Evaluación del tratamiento biológico para remoción de color índigo de agua residual industrial textil

por un consorcio microbiano en lecho fluidizado

Evaluation of the biological treatment for removal of color indigo textile industrial waste water

by a microbial consortium in fluidized bed

Luz Quintero[1]
Santiago Cardona[2]

Recibido para evaluación: 15 de Octubre de 2010
Aceptación: 21 de Julio de 2011
Recibido versión final: 14 de Agosto de 2011

Resumen

El recurso hídrico ha sido uno de los más afectados por la industrialización y el desarrollo del sector textil. Medellín es la capital de la moda en Colombia y en la ciudad, se utilizan diariamente tintorerías dedicadas al teñido de prendas índigo. Son grandes consumidores de agua potable y subterránea. El agua, utilizada con mínima conciencia, es su mayor materia prima y la que genera altos costos mensuales. Este estudio construyó un reactor de lecho fluidizado (RLF). La antracita se utilizó como material de soporte para investigar la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el color del agua residual textil simulada. Los siguientes estudios a escala de laboratorio fueron realizados inicialmente para preparar los ensayos de inmovilización de microorganismos en medio de soporte sólido y los períodos de puesta en marcha y operación de la planta piloto: bioaumentación y bioadaptación de inóculo tomado de efluente textil y remoción de color en reactor discontinuo. Los resultados indicaron que es posible lograr el tratamiento aeróbico de agua residual textil después de obtener un inóculo adaptado a las fuentes de carbono de tensoactivos e índigo.

Palabras claves: color índigo, surfactantes, reactor de lecho fluidizado, antracita, bioadaptación, discontinuo.

1. Escuela de Procesos y Energía
2. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente

Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
laquinte@unal.edu.co, scardona@unal.edu.co

Abstract

Water has been one of the most affected by industrialization and the development of the textile sector. Medellin is the fashion capital of Colombia and city daily use cleaners dedicated to clothing indigo dyeing. They are major consumers of ground and drinking water. Water is used with minimal consciousness, its increased raw material and which generates high monthly costs. This study was built (RLF) fluidized bed reactor. The anthracite was used as support material for investigating the efficiency removed of the chemical oxygen demand (COD), demand biochemical oxygen (BOD) and color of simulated textile wastewater. Following studies at laboratory scale were initially made to prepare the immobilization of microorganisms in the middle of solid support and periods of start-up and operation of the pilot plant testing: bioaugmentating and bioadaptación seed taken from textile effluent and removal of color in discontinuous reactor. The results indicated that it is possible to achieve aerobic treatment of textile waste water after obtaining an inoculum adapted to sources of carbon of surfactants, and Indigo.

Key words: Indigo color, surfactants, fluidized bed reactor, anthracite, bioadaptation, discontinuous.

1. INTRODUCCIÓN

En la coloración de fibras celulosas, los tintes tina (incluye índigo) y tintes sulfurosos representan una gran parte del mercado mundial, alrededor del 31% del cual el índigo ocupa un 7%, representando cerca de las 120.000 toneladas de tintes tina usadas anualmente en el mundo (Roessler et al., 2002). En Colombia, se generan grandes cantidades de agua residual contaminada con color índigo ya que los acabados en índigo constituyen uno de los textiles más apetecidos por compradores nacionales e internacionales. En el año 2006, se produjeron ocho millones de metros y cada día adquiere mayor sofisticación debido a los procesos de lavandería, acabados, tinturas, procesos manuales, abrasión local, y las mezclas con lycra y poliéster (Roessler et al., 2002). Empresas como BASF producen grandes cantidades de índigo sintético. En el año 2002, se produjeron 17.000 toneladas de índigo sintético (Balfour, 1998; Ferreira et al., 2004). El tratamiento del agua residual textil con contenido de tintes y específicamente con tinte índigo es uno de los más difíciles porque el tinte es de origen sintético y tiene una estructura molecular aromática compleja, la cual es más estable y más difícil de biodegradar (Kim et al., 2004; Tantak y Chaudhari, 2006). Las plantas de tintorería, acabados y lavanderías de jeans generan residuos líquidos con una amplia variedad de tintes, compuestos orgánicos recalcitrantes y otros compuestos químicos, incluidos los ácidos, bases, sales, agentes humectantes, colorantes, acabados auxiliares, compuestos tóxicos e inhibitorios, surfactantes, entre otros, los cuales no permanecen en el producto textil final, sino que son desechados después de cumplir con un uso específico. Los efluentes combinados de estas plantas contienen todos o cualquiera de los anteriores componentes y se ven reflejados en las altas concentraciones de DBO (Demanda bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), entre otros parámetros. Dado que muchos procesos textiles se manejan en forma discontinua, las concentraciones de los materiales residuales pueden variar significativamente. Algunos procesos requieren condiciones altamente ácidas mientras que las de otros son altamente alcalinas. En consecuencia, el pH del agua residual también varía bastante a lo largo de un período de tiempo (Quintero y Área Metropolitana el Valle de Aburrá, 2007; Sen y Demirer, 2003).

Considerando el volumen y la composición de sus efluentes, las aguas residuales de la industria textil son unas de las más contaminantes en todos los sectores industriales (Sen y Demirer, 2003). El color puede ser removido de aguas residuales por métodos físico- químicos que incluyen: absorción, coagulación- floculación, oxidación y métodos electroquímicos (Epp, 1995; Prideaux, 2004). Aunque unos estudios reportan altas eficiencias de remoción en los métodos anteriores (Sen y Demirer, 2003), otros los reportan como costosos, con problemas de operación y generación de grandes cantidades de lodo (Epp, 1995; Prideaux, 2004). En los últimos años, existe una tendencia a los tratamientos biológicos por sus bajos costos de capital y de operación, viabilidad para el tratamiento de efluente y su capacidad para reducir DBO y DQO, comparados con los tratamientos químicos (Chemmatters, 1986; Kornaros y Lyberatos, 2006; Sandberg, 1989). Además, debido a la variabilidad en la carga y a la concentración de color de las industrias textiles, los tratamientos empleados en la recuperación de las aguas presentan deficientes resultados. En los tratamientos biológicos, la decoloración de tintes usando medios de cultivo puros (algas, hongos y bacterias) son imprácticos debido a que cada cultivo aislado corresponde a un tinte específico (Sen y Demirer, 2003); estudios comparativos concluyen que la actividad de consorcios bacterianos incrementa la eficiencia de decolorización de estructuras complejas comparado a la actividad de cultivos aislados (Khehra ***et al***., 2005). A pesar de los estudios realizados para decoloración de aguas residuales industriales con tinte índigo, existe un desconocimiento en su mecanismo biológico y en el tipo de tratamiento que deba utilizarse. En otros términos, existe necesidad de investigación más orientada para la remoción a través de reactores de alta transferencia de masa con biomasa inmovilizada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Colorantes y químicos

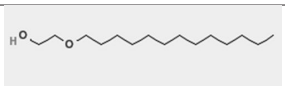
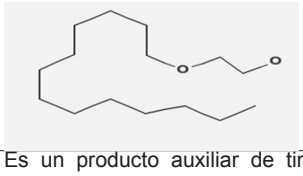
El tinte C.I.Vat Blue 1, color índigo, de fórmula química $C_{16}H_{10}N_2O_2$ y estructura molecular, C.I. Nº 73000, CAS No. 482-89-3, fabricado por INDIGO_ASH_PACIFIC fue proporcionado por la industria textilera Fabricato, Medellín, (Colombia). Surfactante (A) Alcohol ceto estearílico de 23 moles

Volumen 14 - No. 2, Agosto de 2011, Medellín ISSN 0124.177X.

de óxido de etileno, de fórmula química $C_{34}H_{72}O_2$, surfactante (B) Alcohol tridesílico de 6 moles de óxido de etileno y surfactante (1) NOVASINTEX DS SS fueron proporcionados generosamente por Colorquímica S.A, Medellín, Colombia. Ditionito de Sodio fue adquirido desde Químicos JM, Medellín, Colombia. Los componentes del medio de cultivo fueron adquiridos del laboratorio de Microbiología industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

El esquema 1 presenta las características de los tensoactivos.

Esquema 1. Características de los tensoactivos

NOMBRE TENSOACTIVOS	CARACTERÍSTICAS
A Alcohol ceto estearílico de 23 moles de óxido de etileno	**Alcohol lineal etoxilado, fórmula general $RO(CH_2\text{-}CH_2\text{-}O)N\text{-}H$**
B Alcohol tridesílico de 6 moles de óxido de etileno	 
C NOVASINTEX DS SS	Es un producto auxiliar de tintura con propiedades de coloide protector, dispersante y secuestrante de iones calcio en tinturas con colorantes directos, dispersos, sulfurosos, tinas, etc

Medio de soporte

Se evaluó el comportamiento en la fluidización de diferentes materiales plástico reciclado (de colores), plástico reciclado (color negro, baja densidad y poroso), vidrio residual de poliestireno cristal de alta densidad (transparente), arena y carbón. Se tuvieron en cuenta los siguientes factores para la elección del material: disponibilidad en el medio, manejo para su manipulación, comportamiento en la fluidización (mínimo flujo de aire requerido para fluidización), material no inhibitorio para el crecimiento bacteriano, costo, rugosidad y área superficial. La antracita fue adquirida a través de arenas industriales, Medellín, Colombia, con diámetro promedio mm, forma irregular, rugoso, tamaño de malla 35, tyler No 32, 0.0197 in, dureza escala de Moh 3.0, gravedad específica 1.4. La antracita ha sido utilizada en diferentes estudios como medio filtrante (1) y adsorbente de compuestos orgánicos y olores, pero no ha sido muy citada como material de soporte para el crecimiento de biopelícula. Existen varios fenómenos que pueden ocurrir en la experimentación (1) adsorción física y (2) absorción.

Descripción de la planta piloto

La planta piloto está conformada por un reactor de mezcla completa para la preparación del efluente textil simulado; el reactor tiene un volumen efectivo de 19 litros, en acero inoxidable con sistema de calentamiento con carcaza externa, regulador de temperatura hasta 80^0C, sistema de agitación con 6 rodetes y 2 palas rectangulares en cada rodete, regulador de velocidad entre 0-316 rpm, alimentación y descarga discontinua. El reactor de baño tina alimenta un tanque de 150 litros conectado a una unidad para regulación de caudal por gravedad que está unido por sistema de tuberías y válvulas a la unidad de lecho fluidizado cuyo efluente se dirige a un tanque de 150 litros.

Reactor trifásico de lecho fluidizado

El reactor fue hecho de acrílico transparente tiene un volumen efectivo de 16.5 litros. La columna tiene 1.69 m de altura y 5 cm de diámetro interno. La parte superior es un cilindro más amplio que la columna con una altura de 14.5 cm, diámetro interno de 20.8 cm y un volumen efectivo de 3.5 litros basado en el volumen de la fase líquida, actúa como cámara de sedimentación del lodo. El volumen efectivo para fluidización es de 3 Litros. Una tubería ubicada lateralmente inyecta el afluente sintético y distribuye ascendentemente a través del reactor. La parte inferior del reactor es un difusor de aire compuesto por una manguera fina simétricamente perforada a través de los cuales el flujo de aire fue igualmente distribuido en el reactor y asciende el material de soporte que soporta las bacterias estableciéndose el contacto las tres fases sólido (material de soporte y bacterias), líquido (efluente

textil) y gaseoso (aire). El material de soporte dentro del reactor ocupa una altura de 3 cm. El flujo de aire proviene de un compresor de 2 HP, el cual está conectado a un sistema de condensación de agua para fluir el aire deshumidificado hacia un rotámetro. En la tubería de alimentación y en la de descarga, se instalaron unas mallas para impedir el paso del material de soporte hacia las tuberías.

Preparación efluente de teñido de índigo sintético

El efluente sintético se preparó a partir de los parámetros de la descarga y las características de reducción del colorante índigo, cumpliendo con las siguientes condiciones relación tinte a ditionito, NaOH, dispersantes para baño tina colorante índigo, temperatura, carga de reactivos, condiciones finales de potencial de óxido reducción, DBO, DQO, tinte oxidado en solución, espuma y potencial zeta. La solución de tinte índigo con una concentración de 50 mg/l fue preparada reduciendo el tinte en un medio alcalino con pH de 11 adicionando NaOH, a la mezcla en agitación continua se adicionan surfactante (1) disp 12 mg/l, surfactante (B) liq 12 mg/l, surfactante (A) sól 16 mg/l, en orden consecutivo, la mezcla es calentada hasta una temperatura de 70^0C y se adiciona 150 mg/L de $Na_2S_2O_4$. La temperatura es mantenida hasta que una coloración amarilla es lograda; luego se lleva la mezcla a temperatura ambiente y continúa agitación hasta que un color azul tenue es logrado. Se realizó monitoreo de los siguientes parámetros para la preparación del agua sintética POR, apariencia de solubilidad y OD.

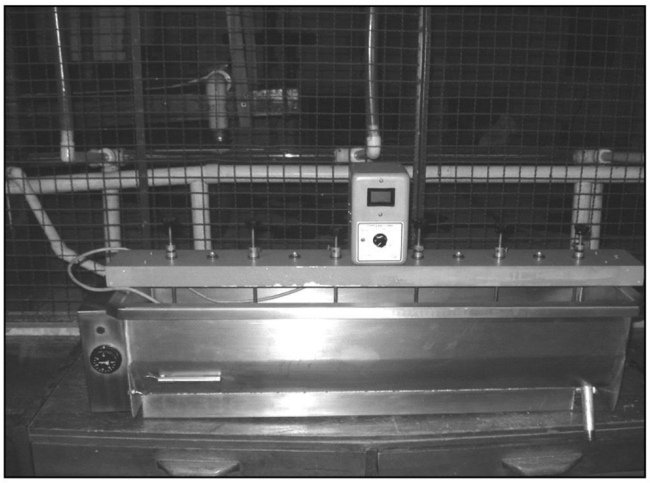


Foto 1. Reactor mezcla completa para preparación del baño tina.

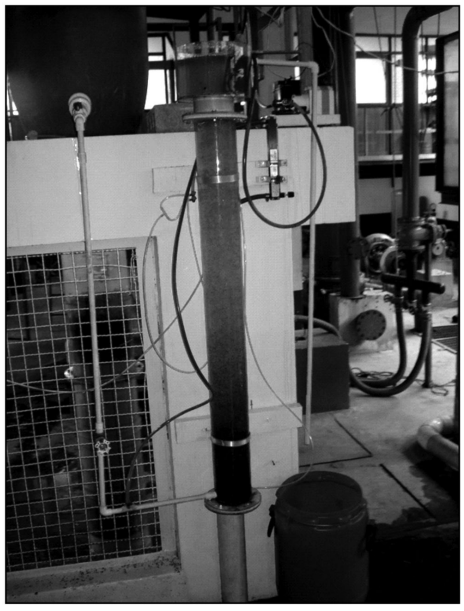


Foto2. Derecha. Montaje piloto.

Volumen 14 - No. 2, Agosto de 2011, Medellín ISSN 0124.177X.

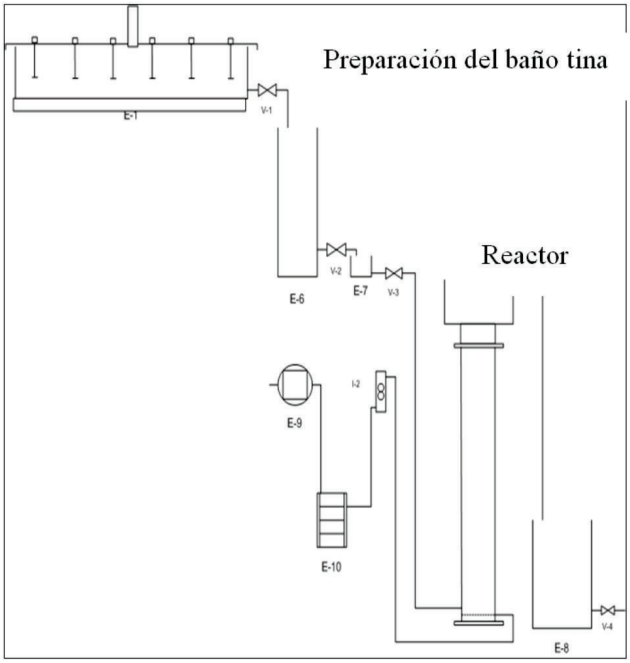


Figura 1. Diagrama de proceso de planta piloto.

Métodos analíticos

Temperatura, pH y amonio fueron medidos usando un medidor digital marca Denver (modelo 200). Los parámetros OD, POR, conductividad fueron medidos usando la sonda multiparámetro marca HACH (HQ40d). Los siguientes parámetros utilizaron métodos colorimétricos con el espectrofotómetro marca HACH (modelo DR 2700): nitrato por el método 8039 de reducción con cadmio; fósforo reactivo (ortofosfato) por el método 8178 de amino ácido; demanda química de oxígeno DQO por el método 8000 de digestión con reactor de dicromato; la absorbancia de color índigo a 670 nm fue medida de acuerdo a los valores de longitud de onda máxima, concentración de color índigo con curva de calibración, absorbancia de surfactantes a 400 nm y SST (mg/L) con absorbancia a 810 nm. para el seguimiento de la biomasa absorbancia a (620 nm, 420 nm, 540 nm) y UFC (Unidades formadoras de colonia); demanda biológica de oxígeno DBO por el método de respirometría, usando el BOD Sensor System 6 marca VELP SCIENTIFIC (Italia). ST (sólidos totales), SSVLM (sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado), sólidos sedimentables fueron medidos de acuerdo a los procedimientos del estándar método.

Parámetro	Valor real	Media / Desviación estándar
Estándar DBO (mg/L)	300.6	240.67 +/- 15.74
Blanco DBO(mg/L)	--	1,87 +/- 1.2
Estándar DQO(mg/L)	250	217.67 +/- 39.66
Estándar PO_4^3 (mg/L)	15	17.04 +/- 1.70

Tabla 1. Validación de los parámetros

Pruebas en discontinuo

Microorganismos

Se evaluaron diferentes inóculos tomados de la planta de agua residual textil La Cimarrona, Marinilla, Colombia, que tuvieran condiciones de heterogeneidad de microorganismos para continuar con una aumentación y adaptación a las condiciones del presente estudio. El primer inóculo tomado desde el canal de reciclo presentó condiciones de lodo viejo. Por lo tanto fue reemplazado por otro inóculo, el cual fue tomado en el segundo reactor y se consideró que las bacterias presentes están aclimatadas a las condiciones recalcitrantes de la descarga.

Bioaumentación y bioadaptación

Se preparó el inóculo con bacterias especializadas para bioaumentación. La mezcla de bacterias fue enriquecida en repetidas ocasiones en discontinuo en un erlenmeyer de 1000 ml con

agitación continua de 60 rpm, aireación mediante un difusor cerámico y a una temperatura de 25^{0}C con un 10% del inóculo 100 ml. El medio usado para el enriquecimiento y aclimatación contenía 300 mg/L de glucosa, 1.5 ml de solución de NH_4Cl que corresponde a 15 mg/L de nitrógeno y 0.11 ml de solución buffer fosfato que contiene KH_2PO_4, K_2HPO_4, Na_2HPO_4 que corresponde a 3 mg/L de fósforo. Las bacterias fueron aumentadas por 7 días con alimentación intermitente; en el octavo día, se adicionó 1% de índigo (3 mg/L) y 99% de glucosa (297 mg/L); al noveno día, se adicionó 2% de índigo (6 mg/L) y 98 % (294 mg/L) de glucosa y así sucesivamente hasta lograr una adaptación de las bacterias a índigo hasta una concentración de 50 mg/L.

Cinética

El objetivo fue determinar un tiempo de residencia a operar en el reactor piloto de lecho fluidizado. Se realizaron dos ensayos preliminares.

El primer ensayo consistió en un solo reactor sin blanco, y

El segundo fue dos reactores, uno de ellos siendo el control sin inóculo y sin presencia de la luz lámpara que es la luz emitida por el sistema de iluminación del laboratorio.

El tercer ensayo fue dos reactores, uno como control sometidos a las condiciones de luz en las que operará el reactor de lecho fluidizado.

Los tres ensayos fueron realizados en erlenmeyer de 1000 ml con igual volumen de reacción con agitación continua de 60 rpm aireación mediante un difusor cerámico y a una temperatura de 250C, con inóculos del 10% 100 ml para los ensayos Nº 1 y Nº 3 y del 25% 250 ml para el ensayo Nº 2, los inóculos que utilizaron, fueron producto del enriquecimiento y de la adaptación anterior. La concentración del agua residual sintética para los tres ensayos realizados fue la siguiente (mg/L): índigo 50, tensoactivo (A) 16, (B), 12, (1) 12 y Na2S2O4 150. La concentración de los nutrientes fue en (mg/L): 1.19 ml de solución de NH4Cl que corresponde a 12 mg/L de nitrógeno y 0.08 ml de solución buffer fosfato que contiene KH2PO4, K2HPO4, Na2HPO4 que corresponde a 2.4 mg/L de fósforo y la solución final fue llevada hasta pH de 7.0 con NaOH 2N y H2SO4 al 96%. Los resultados de los dos primeros ensayos fueron cualitativos; y para la corrida del tercer ensayo, se tomaron muestras cada 5 horas durante 3 días y se realizaron mediciones de parámetros en sobrenadante y en mezcla.

3. RESULTADOS

Caracterización del efluente textil

La tabla 2 muestra las características del efluente textil de la planta de teñido de índigo donde se tomaron las muestras de líquido y sedimento para identificar las bacterias del presente estudio.

Tabla 2. Caracterización del agua residual textil con color índigo

Parámetro	Medición en el efluente
FÍSICO-QUÍMICOS	
Temperatura (^{0}C)*	21.2
pH *	11.78
Oxígeno disuelto (mg/l)*	3.19
POR (mV)***	-315
Potencial zeta (mV)***	-16.5 +/- 15.2
Absorbancia a (670 nm)**	42.1
Concentración color índigo (mg/L)**	437.17
Conductividad (Us/cm)	17,310
Alcalinidad total como CaCO3 (mg/LCaCO3)	4,650
Acidez total como CaCO3 (mg/LCaCO3)	0
Dureza total como CaCO3(mg/LCaCO3)	9,600
Sólidos disueltos(mg/l)	12,786
Sólidos sedimentables (ml/L)*	0
Sólidos totales (mg/L)**	13,895

Volumen 14 - No. 2, Agosto de 2011, Medellín ISSN 0124.177X.

Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)**	1,381
Presencia o ausencia espuma**	Presencia
BIOLÓGICOS	
DBO5 soluble (mg/L)	232
DQO soluble(mg/L)	3,083
NUTRIENTES	
Nitrógeno amoniacal NH3-N (mg/L NH3-N)	14
Fosfatos $P0_4^{3-}$P(mg/L P)	<0.004
SALES	
Sulfatos $SO4^{2-}$(mg/L $SO4^{2-}$)	16.19
Cloruros (mg/LCl^-)	94.97

Caracterización realizada por el Laboratorio de ingeniería Sanitaria, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia que fue el responsable de los resultados.

*Parámetros *in vivo* determinados en las actividades de muestreo.

**Laboratorio de hidráulica, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia.

***Laboratorio de investigación, Colorquímica S.A, Medellín, Colombia.

Bioaumentación y bioadaptación

El seguimiento de los parámetros monitoreados en ésta etapa se muestra en la figura 3 la cual muestra la capacidad de adaptación y de aumentación de los microorganismos.

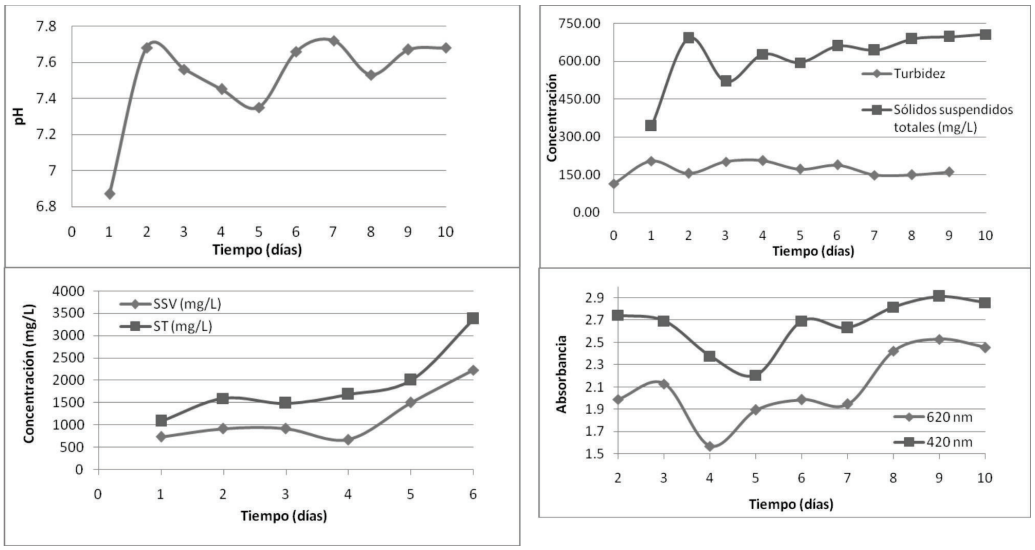


Figura 3. Seguimiento de inóculo de planta de tratamiento de agua textil. A. pH. B. turbidez y SST. C. SSV y ST. D. Absorbancia a 620 nm y 420 nm.

Cinética

Los resultados de la experiencia en escala laboratorio en operación discontinua de un reactor para remoción de color se muestran en la foto 3 y en la figura 4.

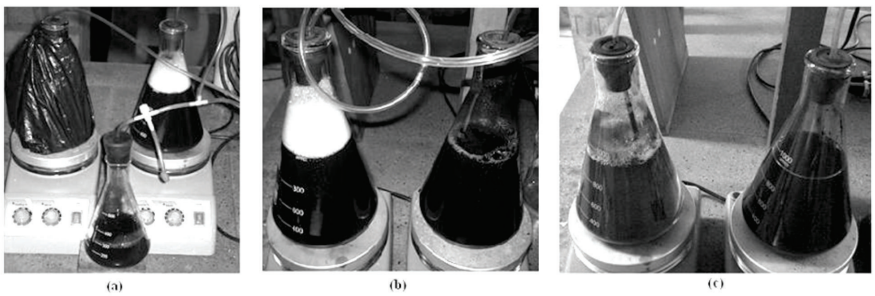


Foto 3. (a) Corrida cinética No.2, día 1, Izquierda muestra con inóculo y sin luz, derecha blanco sin inóculo y con luz lámpara. (b) Corrida Cinética No.2, día 2. (c) Corrida Cinética No.2, día 3. (a) Corrida cinética No.3, día 1, Izquierda blanco sin inóculo, derecha muestra con inóculo. (b) Corrida Cinética No.3, día 2. (c) Corrida Cinética No.3, día 3.

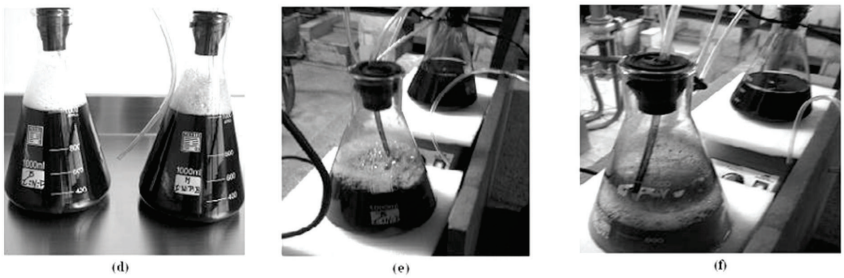
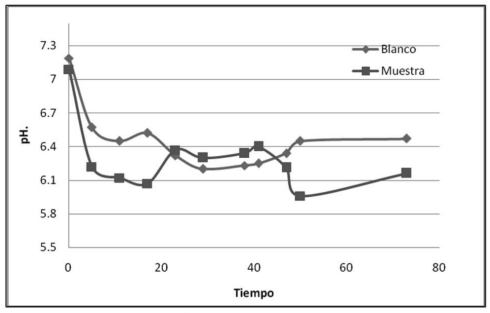
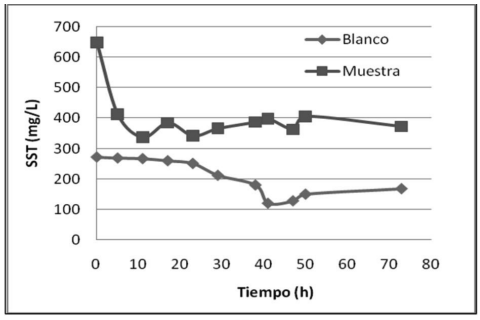


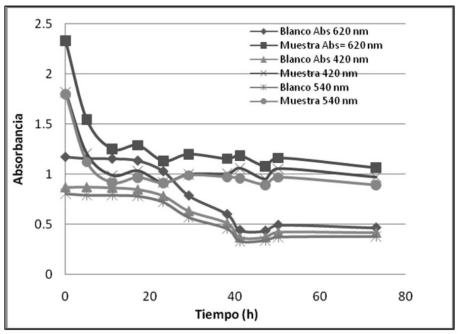
Foto 3. (a) Corrida cinética No.2, día 1, Izquierda muestra con inóculo y sin luz, derecha blanco sin inóculo y con luz lámpara. (b) Corrida Cinética No.2, día 2. (c) Corrida Cinética No.2, día 3. (a) Corrida cinética No.3, día 1, Izquierda blanco sin inóculo, derecha muestra con inóculo. (b) Corrida Cinética No.3, día 2. (c) Corrida Cinética No.3, día 3.



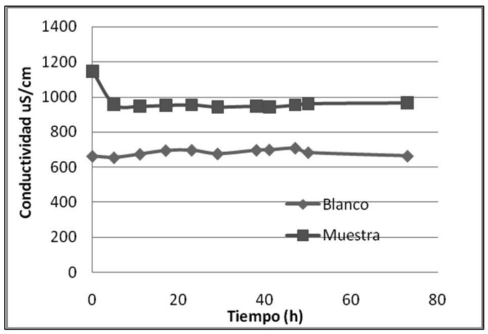
A



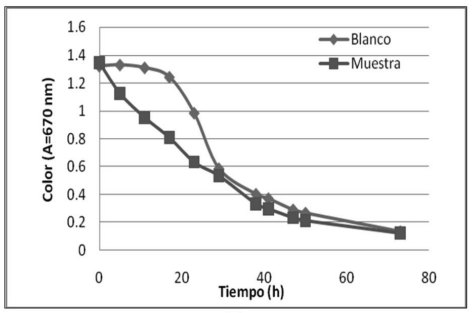
B



C



D



E

Figura 4. Ensayo discontinuo batch. A. pH. B. SST(mg/L). C. Absorbancia a 620, 420, 540 nm. D. Conductividad uS/cm. E. Color Abs=670 nm.

4. CONCLUSIONES

Bioaumentación y bioadaptación

Para lograr la puesta en marcha de una planta piloto, se sugiere el proceso de bioaumentación y bioadaptación a partir de inóculo de una planta de agua residual industrial textil para lograr bacterias especializadas a un medio con fuente de carbono y compuestos tóxicos diferentes a los presentes en un medio nativo con el fin de minimizar tiempos de puesta en marcha y operación en estado estacionario.

Volumen 14 - No. 2, Agosto de 2011, Medellín ISSN 0124.177X.

Cinética

Los ensayos de laboratorio en reactor con operación en discontinuo confirman que el tratamiento biológico para tratamiento de agua residual industrial textil con color índigo provee una buena disminución de color. Se observó que los experimentos con las bacterias especializadas consumen inicialmente los surfactantes. Existen varios fenómenos aún no comprobados que pueden ocurrir en la decoloración del agua residual sintética (1) adsorción física de la biomasa de las bacterias, (2) fotocatálisis y (3) reacción biológica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto "Evaluación del tratamiento biológico para remoción de color índigo de agua residual industrial textil por un consorcio microbiano en lecho fluidizado – DIME bicentenario con código quipú 2020100773. Agradecemos al Laboratorio de ingeniería Sanitaria de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; al Laboratorio de Hidráulica, de la misma Facultad de Minas; y al laboratorio de investigación, Colorquímica S.A, Medellín, Colombia.

REFERENCIAS

Balfour- P aul, J., 1998. Indigo. British Museum Press, London, UK, ISBN 071411776, 264.

Chemmatters, 1986. American Chemical Society. Washington, DC.

Khehra, M.; Saini, H.; Sharma, D.; Chadha, B. y Chimni, S., 2005. Comparative studies on potential of consortium and constituent pure bacterial isolates to decolorize azo dyes. Water Research. Elsevier Ltd., Vol. 39, pp. 5135- 5141.

Kim, T.; Lee, Y.; Yang, J.; Lee, B.; Park, C. y Kim, S., 2004. Decolorization of dye solutions by a membrane bioreactor (MBR) using white-rot fungi. Desalination. 168, 287- 293.

Kornaros, M. y Lyberatos, G., 2006. Biological treatment of wastewaters from a dye manufacturing company using a trickling filter. J. Hazard. Mater. Vol., 136, pp. 95- 102.

Prideaux, V., 2004. Handbook of Indigo Dyeing, Search Press.

Quintero, Ricardo y Área Metropolitana el Valle de Aburrá, 2007. Producción más limpia en el sector textil. Medellín.

Roessler, A.; Crettenand, D.; Dossenbach, O.; Marte, W. y Rys, Paul, 2002. Direct electrochemical reduction of indigo. Electrochim Acta 47. 1989- 1995.

Sandberg, G., 1989. Indigo Textiles Technique and History, Lark Books, Asheville, NC.

Sen, S. y Demirer, G., 1995. Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor. Water Research. Vol., 37, pp., 1868- 1878, 2003. EPP, D. The Chemistry of Vat Dyes, Miami University Middletown, Middletown, Ohio.

Tantak, N. y Chaudhari, S., 2006. Degradation of azo dyes by sequential Fenton's oxidation and aerobic biological treatment. J. Hazard. Mater. B136, 698- 705.