

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
ESPE**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

**SELECCIÓN DE UN SOPORTE SÓLIDO PARA EL  
INÓCULO I5-ESPE EN UN BIORREACTOR  
ANAEROBIO, A NIVEL DE LABORATORIO,  
DIRIGIDO AL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES TEXTILES**

**Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:**

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA**

**ELABORADO POR:**

**SILVANA PATRICIA MORENO VALLEJO**

**SANGOLQUÍ, 18 de septiembre de 2013**

# CERTIFICACIÓN

**M.Sc. Alma Koch**

**Ing. Mat. Pedro Romero**

Certifican:

Que el trabajo titulado “SELECCIÓN DE UN SOPORTE SÓLIDO PARA EL INÓCULO I5-ESPE EN UN BIORREACTOR ANAEROBIO, A NIVEL DE LABORATORIO, DIRIGIDO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES”, realizado en su totalidad por SILVANA PATRICIA MORENO VALLEJO, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerza Armadas - ESPE.

El mencionado trabajo consta de (un) documento empastado y (un) disco compacto el cual contiene todos los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a SILVANA PATRICA MORENO VALLEJO que lo entregue a la ING. GRACE TATIANA PÁEZ BARRERA, en su calidad de Coordinadora de la Carrera.

Sangolquí, Septiembre 2013

---

**M.Sc. Alma Koch**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Mat. Pedro Romero**

**CODIRECTOR**

# DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**SILVANA PATRICIA MORENO VALLEJO**

Declaro que:

El proyecto de grado dominado **“SELECCIÓN DE UN SOPORTE SÓLIDO PARA EL INÓCULO I5-ESPE EN UN BIORREACTOR ANAEROBIO, A NIVEL DE LABORATORIO, DIRIGIDO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Septiembre 2013

**SILVANA PATRICIA MORENO VALLEJO**

## AUTORIZACIÓN

Yo, SILVANA PATRICIA MORENO VALLEJO

Autorizó a la Universidad de las Fuerza Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “**SELECCIÓN DE UN SOPORTE SÓLIDO PARA EL INÓCULO I5-ESPE EN UN BIORREACTOR ANAEROBIO, A NIVEL DE LABORATORIO, DIRIGIDO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Septiembre 2013

SILVANA PATRICIA MORENO VALLEJO

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres, hermanos y abuelitos

*Silvana Patricia Moreno Vallejo*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ser mi sustento y darme salud, fortaleza, responsabilidad y sabiduría, permitiéndome cumplir una más de mis metas.

A mis padres, por ser mi apoyo incondicional y aconsejarme día a día para ser una mejor persona. A mis hermanos Giovanna y Xavier, quienes han sido mis amigos y confidentes.

A mis abuelitos, por hacer que cada día junto a ellos sea especial e inolvidable, por compartir conmigo sus historias y vivencias y llenarme de felicidad.

A mis profesores M.S.c Alma Koch e Ing. Pedro Romero quienes con sus conocimientos y apoyo han guiado el desarrollo del proyecto desde el inicio hasta su culminación.

A mis amigos Luis, Paul, Juan David, Hernán, Juan Francisco, Abigail, Cristina, Cristy, Virginia, Rosi y Carmen, por su confianza y por siempre estar cuando más los necesito, realmente se han convertido en personas muy especiales para mí y siempre van a estar en mi mente y corazón.

*Silvana Patricia Moreno Vallejo*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |           |
|--|-----------|
| Certificación .....  | i         |
| Declaración de Responsabilidad .....                             | ii        |
| Autorización .....   | iii       |
| Dedicatoria.....   | iv        |
| Agradecimientos.....   | v         |
| Índice de contenidos.....  | vi        |
| Listado de figuras.....  | viii      |
| Listado de tablas.....   | ix        |
| Listado de anexos.....   | ix        |
| Resumen.....   | x         |
| Abstract .....   | xi        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>                            | <b>1</b>  |
| 1.1. Formulación del problema.....                               | 1         |
| 1.2. Justificación del problema.....                             | 2         |
| 1.3. Objetivos de la investigación.....                          | 3         |
| 1.3.1. Objetivo General .....                                    | 3         |
| 1.3.2. Objetivos Específicos.....                                | 4         |
| 1.4. Marco teórico.....  | 4         |
| 1.4.1. Industria Textil en el Ecuador .....                      | 4         |
| 1.4.2. Efluentes residuales de la industria textil.....          | 5         |
| 1.4.3. Microorganismos anaerobios. ....                          | 6         |
| 1.4.4. Microorganismos facultativos .....                        | 6         |
| 1.4.5. Inóculo microbiano nativo I5 (ESPE) .....                 | 7         |
| 1.4.6. Tratamiento anaerobio para aguas residuales textiles..... | 7         |
| 1.4.7. Filtros o soportes anaerobios.....                        | 8         |
| 1.4.8. Demanda química de oxígeno (DQO).....                     | 9         |
| 1.4.9. Sólidos Suspendidos Totales .....                         | 11        |
| 1.4.10 Sólidos Suspendidos Volátiles .....                       | 12        |
| 1.4.11 Potencial de Hidrógeno (pH).....                          | 12        |
| 1.4.12 Temperatura .....   | 13        |
| 1.4.13 Porosidad.....  | 13        |
| 1.4.14 Escala de McFarland .....                                 | 14        |
| 1.4.15 Espectrofotometría .....                                  | 14        |
| 1.5. Sistema de hipótesis .....                                  | 15        |
| <b>CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>                    | <b>16</b> |
| 2.1. Participantes .....   | 16        |
| 2.2. Zona de Estudio .....                                       | 16        |
| 2.2.1. Laboratorio .....   | 16        |
| 2.2.2. Muestreo.....   | 16        |
| 2.3. Período de tiempo de investigación.....                     | 17        |

|  |         |
|--|---------|
| 2.4. Diseño Experimental .....   | 17      |
| 2.5. Procedimientos .....  | 17      |
| 2.5.1. Evaluación del entorno de trabajo .....   | 17      |
| 2.5.2. Activación del inóculo I5 del banco de cepas del laboratorio de<br>Microbiología del CEINCI - ESPE.....   | 17      |
| 2.5.3. Selección del material de los tres soportes. ....   | 18      |
| 2.5.4. Obtención de un biorreactor a nivel de laboratorio para evaluar la eficiencia<br>de cada soporte. ....  | 18      |
| 2.5.5. Estabilización del inóculo I5 en el material de soporte dentro del<br>biorreactor .....   | 19      |
| 2.5.6. Evaluación del agua sintética antes y después del tratamiento para<br>establecer comparaciones entre los resultados, mediante el análisis de la DQO,<br>SSVL, SST y color ..... | 19      |
| 2.5.7. Análisis de las características del soporte.....  | 21      |
| 2.6. Análisis de Datos .....   | 21      |
| CAPÍTULO 3: RESULTADOS.....  | 22      |
| 3.1 Selección del material de los tres soportes y obtención de un biorreactor<br>a nivel de laboratorio .....  | 22      |
| 3.2 Análisis de aspectos físicos de los soportes.....  | 22      |
| 3.2.1. Porosidad.....  | 22      |
| 3.2.2 Densidad y peso específico .....   | 25      |
| 3.3 Análisis de aspectos químicos de los soportes .....  | 27      |
| 3.3.1 Remoción de DQO .....  | 27      |
| 3.3.2 Remoción de color .....  | 29      |
| 3.3.3 Cantidad de biomasa .....  | 31      |
| 3.4 Control de parámetros .....  | 37      |
| 3.4.1 Presencia de microorganismos externos .....  | 37      |
| 3.4.2 Temperatura .....  | 37      |
| 3.4.3 pH.....  | 37      |
| 3.5.4 Oxígeno disuelto .....   | 37      |
| CAPITULO 4: DISCUSIÓN .....  | 38      |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....  | 47      |
| CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES .....  | 48      |
| CAPÍTULO 7:  |         |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | ¡Error! |
| <b>Marcador no definido.</b>   |         |
| ANEXOS .....   | 55      |



## LISTADO DE FIGURAS

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Figura 3.1: análisis de varianza y test de duncan de la porosidad de los soportes en infostat.....   | 25                                  |
| <b>Error! Marcador no definido.</b>  |                                     |
| Figura 3.2: porosidad de cada soporte en porcentaje.....   | <b>Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 3.3: diagrama de cajas de la porosidad de cada soporte en porcentaje.....   | <b>Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 3.4: análisis de varianza y test de duncan de la densidad de los soportes en infostat.....  | 26                                  |
| Figura 3.5: densidad del material de soporte en porcentaje.....  | 26                                  |
| Figura 3.6: peso específico del material de soporte en porcentaje.....   | 26                                  |
| Figura 3.7: curva de calibración para la demanda química de oxígeno.....   | 27                                  |
| Figura 3.8: análisis de varianza y test de duncan de la demanda química de oxígeno en Infostat.....  | 28                                  |
| Figura 3.9: diagrama de barras de la variación de la demanda química de oxígeno de cada tratamiento y su repetición en infostat.....         | 28                                  |
| Figura 3.10: variación de la demanda química de oxígeno de cada soporte en el tiempo en excel.....   | 29                                  |
| Figura 3.11: análisis de varianza y test de duncan de los datos obtenidos en la remoción del color de cada reactor en infostat.....          | 30                                  |
| Figura 3.12: resultados de la remoción del color en porcentaje con relación al tiempo en excel.....  | 30                                  |
| Figura 3.13: diagrama de barras de la remoción del color en porcentaje en infostat.....  | 31                                  |
| Figura 3.14: análisis de varianza y test de duncan de los resultados obtenidos del conteo en placa de cada soporte.....                      | 32                                  |
| Figura 3.15: resultados obtenidos del conteo en placa de cada soporte en excel.....  | 32                                  |
| Figura 3.16: diagrama de barras de los resultados obtenidos del conteo en placa de cada soporte en infostat.....                             | 33                                  |
| Figura 3.17: análisis de varianza y test de duncan de los resultados obtenidos en la determinación de los sólidos suspendidos volátiles..... | 33                                  |
| Figura 3.18: resultados obtenidos de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla en función del tiempo en excel.....                | 34                                  |
| Figura 3.19: diagrama de barras de los sólidos suspendidos volátiles en infostat.....  | 35                                  |
| Figura 3.20: análisis de varianza y test de duncan de los resultados obtenidos en la determinación de los sólidos suspendidos totales.....   | 35                                  |
| Figura 3.21: resultados obtenidos de los sólidos suspendidos totales en función del tiempo en excel.....                                     | 36                                  |
| Figura 3.22: diagrama de barras de los sólidos suspendidos totales en infostat.....  | 36                                  |



## LISTADO DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3.1: Porosidad de los soporte .....                                | 21 |
| Tabla 3.2: Densidad y peso específico de los materiales de soporte ..... | 23 |

## LISTADO DE ANEXOS

|  |    |
|--|----|
| Anexo A: Soporte y reactores.....      | 55 |
| Anexo B: Resultados de la siembra..... | 56 |
| Anexo C: Remoción de color.....        | 59 |
| Anexo D: Formación de biopelícula..... | 61 |

## RESUMEN

El proyecto de tesis se basa en seleccionar un soporte sólido para el inóculo I5-ESPE en un biorreactor anaerobio, a nivel de laboratorio, dirigido al tratamiento de aguas residuales textiles. Se evaluó tres tipos de soportes: cáscara de coco, roca común y plástico.

Se trabajó con tres reactores de vidrio con una capacidad de 7L, en cada uno se colocó el inóculo I5-ESPE y agua sintética, en relación 2:1, para permitir la adaptación de los microorganismos con recirculación cada 24 horas. La selección del soporte se realizó en base a parámetros físicos y químicos. Entre los parámetros físicos se determinó la porosidad, densidad y peso específico de cada material; en cuanto a los parámetros químicos se evaluó la remoción de DQO y color, la cantidad de microorganismos por conteo en placa, SST y SSVL. Se controló la temperatura en un rango de 35°C con un temperatura mínima de 32°C durante la recirculación y el pH entre 6.5 y 7.5.

Se comparó el desempeño de los tres tratamientos mediante estadística paramétrica y se determinó que la cáscara de coco como soporte alcanzó los mejores resultados estadísticamente significativos de remoción de DQO y del color. Adicionalmente, ofrece ventajas como: amplia superficie específica que favorece la adherencia de los microorganismos; bajo peso específico que permite utilizar estructuras de contención sencillas; vida útil prolongada.

## ABSTRACT

The thesis is based on selecting a solid support for the I5-ESPE inoculum in a anaerobic bioreactor, in the laboratory, led to the treatment of textile wastewater. In this research, three types of media were evaluated: coconut shell, common rock and plastic.

For this study three glass reactors with a capacity of 7L were used, in each was placed the I5-ESPE inoculum and synthetic water in 2:1 ratio, to allow adaptation of microorganisms. The selection was based on physical and chemical parameters the support. The physical parameters analyzed were porosity, density and specific gravity of each material and the chemical parameters evaluated were the COD removal and color, the amount of microorganisms by plate count, SSVL and SST. The temperature was controlled in a range of 35 ° C with a minimum temperature of 32°C during recirculation and the pH between 6.5 and 7.5.

The performance of the three treatments was compared using parametric statistic and found that coconut shell as support was statistically the better because obtained the best removing of COD and color. Additionally, has advantages such as large specific surface area that promotes adhesion of microorganisms, low specific weight which allows using simple containment structures; long life.

## CAPÍTULO 1

### SELECCIÓN DE UN SOPORTE SÓLIDO PARA EL INÓCULO I5-ESPE EN UN BIORREACTOR ANAEROBIO, A NIVEL DE LABORATORIO, DIRIGIDO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES

#### 1.1. Formulación del problema

La industria textil se remonta a la época colonial, cuando se empleaba lana de oveja para fabricar tejidos. A inicios del siglo XX se introdujo el algodón y actualmente, la industria textil ecuatoriana fabrica productos provenientes de todo tipo de fibras, entre las más utilizadas están el algodón, poliéster, nylon, acrílicos, lana y seda (AITE, 2012).

En el Ecuador, las provincias con mayor número de industrias dedicadas a esta actividad son: Pichincha, Imbabura, Tungurahua, Azuay y Guayas. Según estimaciones hechas por la Asociación de Industriales Textiles del Ecuador – AITE, alrededor de 50.000 personas laboran directamente en empresas textiles, y más de 200.000 lo hacen indirectamente; siendo el segundo sector manufacturero que más mano de obra emplea (AITE, 2012).

La industria textil se caracteriza por ser una de las actividades más contaminantes, debido a los residuos que genera y los altos consumos de agua, energía y reactivos químicos. Las aguas residuales generadas dependen de los procesos llevados a cabo, los parámetros más significativos son la DQO, la DBO, los sólidos totales, el AOX, toxicidad, carga orgánica, color, conductividad y, en ocasiones, el nitrógeno. El pH puede ser básico o ácido en función de los colorantes utilizados y, en algunos casos, puede haber presencia de metales (CAR/PL, 2002).

Las operaciones de acabado químico traspasan a las aguas residuales gran cantidad de productos de escasa biodegradabilidad. Algunos productos utilizados, como antipollas, antimoho son similares a los plaguicidas y biocidas (CAR/PL, 2002).

El agua de la industria textil generalmente mantiene niveles de  $\text{DBO}_5$  de alrededor de 1600 mg/L, por lo que puede utilizar diferentes sistemas de tratamiento, entre ellos los reactores anaerobios. Estos reactores son los únicos capaces de deshacer los enlaces AZO que presentan las tintas utilizadas en el teñido. Los valores de pH comunes en la industria textil son ideales para el proceso y las aguas son fácilmente degradables en forma anaerobia a un costo muy bajo, lo que hace a esta tecnología óptima y cada vez más utilizada (IMBRIUM, 2010).

Las bacterias anaerobias necesitan un soporte para desarrollarse, crecen formando una capa alrededor del soporte (biopelícula), con lo que al fluidizar el agua residual a tratar, se eleva el contacto de los microorganismos con el sustrato (Morgan, Revah, & Noyola, 2000).

Los soportes empleados dependen del tipo de reactor. Comúnmente se utilizan soportes de baja densidad como el nylon, poliéster y polietileno, para obtener un menor gasto energético al fluidizar el lecho y disminuir los tiempos de retención hidráulica entre 12-1 horas (Moreno, 2003).

Un aspecto importante para mejorar la eficiencia de las plantas de tratamiento, es escoger un soporte adecuado para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos. Se deben considerar características de los soportes como: una gran superficie o área de contacto por unidad de volumen, el material sólido debe ser económico y de bajo peso específico para que el recipiente que lo contiene pueda ser construido sin que sea necesario emplear materiales de gran resistencia mecánica, por consiguiente, de alto costo (Moreno, 2003).

Entre los materiales de soporte más utilizados se encuentran: piedras, roca volcánica, empaques plásticos de formas diversas, placas en arreglos específicos, madera, plumas, nueces, perlas de vidrio, PVC, alúmina, carbón activado (GAC), arena, entre otros (Moreno, 2003).

## **1.2. Justificación del problema**

La biorremediación de aguas residuales de industrias textiles es un tema de gran influencia económica e indispensable para el ambiente, pues la industria textil se ha incrementado paulatinamente. En la actualidad, existen alrededor de 50 industrias en todo el país, que elaboran hilados, tejidos, prendas de vestir, lencería de hogar y productos especiales (AITE, 2012).

El desarrollo de soportes es un paso importante en el tratamiento de aguas residuales, ya que se debe considerar aspectos como la alta disponibilidad de nutrientes para el correcto desarrollo y crecimiento de los microorganismos, la superficie de contacto para permitir la adherencia de los microorganismos y alta porosidad para reducir la acumulación de sedimentos (Morgan, *et al.*, 2000).

La retención de los microorganismos en el interior de un reactor es indispensable porque reduce el tiempo de retención hidráulica y disminuye costos. Existen varios métodos de retención de biomasa, entre ellos la inmovilización sobre un soporte (filtros anaerobios y lechos fluidizados), floculación de biomasa y retención por gravedad (reactores de lecho de lodos); en este estudio se trabajará con filtros anaerobios (IDAE, 2007).

El proyecto de tesis “Selección de un soporte sólido para el inóculo I5-ESPE en un biorreactor anaerobio, a nivel de laboratorio, dirigido al tratamiento de aguas residuales textiles” pretende determinar las características de operación de un soporte biológico para obtener las mejores eliminaciones de los contaminantes contenidos en las aguas residuales textiles. Para lograrlo, es necesario determinar las características del material filtrante y evaluar la eliminación de contaminantes del agua a tratar utilizando parámetros genéricos de análisis de aguas residuales como son SSLV, SST, DQO y color (Álvarez, *et al.*, 2006).

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**



- Seleccionar un soporte sólido para el inóculo I5-ESPE en un biorreactor anaerobio a nivel de laboratorio, dirigido al tratamiento de aguas residuales textiles.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Activar el consorcio microbiano del banco de cepas del laboratorio de Microbiología del CEINCI - ESPE.
- Obtener tres tipos de soporte y analizar sus características como peso específico y porosidad.
- Contar con un biorreactor a escala de laboratorio para evaluar la eficiencia de cada soporte.
- Estabilizar el inóculo I5 en el material de soporte dentro del biorreactor.
- Evaluar el agua sintética antes y después del tratamiento para establecer comparaciones entre los resultados, mediante el análisis de la DQO, SSVL, SST y color.
- Determinar el soporte con mejores características para el tratamiento de aguas residuales textiles.

## **1.4. Marco teórico**

### **1.4.1. Industria textil en el Ecuador**

La industria textil en el Ecuador se fortalece día a día con los capitales destinados para compra de maquinaria, expansión de plantas e innovación, lo cual genera empleo directo, indirecto y digno para los ecuatorianos (Díaz, 2010). La actividad textil es una industria integrada que requiere insumos de otros sectores como el agrícola, ganadero, industria de plásticos, industria química, etc. (Carrillo, 2010).

Las primeras industrias ecuatorianas se dedicaron a procesar lana, hasta inicios del siglo XX, cuando se introdujo el algodón. Actualmente, se fabrica productos de todo tipo de fibras (Nuñez, 2010).

La diversificación en el sector textil ha permitido que se fabrique una gran variedad de productos en el país, siendo los hilados y los tejidos los más producidos. No obstante, cada vez es mayor la producción de confecciones textiles, tanto las de prendas de vestir como de manufacturas para el hogar (AITE, 2012).

Con el transcurso del tiempo, la diversidad de empresas dedicadas a la actividad textil ubicaron sus infraestructuras en diferentes ciudades del país, concentrándose en las provincias de Pichincha, Imbabura, Guayas, Azuay y Tungurahua (Nuñez, 2010).

#### **1.4.2. Efluentes residuales de la industria textil**

Los efluentes residuales de las empresas textiles se han convertido en un problema que iguala o supera las aguas negras domésticas porque contienen una gran cantidad de contaminantes que afectan la vida acuática donde son finalmente descargadas. La industria textil consume gran cantidad de agua, ya que gran parte del proceso productivo es en húmedo. Se estima que se consume alrededor de 100 y 170 litros de agua por tonelada de tela producida (Salas, 2003).

El agua residual textil presenta características particulares como: almidones, dextrinas, gomas, glucosa, ceras, pectinas, alcoholes, ácidos grasos, ácido acético, jabones, detergentes, hidróxido de sodio, carbonatos, sulfuros, cloruros, colorantes y pigmentos, peróxidos, entre otros. Además, el pH varía entre 5 y 10, contiene subproductos orgánicos e inorgánicos generados a partir de sus reacciones químicas, pelusas y fibras (Salas, 2003).

Los efluentes industriales se generan principalmente en los procesos productivos que implican el descruce, blanqueo y teñido, debido a que en estas etapas se agregan una gran cantidad de insumos químicos como detergentes,

tintes, agentes humectantes, estabilizantes, dispersantes y penetrantes, sales inorgánicas, ácidos y peróxidos (Salas, 2003).

Un contaminante evidente en los efluentes textiles son los colorantes sintéticos, los cuales son principalmente del grupo azo. En la tinturación de los materiales, entre el 10 y 90% del colorante no se fija a la fibra, lo cual implica que sea desechado en el agua residual, que puede tener colorantes en concentraciones desde 10-1000 mg/L (Oranusi & Mbah, 2005).

Los colorantes azoicos forman parte de una familia de sustancias químicas orgánicas caracterizadas por la presencia de un grupo peculiar que contiene nitrógeno unido a anillos aromáticos. Constituyen el grupo más extenso de todos los colorantes orgánicos disponibles en el mercado. La estructura química de este tipo de colorantes se caracteriza por la presencia del grupo azo como cromóforo, asociados a grupos auxocromo de tipo amino o hidroxilo (AITEK, 2003).

#### **1.4.3. Microorganismos anaerobios**

Los microorganismos anaerobios generalmente son unicelulares, autónomos y autótrofos. Se desarrollan en ausencia de oxígeno molecular, y poseen un metabolismo de tipo fermentativo en el cual las sustancias orgánicas son los aceptores finales de electrones (Rivas, 2008).

Los anaerobios obtienen energía libre y sintetizan todos sus componentes estructurales sin la ayuda del oxígeno. La vía anaerobia posee un menor rendimiento energético y está sujeta a potenciales REDOX bajos (algunas enzimas solamente operan en estas condiciones) y sin la presencia de elementos que interfieran el flujo normal de electrones (Rivas, 2008).

#### **1.4.4. Microorganismos facultativos**

Los microorganismos facultativos son aquellos que se desarrollan en presencia tanto como en ausencia de oxígeno molecular y poseen metabolismo mixto por lo que, pueden tanto degradar como construir materia orgánica, a partir de diferentes sustratos, orgánicos e inorgánicos. Los mayores representantes son hongos, levaduras y bacterias (Bravo, 2007) .

#### **1.4.5. Inóculo microbiano nativo I5-ESPE**

El inóculo microbiano I5 es un consorcio bacteriano capaz de degradar contaminantes de agua residual en condiciones aerobias y anaerobias, el cual fue producido con el objetivo de ser utilizado como biomasa en plantas de tratamiento biológico de aguas residuales a escala real. Los microorganismos se obtuvieron mediante muestreos de suelo y agua de las descargas industriales al río Machángara. La selección de los microorganismos se basó en los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, en donde se consideró el mayor grado de remoción para metales pesados, detergentes, zinc, cromo total, cromo VI y fenoles, para posteriormente aplicarlas en la biorremediación aerobia y anaerobia de efluentes textiles a nivel piloto (CEINCI, 2012).

#### **1.4.6. Tratamiento anaerobio para aguas residuales textiles**

El tratamiento anaerobio es una opción para todo tipo de agua residual con contaminantes orgánicos. En los sistemas anaerobios las bacterias son independientes del oxígeno por lo que no se genera gasto por agitación mecánica, lo que reduce los costos de operación (IMBRIUM, 2010).

El agua de la industria textil generalmente mantiene niveles de  $\text{DBO}_5$  de alrededor de 1600 mg/L, por lo que puede utilizar diferentes sistemas de tratamiento, entre ellos los reactores anaerobios de flujo descendente. Estos reactores son los únicos capaces de deshacer los enlaces AZO que presentan las tintas utilizadas en el teñido. El tratamiento debe ser combinado con un pulido aerobio final para destruir las aminas aromáticas que se forman al degradar las tintas y que no pueden ser destruidas si no es en la presencia de oxígeno.

El resultado del tratamiento es agua libre de coloración que cumple con las normas para su reutilización, ya sea dentro del proceso textil o para riego agrícola y en jardines. Los valores de pH comunes en la industria textil son ideales para el proceso y las aguas residuales son fáciles de tratar en forma anaerobia a un bajo costo (IMBRIUM, 2010).

Los filtros anaerobios permiten a las bacterias fijarse en un soporte para resistir las fuerzas ascensionales altas. Este tipo de tratamiento es indicado para agua residual donde las materias orgánicas en suspensión sean mínimas y la mayor parte de la DBO<sub>5</sub> sea por materia disuelta, lo cual es el caso de los efluentes residuales textiles (IMBRIUM, 2010).

El proceso de digestión anaerobia consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos en ausencia de oxígeno molecular. En ella se obtiene como subproducto el denominado biogás que se compone de un 70% de metano y un 30% de una mezcla de dióxido de carbono y otros compuestos como nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, los cuales son responsables de los malos olores generados durante la digestión (Caicedo, 2006)

Las ventajas del tratamiento anaerobio son varias, entre ellas la baja producción de lodos, bajo consumo de energía, bajo requerimiento de nutrientes, posible reutilización del metano producido, soporta sin problema incremento o decremento en su alimentación por meses, poca necesidad de espacio, cogeneración eléctrica, usando generadores que funciona con biogás (Caicedo, 2006).

#### **1.4.7. Filtros o soportes anaerobios**

En un sistema de filtro anaerobio o sistema de película fija, la biomasa bacteriana se encuentra, en parte, inmovilizada en un material de soporte inerte

en el reactor biológico, y en parte en suspensión entre los espacios vacíos que restan (IDAE, 2007).

En los soportes anaeróbicos, el agua residual pasa a través de un lecho que habitualmente se compone de roca o material plástico. Los microorganismos se adhieren al medio inerte o quedan suspendidos entre los espacios del mismo. Cuando el agua fluye a través del medio, los microorganismos degradan rápidamente los compuestos orgánicos del desecho y el biogás es colectado en la superficie, proporcionando zonas de reposo para la sedimentación de los sólidos que se encuentran en suspensión. El tamaño de dichas partículas es relativamente grande y su tasa de colonización por parte de las bacterias depende de la rugosidad, porosidad y tamaño de poro (Sanz, 2008; Chaux & Zambrano, 2011).

El material empleado como soporte debe ser económico; entre los materiales de soporte más utilizados se encuentran: piedras, roca volcánica, empaques plásticos de formas diversas, placas en arreglos específicos, etc. (Geocities, 2009).

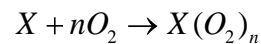
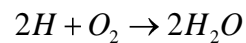
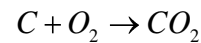
Las ventajas de los soportes biológicos es la alta remoción de compuestos orgánicos, aplicación en aguas residuales diluidas y concentradas, bajas demandas de área. Sin embargo tiene algunas desventajas entre las que se destacan: dificultad en el arranque, riesgo de obstrucción, restringido a aguas residuales de bajos contenidos de sólidos en suspensión y altos costos del medio soporte (Chaux & Zambrano, 2011).

El filtro anaerobio es aconsejable para aguas residuales con carga orgánica moderada soluble o que se degrade fácilmente en compuestos solubles y, también, para aguas con elevada carga orgánica soluble que pueda ser diluida con recirculación de efluente. Los filtros con flujo descendente no pueden usarse para tratar aguas con fracciones apreciables de sólidos en suspensión, ya que pueden provocar problemas de atascos (IDAE, 2007).

#### 1.4.8. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno mide la cantidad de oxígeno equivalente a los agentes químicos, dicromato o permanganato de potasio, necesarios para la oxidación de la materia orgánica de un agua biodegradable y no biodegradable. Se mide en mg O<sub>2</sub>/L (Atiaga, 2012).

Las reacciones se pueden representar de la siguiente manera:



De esta manera el concepto de DQO no solo incluye la oxidabilidad de la materia orgánica presente en el agua residual sino en todas las formas oxidables, por lo cual no se puede considerar esta técnica como un estimador exacto de materia orgánica. Sin embargo, en los residuales procedentes de industrias bioquímicas, procesos fermentativos, industrias alimentarias, efluentes domésticos y agropecuarios, el componente orgánico es mayor a la fracción inorgánica (Atiaga, 2012).

Cuando una muestra es digerida, el material en esa muestra se oxida por el ión dicromato. Como resultado, el cromo pasa de estado hexavalente (VI) a trivalente (III). Ambas especies de cromo exhiben un color y absorben luz en la región visible del espectro. En la región 400 nm el ión dicromato (Cr<sup>2+</sup>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>) absorbe mucha luz mientras que el ión crómico (Cr<sup>3+</sup>) absorbe mucho menos. A una longitud de onda de 600 nm, el ión crómico absorbe mucho y el ión dicromato tiene una absorción prácticamente nula (APHA, 1999)

Este método cubre los rangos de 0 a 15000 mg/L O<sub>2</sub>:

- 1) 0-150 mg/L aprox. 420 nm

- 2) 0-1000 (1500) mg/L aprox. 600 nm
- 3) 0-15000 mg/L aprox. 600 nm

La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta un pH de 2. Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros (Fernandez & Curt, 2000).

Los compuestos alifáticos de cadena recta, hidrocarburos aromáticos y piridina, son agentes que pueden causar interferencia, ya que no son oxidantes en forma apreciable, sin embargo, el dicromato de potasio es más eficiente que el permanganato de potasio, ya que logra una oxidación más completa. La interferencia por compuestos de cadena recta se puede disminuir añadiendo sulfato de plata (Atiaga, 2012).

Los iones inorgánicos reducidos tales como: hierro ferroso, sulfuro, magnesio, manganeso, etc., son oxidados cuantitativamente bajo las condiciones de análisis. Para muestras con niveles significativos de estos iones, se puede obtener un valor de DQO por medio de correcciones suponiendo que se oxidan estequiométricamente y conociendo su concentración inicial (Aguinaga, 1996).

#### **1.4.9. Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los sólidos suspendidos totales se define como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta adquirir un peso constante (APHA, 1999).

Este parámetro está constituido por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante (SNM, 2001).



Se debe tomar una muestra que tenga como máximo 200 mg de residuo, para evitar que se forme una costra en el filtro. El taponamiento del filtro prolonga la filtración y puede producir resultados altos debido a la excesiva retención de sólidos coloidales. Para muestras con elevado contenido de sólidos disueltos, se debe enjuagar muy bien el filtro para asegurar la remoción del material disuelto (APHA, 1999).

También es importante eliminar de la muestra partículas flotantes grandes o aglomerados dispersos de material no homogéneo y, en caso de que no se realice el análisis de inmediato, se puede refrigerar la muestra a 4°C para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos (APHA, 1999).

#### **1.4.10. Sólidos suspendidos volátiles**

Los sólidos suspendidos volátiles corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a  $550 \pm 50$  °C de la muestra retenida en el filtro en un tiempo de 15 a 20 minutos. Se determinan por diferencia de peso entre sólidos suspendidos totales y fijos (Aguinaga, 1996).

La concentración de sólidos volátiles se suele considerar como una medida aproximada del contenido de materia orgánica, o en ciertos casos, de las concentraciones de sólidos biológicos tales como bacterias o protozoos. Cuando se trata de determinar los sólidos suspendidos volátiles, debe añadirse, bien un filtro de vidrio (el cual dará lugar a una pequeña pérdida de peso, que habrá que corregir) o un filtro de acetato de celulosa (no da lugar a cenizas). La fracción volátil se obtiene por diferencia entre el residuo remanente después del secado y el posterior a la incineración. Este último se denomina sólidos fijos o cenizas y constituye una medida aproximada del contenido mineral del agua residual (Aguinaga, 1996).

#### **1.4.11. Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia y está determinado por el número de iones libres de hidrógeno ( $H^+$ ) en una sustancia (Lenntech, 2012).

El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua. El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones ( $H^+$ ) y el número de iones hidroxilo ( $OH^-$ ). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el pH será 7. El pH puede variar entre 0 y 14, ácido y básico (Lenntech, 2012).

El pH es un factor primordial para el desarrollo de los microorganismos; para alcanzar la etapa metanogénica es indispensable mantener un pH de 6,5 a 7,6 (Martí, 2006)

#### **1.4.12. Temperatura**

La temperatura es un factor que afecta de forma significativa a la reproducción de los microorganismos. Por lo tanto, se debe determinar una temperatura de crecimiento óptimo que acelere el desarrollo de los microorganismos, usualmente entre 12 y 14 horas. Los microorganismos mesófilos crecen mejor a temperaturas que fluctúan de entre 20°C a 40°C (Gčosta Bylund, 2003).

#### **1.4.13. Porosidad**

La porosidad está representada por  $\phi$ , es la fracción del volumen total ocupado por el volumen poral; es un número sin unidades con valores entre 0 y 1, y así se lo debe utilizar en los cálculos. En la práctica se lo multiplica por 100 para expresar la porosidad en porcentaje o en unidades de porosidad (Altamiranda, 2012).

Este término se utiliza para describir una característica física esencial de la mayoría de los materiales. El aumento o disminución de la porosidad depende de la forma, superficie, orientación, textura, angularidad, y distribución del tamaño de los granos que componen el material (Altamiranda, 2012).

#### **1.4.14. Escala de McFarland**

La escala de McFarland se elabora con una mezcla de  $\text{BaCl}_2$  0,048 M y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,36 M. El cloruro de bario proporciona la turbidez, el cual va en cantidad creciente mientras el ácido sulfúrico va disminuyendo la proporción. Cada uno de los tubos patrón de acuerdo con la turbidez representa una concentración reconocida de bacterias. Esto hace posible comparar una emulsión de bacterias en la que no se conoce el número de ellas con el tubo del patrón de McFarland que más se asemeje, se realiza su lectura por medio de espectrofotometría para determinar la absorbancia o la transmitancia (Álvarez *et al.*, 2005).

El tubo número 0,5 en la escala de McFarland tiene una absorbancia entre 0,08 a 0,1 a una longitud de onda de 560 nm y equivale a  $1.5 \times 10^8$  UFC/mL (Álvarez *et al.*, 2005).

#### **1.4.15. Espectrofotometría**

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas de un compuesto absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para realizar este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma (Díaz *et al.*, 2008).

Cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda de intensidad ( $I_0$ ) incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz o cromóforo, el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente ( $I_a$ ) y dejará pasar el resto ( $I_t$ ), de forma que se cumple:  $I_0 = I_a + I_t$

La transmitancia ( $T$ ) de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra,  $I_t$ , y la cantidad de luz que incidió sobre ella,  $I_0$ , y se representa normalmente en tanto por ciento:  $\% T = I_t/I_0 \times 100$ . Por lo tanto, nos da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre  $\%T$  y la concentración no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa (Díaz *et al.*, 2008).

La absorbancia ( $A$ ) indica la cantidad de luz absorbida, y se define como el logaritmo de  $1/T$ , en consecuencia:  $A = \log 1/T = -\log T = -\log I_t/ I_0$ . Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ( $I_0 = I_t$ ), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces  $A$  vale  $\log 1 = 0$  (Díaz *et al.*, 2008).

### **1.5. Hipótesis de investigación**

Existe un soporte sólido que luego de incorporarse a un biorreactor anaerobio, favorece la adherencia de los microorganismos y mejora la remoción de contaminantes, en el tratamiento de aguas residuales textiles.

## **CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Participantes**

La investigación es una continuación del proyecto “Obtención de un inóculo bacteriano nativo compuesto capaz de degradar compuestos contaminantes típicos en efluentes de industrias textiles para que sea utilizado como biomasa en plantas de tratamiento biológico de aguas residuales a escala real”, el cual fue llevado a cabo con financiamiento de la ESPE en los años 2009 y 2010, con continuación en los años 2011 y 2012, sin financiamiento.

La empresa Textil Tornasol contribuyó con los colorantes azul reactivo ED, rojo reactivo ED7B y amarillo reactivo 3GL con los que se realizó el agua sintética para la experimentación

El trabajo de investigación fue desarrollado plenamente por la Señorita Silvana Patricia Moreno Vallejo, con la asesoría de la directora de tesis MSc. Alma Koch y el codirector de la tesis Ing. Mat. Pedro Romero.

### **2.2. Zona de estudio**

#### **2.2.1. Laboratorio**

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Microbiología del Centro de Investigación Científica, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

#### **2.2.2. Muestreo**

Se trabajó con agua sintética formada por colorante rojo reactivo ED7B, amarillo reactivo 3GL y azul marino reactivo ED, en una concentración de 100mg/L (Moncayo, 2010). Se tomaron muestras cada 24 horas para comprobar la adaptación de los microorganismos (Muñoz, 2011), y una vez adaptados, se tomaron muestras cada 24 horas durante 30 días (Ramos, Espinosa, & Lopez, 2000).

### **2.3.Período de tiempo de investigación**

**2.3.1 Fecha de inicio de la investigación:** Febrero 2013

**2.3.2 Fecha de finalización de la investigación:** Agosto 2013

### **2.4.Diseño experimental**

#### **2.4.1 Selección del tipo de soporte sólido**

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos y dos repeticiones, un análisis de varianza ANDEVA y una prueba de comparación de medias - Método de Duncan.

A partir de este análisis se seleccionó los mejores resultados y en base a esto se escogió el soporte que presentó mayor efectividad utilizando programas estadísticos InfoStat y R.

### **2.5.Procedimientos**

#### **2.5.1. Evaluación del entorno de trabajo**

El paso inicial en el proceso de evaluación fue una inspección preliminar del lugar de trabajo. De esta manera, se conoció el ámbito en el que se iba a desarrollar el proyecto y los recursos con los que se contaba.

#### **2.5.2. Activación del inóculo I5 del banco de cepas del Laboratorio de Microbiología del CEINCI - ESPE**

El consorcio microbiano existente en el banco de cepas del laboratorio de Microbiología del CEINCI/ESPE, inóculo I5, fue activado con el medio de cultivo Jiang (2004) modificado en las investigaciones de Moncayo y Ayala (2010), en la fuente de calcio, magnesio y hierro, utilizando como fuente de carbono glucosa. La composición del medio fue:  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ , 56g/L;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 19,6g/L; NaCl 1,4g/L;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,

1,92g/L;  $K_2HPO_4$ , 14g/L;  $KH_2PO_4$ , 28g/L; EDTA-Fe 0,03g/L y Glucosa, 70g/L (Moncayo, 2010; Ayala, 2010).

Se esterilizaron las soluciones stock por separado y una vez que estaban a temperatura ambiente se unificaron y se aforó al volumen requerido con agua estéril a temperatura ambiente (Moncayo, 2010).

### **2.5.3. Selección del material de los tres soportes**

Se seleccionaron tres tipos de soporte y se analizaron sus características para determinar su eficiencia. Se consideró el peso específico del soporte y el área de superficie de contacto por unidad de volumen del medio de soporte (Geocities, 2009).

Se escogió la roca común, un material de bajo costo y baja eficiencia, sin embargo es muy utilizado a nivel industrial (Geocities, 2009).

También se empleó plástico de botellas, ya que posee una alta eficiencia. Debido al bajo peso específico del soporte, se puede construir plantas de tratamiento de grandes volúmenes en superficie relativamente menores, ganando en altura y con materiales más económicos (Geocities, 2009).

El tercer material de soporte fue la cáscara de coco, ya que es un material biológico, considerado como desecho, con bajo peso específico y una porosidad adecuada.

Se esterilizó el material de soporte para evitar la interferencia de microorganismos propios de cada material o del ambiente. Se desinfectó los reactores con alcohol y savlón.

### **2.5.4. Obtención de un biorreactor a nivel de laboratorio para evaluar la eficiencia de cada soporte**

Se trabajó con un biorreactor de vidrio de 7L, en donde se colocó 1,35L de agua sintética y 2,7L de inóculo (Muñoz, 2011). El soporte se afirmó con malla plástica a

3,5cm del fondo y con una altura de 5cm (Ríos, 2006). Se conectaron mangueras de agua y de gas en los orificios, respectivamente.

#### **2.5.5. Estabilización del inóculo I5 en el material de soporte dentro del biorreactor**

Se colocó el inóculo y el agua sintética en una relación 2:1(Muñoz, 2011) y se tomó muestras cada 24 horas para controlar la adaptación de la biomasa dentro del reactor, mediante el análisis de DQO, SST y SSVL, además, se controló que el pH se mantenga entre 6,5 y 7,6 y una temperatura de 35°C (Martí, 2006).

Se trabajó con los reactores en flujo semicontinuo, extrayendo 300 mL de agua tratada y colocando 300 mL de agua sintética cada 24 horas, manteniendo un volumen constante de 4 L.

#### **2.5.6. Evaluación del agua sintética antes y después del tratamiento para establecer comparaciones entre los resultados, mediante el análisis de la DQO, SSVL, SST y color**

La evaluación del agua sintética se realizó mediante la medición de parámetros como DQO, SST, SSLV y color; antes y después del tratamiento. Una vez obtenidos los resultados se observó la evolución del tratamiento y se realizó comparaciones entre los tres soportes.

La demanda química de oxígeno (DQO), se realizó mediante el protocolo planteado por Atiaga (2012). Se preparó una solución digestora de rango alto, un estándar de biftalato de potasio (KHP) y una solución de ácido sulfúrico. Se recogieron las muestras en frascos de cristal, y en caso de ser inevitable el retraso antes del análisis, se conservó la muestra por acidificación a un pH  $\leq$  2 utilizando ácido sulfúrico concentrado (STANDARD METHODS 5-17 DQO, 2002).

Los sólidos suspendidos totales (SST) se determinaron midiendo con una probeta 20 mL de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración



esperada de sólidos suspendidos. Se filtró la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, se lavó el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado. Finalmente, se suspendió el vacío y se secó el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 h aproximadamente. Se sacó el crisol, se dejó enfriar en un desecador a temperatura ambiente y se determinó su peso hasta alcanzar un peso constante (Ojeda, 2004).

La determinación de los SST se determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{mgSST} = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{Vol. de muestra (ml)}}$$

Donde:

A: peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg,

B: peso del crisol con el disco a peso constante, en mg

Los sólidos suspendidos volátiles en el licor mixto (SSLV), se determinaron utilizando el protocolo del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2004)”, sin modificaciones. Se tomó 20 mL de cada muestra y se filtró con papel filtro marca WHATMAN de porosidad 0,1 mm. A continuación, se colocó el papel en estufa a 550 +/- 50°C. Se esperó que se enfríe el disco de filtro y se colocó en el desecador para proceder a su enfriamiento final en una atmósfera seca (Muñoz, 2011).

El papel filtro se pesó antes y después del filtrado. El cálculo para determinar la cantidad de SSLV se basó en la siguiente fórmula:

$$\text{mgSSLV} = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{Vol. de muestra (mL)}}$$

Donde:

A: peso del papel filtro después del filtrado con el agua tratada

B: peso del papel filtro antes del filtrado.

Con estos datos se determinó la cantidad de biomasa presente en las muestras.

El color se determinó mediante lecturas espectrofotométricas, diariamente durante treinta días. El porcentaje de reducción se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción de color} = \frac{\text{Absorbancia inicial} - \text{Absorbancia final}}{\text{Absorbancia inicial}} * 100$$

Con estos valores se elaboró una curva Absorbancia vs. Tiempo para observar la remoción de color a través del tiempo (Moncayo, 2010).

### **2.5.7 Análisis de las características del soporte**

Para determinar el soporte con mejores características se consideró el aspecto, químico y físico de cada uno.

## **2.6. Análisis de datos**

El análisis de datos fue realizado en el programa estadístico Infostat. Para el análisis del diseño experimental, se obtuvieron gráficas de perfil, para observar la interacción entre factores y determinar la diferencia entre los tratamientos aplicados. Se realizó un ANOVA, para comprobar la homogeneidad de varianzas ( $>0,05$ ).

Además, se aplicó comparaciones múltiples de medias, con el método de Duncan, con el 0,05 de significancia, con la cual se obtuvieron los grupos de homogeneidad.

## CAPÍTULO 3: RESULTADOS

### 3.1 Selección del material de los tres soportes y obtención de un biorreactor a nivel de laboratorio

Se seleccionaron tres tipos de soporte: cáscara de coco, roca común y plástico. Los soportes se colocaron en los reactores y se continuó con las pruebas para determinar cuál es el mejor soporte (anexo A).

### 3.2 Análisis de aspectos físicos de los soportes

Los soportes utilizados son materiales fáciles de conseguir y relativamente económicos. La roca común se puede obtener en cualquier distribuidora de materiales de construcción, a \$10.04 el metro cúbico. El plástico se puede adquirir en Reciclar, empresa encargada de reciclar plástico, papel, cartón, entre otros, a \$0.35 el kilogramo. La cáscara de coco se puede obtener de pequeños productores que lo desechan como basura común o de industrias procesadoras de alimentos, sin embargo no hay un precio establecido.

#### 3.2.1. Porosidad

Se analizó la porosidad de cada material mediante la capacidad de absorción de agua, y se calculó con la siguiente fórmula matemática (Altamiranda, 2012):

$$E_p = V_g \times \rho_p$$

Donde:

$E_p$  = fracción de espacios vacíos

$\rho_p$  = densidad del material

Se realizaron cinco repeticiones y se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 3.1, donde se puede observar que el material con mayor porosidad es la cáscara de coco y el de menor porosidad es el plástico.

**Tabla 3.1:** Porosidad de los soportes

| Material | Porosidad |
|----------|-----------|
| Roca     | 44.24%    |
| Plástico | 13.96%    |
| Coco     | 83.06%    |

En la figura 3.1, se puede observar el análisis de varianza y el test de Duncan, que indican que los tres soportes tienen una porosidad estadísticamente diferente. El valor  $p$  es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ) y se concluye que la porosidad de cada material es diferente. El valor de las medias mediante el test de Duncan se presentan en la parte inferior de la figura.

| Variable  | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|-----------|----|----------------|-------------------|------|
| Porosidad | 15 | 0,99           | 0,99              | 5,08 |

| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) |          |    |         |         |         |  |
|---|----------|----|---------|---------|---------|--|
| F.V.  | SC       | gl | CM      | F       | p-valor |  |
| Modelo  | 11997,93 | 2  | 5998,96 | 1048,76 | <0,0001 |  |
| Material de soporte                             | 11997,93 | 2  | 5998,96 | 1048,76 | <0,0001 |  |
| Error   | 68,64    | 12 | 5,72    |         |         |  |
| Total   | 12066,57 | 14 |         |         |         |  |

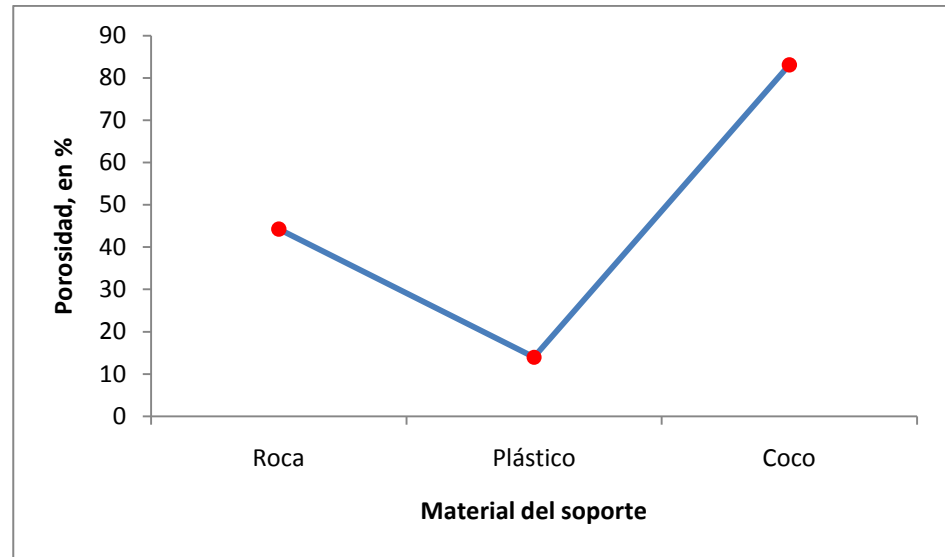
  

| Test:Duncan Alfa=0,05 |        |   |        |
|-----------------------|--------|---|--------|
| Error: 5,7201 gl: 12  |        |   |        |
| Material de soporte   | Medias | n | E.E.   |
| Plástico              | 13,96  | 5 | 1,07 A |
| Roca                  | 44,24  | 5 | 1,07 B |
| Coco                  | 83,06  | 5 | 1,07 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

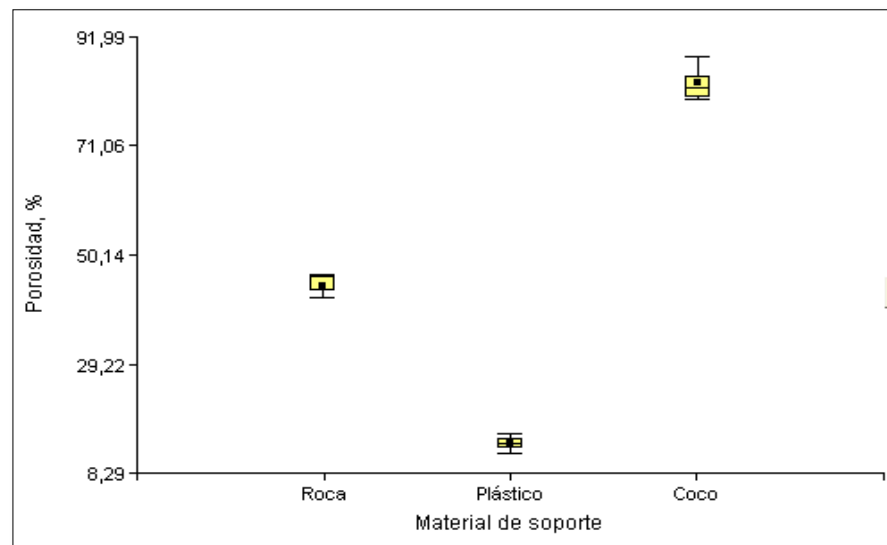
**Figura 3.1:** Análisis de varianza y test de Duncan de la porosidad de los soportes en Infostat.

La figura 3.2 presenta la porosidad de cada soporte en porcentaje y se aprecia claramente la diferencia entre los valores, observándose que la cáscara de coco tiene el valor de porosidad más alto.



**Figura 3.2:** Porosidad de cada soporte en porcentaje.

En la figura 3.3, se puede observar el diagrama de cajas, con los valores mínimos, máximos y la distribución de los valores obtenidos en la prueba de porosidad. Para la roca común, el valor mínimo obtenido fue 41.92 y el máximo 46.5. Para el plástico los valores obtenidos fueron 12.09 y 15.87 y para el coco fueron 80.15 y 88.18, respectivamente.



**Figura 3.3:** Diagrama de cajas de la porosidad de cada soporte en porcentaje.

### 3.2.2 Densidad y peso específico

Se determinó experimentalmente la densidad de cada soporte, se realizaron cinco repeticiones y con los datos obtenidos se calculó el peso específico. Se obtuvo los resultados presentados en la tabla 3.2, en donde se puede observar que la cáscara de coco es el material con menor densidad y por ende peso específico; la roca común es el material con mayor densidad y peso específico.

**Tabla 3.2:** Densidad y peso específico de los materiales de soporte.

| Material        | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Peso específico (N/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Roca común      | 1.81                          | 17738                               |
| Plástico        | 1.26                          | 12348                               |
| Cáscara de coco | 1.03                          | 10084                               |

La figura 3.4 indica el análisis de varianza y el test de Duncan realizados en Infostat, con lo cual se concluye que los tres soportes tienen una densidad estadísticamente diferente. El valor p es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ) y se concluye que la densidad de cada material es diferente. El valor de las medias mediante el test de Duncan se encuentran en la parte inferior de la figura y se observa tres grupos diferentes (A, B, C).

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| densidad | 15 | 0,89           | 0,87              | 9,52 |

| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) |      |    |      |       |         |  |
|---|------|----|------|-------|---------|--|
| F.V.  | SC   | gl | CM   | F     | p-valor |  |
| Modelo  | 1,61 | 2  | 0,80 | 47,49 | <0,0001 |  |
| Material de soporte                             | 1,61 | 2  | 0,80 | 47,49 | <0,0001 |  |
| Error   | 0,20 | 12 | 0,02 |       |         |  |
| Total   | 1,81 | 14 |      |       |         |  |

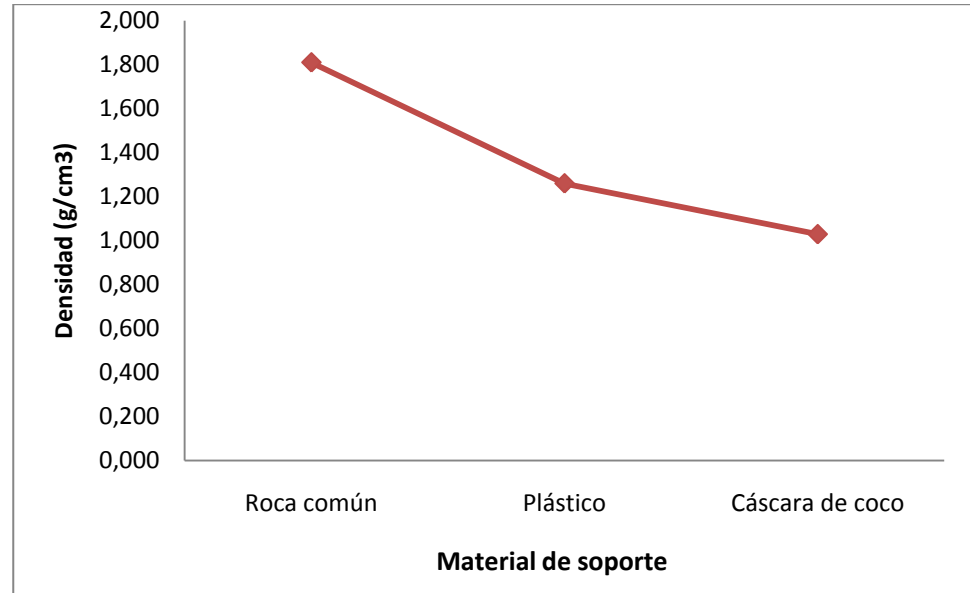
  

| Test:Duncan Alfa=0,05 |        |   |      |   |
|-----------------------|--------|---|------|---|
| Error: 0,0169 gl: 12  |        |   |      |   |
| Material de soporte   | Medias | n | E.E. |   |
| Coco                  | 1,03   | 5 | 0,06 | A |
| Plástico              | 1,26   | 5 | 0,06 | B |
| Roca                  | 1,81   | 5 | 0,06 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

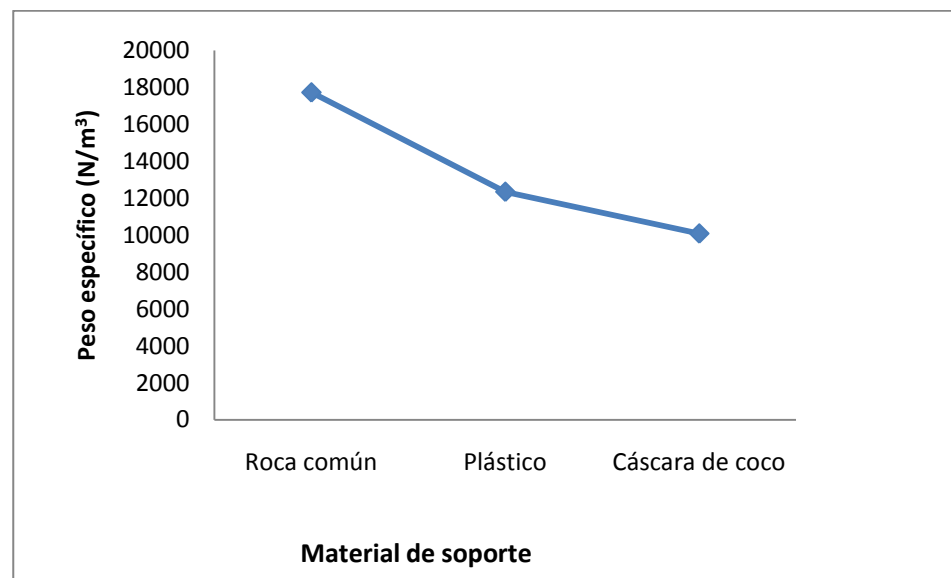
**Figura 3.4:** Análisis de varianza y test de Duncan de la densidad de los soportes en Infostat.

La figura 3.5 presenta la densidad de cada soporte y se aprecia la diferencia entre los valores, observándose que la cáscara de coco tiene la densidad más baja.



**Figura 3.5:** Densidad del material de soporte en porcentaje.

En la figura 3.6, se puede observar el peso específico de cada soporte, obteniéndose los mismos resultados que la densidad ya que son proporcionalmente directos.

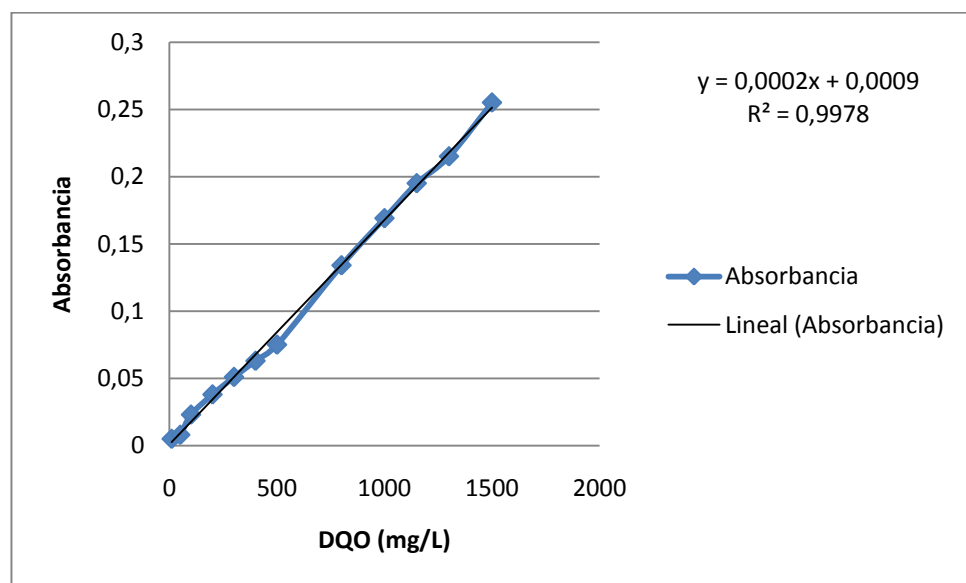


**Figura 3.6:** Peso específico del material de soporte en porcentaje.

### 3.3 Análisis de aspectos químicos de los soportes

#### 3.3.1 Remoción de DQO

La demanda química de oxígeno (DQO) se determinó con el protocolo planteado por Atiaga, 2012. Se realizó la curva de calibración presentada en la figura 3.7 y se determinó la demanda química de oxígeno por espectrofotometría.



**Figura 3.7:** Curva de calibración para la demanda química de oxígeno.

La curva de calibración nos permite obtener una ecuación para determinar el valor de la DQO, como se describe a continuación.

$$y = 0.0002x + 0.0009$$

$$\text{Absorbancia} = 0.0002 \times \text{DQO} + 0.0009$$

$$\text{DQO} = \frac{\text{Absorbancia} - 0.0009}{0.0002}$$

En la figura 3.8 se aprecia el análisis de varianza y el test de Duncan realizados en Infostat. Los valores obtenidos de la demanda química de oxígeno de cada soporte no



son estadísticamente diferentes. El valor p es mayor a 0.05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ) y se concluye que los resultados obtenidos a lo largo del estudio de la DQO de cada material de soporte son similares. El valor de las medias mediante el test de Duncan se encuentran en la parte inferior de la figura.

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| DQO 2    | 93 | 2,4E-03        | 0,00              | 55,11 |

| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) |            |    |          |      |         |
|---|------------|----|----------|------|---------|
| F.V.  | SC         | gl | CM       | F    | p-valor |
| Modelo  | 20653,76   | 2  | 10326,88 | 0,11 | 0,8976  |
| Material  | 20653,76   | 2  | 10326,88 | 0,11 | 0,8976  |
| Error   | 8596814,52 | 90 | 95520,16 |      |         |
| Total   | 8617468,28 | 92 |          |      |         |

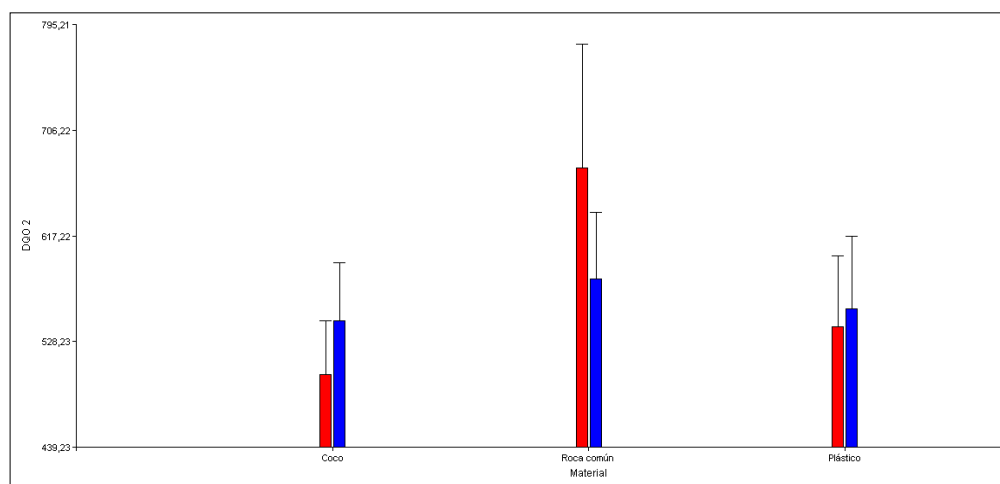
  

| Test:Duncan Alfa=0,05    |        |    |         |
|--------------------------|--------|----|---------|
| Error: 95520,1613 gl: 90 |        |    |         |
| Material                 | Medias | n  | E.E.    |
| Coco                     | 545,50 | 31 | 55,51 A |
| Plástico                 | 555,82 | 31 | 55,51 A |
| Roca común               | 580,98 | 31 | 55,51 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p <= 0,05$ )

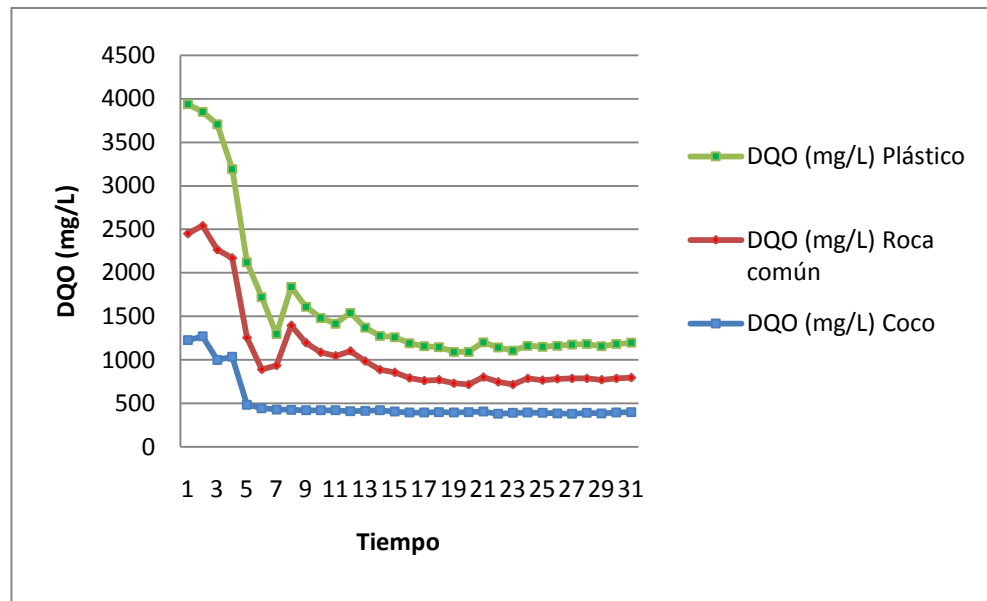
**Figura 3.8:** Análisis de varianza y test de Duncan de la demanda química de oxígeno en Infostat.

La figura 3.9 presenta un diagrama de barras de la variación de la demanda química de oxígeno de cada tratamiento y su repetición. Los datos demuestran que el tratamiento con cáscara de coco como soporte presenta los valores más bajos de DQO.



**Figura 3.9:** Diagrama de barras de la variación de la demanda química de oxígeno de cada tratamiento y su repetición en Infostat.

La figura 3.10 muestra un diagrama de puntos de la variación de la demanda química de oxígeno de cada tratamiento en el tiempo.



**Figura 3.10:** Variación de la demanda química de oxígeno de cada soporte en el tiempo en Excel.

### 3.3.2 Remoción de color

La remoción del color se determinó por espectrofotometría mediante la comparación de la absorbancia de cada muestra. En la figura 3.11 se puede observar el análisis de varianza y el test de Duncan de los resultados obtenidos de la remoción de color en cada tratamiento.

Los resultados obtenidos demuestran que el tratamiento con cáscara de coco como material de soporte tiene el porcentaje de remoción más alto siendo 45.92%. Los demás tratamientos presentan valores de remoción similares, para el tratamiento con plástico como soporte, el promedio de remoción de color es 34.98% y para el tratamiento con plástico como soporte es 32.42%.

| Variable          | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV         |
|-------------------|---|----------------|-------------------|------------|
| Remoción de color | 2 | 90             | 0,20              | 0,18 31,58 |

| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) |          |    |         |       |         |
|---|----------|----|---------|-------|---------|
| F.V.  | SC       | gl | CM      | F     | p-valor |
| Modelo  | 3084,75  | 2  | 1542,38 | 10,84 | 0,0001  |
| Material  | 3084,75  | 2  | 1542,38 | 10,84 | 0,0001  |
| Error   | 12379,75 | 87 | 142,30  |       |         |
| Total   | 15464,50 | 89 |         |       |         |

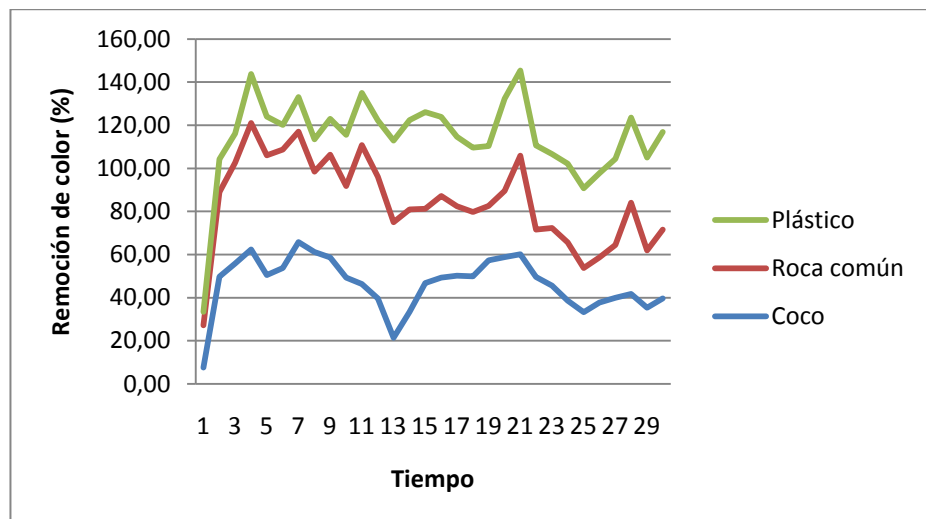
  

| Test:Duncan Alfa=0,05  |        |    |      |   |  |
|------------------------|--------|----|------|---|--|
| Error: 142,2960 gl: 87 |        |    |      |   |  |
| Material               | Medias | n  | E.E. |   |  |
| Roca                   | 32,42  | 30 | 2,18 | A |  |
| Plástico               | 34,98  | 30 | 2,18 | A |  |
| Coco                   | 45,92  | 30 | 2,18 | B |  |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )

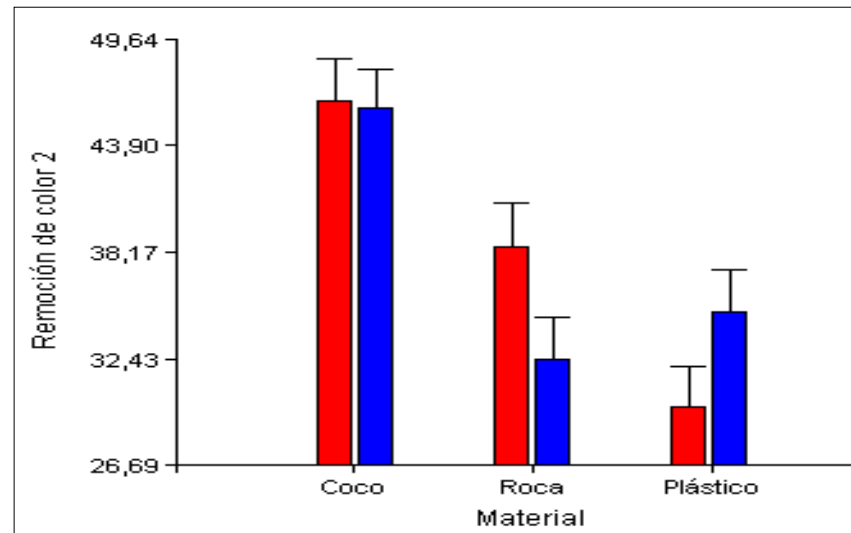
**Figura 3.11:** Análisis de varianza y test de Duncan de los datos obtenidos en la remoción del color de cada reactor en Infostat.

La figura 3.12 presenta los resultados de la remoción de color en porcentaje con relación al tiempo. Se observa que el tratamiento con cáscara de coco presenta valores de remoción más altos, seguido por el tratamiento con plástico y finalmente el tratamiento con roca común como soporte.



**Figura 3.12:** Resultados de la remoción del color en porcentaje con relación al tiempo en Excel.

La figura 3.13 es un diagrama de barras de la remoción de color de cada soporte y sus repeticiones. Se destaca el tratamiento con cáscara de coco como soporte al obtener los valores de remoción de color más altos.



**Figura 3.13:** Diagrama de barras de la remoción del color en porcentaje en Infostat.

### 3.3.3 Cantidad de biomasa

La cantidad de biomasa presente en los reactores se determinó por conteo en placa, lo cual se realizó a diario. También se analizó la cantidad de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla cada tres días.

En la figura 3.14 se observa el análisis de varianza y el test de Duncan, que indican que los tratamientos con cáscara de coco y roca común son estadísticamente diferentes, sin embargo no existe diferencia estadística con el tratamiento con plástico como material de soporte, siendo la media de la cantidad de biomasa por conteo en placa para el tratamiento con cáscara de coco  $163,09 \times 10^5$  UFC/mL, para el tratamiento con plástico  $215,39 \times 10^5$  UFC/mL, y para el tratamiento con roca común  $39,9 \times 10^6$  UFC/mL.

| Variable | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |        |
|----------|---|----------------|-------------------|------|--------|
| Conteo   | 2 | 93             | 0,06              | 0,04 | 157,11 |

| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) |                       |    |                     |      |         |
|---|-----------------------|----|---------------------|------|---------|
| F.V.  | SC                    | gl | CM                  | F    | p-valor |
| Modelo  | 9595039008602180,00   | 2  | 4797519504301090,00 | 2,89 | 0,0609  |
| Material  | 9595039008602210,00   | 2  | 4797519504301100,00 | 2,89 | 0,0609  |
| Error   | 149551660974193000,00 | 90 | 1661685121935480,00 |      |         |
| Total   | 159146699982796000,00 | 92 |                     |      |         |

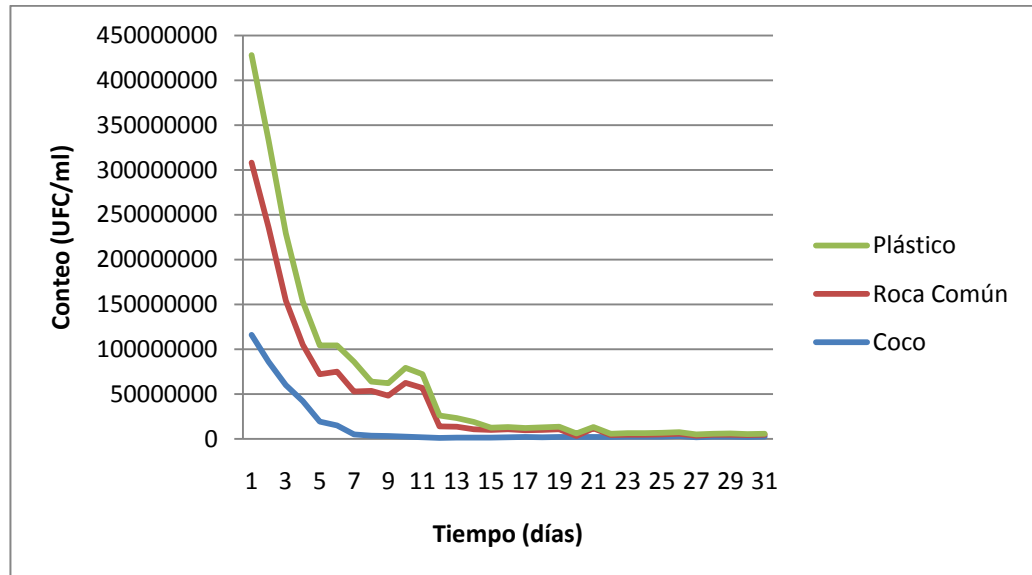
  

| Test:Duncan Alfa=0,05               |             |    |                |
|-------------------------------------|-------------|----|----------------|
| Error: 1661685121935482,7500 gl: 90 |             |    |                |
| Material                            | Medias      | n  | E.E.           |
| Coco                                | 16309354,84 | 31 | 7321389,61 A   |
| Plástico                            | 21539354,84 | 31 | 7321389,61 A B |
| Roca Común                          | 39990000,00 | 31 | 7321389,61 B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

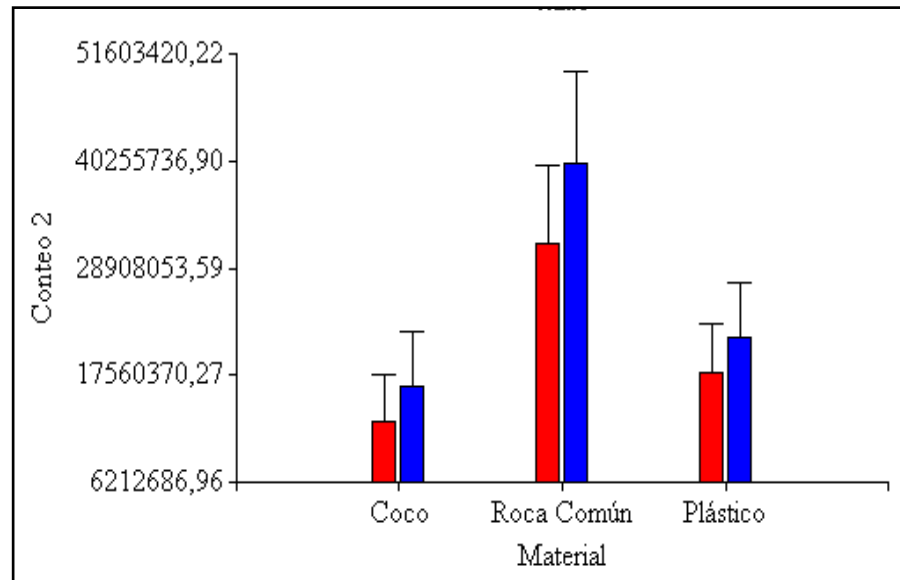
**Figura 3.14:** Análisis de varianza y test de Duncan de los resultados obtenidos del conteo en placa de cada soporte.

En la figura 3.15 se aprecian los resultados obtenidos del conteo en placa de cada soporte en relación al tiempo. Se observa que la cantidad de microorganismos va disminuyendo con el tiempo hasta estabilizarse aproximadamente en el día trece.



**Figura 3.15:** Resultados obtenidos del conteo en placa de cada soporte en Excel.

La figura 3.16 es un diagrama de barras de los resultados del conteo en placa para determinar la cantidad de biomasa de cada tratamiento. Se observa que el tratamiento con cáscara de coco como soporte presenta los valores más bajos, seguido por el tratamiento con plástico y finalmente el tratamiento con roca común con los valores más altos.



**Figura 3.16:** Diagrama de barras de los resultados obtenidos del conteo en placa de cada soporte en Infostat.

En la figura 3.17 se puede observar el análisis de varianza y el test de Duncan de los resultados obtenidos de los SSVL, que indican que los tres tratamientos no son estadísticamente diferentes, siendo la media del tratamiento con cáscara de coco es 2545.46 mg/L, para el tratamiento con plástico 2284.36 mg/L y para el tratamiento con roca común 2498.09 mg/L.

| Variable | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV         |
|----------|---|----------------|-------------------|------------|
| SSVL     | 2 | 33             | 0,07              | 0,01 17,43 |

| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) |            |    |           |      |         |
|---|------------|----|-----------|------|---------|
| F.V.  | SC         | gl | CM        | F    | p-valor |
| Modelo  | 425461,88  | 2  | 212730,94 | 1,17 | 0,3228  |
| Material  | 425461,88  | 2  | 212730,94 | 1,17 | 0,3228  |
| Error   | 5434718,00 | 30 | 181157,27 |      |         |
| Total   | 5860179,88 | 32 |           |      |         |

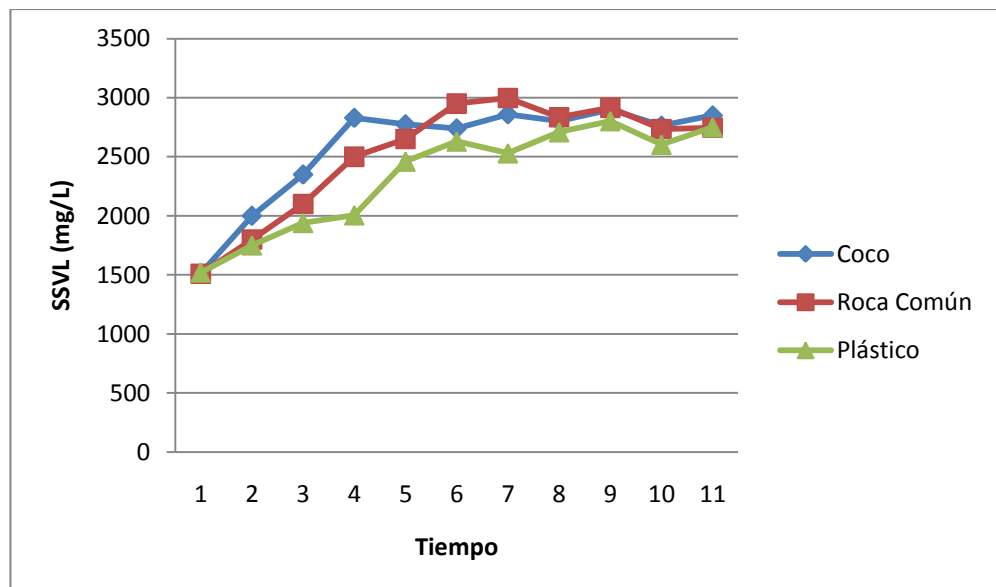
  

| Test:Duncan Alfa=0,05     |         |    |          |
|---------------------------|---------|----|----------|
| Error: 181157,2667 gl: 30 |         |    |          |
| Material                  | Medias  | n  | E.E.     |
| Plástico                  | 2284,36 | 11 | 128,33 A |
| Roca común                | 2498,09 | 11 | 128,33 A |
| Coco                      | 2545,36 | 11 | 128,33 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

**Figura 3.17:** Análisis de varianza y test de Duncan de los resultados obtenidos en la determinación de los sólidos suspendidos volátiles.

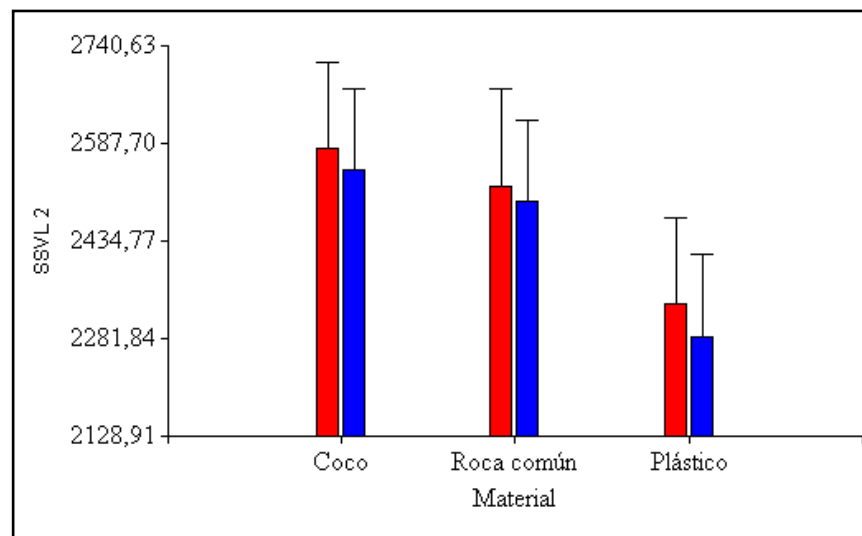
La figura 3.18 es un gráfico de los resultados del análisis de SSVL de cada tratamiento en función del tiempo. Se observa que los SSVL aumentan con el tiempo.



**Figura 3.18:** Resultados obtenidos de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla en función del tiempo en Excel

La figura 3.19 es un diagrama de barras de los resultados de los SSVL, donde se aprecia la diferencia entre los valores, observándose que el tratamiento con cáscara de

coco presenta valores más altos, seguido por el tratamiento con la roca común y finalmente el tratamiento con plástico con los valores más bajos.



**Figura 3.19:** Diagrama de barras de los sólidos suspendidos volátiles en Infostat

La figura 3.20 presenta el análisis de varianza y el test de Duncan de los resultados obtenidos de los SST, que indican que los tres tratamientos no son estadísticamente diferentes, siendo la media de los SST para el tratamiento con de cáscara de coco 282.18 mg/L, para el tratamiento con plástico 282.82 mg/L y para el tratamiento con roca común 281 mg/L.

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| SST2     | 33 | 2,4E-04        | 0,00              | 18,27 |

| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) |          |    |         |         |         |
|---|----------|----|---------|---------|---------|
| F.V.  | SC       | gl | CM      | F       | p-valor |
| Modelo  | 18,73    | 2  | 9,36    | 3,5E-03 | 0,9965  |
| Material  | 18,73    | 2  | 9,36    | 3,5E-03 | 0,9965  |
| Error   | 79637,27 | 30 | 2654,58 |         |         |
| Total   | 79656,00 | 32 |         |         |         |

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 2654,5758 gl: 30

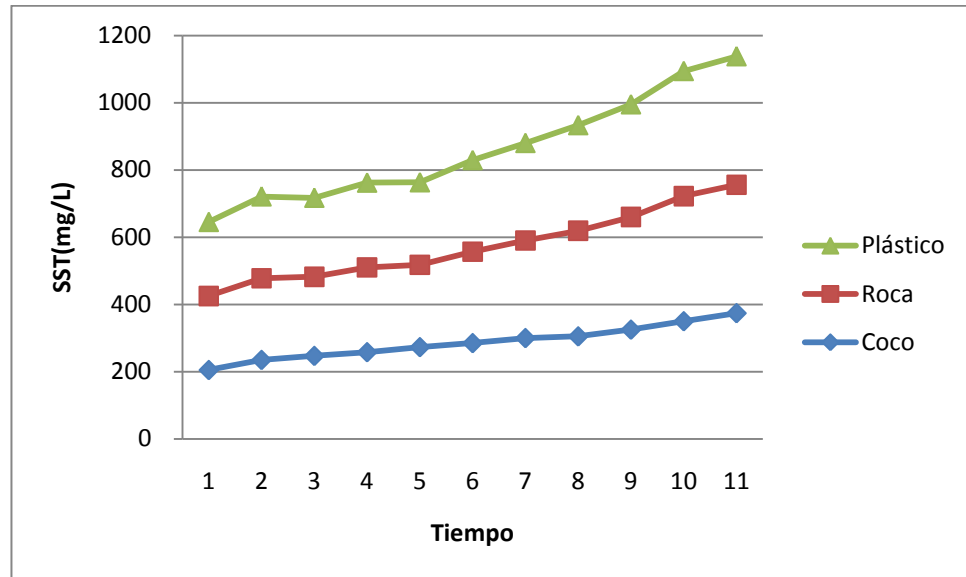
| Material | Medias | n  | E.E.    |
|----------|--------|----|---------|
| Roca     | 281,00 | 11 | 15,53 A |
| Coco     | 282,18 | 11 | 15,53 A |
| Plástico | 282,82 | 11 | 15,53 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

**Figura 3.20:** Análisis de varianza y test de Duncan de los resultados obtenidos en la determinación de los sólidos suspendidos totales

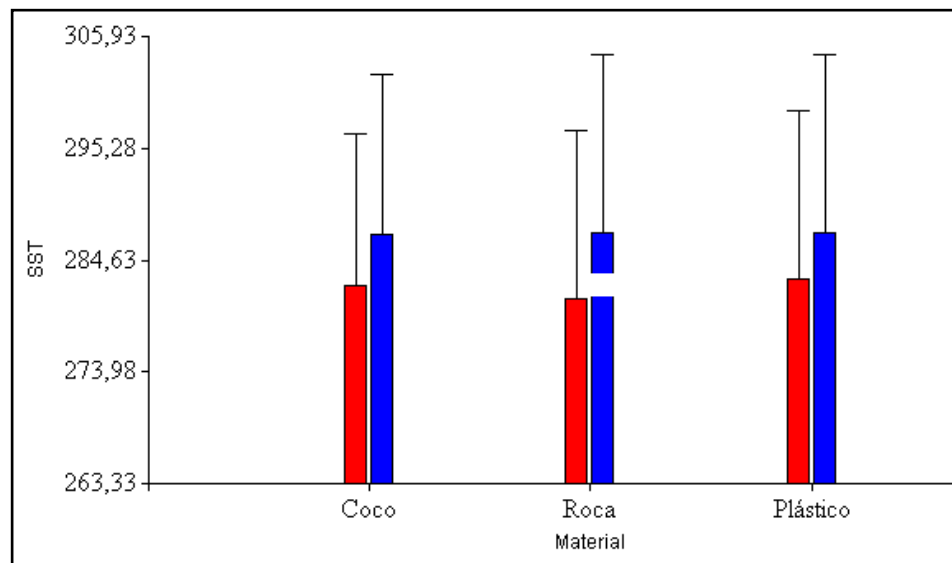


En la figura 3.21 se observa que los sólidos suspendidos totales de cada tratamiento van incrementando en función del tiempo, lo que implica que los microorganismos se encuentran en una fase exponencial.



**Figura 3.21:** Resultados obtenidos de los sólidos suspendidos totales en función del tiempo en Excel

La figura 3.22 presenta un diagrama de barras de los resultados obtenidos de los SST, donde se aprecia que los tres tratamientos tienen una tendencia similar.



**Figura 3.22:** Diagrama de barras de los sólidos suspendidos totales en Infostat

### **3.4 Control de parámetros**

#### **3.4.1 Presencia de microorganismos externos**

Los soportes utilizados por su naturaleza tienen una variedad de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras (anexo B). Para no alterar el consorcio microbiano I5, se intentó eliminar los microorganismos con ebullición, sin embargo no se obtuvo resultados positivos, por lo tanto, se decidió esterilizarlos en el autoclave a 121°C y 15 psi. Los reactores se desinfectaron con alcohol al 70% y savlón.

#### **3.4.2 Temperatura**

Se mantuvo a una temperatura constante de 35°C +/- 1. En el momento de la recirculación la temperatura mínima fue de 32°C.

#### **3.4.3 pH**

Se tomó el pH de cada reactor diariamente, para controlar que se encuentre en 6,5 y 7,5.

#### **3.5.4 Oxígeno disuelto**

El estudio se realizó en condiciones anaerobias, por lo que se controló la presencia de oxígeno con un medidor de oxígeno disuelto portátil. Los valores obtenidos oscilaron entre 0,5 y 2 mg/L en los tres reactores.

## CAPITULO 4: DISCUSIÓN

Según Rittmann & McCarty (2001), los microorganismos son importantes para el medio ambiente, ya que tienen la capacidad de transformar una gran variedad de contaminantes inorgánicos y orgánicos en minerales inocuos, que pueden ser reciclados al ambiente. Son capaces de oxidar a productos orgánicos sintetizados industrialmente, lo mismo que a los productos naturalmente por medio de procesos biológicos normales, por lo que se utilizan bacterias en plantas de tratamiento de aguas residuales. Algunas pueden convertir materia orgánica residual en gas metano, que es una forma útil de energía. Otras pueden transformar materia inorgánica en sustancias inocuas como gas nitrógeno, principal constituyente del aire. Por lo tanto, en este proyecto se trabajó con el consorcio microbiano I5 formado por bacterias y levaduras capaces de remover color, metales pesados como cromo y zinc, degradar tensoactivos aniónicos y disminuir fenol (García, 2011; Guevara, 2010; Moncayo, 2010; Montenegro, 2010; Paladines, 2011)

Los microorganismos para poder crecer y mantenerse necesitan nutrientes como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros elementos para sintetizar proteínas, ácidos nucleicos y otras partes de la estructura celular. Estos requisitos se deben satisfacer tanto en un entorno natural como al tratar agua residual o desintoxicar contaminantes peligrosos. Cuando estos elementos no están presentes de forma disponible en el agua residual a tratarse, tienen que ser suministrados en la planta de tratamiento. Para satisfacer las necesidades del inóculo I5 se lo mantuvo en medio mineral Jiang (2004), modificado en la fuente de calcio, magnesio y hierro, utilizando como fuente de carbono glucosa (Ayala, 2010; Moncayo, 2010).

Para estabilizar el inóculo I5 en los reactores, se colocó el inóculo y agua sintética en una relación 2:1, permitiendo que los microorganismos se adapten al agua con presencia de los tres colorantes, una vez estabilizado el inóculo, se trabajó con un reactor semicontinuo con recirculación cada 24 horas (Muñoz, 2011; Rivadeneyra, 2013).

Los biorreactores para el proyecto fueron diseñados en base a las especificaciones de Rios (2006). Se colocó el soporte a 3cm de la parte inferior del reactor. La altura del lecho fue de 5cm. Se envolvió el soporte en una malla plástica para evitar que el material flote en el reactor.

Según Da Rose (1995) la industria textil genera el 17% de DQO, el 22% de sólidos suspendidos, el 20% de metales pesados de las aguas residuales de Quito, y además presenta los niveles más altos de consumo de agua. La contaminación de las textiles es alta por lo tanto se debe buscar métodos para tratar el agua, que no dañen el ecosistema.

Según Ramalho (2003) una buena opción es la utilización de tratamientos biológicos, por lo tanto se utilizó filtros anaerobios, en donde el material de relleno está completamente sumergido en el agua residual y por ello no hay aire en absoluto dentro del sistema. En este caso, se empleó cáscara de coco, piedra y plástico.

Según Torres *et al.* (2003), el uso de medios de soporte en los reactores biológicos permite la retención de sólidos al interior del mismo, y se forma una película biológica o biofilm. Según Rittmann y McCarty (2001), las películas biológicas son conjuntos de microorganismos que están dispuestos en forma de capas en los que sus polímeros extracelulares se encuentran unidos a una superficie sólida. Los procesos de película biológica son sencillos, fiables y estables debido a que la inmovilización natural permite una retención y una acumulación de biomasa excelente, sin necesidad de otros sistemas de separación de sólidos.

El medio de soporte mejora el contacto entre el sustrato y los sólidos biológicos contenidos en el reactor, actúa como un dispositivo para separar los sólidos de los gases, además de permitir la acumulación de gran cantidad de biomasa, actúa como una barrera física, evitando que los sólidos sean arrastrados por fuera del sistema de tratamiento y facilita un flujo uniforme en el reactor (Torres, *et al.*, 2003).

Según Castaño y Paredes (2002), la piedra es el material de soporte más utilizado para construir filtros anaerobios. Es recomendable utilizar roca triturada angulosa o

redonda sin filos, de tamaño entre 3 y 7 cm. Sin embargo la utilización de la grava, sobre todo cuando es pequeña, puede generar pérdidas de eficiencia con el paso del tiempo, debido a colmatación y atascamiento. Por lo tanto, se utilizó roca común de aproximadamente 3 cm como primer tratamiento.

Según Bermudez *et al.* (1988), el plástico es un material adecuado para la adherencia de los microorganismos anaerobios en las plantas de tratamiento de efluentes, ya que las poblaciones metanogénicas son capaces de asociarse a materiales sólidos estables para formar un lecho. Se empleó picos de botellas plásticas como segundo tratamiento.

Según Torres *et al.* (2003), el coco es un producto agrícola de diversas aplicaciones en la industria de aceites y grasas; sin embargo, su aprovechamiento no es completo, sobretodo si se tiene en cuenta que la estopa y la cáscara se pierden, ocasionando grandes volúmenes de desperdicio. El cuesco de coco corresponde a la capa que se encuentra en la cubierta fibrosa (estopa) y que encierra la pulpa. Su forma es esférica, de gran dureza y con un espesor aproximado de 3 a 5 mm dependiendo de la variedad. El cuesco está compuesto principalmente por lignina, celulosa y pentosano, y representa entre un 15 y 19% del peso total del fruto.

Los desperdicios del coco (estopa y cáscara) pueden ser considerados como un medio de soporte apropiado para filtros anaerobios ya que, además de ser un material abundante y de muy bajo costo, posee condiciones óptimas como gran superficie específica para adherencia de microorganismos, alto porcentaje de vacíos que facilitan el flujo y bajo peso específico que permite que las infraestructuras de contención sean menos complejas y una vida útil prolongada (Torres *et al.*, 2003). Por lo tanto se utilizó cáscara de coco como tercer tratamiento.

Según Pérez, *et al.*, (1997) la estructura de los soportes es un aspecto importante para la colonización de los microorganismos. La distribución de los poros y su tamaño garantizan una superficie de contacto para la generación de la biopelícula y la transferencia de la masa contaminante, favoreciendo las condiciones adecuadas para la

adhesión microbiana desde los estadios iniciales del proceso. En este estudio se analizó la porosidad de los tres materiales de soportes y se obtuvo resultados similares a estudios previos. Según Sanders (1998), la porosidad de la grava varía entre un 25 y 40%; la porosidad obtenida fue 44.24% para la roca común. Según Torres *et al.* (2003), la porosidad de la cáscara de coco es 83%, el valor obtenido fue 83.06%. La porosidad obtenida para el plástico fue 13.96%.

La cáscara de coco es el material que presenta la mayor porosidad, facilitando la adherencia de los microorganismos y permitiendo que se forme una biopelícula en la superficie de contacto.

Según Ingeambiente (2013), el peso específico de los medios de soporte es una característica elemental pues mientras menor sea el peso, el costo de construcción disminuye, ya que no se requiere un refuerzo estructural extremo para los tanques que sostienen el medio filtrante y el transporte e instalación del material se facilita. Los resultados obtenidos demuestran que la cáscara de coco es el material más liviano, con una densidad de  $1.03 \text{ g/cm}^3$  y un peso específico de  $10.08 \text{ kN/m}^3$ , seguido de plástico con una densidad de  $1.26 \text{ g/cm}^3$  y un peso específico de  $12.34 \text{ kN/m}^3$ . La roca común tiene una densidad de  $1.81 \text{ g/cm}^3$  y un peso específico de  $17.73 \text{ kN/m}^3$ , es el material con el peso específico más alto lo que implica mayores gastos en construcción a gran escala.

Los soportes por naturaleza tienen microorganismos. Para evaluar la eficiencia del inóculo I5 sin interferencias, se intentó eliminar los microorganismos por calor húmedo con ebullición, sin embargo no se obtuvo resultados positivos, por lo tanto se esterilizó los soportes en el autoclave, con el fin de eliminar cualquier agente mediante calor y presión (Kotcher, 2007). Los microorganismos, en este caso el inóculo I5, tiene ventaja significativa sobre los microorganismos del ambiente, pues se adapta con facilidad a la presencia de colorantes, metales pesados, tensoactivos, entre otros, como se ha comprobado en proyectos anteriores.

Los colorantes son sustancias químicas estables a la luz, temperatura y microorganismos, y están relacionados con la presencia de compuestos tóxicos con grupos cromóforos de alto peso molecular, los que tienden a acumularse en bahías, ríos y lagos, provocando daños al ecosistema (Garzón, 2009). Los tratamientos biológicos, tanto aerobio como anaerobio o mixto, son considerados como efectivos en la remoción de estos compuestos. Rivadeneyra (2013) probó el consorcio I5 en condiciones aerobias, en el presente trabajo se lo probó en condiciones anaerobias para analizar su desempeño, con el objetivo de plantear un tratamiento para aguas residuales textiles en un futuro.

Según Garzón (2009), el 60% de los colorantes utilizados en las industrias son colorantes reactivos, que se caracterizan por formar una unión éter con la fibra, lo que garantiza una mayor duración del color en el tejido y sus estructuras contienen grupos azo, antraquinona o ftalocianina. Debido a que son los colorantes más utilizados en la industria textil, se trabajó con colorantes azul reactivo ED, rojo reactivo ED7B y amarillo reactivo 3GL.

El color es un parámetro que puede estar asociado con la presencia de compuestos tóxicos y grupos cromóforos o polímeros de alto peso molecular como lignina, sin embargo, pocas veces se considera un contaminante, según Dirección Metropolitana de Medioambiente (2010), el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce y agua marina debe ser inapreciable en dilución 1/20, estimando sobre 10 cm de muestra diluida.

La remoción del color se calculó por espectrofotometría mediante la determinación de la absorbancia. El análisis de los resultados obtenidos indican que el soporte que presentó mayor remoción de color fue la cáscara de coco con un 45.92%, seguido del plástico con 34.98% y la roca común con 32.42%. En cuanto a este parámetro, el tratamiento con cáscara de coco es el mejor (anexo C).

Según Ramalho (2003), la demanda química de oxígeno corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de

oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. Se aplicó el protocolo planteado por Atiaga (2012), y se determinó la DQO mediante espectrofotometría.

La demanda química de oxígeno se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de O<sub>2</sub>/L. La DQO es útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras, o en este caso de la evolución del tratamiento de agua en los reactores con los diferentes soportes. Cabe mencionar que no es aplicable a las aguas potables ya que tienen un contenido muy bajo de materia oxidable, por lo tanto, la precisión del método no es adecuada (Ramalho, 2003).

La demanda química de oxígeno es un parámetro utilizado para determinar la actividad del consorcio I5-ESPE. Los resultados obtenidos del análisis de datos indican que el reactor con cáscara de coco como soporte tuvo la mejor remoción de DQO, con un promedio de 500.66 mg/L, seguido del reactor con el soporte de plástico con una DQO promedio de 540.66 mg/L, finalmente el reactor con roca común como soporte, con una DQO promedio de 674.05 mg/L. El reactor con cáscara de coco como soporte presenta mayor estabilidad que los demás.

A pesar de disminuir la DQO en aproximadamente un 50%, no es suficiente para cumplir con la normativa establecida, ya que según la Dirección Metropolitana de Medioambiente (2010), el límite permisible para descargar a la alcantarilla es 240 mg/L, a un cuerpo de agua dulce y marina es 123 mg/L.

Según Ramalho (2003), el filtro anaerobio constituye un sistema eficaz en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales solubles, y no se requiere reciclado pues la biomasa permanece adherida al relleno del filtro y por lo tanto no se pierde con el efluente. La cantidad de biomasa presente en los reactores se determinó por conteo en placa, y se analizó la cantidad de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla cada tres días.

El análisis de los resultados indica que la cantidad de biomasa promedio por conteo en placa para el tratamiento con roca común como soporte es  $39,9 \times 10^6$  UFC/mL, el



tratamiento con plástico  $215.39 \times 10^5$  UFC/mL y el tratamiento con cáscara de coco es de  $163.09 \times 10^5$  UFC/mL. Durante los 30 días no fue necesario añadir más microorganismos, lo cual indica que estos se adhirieron en los soportes. Según Ramalho (2003), el filtro anaerobio no resulta indicado en el tratamiento de aguas residuales conteniendo concentraciones elevadas de sólidos en suspensión debido a problemas de obstrucciones.

Según Alvarado (2011), los sólidos suspendidos totales en el influente es un parámetro que permite tener una proyección de la cantidad de sustrato de materia orgánica para la digestión anaerobia que contiene el agua residual cruda. Como es de esperarse, en el agua residual cruda, tanto los sólidos suspendidos totales, como otros parámetros como DBO y DQO, presentan variaciones por la diferencia en la carga orgánica. Sin embargo, los valores reportados de sólidos suspendidos totales en el influente representan la disponibilidad de sustrato para los microorganismos en el sistema. De los resultados obtenidos de los SST, se observa que los tres soportes tienen valores muy parecidos y no existe variación entre los valores durante el análisis.

Según Batero y Cruz (2007), la biomasa puede estar adherida a la superficie del medio en forma de biopelícula o en suspensión en el medio líquido como un lodo granular o floculento que se distribuye en los intersticios del medio empacado, en este caso se observó la formación de la biopelícula y presencia de un lodo floculento en los soportes (anexo D).

Según (Quintero, 2011) la principal ventaja de los reactores de biopelícula sobre los sistemas de biomasa suspendida es que los primeros son capaces de retener mucho más biomasa, diez veces más, por unidad de volumen del reactor, reduciendo sustancialmente el lavado lo que permite un funcionamiento más estable con una concentración mayor de biomasa.

La adaptación del inóculo a las condiciones requeridas se realizó mediante un escalado progresivo del inóculo I5 hasta obtener una concentración promedio de sólidos suspendidos volátiles de aproximadamente 2000 mg SSV/L en el licor mixto.

Según Muñoz (2011), los sólidos suspendidos volátiles representan la cantidad de microorganismos presentes en el licor mixto. Para comprobar que en realidad el consorcio microbiano nativo I5 se encuentre degradando el contaminante se determinó la concentración de sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor mixto. La concentración de SSVL en el licor mixto oscila entre 1500 y 10000 mg SSVL/L. En la experimentación se comprobó que los SSVL varían entre 1500 y 3000 mg SSVL/L, lo cual es un valor aceptable ya que la mayoría de microorganismos se encuentran adheridos a los soportes y se puede corroborar su presencia y actividad con la disminución de DQO y color.

El tratamiento anaerobio es un proceso de degradación u oxidación de la materia orgánica por la acción coordinada de cinco grupos diferentes de microorganismos en cuatro etapas secuenciales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. El proceso microbial es muy complejo pues está integrado por una serie de reacciones, obteniéndose como subproducto biogás, cuya composición básica es metano, dióxido de carbono y en bajo porcentaje nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno (Batero & Cruz, 2007). Para llegar a la etapa de metanogénesis es indispensable controlar la temperatura, el pH, cantidad de oxígeno, alcalinidad, medio y bacterias.

El proceso de anaerobiosis se controló midiendo la cantidad de oxígeno disuelto en el reactor, el cual se encontró siempre en un rango menor a 2 mg/L. Según Llavador (2000), la solubilidad del oxígeno también es función de la temperatura, pues a mayor temperatura menor solubilidad. Otro factor determinante en la solubilidad de gases es la composición del agua, por ejemplo, a la misma temperatura la solubilidad del oxígeno en agua salada o agua de mar es menor que la solubilidad de este gas en agua pura.

Los sistemas anaerobios pueden ser diseñados para las temperaturas apropiadas para las bacterias mesófilas (30-40°C) o bacterias termófilas (50-60°C). Las temperaturas más altas aumentan la actividad microbiana. Los sistemas termófilos aceleran la producción de metano en un 25-50%, dependiendo el sustrato. Por debajo de 15°C, la producción de metano es casi nula (Sattler, 2011).

Según Batero y Cruz (2007), la temperatura debe estar en un intervalo óptimo de 20°C a 40°C, por lo tanto se mantuvo los reactores a 35°C. Según Ramalho (2003), es posible operar los tratamientos anaerobios a temperaturas menores a las requeridas en el proceso de contacto, debido a la concentración elevada de biomasa en el filtro. Durante la recirculación del agua, la temperatura mínima fue 32°C.

El valor y estabilidad del pH en un reactor anaerobio es un factor de interés porque la actividad metanogénica es altamente vulnerables a los cambios de pH comparada con las demás poblaciones presentes (Rodríguez, 2002). A bajos valores de pH la fermentación ácida prevalece sobre la fermentación metanogénica, resultando en la acidificación del contenido del reactor.

Los agentes acidógenos prefieren un pH de 5.5 a 6.5; los metanógenos prefieren un pH de 7.08 a 8.02. Sin embargo, cuando hay una coexistencia de ambos microorganismos el rango de pH óptimo es de 6.8 a 7.5 (Sattler, 2011). Se controló el pH en este rango.

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

- El inóculo I5- ESPE se estabilizó dentro de los biorreactores controlando el pH, temperatura y mediante conteo en placa durante ocho días, observándose que respondía positivamente al remover el color y la DQO. Durante los siguientes veintidós días se estudió la evolución de los reactores analizando todos los parámetros establecidos en muestras del efluente tomadas cada 24 horas.
- Las características físicas analizadas demuestran que la cáscara de coco es el material con mayor porosidad (valor  $p = 0.0001$ ), menor densidad (valor  $p = 0.0001$ ) y menor peso específico (valor  $p = 0.0001$ ), presentando los mejores resultados estadísticamente significativos.
- La cáscara de coco como soporte permitió alcanzar los mejores resultados de remoción de color y DQO, sin embargo no se cumple con el límite establecido en la normativa del Distrito Metropolitano de Quito para la DQO que es 240 mg/L para descargas al alcantarillado. Adicionalmente, ofrece ventajas como: amplia superficie específica que favorece la adherencia de los microorganismos, bajo peso específico que permite utilizar estructuras de contención sencillas y vida útil prolongada.
- El soporte con la mayor cantidad de biomasa (valor  $p = 0.0609$ ) por conteo en placa es la piedra, seguida por el plástico y la cáscara de coco. Los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla (valor  $p = 0.3228$ ) y los sólidos suspendidos totales (valor  $p = 0.9965$ ) no son estadísticamente diferentes en los tres tratamientos.
- El soporte con mejores características estadísticas para el tratamiento de aguas residuales textiles es la cáscara de coco, considerando la remoción de DQO, color y retención de microorganismos.

## CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES

- Para la remoción de contaminantes de los efluentes residuales de textiles, se recomienda utilizar un tratamiento anaerobios en combinación con un tratamiento aerobio para, con el primero deshacer los enlaces AZO que presentan las tintas utilizadas en el teñido y pulir con el tratamiento aerobio final para destruir las aminas aromáticas que se forman al degradar las tintas y que no pueden ser destruidas si no es en la presencia de oxígeno.
- Se recomienda realizar un tratamiento anaerobio con agua residual de una industria textil, en combinación con microorganismos propios del soporte para obtener resultados más reales.
- Se recomienda realizar una caracterización del consorcio y realizar pruebas para ver la resistencia de los microorganismos frente a agentes desinfectantes como cloro, luz ultravioleta, entre otros.
- Se recomienda realizar un análisis económico y de factibilidad de cada soporte para ser utilizados en plantas de tratamiento a escala real.

## CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA

- Aguinaga, S. (1996). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA AGUAS Y EFLUENTES*. Obtenido de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs /manual\\_dinama.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs /manual_dinama.pdf)
- AITE. (2012). *Asociación de industrias textiles de Ecuador*. Obtenido de [http://www.aite.com.ec/index.php?option=com\\_content&limitstart=5](http://www.aite.com.ec/index.php?option=com_content&limitstart=5)
- AITEX. (2003). *Colorantes azoicos*. Obtenido de <http://www.textil.org/extranet /inf/Revista8/colorantes.pdf>
- Altamiranda, D. (2012). *Determinación de la permeabilidad utilizando teoría fractal en campos de Venezuela y de Estados Unidos*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Alvarado, A. (2011). *Evaluación de materiales de desecho como medio filtrante en filtros anaerobios de flujo ascendente*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Álvarez, A., González, O., & González, S. (2006). *Tratamiento de aguas en zonas industriales, urbanas y rurales*. Obtenido de [http://proyectos.iingen.una m.mx /Proyectos\\_2005\\_2006/07/7.2.6.pdf](http://proyectos.iingen.una m.mx /Proyectos_2005_2006/07/7.2.6.pdf)
- Álvarez, M., Isaza, G., & Echeverry, H. (2005). Efecto antibacteriano in vitro de *Austro eupatorium inulaefolium* H.B.K. (Salvia amarga) y *Ludwigia polygonoides* H.B.K. (Clavo de laguna). *Biosalud* , 46-55.
- APHA, A. P. (1999). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: 20th Edition.
- Atiaga, O. (2012). *Guía de Prácticas de Laboratorio*. Quito: ESPE.
- Ayala, D. (2010). *Obtención de un inóculo bacteriano, proveniente de suelo contaminado por agua residual textil, capaz de degradar colorantes textiles reactivos en condiciones aerobias a escala de laboratorio*. Sangolquí, Ecuador.
- Batero, Y., & Cruz, E. (2007). *Evaluación de filtros anaerobios de flujo ascendente con medio de soporte ne guadua para la remoción de materia orgánica de un agua residual sintética*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Bermudez, J., Canovas, M., Manjon, A., Iborra, J., & Howell, J. (1988). *La digestión anaerobia*. Murcia: Unidad Gráfica Murcia.
- Bravo, A. (2007). *Bacterias anaerobias*. Obtenido de <http://www.facultada.slud.unicauca.edu.co/documentos/Enf/BacteriasAnaerobias%20IVsem-I-07.pdf>

- Caicedo, F. (2006). *Diseño, construcción y arranque de un reactor u.a.s.b. piloto* . Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1915/1/franciscojaviercaicedomessa.2006.pdf>
- CAR/PL. (2002). Prevención de la contaminación en la industria textil en los países del Mediterráneo. *Plan de Acción para el Mediterráneo* , 137-147.
- Carrillo, D. (2010). *Diagnóstico del sector textil y de confección*. Obtenido de <http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/TEXTIL.pdf>
- Castaño, J., & Paredes, D. (2002). *Uso de aros de guadua en filtro anaeróbicos para el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de [http://www.sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/Castano\\_Paredes.PDF](http://www.sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/Castano_Paredes.PDF)
- CEINCI. (2012). *Proyectos de Microbiología*. Obtenido de [http://ceinci.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2012/08/ProyectosMsc.\\_Alma\\_Koch.pdf](http://ceinci.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2012/08/ProyectosMsc._Alma_Koch.pdf)
- Chaux, G., & Zambrano, N. (2011). Tratamiento de aguas residuales mediante reactores anaeróbicos de placas verticales paralelas en acrílico. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* .
- Da Rose, G. (1995). *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica*. Ecuador: Abya Yala.
- Davila, N. (2006). *Evaluación de la porosidad en las partículas*. España: UDLAP.
- Díaz, J. (2010). *La industria textil apuesta e invierte en el Ecuador*. Ecuador: AITE.
- Díaz, N., Bárcena, A., Reyes, E., Galván, A., Jorrín, J., Peinado, J., y otros. (2008). *Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. Obtenido de [http://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf](http://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf)
- Dirección Metropolitana de Medioambiente. (2010). *Normas técnicas de calidad ambiental*. Obtenido de [http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas\\_tecnicas.pdf](http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas_tecnicas.pdf)
- Fernandez, J., & Curt, M. D. (2000). *Métodos analíticos para aguas residuales*. Obtenido de [http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%20Anexos1.pdf](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%20Anexos1.pdf)
- García, D. (2011). *Evaluación de la capacidad de biorremoción de zinc en agua sintética de dos consorcios microbianos nativos, a escala de laboratorio* . Sangolquí, Ecuador.
- García, D. (2011). *Evaluación de la capacidad de biorremoción de zinc en agua sintética de dos consorcios microbianos nativos, a escala de laboratorio*. Sangolquí: ESPE.

- Garzón, R. (2009). *Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por hongos y bacterias inmovilizados sobre fibra de Agave tequilana Webber var. azul*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gčosta Bylund, M. (2003). *Manual de Industrias Lácteas*. España: Mundi-Prensa Libros.
- Geocities. (2009). *Sistemas alternos de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/sistemasalternos6.pdf>
- Guevara, D. (2010). *Biorremoción de cromo (cromo total y cromo vi) en agua sintética por dos inóculos bacterianos nativos compuestos, a escala de laboratorio*. Sangolquí: ESPE.
- IDAE. (2007). *Biomasa; digestores anaerobios*. Obtenido de [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_digestores\\_07\\_a996b846.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf)
- IMBRIUM. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.imbrium.com.mx/manuales/IMBRIUM.pdf>
- Ingeambiente. (2013). *Suministro e instalación de Medios Filtrantes Plásticos para plantas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <http://tlingeambiente.com/contactenos/info-formulario.html>
- Kotcher, J. (2007). *Instrumentación quirúrgica: teoría, técnicas y procedimientos*. España: Ed. Médica Panamericana.
- Lenntech. (2012). *pH y alcalinidad*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>
- Llavador, F. (2000). *Metabolismo bacteriano y modelización matemática de procesos*. Obtenido de <http://www.epsar.gva.es/sanejament/docs/37.pdf>
- Martí, N. (2006). *Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process*. Obtenido de <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>
- Moncayo, I. (2010). *Remoción de los colorantes textiles reactivos rojo 141, amarillo 84 y azul navy 171 eliminados en el agua residual, utilizando un inóculo compuesto seleccionado, bajo condiciones anaerobias a nivel de laboratorio*. Sangolquí, Ecuador.
- Montalvo, S. (2008). *Aplicación de las zeolitas naturales al tratamiento biológico de residuos*. Chile.
- Montenegro, J. (2010). *Evaluación de la disminución de concentración de fenol en agua sintética por medio de dos consorcios bacterianos nativos, aerobio y anaerobio*



*facultativo, a nivel de laboratorio, para su aplicación futura en la biorremediación de efluentes textiles.* Sangolquí: ESPE.

Montenegro, J. (2010). *Evaluación de la disminución de concentración de fenol en agua sintética por medio de dos consorcios bacterianos nativos, aerobio y anaerobio facultativo, a nivel de laboratorio, para su aplicación futura en la biorremediación de efluentes textiles.* Sangolquí, Ecuador.

Moreno, C. (2003). Tratamiento de aguas residuales en la embotelladora coca-cola mediante un reactor de lecho fluidizado inverso. *Casa Abierta al Tiempo* .

Morgan, J. M., Revah, S., & Noyola, A. (2000). Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control. *UNAM* .

Muñoz, D. (2011). *Diseño e implementación de una planta piloto para remoción de dco de aguas residuales de la industria textil, utilizando el inóculo microbiano nativo i5.* Sangolquí, Ecuador: ESPE.

Muñoz, D. (2011). *Diseño e implementación de una planta piloto para remoción de dco de aguas residuales de la industria textil, utilizando el inóculo microbiano nativo i5.* Sangolquí, Ecuador.

Nuñez, C. (2010). *Estrategias de marketing aplicadas por la industria textil en el Ecuador.* Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/596>

Ojeda, T. (2004). *Manual de análisis de agua.* México: Instituto tecnológico superior de Irapuato.

Oranusi, M., & Mbah, A. (2005). Utilisation of azo and tryphenylmethane dyes as sole source of carbon, energy and nitrogen by *Bacillus* sp. *African Journal of Applied Zoology & Environmental Biology* , 87-94.

Paladines, J. (2011). *Evaluación de la capacidad de degradación microbiana de tensioactivos aniónicos a partir de dos consorcios microbianos removedores de colorantes reactivos, a nivel de laboratorio.* Sangolquí: ESPE.

Paladines, J. (2011). *Evaluación de la capacidad de degradación microbiana de tensioactivos aniónicos a partir de dos consorcios microbianos removedores de colorantes reactivos, a nivel de laboratorio.* Sangolquí, Ecuador.

Patiño, M. (2000). *Química básica.* España: ITM.

Pérez, M., Romero, L., & Sales, D. (1997). Inmovilización de biomas a anaerobia termofílica en soportes porosos. *Ingeniería del Agua* , 4 (3), 11-16.

Quintero, L., & Cardona, S. (2011). Evaluación del tratamiento biológico para remoción de color índigo de agua residual industrial textil. *Revista gestion y ambiente* , 105-113.

Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. España : Reverté.

Ramos, C., Espinosa, M., & Lopez, M. (2000). *Diseño y evaluación de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales biotecnológicas*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/REPDOM/ramos.pdf>

Ríos, R. (2006). *Disminución de la carga contaminante orgánica del efluente de las cámaras sépticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domesticas en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&ct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&ved=0CFoQFjAE&url=http%3A%2F%2Ffojs.revistasbolivianas.org.bo%2Findex.php%2Frtu%2Farticle%2Fdownload%2F142%2F90&ei=o0NFUcmdLJG-4AOi5oGIBw&usg=AFQjCNGGDCRAIMMbYypW6UzGJdDhck-fcA>

Rittmann, B., & McCarty, P. (2001). *Biotecnología del medio ambiente, principios y aplicaciones*. España: McGraw - Hill.

Rivadeneira, C. (2013). *Evaluación del comportamiento y estabilización aerobia del inóculo microbiano IS-microbiología ESPE en un reactor de tipo flujo pistón de alimentación continua para el tratamiento a escala piloto de agua residual textil*. Sangolquí: ESPE.

Rivas. (2008). *Anaerobios*. Obtenido de <http://www.educa2.madrid.org/web/educamadrid/principal/files/6046b373-a0b6-4737-8f6b-4553dfefcd53/25.-%20Anaerobios.pdf>

Rodriguez, J. (2002). *Arranque y operación de reactores anaerobios*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/arranque.pdf>

Salas, G. (2003). Tratamiento físico químico de aguas residuales de la industria textil. *Revista peruana de química e ingeniería química* , 73-80.

Sanders. (1998). *A manual of field hydrogeology*. Estados Unidos: Prentice - Hall.

Sanz, J. (2008). *REACTORES ANAEROBIOS I: TIPOS Y CARACTERÍSTICAS*. Obtenido de <http://www.cbm.uam.es/jlsanz/docencia/Master/Documentos/Master%20T-8.pdf>

Sattler, M. (2011). *Anaerobic Processes for Waste Treatment and Energy Generation, Integrated Waste Management* . Estados Unidos: Sunill Kumar.

SNM, S. N. (2001). *Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a las nmx-aa-020-1980 y nmx-aa-034-1981)*. Obtenido de <http://www.imta.gob.mx/cotennser/images/docs/NOM/NMX-AA-034-SCFI-2001.pdf>

STANDARD METHODS 5-17 DQO. (2002). Obtenido de <http://prueba2.aguapedi a.org/master/analisis/protopdf/DQO.pdf>

Strucplan. (2009). *Diseño de procesos en digestión anaerobia*. Obtenido de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2524>

Torres, P., Rodríguez, J., & Uribe, I. (2003). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. *Scientia et Technica* , 75-80.

TULAS. (2011). *Normas de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua*. Ecuador.

Yépez, C. (2011). 8.1. *Remoción de detergentes de aguas residuales textiles empleando hongos seleccionados obtenidos a partir de efluentes de industria textil y evaluación de su tolerancia a metales pesados a nivel de laboratorio*. Sangolquí, Ecuador.