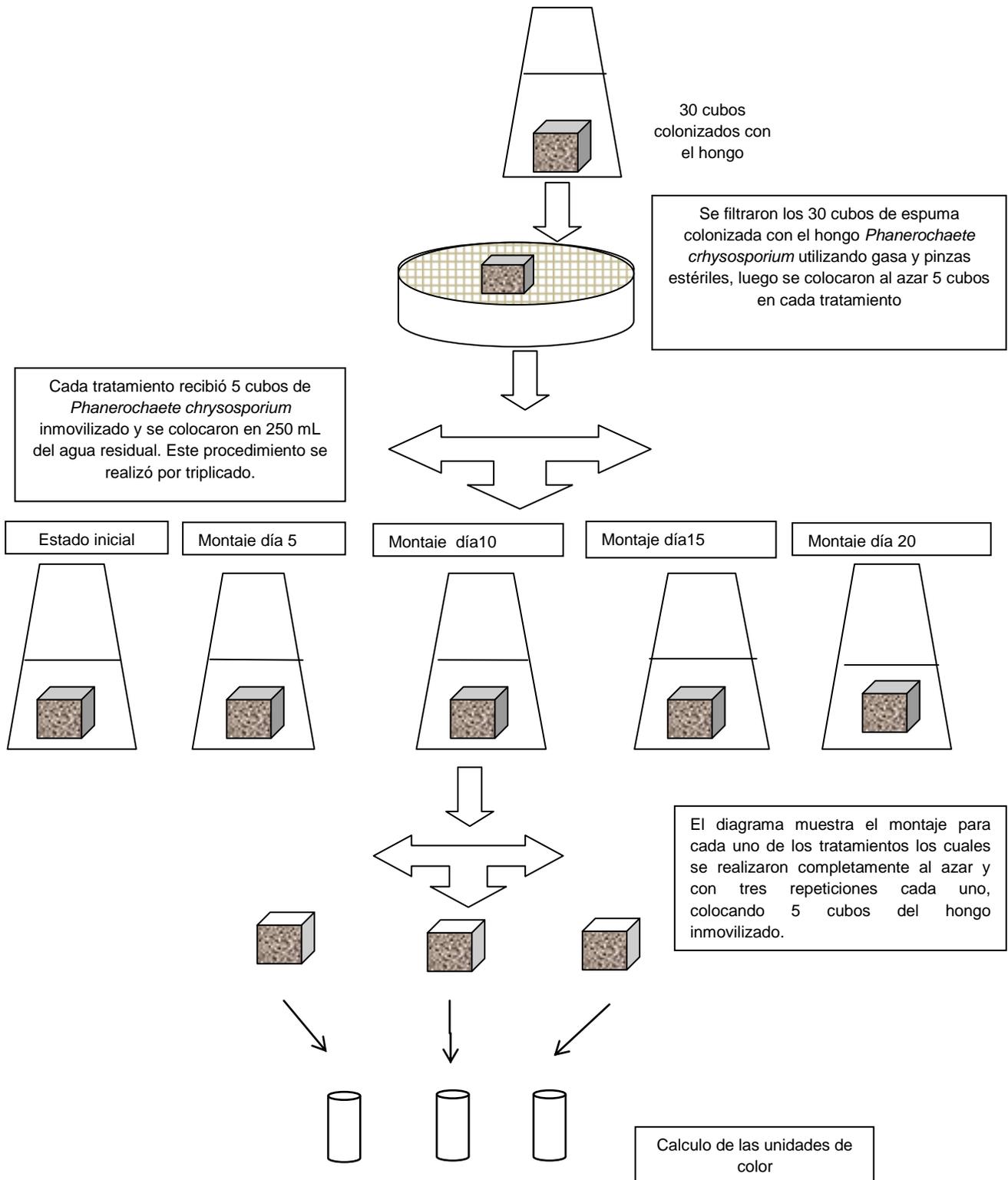
Figura 6. Colonización hifal en la espuma



## 9.5. Degradación Biológica

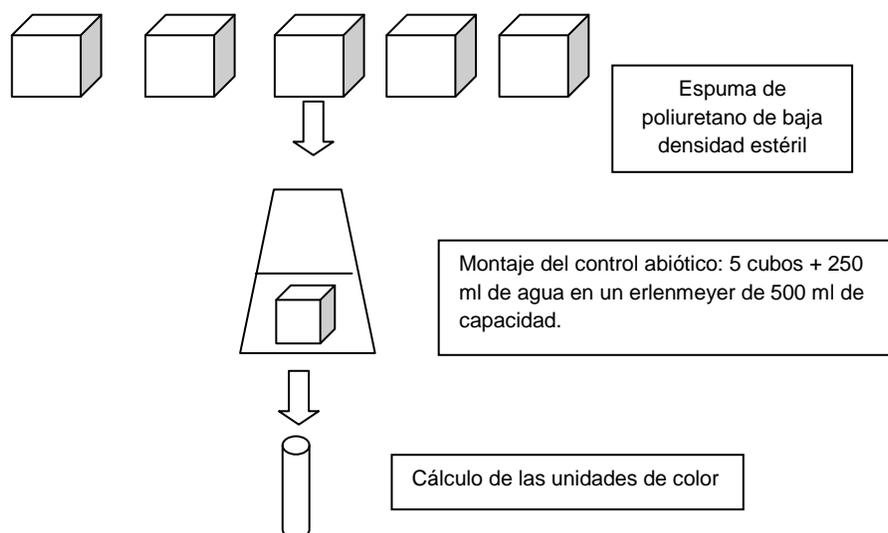
A partir del erlenmeyer de 2 l (litros) previamente incubado durante 5 días a 30°C en la oscuridad, se filtraron todos los cubos con gasa y pinza estériles se tomaron al azar 5 cubos colonizados con el hongo *Phanerochaete chrysosporium* y fueron colocados en un erlenmeyer de 500 ml de capacidad donde previamente se colocaron 250 ml del agua de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas de Curtiembres Camelo. Este procedimiento se repitió en los cuatro montajes con tres repeticiones cada uno para un total de 15 erlenmeyer experimentales. El control abiótico consistió en colocar 250 ml de agua con 5 cubos de espuma de poliuretano de baja densidad estéril sin inocularle el hongo y se mantuvo exactamente en las mismas condiciones de los demás tratamientos. Todos los erlenmeyer fueron incubados a 30°C en condiciones de esterilidad por 20 días, tomando mediciones de unidades de color al día 5, día 10, día 15 y día 20.

Figura 7. Montaje



El control abiótico del estudio consistió en un Erlenmeyer con capacidad de 500 ml el cual fue llenado con 250 ml de agua de curtiembre y 5 cubos de 1cm de espuma de poliuretano estéril, este procedimiento se repitió para todos los tratamientos.

Figura 8. Montaje del control abiótico



La relación entre el volumen de todos los erlenmeyer usados y la cantidad de agua obedecen a la disponibilidad de oxígeno por parte del hongo, es decir una relación de oxígeno 1:2. Todos los tratamientos fueron sometidos a 30°C sin agitación y en la oscuridad, ya que esta condición favorece la esporulación del hongo.

## 9.6. Determinación de las unidades de color

Para las determinaciones de unidades de color se tomaron los erlenmeyer y se utilizó una cabina de flujo laminar y todo el material fue previamente esterilizado (vasos de precipitado, gasa, tubos Falcon, pinzas) para impedir la contaminación de la muestra.

Se filtró el agua en un vaso de precipitado de 500 ml con ayuda de gasa estéril y con las pinzas fueron retirados y descartados los cubos. El agua fue colocada en 6 tubos Falcon de 15 ml llenados al azar y colocados en la centrífuga Hermle durante 10 minutos a 2500 rpm con el fin de separar el sobrenadante y determinar las unidades de color presentes leyendo la absorbancia a 450 nm de longitud (Maldonado, 2008) en un espectrofotómetro marca Statfax modelo 3300.

El procedimiento descrito se repitió para el estado inicial, día 5, día 10, día 15 y día 20 tanto para los montajes como para el control.

Los datos fueron consignados en una tabla con el fin de realizar posteriormente su análisis estadístico.

Para la determinación de unidades de color se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Abs} \times 500}{0.132} = \text{UC (Livernoche D, 1983)}$$

## 9.7. Cálculo de la decoloración

Para el cálculo de la decoloración real, se tomó el valor de la degradación del hongo y se restó el valor de remoción de color de la espuma (control abiótico) mediante la siguiente fórmula (Pedroza Aura, 2007):

$$\frac{\text{UC iniciales} - \text{UC finales}}{\text{UC iniciales}} \times 100 = \% \text{ remoción obtenido}$$

# 10. Resultados y discusión

## 10.1. Muestra de agua

A continuación se relacionan los resultados de la caracterización inicial del agua de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas proveniente de la caja de inspección de Curtiembres Camelo.

Tabla 11 Resultados iniciales del agua

PARAMETRO EVALUADO	VALOR OBTENIDO
pH	7.16
Unidades de color inicial	1295 UC Pt-Co
Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días (DBO <sub>5</sub> )	52 mg/l
Sólidos suspendidos totales (SST)	6 mg/l
Demanda Química Oxígeno DQO	260 mg/l
Calculo para el caudal de descarga	Medición del caudal por método volumétrico Caudal = $\frac{\text{Volumen (l)}}{\text{Tiempo (s)}}$
Caudal	0,2123 l/s (12 738 l/min)
Origen de la descarga	Salida PTAR
Tipo de descarga	intermitente
Frecuencia de la descarga	Mensual aunque actualmente se encuentra cerrada la planta por el paro del sector
Tipo de muestra	Puntual
Volumen total monitoreado	2 500 ml

Fuente: autora

## 10.2. Ceba

Para confirmar las características del hongo se realizó una lámina coloreada con azul de lactofenol y observada en un microscopio bifocal marca Olympus CX 21 en 40X donde se identificaron hifas hialinas, septadas y gruesas que permiten confirmar las características microscópicas de *Phanerochaete chrysosporium*.

Figura 9. Cultivo de *Phanerochaete chrysosporium* en agar salvado



Figura 10. *Phanerochaete chrysosporium* con azul de lactofenol en 40X



### 10.3. Degradación biológica

A continuación se observan los resultados de las absorbancias obtenidas en promedio para cada uno de los días evaluados.

Tabla 12 Resultados de los promedios de las absorbancias a lo largo de los 20 días.

día	Ab1	Ab2	Ab3	AbP	Ac
0	0,344	0,342	0,340	0,342	0,342
5	0,300	0,315	0,324	0,313	0,338
10	0,210	0,212	0,230	0,217	0,338
15	0,186	0,188	0,188	0,187	0,338
20	0,186	0,185	0,185	0,185	0,338

Ab1, Ab2 y Ab3 corresponden a las lecturas de las absorbancias por triplicado, AbP al promedio y Ac son las absorbancias del control.

Los resultados muestran un decrecimiento en los valores de las absorbancias obtenidas en cada uno de los días como producto de la actividad del hongo *Phanerochaete chrysosporium* en el agua de descarga lo que permite pensar que en los primeros 5 días el hongo comienza su metabolismo adaptándose a los nutrientes presentes como fuente de Carbono y de nitrógeno, dicha adaptación se conoce como la idiofase; a partir de este momento comienza un decrecimiento mayor en las unidades de color debido a la

producción enzimática ( Balaguera,2011) que se refleja en la disminución de las unidades de color lo que se puede observar más claramente al calcular las unidades de color correspondientes.

Tabla 13 Cálculos de las unidades de color Pt-Co para cada una de las absorbancias a lo largo de los 20 días

día	Uc1	Uc2	Uc3	Uc4	UcP	Uc
0	1303	1295	1288	1295	1295	1295
5	1136	1193	1227	1185	1186	1280
10	795	803	871	823	823	1280
15	705	712	712	710	710	1280
20	705	701	701	702	702	1280

Uc1, Uc2, Uc3 corresponde a los cálculos de las unidades de color, UcP el promedio y Uc las unidades de color Pt-Co presentes en el control.

La acción degradadora de *Phanerochaete crhysosporium* en las aguas de curtiembre se evidencia mediante la reducción de las unidades de color debido a fenómenos no sólo físicos sino también metabólicos. Al observar los resultados es evidente que las unidades de color decrecen de una manera eficiente teniendo probablemente su pico máximo de actividad entre los días 5 y 15, sin embargo, para poder afirmar esto se deben realizar seguimientos diarios que permitan obtener valores más reales para éste intervalo de tiempo.

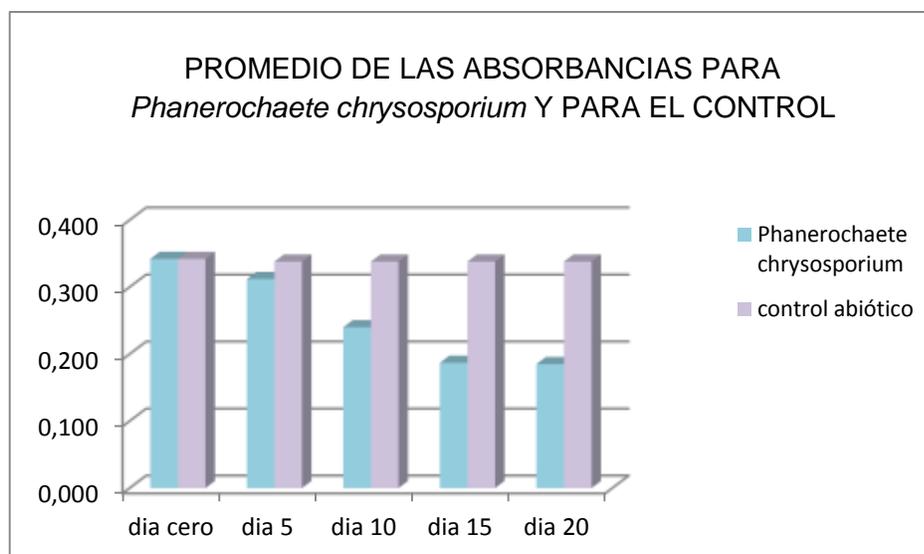
Tabla 14 Resultados de los porcentajes de remoción real

día	Uc iniciales	Uc finales	Remoción real %
0	1295	1295	0
5	1295	1185	8,45
10	1295	823	36,43
15	1295	710	45,21
20	1295	702	45,79

Uc corresponde a las unidades de color. Los valores de la tabla fueron calculados mediante la ecuación de remoción de color.

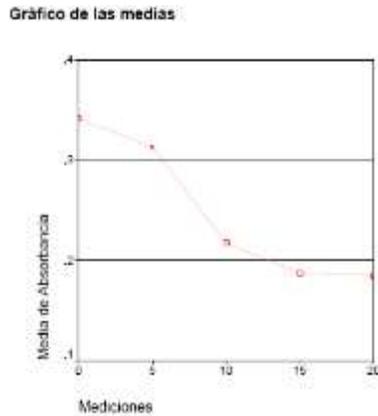
Cuando se tiene en cuenta el valor de remoción de color por parte del control abiótico se observa que el porcentaje de remoción de la espuma sola (soporte inerte) es mínima. Por ello, la cantidad de color removida por el hongo es el resultado de lo que absorbe *Phanerochaete chrysosporium* en el espuma menos el valor que absorbe la espuma por si misma. Los valores obtenidos relacionados con la remoción se encuentran muy cercanos a los obtenidos por Gómez *et al* en el 2008 con la diferencia del uso de un agitador constante y la no suplementación del medio en este caso.

Figura 11. Promedio de las absorbancias del hongo y del control



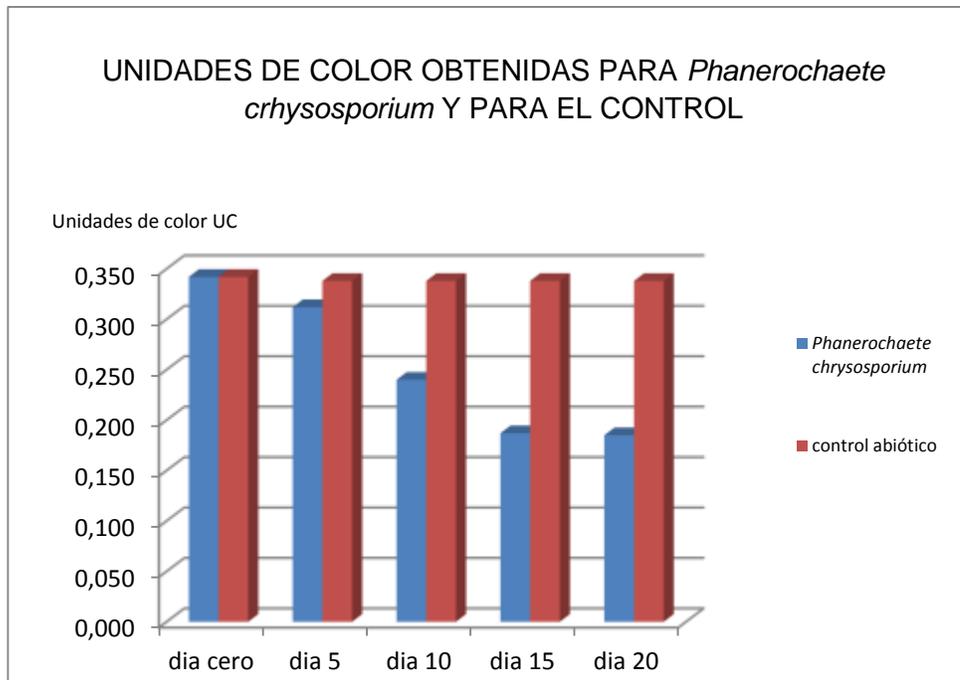
Al graficar las unidades de color se observa un comportamiento constante por parte del control y las absorbancias para el hongo decrecen desde el día 5 hasta un valor muy cercano entre el día 15 y el día 20.

Figura 12. Medias obtenidas a partir de la absorbancia



La gráfica representa el comportamiento de las medias de las absorbancias con relación a los días que se evaluaron en el estudio. Se observa que hay un decrecimiento en los valores obtenidos a partir del día 10 lo que ya se había observado con el análisis de la tabla 7 y la gráfica 6 de los datos sin usar el programa SPSS 10.

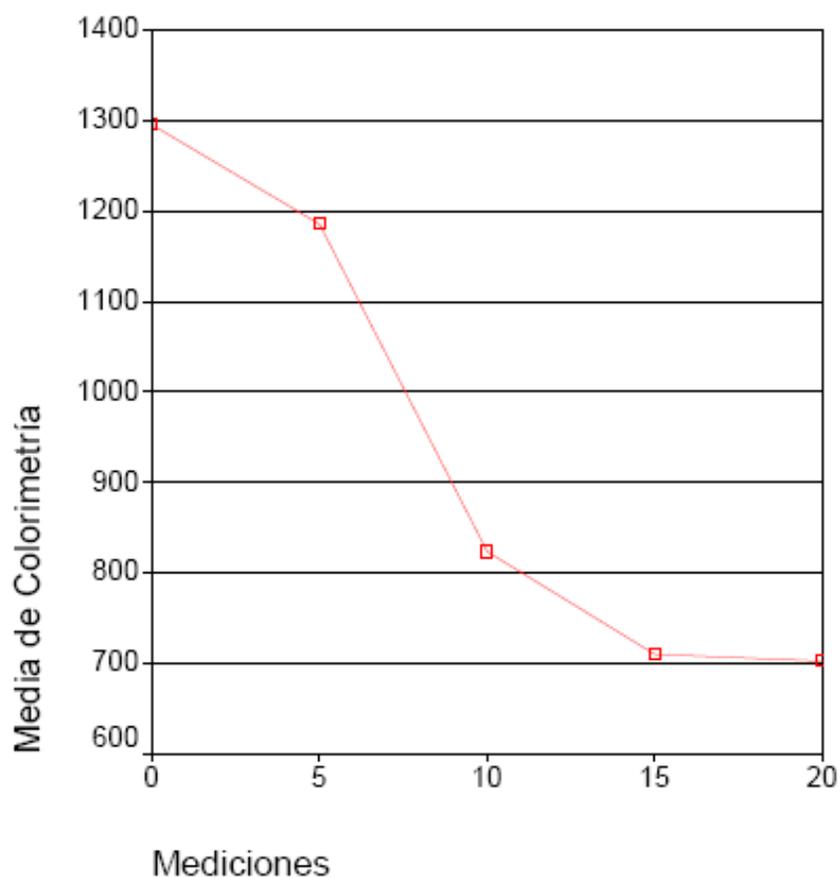
Figura 13. Unidades de color promedio para el hongo y el control



En esta gráfica se puede observar el comportamiento a lo largo del tiempo de la remoción del color, es muy importante evidenciar que a partir del día 15 se obtienen

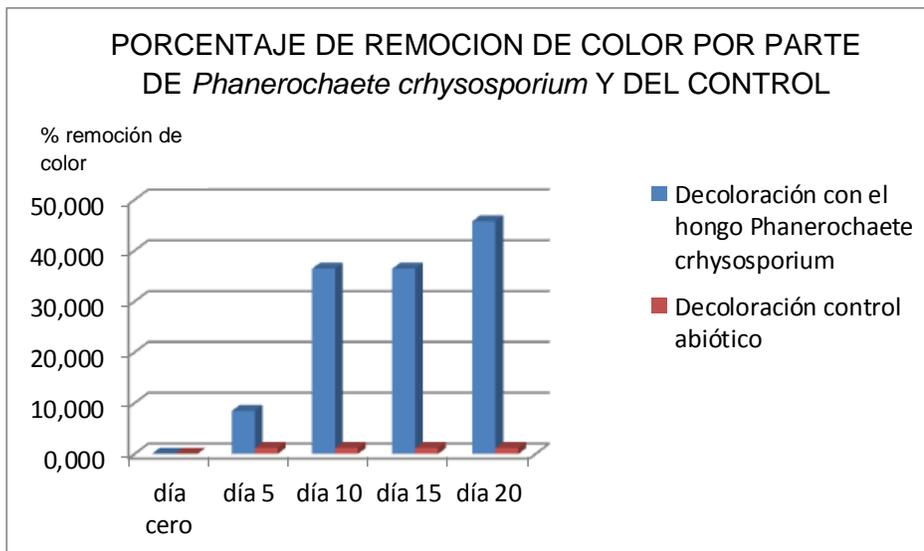
valores muy cercanos de porcentaje de remoción lo que permite pensar que no se requiere mayor tiempo para obtener un porcentaje alto de remoción, en el caso de los estudios de Fernández *et al* en el 2009 y Faraco *et al* 2009 se obtienen valores máximos de remoción entre el día 10 y el 15 lo que se corrobora con lo obtenido en el presente estudio.

Figura 14. Valores promedios obtenidos para las unidades de color



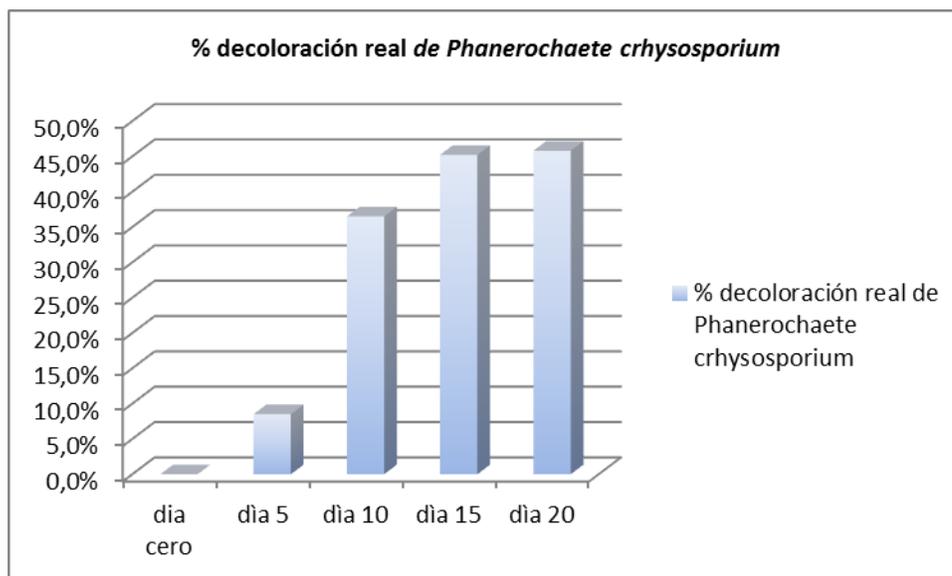
Los valores promedios obtenidos para las unidades de color con SPSS 10 muestran un decrecimiento desde el estado inicial, en el día 5 comienza una actividad degradativa mayor hasta que en el día 15 comienza a estabilizarse dicho valor, el cual es muy cercano al obtenido en el día 20.

Figura 15. Porcentajes de remoción de color por parte del hongo y del control



Los porcentajes de remoción calculados permiten observar la eficiencia del proceso biodegradador por parte del hongo, ya que la espuma en este caso actúa como soporte inerte si generar porcentajes mayores al 3% de remoción por sí misma.

Figura 16. Porcentajes de decoloración real



En cuanto a los porcentajes de decoloración real, se observa que a partir del día 10 la velocidad de degradación se desacelera y desde el día 15 comienza una fase estable

que se mantiene hasta el final de la experimentación; podría entonces pensarse que a partir de este tiempo hay una saturación metabólica primaria para los días posteriores, lo que se ve reflejado en la desaceleración de la remoción. Esto puede deberse a que la materia orgánica presente ha comenzado a escasear o que ha comenzado el metabolismo secundario del hongo, etapa en la cual se pueden producir sustancias antibióticas que inhiban su propio crecimiento.

Se sabe que el metabolismo primario es el resultado de varias reacciones químicas catalizadas por las enzimas proporcionando la energía y las macromoléculas indispensables para la construcción de proteínas, polímeros estructurales y el ADN (Roussos , 1996). A partir de este metabolismo, en la fase de crecimiento del micelio, se obtienen moléculas de interés y se producen enzimas como la lacasa, la cual juega un papel significativo en el proceso de decoloración ya que sirve como inductor de la degradación durante los primeros días (Balaguera, 2011), esto es confirmado con los valores de decoloración obtenidos en el día 5 representado en un 8,5 % de porcentaje de remoción del color.

Analizando el comportamiento de la remoción de color a lo largo de los días de la experimentación se puede afirmar que el pico de actividad se presenta en el día 10, donde la actividad degradadora se obtiene en mayor porcentaje en el mismo tiempo, es decir, para el día 10 la remoción fue del 36 % que comparado con el 8,5 % del día 5 representa un aumento de más del doble de actividad en este periodo de tiempo. Lo anterior puede explicarse desde un punto de vista adaptativo donde el hongo ha superado dicha etapa y ha logrado adaptarse al medio y tomar los nutrientes presentes en el agua tales como los colorantes tipo azo o la materia orgánica disuelta. Es claro que el día 10 marca la tendencia máxima de actividad, lo que implica una mayor tasa reproductiva del hongo y la producción de enzimas degradadoras.

A partir del día 15 el hongo se encuentra en la idiofase o fase estacionaria, donde los sustratos presentes empiezan a escasear y la reproducción del hongo comienza a disminuir, esto está representado en una disminución de la tasa de remoción que venía a una velocidad muy grande y que se desacelera hasta un porcentaje del 45 %. En el día 20 se sigue manteniendo dicho porcentaje de remoción lo que ratifica que no es necesario llevar el seguimiento durante más tiempo, ya que el porcentaje de remoción

alcanzo su valor máximo, 46 %. Podría entonces decirse que , el metabolismo primario de *Phanerochaete chrysosporium* termina antes del día 15 y a partir de este momento comienza el metabolismo secundario, periodo en el cual las enzimas encargadas de los procesos de síntesis se saturan y comienza un proceso de estabilización, tanto de la reproducción del hongo como de la producción de enzimas degradadoras.

La inmovilización no sólo contribuye a la estabilización de la proteína, sino que facilita la reacción enzimática a gran escala. En este caso, la espuma de poliuretano garantiza una mejor colonización del hongo y por ende, una mayor cantidad de biomasa presente en el momento de la degradación.

El hongo *Phanerochaete chrysosporium* toma los nutrientes de la materia orgánica presente en el agua. La remoción del color comienza con un porcentaje bajo del 8 %, en el día 5 y rápidamente se llega a 36 % sólo 5 días después para luego estabilizarse en valores cercanos al 46 %. En el estudio realizado por *Fernández et al* en el año 2009 donde se planteó la remoción del colorante negro reactivo 5 en aguas provenientes de una industria textilera se obtuvo un porcentaje de remoción del color del 44 % en 4 días por parte de *Pleurotus ostreatus* , pero suplementando el medio y en condiciones de agitación (*Fernandez et al*, 2009) lo que permite pensar que el uso de agitación constante mejora el proceso de remoción, sin embargo, la no suplementación del medio utilizado en el presente estudio se constituye en una gran ventaja para una posterior implementación a nivel industrial, pues no se requieren mayores tiempos de tratamiento, o sustratos, y si se obtienen excelentes resultados, remoción del 46 % en el día 20.

En el caso de la decoloración de aguas residuales agrícolas usando *Pleurotus ostreatus*, en el estudio realizado en el 2008 por *Rodríguez et al*, se observa claramente como el efecto de la suplementación de glucosa en el medio tiene una influencia directa en el crecimiento de la biomasa pero no necesariamente en el porcentaje de remoción, en este caso, el mejor medio fue el suplementado con 20g/L de glucosa, dando como resultado un 23,3 % de remoción de color y 4,37 g de biomasa /L de agua residual biomasa (*Rodríguez et al*, 2008) frente al 46 % del presente estudio con una cantidad de 51 g/L es decir una cantidad 200 veces menor de hongo, sin suplementar el medio y con un porcentaje de remoción mayor, 46 %.

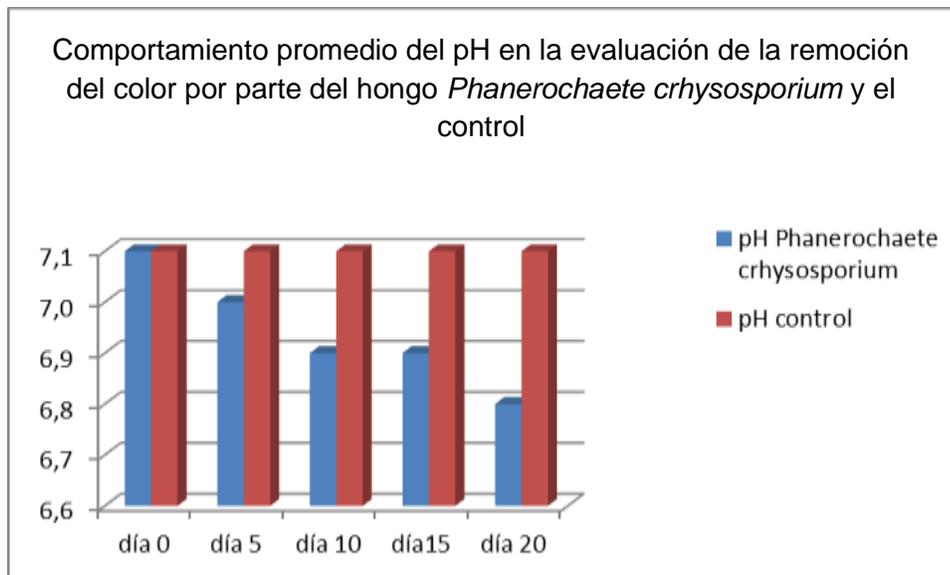
Otro de los parámetros importantes a tener en cuenta como factor limitante del crecimiento del hongo es el pH el cual se midió y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla, en el caso del control se mantuvo siempre en 7,1.

Tabla 15 Resultados de los pH medidos durante el experimento

día	ph1	ph2	ph3	phP
0	7,1	7,1	7,1	7,10
5	7,0	7,0	7,0	7,00
10	6,9	7,0	6,9	6,90
15	6,9	6,9	6,9	6,90
20	6,8	6,8	6,8	6,80

phP corresponde al valor promedio del pH en cada uno de los días de seguimiento

Figura 17. Comportamiento del pH

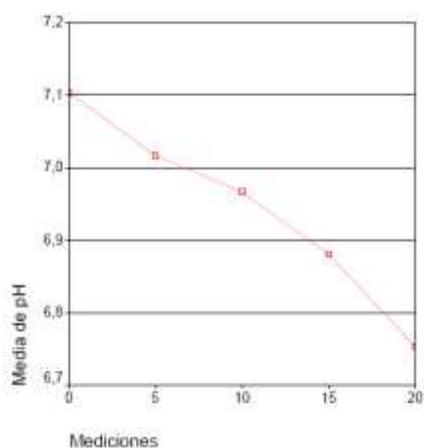


El pH también es un factor importante a considerar ya que las enzimas poseen rangos de pH a los cuales se producen y actúan más eficientemente. Pérez *et al* en el año 2011, establecieron la estabilidad de la lacasa producida por *Trametes villosa* como inductor de la actividad degradativa y metabólica del hongo concluyendo que el pH óptimo se

encuentra en el rango entre 6.2- 6.8 (Perez, 2011). En este caso se trabajó con otro hongo de podredumbre blanca, sin embargo al analizar los valores del pH promedio obtenido se encuentra dentro de los valores reportados como óptimos para la producción de enzimas degradadoras.

A continuación se aprecia la gráfica obtenida del análisis de los promedios de pH obtenidos mediante SPSS 10; el valor medio del pH comienza en 7,1 y termina en 6,7 lo que ratifica que el pH disminuye como consecuencia del proceso metabólico y degradativo del color por parte del hongo.

Figura 18. Valores promedios del pH por parte del hongo



Estadísticamente se realizó la base de datos (Ver anexo 5 ) y un análisis en el programa estadístico SPSS para ANOVA de un factor, el cual se observa a continuación:

Tabla 16 Prueba de homogeneidad de varianzas

### ANOVA de un factor

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Absorbancia	5,298	4	10	,015
Colorimetría	5,298	4	10	,015
pH	3,250	4	10	,059
Remoción	6,052	4	10	,010

Las pruebas de homogeneidad de varianza para la absorbancia, colorimetría, pH y remoción son iguales, lo que significa que la desviación entre los datos no difiere significativamente entre ellos. El factor F refleja el grado de parecido existente entre las medias que se están comparando. Al analizar el valor de F se rechaza la hipótesis nula que plantea que el uso del hongo *Phanerochaete chrysosporium* como alternativa biológica no es efectiva para el remoción del color presente en las aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas en Curtiembres Camelo.

Tabla 17 Prueba de ANOVA

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Absorbancia	Inter-grupos	,065	4	,016	295,675	,000
	Intra-grupos	,001	10	,000		
	Total	,065	14			
Colorimetría	Inter-grupos	929924,242	4	232481,061	295,675	,000
	Intra-grupos	7882,718	10	786,272		
	Total	937786,961	14			
pH	Inter-grupos	,215	4	,054	287,804	,000
	Intra-grupos	,002	10	,000		
	Total	,217	14			
Remoción	Inter-grupos	5546,933	4	1386,733	223,667	,000
	Intra-grupos	62,000	10	6,200		
	Total	5608,933	14			

El valor obtenido aparece acompañado de su correspondiente nivel crítico o de significancia observado (Sig.), es decir, de la probabilidad de obtener valores como el obtenido o mayores bajo la hipótesis de igualdad de medias. Puesto que el valor del nivel crítico es menor que 0,05 se concluye que las absorbancias, colorimetría, pH y remoción no poseen el mismo valor medio.

Tabla 18 Prueba de Duncan para las absorbancias

Absorbancia					
Duncan <sup>a</sup>					
Mediciones	N	Subconjunto para alfa = ,05			
		1	2	3	4
20	3	,18533			
15	3	,18733			
10	3		,21733		
5	3			,31300	
0	3				,34200
Sig.		,748	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

La prueba de Duncan es un método de comparación por pasos basado en la distribución del rango estudentizado. Cuantos más pasos existen entre dos medias, mayor es la diferencia mínima con la que se considera que las medias difieren significativamente (SPSS 10, 2013).

Tabla 19 Prueba de Duncan para las unidades de color

**Colorimetría**

Duncan<sup>a</sup>

Mediciones	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
20	3	702,020202020200	823,232323232300
15	3	709,595959595900	
10	3		
5	3		
0	3		
Sig.		,748	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

En esta tabla se observa el análisis planteado para los datos correspondientes a las dos primeras repeticiones y se concluye que hay diferencias significativas entre cada uno de los días analizados.

Tabla 20 Prueba de Duncan para los promedios de las unidades de color

**Colorimetría**

Duncan<sup>a</sup>

Mediciones	Subconjunto para alfa = .05	
	3	4
20	1185,606060606000	1295,454545454500
15		
10		
5		
0		
Sig.	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

En esta tabla se observa el análisis planteado para los datos correspondientes a las repeticiones 3 y 4. Se concluye que hay diferencias significativas entre cada uno de los días medidos.

Tabla 21 Prueba de Duncan para los valores de remoción

**Remoción**

Duncan<sup>a</sup>

Mediciones	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
0	3	,00			
5	3		8,67		
10	3			36,33	
15	3				45,33
20	3				46,00
Sig.		1,000	1,000	1,000	,750

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Los valores calculados para la prueba de Duncan permiten analizar que existe una diferencia significativa entre cada uno de los montajes con relación a los días en que fueron analizados, esto permite establecer las diferencias significativas entre las medias de cada uno de los montajes con relación al valor de remoción y aseguran que se trata de datos confiables y no obtenidos al azar.

## 11. Conclusiones

- En el presente estudio se logró realizar la inmovilización de *Phanerochaete chrysosporium* en espuma de poliuretano como soporte inerte adecuando de manera satisfactoria las condiciones para la degradación biológica y la remoción del color en las aguas de descarga producto del proceso de curtido de pieles bovinas.
- Se cuantificaron 1295 unidades de color iniciales y a los 20 días se obtuvo una remoción del color de 46 % representadas en 702 UC Pt-Co.
- Al analizar la resolución 3957 de 2009 donde se incluyen las condiciones de la Cuenca del río Bogotá, desafortunadamente no se encuentra incluido el color, razón por la cual, el establecimiento de metodologías de seguimiento de éstos contaminantes en particular resultan importante en implementarse debido a la exigencia de cumplimiento de la normatividad.
- A pesar de que el presente estudio es una evaluación preliminar de degradación biológica para la remoción de color de aguas provenientes del proceso de curtido, se puede afirmar que el uso de hongos de podredumbre blanca son un alternativa viable, la cual se debe evaluar económicamente como una tecnología de tratamiento primario para este tipo de vertimientos teniendo en cuenta el tiempo que utiliza el hongo para remover el color.

## 12. Recomendaciones

Es claro que la presencia de metales pesados producto del proceso de curtido pueden desencadenar la inhibición del proceso enzimático, sin embargo, los resultados a escala experimental permiten pensar que *Phanerochaete chrysosporium* cumple un papel importante en la recuperación de la Salud Ambiental y se constituyen en una tecnología emergente que requiere ampliar los estudios hacia otras especies dentro del mismo grupo de hongos. El camino todavía se está recorriendo y estudios como éstos contribuyen a la generación de conocimiento en el área del tratamiento de las aguas residuales, sobre todo para el caso de los vertidos industriales, considerando que el tratamiento de aguas residuales en Colombia no supera el 10% y que es considerada como una de las principales causas del deterioro en la calidad del agua de los cuerpos superficiales y subterráneos.

Se recomienda realizar estudios a escala industrial mediante el uso de biorreactores que permitan comparar las condiciones de agitación, las cuales garantizaran una disponibilidad de oxígeno más homogénea y la evaluación de otras especies promisorias dentro del grupo de los hongos de podredumbre blanca como *Pleurotus ostreatus*, *Trametes versicolor*, *Trametes hirsuta* y *Aspergillus* así como también la evaluación del proceso degradativo en otros tipos de aguas como las provenientes de la agricultura, de la industria textilera o de la alimenticia.

También se recomienda realizar un seguimiento más detallado desde el día 5 hasta el 15 con el fin de establecer el día específico donde comienza a desacelerarse el proceso degradativo, para ello se puede pensar también en realizar la cinética de crecimiento y de producción de enzimas.

Se requiere de estudios más detallados donde se involucren más variables, condiciones de agitación, diferentes pH y tipos de agua con el fin de estandarizar una técnica que permita realizar pruebas a escala industrial que permitan decidir su implementación.

Por último se recomienda realizar un proceso que permita comparar los costos de los procesos tanto físicos, como químicos y biológicos con el fin de conocer, evaluar y decidir la técnica o conjunto de técnicas utilizadas en la remediación de las aguas.

## Bibliografía

- Abdula E., Tzanov T., Costa S., Robra K., Gubitza, G.(2000). Decolorization and detoxification of textile dye with laccase from *Trametes hirsuta*. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(8), 3357-3362.
- Ambiente (2009). Secretaría Distrital de Ambiente, *Resolución 3957*. Bogotá.
- Anastasi Antonella, Valeria Prigione, Giovanna Cristina Varese (2009). Industrial dye degradation and detoxification by basidiomycetes belonging to different eco-physiological groups. *Journal of hazardous materials*, No of pages 8.
- Anushree, P (2008). Fungal dye decoloration recent advances and future potential . *Environmental International*, 35:127-141.
- Balaguera, S (2011). Evaluación de la remoción del colorante indigo utilizado en empresas dedicadas a la producción de telas tipo DENIM empleando *Pleurotus ostreatus* como modelo biológico. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- Belliveau B (1987). Metal resistance and accumulation in bacteria. *Biotechnology Advances*, 101-127.
- Bumpus J (1987). Biodegradation of environmental pollutants by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*: involvement of the lignin degrading system. *BioEssays*, 166-170.
- CAR, (2006). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca *Acuerdo 43*. Bogotá: CAR.
- Chaves N, Rincón J, Castañeda B. (2006). Biodegradación de los colorantes indigo y verde presentes en un efluente de la industria textil utilizando hongos lignolíticos . Universidad Autónoma de Aguascalientes, Méjico 1-6.
- Christie, R. (2001). *Colour chemistry*. *Royal Society of Chemistry*. Cambridge: United Kingdom. Pp.1-5, 45-46, 135-137.
- Centro Nacional de Producción más Limpia, (2004). Proyecto de gestión ambiental en la industria de curtiembre en Colombia. *manual Ambiental Sectorial*.
- Collazos, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Cátedra Internacional Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- CONPES. (3550 de 2008). *Informe CONPES*. Bogotá.

- Daewn gao, L. D. (2010). A critical review of the application of white rot fungus to enviromental pollution control. *Critical reviews in Biotechnology*, 70-77.
- Eddy, M. (1995). Ingeniería de las aguas residuales. Madrid: Mac Graw Hill. Tomo 1 capt 3 pag. 65-72
- Faraco C, Pezzella, A. Miele, P. Giardina and G. Sannia (2009). Biorremediation of colores indsutrial wastewaters by the white rot fungi Phanerochaete chrysosporium and Pleurotus ostreatus and their enzymes. *Biodegradation Journal*, 20:209-220.
- Fernandez J, Henao L., Pedroza A., Quevedo B., (2009). Inmovilización de hongos ligninolíticos para la remoción del colorante negro reactivo 5. Vol 11 (1) Revista Colombiana de Biotecnología, 59-72.
- Fieser (2010). Colorantes preparación y uso el índigo. Práctica de química organica. Madrid: Reverté.
- Gadd G M, (1986). The uptake of heavy metals by fungi and yeast; the chemistry and physiology of the process and aplicaciones for biotechnhnology en Inmovilisation of Ions by biosorption H Eclessy S Hunt Chichester. 135-147.
- Galvín, R.(2003). Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control. Madrid: ediciones Díaz de Santos.
- George, T. (1998). *Waste water engineering*. Madrid: Impresos y Revistas.
- Gomez S, Amaya D., Maldonado C., Martinez M., Quevedo B., Soto A., Pedroza M (2008). Evaluación de tres hongos lignolíticos y de *Aspergillus niger* como alternativa para el tratamiento de aguas residuales del curtido de pieles. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(3) 93-106.
- Gonzalez Arzola K, (2008) Propiedades físicoquímicas y cinéticas de la enzima lacasa inmovilizada de *Fusarium proliferatum*. [mafalcon.webs.ull.es/info/caceres05\\_2.pdf](http://mafalcon.webs.ull.es/info/caceres05_2.pdf).
- Gregorio, C. (2005). Non conventional allow absorbents by dye removal. *A review centre spectromerie, SERAC, Université de Franche-Compte Routedegray, Bioresource technology journal*.
- Hoigne J, (1978). Ozonization of water: cinetics of oxidation of amonnia by ozone and hydroxil radicals. *Enviromental Science Technology*, 79.
- Jaramillo A, (2005). Aplicación de producción más limpia para disminuir el impacto al recurso hidrico provocado por una comunidad industrial de Curtidores ubicada en una zona urbana. *Instituto CINARA, Universidad del Valle*.

- Jochimsen J, (1997). Combined oxidative and biological treatment for separated stream of tannery wastewater . *Water Sci Technology*, 209.
- koramin.Recuperado el 7 de agosto de 2013, de <http://www.quiminet.com/productos/koramin-mk-eko-4613748746.htm>
- Lancheros C., (2013). Aguas Para Sanar. *Nota Uniandina*, 21-27.
- Liang H,(2008). Enhanced biodecoloration of reactive dyes by immobilized Phanerochaete chrysosporium. *Journal Biotechnology*, 136:S676.
- Livernoche D, (1983). Removal of color from kraft mill wastewater with culutres of white rot fungi and with inmovilized mycelium of Coliorus versicolor. *Biotechnology and Bioengineering*, 2055-2065.
- Lucasa, M. (2007). Degradtion of a textile reactive azo dye by a combined water research chemical biological process fenton . *Research yeast*, 1103-1109.
- Maldonado, C. (2008). Tratamiento de aguas residuales de la etapa de curtido con Phanerochaete chrysosporium hipertolerante a sulfato de cromo. *Universitas Scientiarium*, 87-94.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Méjico: Reverté.
- Martinez, S. (2011). *Métodos microbiológicos físicos y químicos con aplicación ambiental*. Chile: Unibersidad Federico Lleras San Maria Valpaiso.
- Masahiro T, A. O. (2006). UV light assited decoloration of dark brown colored effluente by photofenton reaction. *Water Research*, 3775-3784.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012). *Norma de vertimientos de aguas*. Bogotá.Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Mohammadi A. (2009). Enzymatic degradation of anthracene by the white rot fungus Phanerochaete chrysosporium immobilized on sugarcane bagasse. *Journal Hazard Mater*, 534-537.
- Moreno, S. (2009). Efecto del cobre, manganeso y cosustratos sobre la decoloración del NR5 empleando Pleurotus ostresuts inmovilizado en soporte lignocelulósico. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, in Press.
- Olivia, C.(2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 131-143.
- OMS. (2011). *Organización Mundial de la Salud*.

- Pedroza Aura, Quevedo Balkis (2007). *Manual de laboratorio de procesos biotecnológicos*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Pedroza, A. (2010). Evaluación de un sistema biológico no convencional utilizando un consorcio fúngico para el tratamiento de agua residual. *Informe técnico final Banco de la República*, 57p.
- Perez G, (2011). Estudio de la estabilidad de la actividad lacasa en el hongo ligninolítico *Trametes villosa*. *Huayllu Bios*, 45-49.
- poliuretano, A. *ABM poliuretano*. Recuperado el 7 de agosto de 2013, de [http://www.abmpoliuretano.com/densidad\\_baja.html](http://www.abmpoliuretano.com/densidad_baja.html)
- Psillakis, R.(2004). Decolorization of synthetic dyes using *Phanerochaete chrysosporium* and their kinetics process. *Biochemistry*, 40:3337-3365.
- Quimicos, M. (2013). Recuperado el 8 de agosto de 2013, de DEPILAMIN GS
- Quinn. (2013). *Industrias químicas Quinn*. Recuperado el 7 de agosto de 2013, de Quinn Perú: [http://www.quinnperu.com/remojo\\_y\\_pelambre.htm](http://www.quinnperu.com/remojo_y_pelambre.htm)
- Rekuc, A. (2010). Very stable silica gel bound laccase biocatalyst for the electric oxidation in continuous system. *University technology, Faculty of Chemistry, Depto Biorganic Chemistry, Institute of chemical Engineering*, 5:44-46.
- Rodríguez Suyén, (2008). Decolourisation of mushroom from wastewater by *Pleurotus ostreatus*. *Biodegradation*, 519-526.
- Roussos S.(1996). Fisiología y Bioquímica de microorganismos utilizados en Procesos de fermentación en medio sólido. *Horizon documentation*, 341-354.
- Salame, T. (2010). *Pleurotus ostreatus* manganese dependent peroxidases silence impairs decolorization of organic. *Microbiological Biotechnology*, 3:93-106.
- Sathishkumar Murugesan, P. (2009). Production of laccase from *Pleurotus florida* using agrowastes and efficient decolorization of reactive blue 198. *article published online 28 June*, 360-367.
- Secretaría Distrital de Ambiente (2011). *Política Distrital de Salud Ambiental 2011-2023*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- SPSS 10 *Análisis y datos multivariantes*. Recuperado el 12 de septiembre de 2013, de [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D\\_departamento/materiales/analisis\\_datosyMultivariable/14anova1\\_SPSS.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/14anova1_SPSS.pdf)
- Trujillo, M.(2006). El stress hidrodinámico: muerte y daño celular en cultivos agitados. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(3) 269-280.

Vidal Gladis, (2003). Combinación de procesos biológicos y de oxidación avanzada para el tratamiento de una corriente de proceso de la industria de curtiembre. *Agua Latinoamericana*, 10-13.

Yesilada, O. (2003). Decolorization of textile dyes by fungal pellets. *Process biochemistry*, 38:933-938.

Yu (1999). Laccasse catalyzed decolorization of synthetic dyes. *water research*, 33:3512-3520.

## **ANEXOS**

### Anexo 1 Depilamin GS Casa Comercial MK

Composición: Reductor tio-complejo

Propiedades: Proporciona excelentes resultados en la depilación y puede sustituir total o parcialmente al sulfuro de sodio. Además, controla el hinchamiento excesivo de las pieles positivamente.

### Anexo 2 Eravit

Químico utilizado como inmunizante que contiene:

Fruttosio, Fruttosio, glucosio monohidrato, succo arancia dry (succo arancio, maltodestrina), magnesio ossido, aromi, acido L-ascorbico (vitamina C), Zinco aminoácido chelato (Zinco, maltodestrina da mais, cellulosa, sodio carbonato), antiagglomerante: biossido di silicio, acidificante: ácido citrico, DL-alfa-tocoferile acetato (vitamina E, gelatina di pesce, saccarosio, amido, antiagglomerante: biossido di silicio), Nicotinamide (Niacina), Manganese gluconato, Calcio D-pantotenato (vitamina B5), Piridossina cloridrato (vitamina B6), Riboflavina (vitamina B2), Tiamina cloridrato (vitamina B1), Acido pteroilmonoglutammico (Acido folico), D-Biotina, Sodio selenito, Cianocobalamina (vitamina B12).

## REGISTRO PER PRODOTTO aggiornato al 31 luglio 2008

PRODOTTO	DITTA	codice
1 P	ERBA VITA	E 08 35501-Y
4 MAG	LABORATORIO DELLA FARMACIA	I 07 29682-Y
+ 37°	ERBORISTERIA DOTT. CECCHINI	E 06 22130-Y
05 BOMBER	COLOROFILLA	X AD 09803-Y
1 AL GIORNO	INDEL	X AD 01032-Y
100% CREAPURE DEGUSSA	ASOLI FARMACEUTICI	X AD 07383-Y
100% CREATINA MONOIDRATA	BODY EVOLUTION	I 07 04501-Y
100% CREATINA MONOIDRATA	VITAMIN SHOP	X AD 09262-Y
100% CREATINA PURE	FITNESS PRODUCTS	X AD 09472-Y
100% DESTOCK	LABORATOIRES FORTE PHARMA	M 07 31649-Y
100% EGG PRO EXTRA vg	EUROSUP	X AD 03547-Y
100% L-GLUTAMINE	FISIOPLUS	N 08 31834-Y
100% MALTODEX	ULTIMATE ITALIA	X AD 03157-Y
100% PREMIUM MELATONIN	INTERPHARM HERBES	I 07 30545-Y
100% PREMIUM SAW PALMETTO	INTERPHARM HERBES	E 07 30546-Y
100% SIERO ISOLATE	DIETA & FITNESS	N 07 32885-Y
100% WHEY	ULTIMATE ITALIA	I 06 19386-Y
100% WHEY DELITE	AMEFIT	I 06 15475-Y
100% WHEY GOLD STANDARD	NUTRIZEN	N 08 35736-Y
100% WHEY GOLD STANDARD VARI GUSTI	NUTRICA	N 08 35430-Y
100% WHEY PROTEIN	BOOSTER	I 06 18526-Y
100% WHEY PROTEIN	JUST NATURAL	X AD 08705-Y
100% WHEY PROTEIN FUEL	ABS	I 06 19973-Y
100% WHEY PROTEIN FUEL	FAST ENERGY	I 06 15830-Y
19 ERBE	PHARMA GREEN	E 08 33210-Y
19 ERBE	ZERMAT LIMITED	E 06 19083-Y
24 HR PROTEIN SOLUTION	FAST ENERGY	I 06 18409-Y
3 CARBONE FINOCCHIO PAPAIA	FA RO	M 07 33944-Y
3 P 1	OTI	X AD 00315-Y
3 P 2	OTI	X AD 00303-Y
3 P 3	OTI	X AD 00550-Y
3 P 5	OTI	M 05 06504-Y
3+1 PLUS	MONELLI	X AD 05418-Y
3D	PHYTO GARDA	E 06 13393-Y
3-EXTREME BURN	NUTRISYSTEM	E 07 31925-Y
3MIL	MILTE ITALIA	I 06 19939-Y
3S	PHYTO GARDA	M 06 19163-Y
3X AKG	NEWTRITIONS	N 08 37656-Y
4 ESSEN	LA MACROBIOTICA	E 08 27379-Y
4 MEN	MARUSCIA	E 07 12107-Y
40 30 30 ZONE BAR	DIETA & FITNESS	X AD 11401-Y
4321 SLIM CRONO	ARKOPHARMA	E 08 19195-Y
4321 SLIM DRENANTE	ARKOPHARMA	E 08 35435-Y
4321 STARTER SNELLENTI	ARKOPHARMA	E 08 31657-Y
4GETAGE	JUST 4 LIFE	N 07 32650-Y
5 ALIMENTI LIFT	BETTER LIFE	E 08 30414-Y
5 ELEMENTI CPS	ERBA VITA	E 06 23195-Y

Anexo 3 Agar Salvado de trigo

Glucosa 20g/L

Peptona 5g/L

Extracto de levadura 2 g/L

MnSO<sub>4</sub> 0.075 g/L

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.1% (p/v)

MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0.05% (p/v)

Salvado de trigo 175 g/L

Agar-agar 15 g/L

Agua destilada

Ajustar pH a 6.0

Es importante rehidratar el salvado de trigo durante varias horas, luego pasarlo con un colador, se debe usar inmediatamente porque de lo contrario se pierde el procedimiento de mezclado en el colador. (Pedroza Aura, 2007)

#### Anexo 4 Caldo salvado de trigo

Glucosa 20g/L

Peptona 5g/L

Extracto de levadura 2 g/L

MnSO<sub>4</sub> 0.075 g/L

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.1% (p/v)

MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0.05% (p/v)

Salvado de trigo 175 g/L

Agua destilada

Ajustar pH a 6.0

Es importante rehidratar el salvado de trigo durante varias horas, luego pasarlo con un colador, se debe usar inmediatamente porque de lo contrario se pierde el procedimiento de mezclado en el colador (Pedroza Aura, 2007).

## Anexo 5 Base de datos

tiempo	día	Ab1	Ab2	Ab3	Ab P	Ac	
0	0	0.344	0.342	0.34	0.342	0.342	
5	5	0.300	0.315	0.324	0.313	0.338	
10	10	0.210	0.212	0.23	0.217	0.338	
15	15	0.186	0.188	0.188	0.187	0.338	
20	20	0.186	0.185	0.185	0.185	0.338	
tiempo	día	Uc1	Uc2	Uc3	Uc4	UcP	Uc
0	0	1303.030	1295.455	1287.879	1295.455	1295.455	1295.455
5	5	1136.364	1193.182	1227.273	1185.606	1185.606	1280.303
10	10	795.455	803.030	871.212	823.232	823.232	1280.303
15	15	704.545	712.121	712.121	709.596	709.596	1280.303
20	20	704.545	700.758	700.758	702.020	702.020	1280.303
tiempo	día	Uc iniciales	Uc finales	Unidades reales	Remoción real %		
0	0	1295	1295.000	0.000	0.000		
5	5	1295	1185.606	109.394	8.447		
10	10	1295	823.232	471.768	36.430		
15	15	1295	709.596	585.404	45.205		
20	20	1295	702.020	592.980	45.790		
tiempo	día	ph1	ph2	ph3	Ph P		
0	0	7.12	7.09	7.1	7.1		
5	5	7.01	7.02	7.02	7.0		
10	10	6.98	6.98	6.94	6.9		
15	15	6.88	6.87	6.89	6.9		
20	20	6.76	6.75	6.75	6.8		