



**ESPAMMFL**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA DE MEDIO AMBIENTE**

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN MEDIO AMBIENTE**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE MEZCLA DE CASCARILLA DE ARROZ Y  
BARRO COMO MEDIO FILTRANTE PARA REMOCIÓN DE  
SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUA DE RÍO**

**AUTORES:**

**GUZMÁN PAREDES WASHINGTON AGAPO**

**VÉLEZ ALCÍVAR SOFÍA NICOLE**

**TUTOR:**

**ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, M.Sc.**

**CALCETA, JUNIO 2018**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Guzmán Paredes Washington Agapo y Vélez Alcívar Sofía Nicole, declara bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

.....  
WASHINGTON A. GUZMÁN PAREDES

.....  
SOFÍA N. VÉLEZ ALCÍVAR

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**Joffre Andrade Candell** certifica haber tutelado la tesis **EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DE CASCARILLA DE ARROZ Y BARRO COMO MEDIO FILTRANTE PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA**, que ha sido desarrollada por **Guzmán Paredes Washington Agapo y Vélez Alcívar Sofía Nicole**, previa la obtención del título de ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo con el **REGLAMENTO PARA LA ELEBORACION DE TESIS DEL GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....  
ING.JOFFRE ALBERTO ANDRADE CANDELL, M.Sc.

## **APROBACIÓN DE TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO la tesis **EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DE CASCARILLA DE ARROZ Y BARRO COMO MEDIO FILTRANTE PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA**, que ha sido propuesta , desarrollada y sustentada por **Guzmán Paredes Washington Agapo** y **Vélez Alcívar Sofía Nicole**, previa la obtención del título de ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELEBORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

Ing. Agustín Leiva Pérez, Ph.D.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Juan Luque Vera, M.Sc.

**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

---

Ing. Sergio Alcívar Pinargote, M.Sc

**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis en primer lugar me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme y permitirme llegar hasta donde he llegado, logrando cumplir este sueño.

A mi madre Patricia Alcívar que con su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional me mantuvo fuerte en todo este camino

A mi padre Pedro Vélez que con su apoyo pude terminar esta meta, mis hermanos Silvia, Claudia y Alex que siempre fueron y son incondicionales conmigo, a mi familia Alcívar y Vélez por su apoyo consejos que fueron de aliento para continuar día a día

A mí amado novio Miller Intriago por creer en mí, ser mi contención en todo momento y ser ese fiel acompañante durante esta lucha

A la Escuela Superior politécnica Agropecuaria de Manabí "MFL" hacer de mí un profesional con principios y valores.

A mis profesores por su esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Sofía Nicole Vélez Alcívar

## AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día.

A Dios por habernos dado la vida y permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional porque hizo realidad este sueño anhelado.

A mi abuelita Elina Cedeño Vera por haberme brindado todo su amor y apoyo a lo largo de mi vida

A mi padre Washington Vicente Guzmán Cedeño por todo el sacrificio que realizó por darme el estudio y por todo su amor.

A mi Ángel mi tía Jesusa Guzmán Zambrano por haberme brindado todo su apoyo y todo su amor durante toda mi vida.

A mis tíos Marianita Guzmán Cedeño, Stery Guzmán Cedeño, Carlos Guzmán Cedeño por el cariño y el apoyo que me brindaron.

Agradezco a mi tutor Joffre Andrade Candell por todo el apoyo y por sus conocimientos compartidos para el desarrollo de mi tesis y por ser parte de mi formación como profesional.

Guzmán Paredes Washington Agapo

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas.

A mi abuela Mariana Cedeño que ha sido un pilar fundamental durante toda mi vida, por ser esa persona de admiración que con su ejemplo ha sabido guiarnos a cada uno de sus nietos.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar en especial a mi madre que con sus constante esfuerzo me demostró que nada es imposible y a no darme por vencida. Ustedes mi familia me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar. A mi novio que se ha convertido en alguien fundamental en mi vida ese compañero con el que siempre podre contar.

A esa amiga que se convirtió en hermana Fabiana Arteaga que, aunque el hoy por hoy no este conmigo sé que fuera una de las personas más orgullosa de mis logros.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida a lo largo de este camino y a las cuales me encantaría agradecerles como a la familia Intriago. Lic. Ramon Moreira, Flor Vera, mi tutor el Ing. Joffre Andrade mi tribunal Dr. Agustín Leiva, Ing. Juan Carlos Luque, Ing. Sergio Alcívar entre otros, gracias por su paciencia, amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero siempre les agradeceré por formar parte de mí y por todo lo que me han brindado.

Sofía Nicole Vélez Alcívar

## DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis va dedicado en primer lugar a Dios, mi máxima fortaleza quien con sus bendiciones me ha permitido culminar otra etapa en mi vida

Dedico este trabajo con mucho amor a mi abuelita Cedeño Vera Elina por ser mi pilar fundamental en mi vida

Con mucho cariño le dedico mi sacrificio y lucha para lograr este objetivo a mi Ángel mi tía Jesusa Guzmán Zambrano quien me brindó su apoyo incondicional.

Con mucho cariño le dedico este trabajo a mi padre Washington Vicente Guzmán Cedeño compañero y amigo de mi vida.

Mi esfuerzo y trabajo a lo largo de mi carrera se lo dedico a mis sobrinos Jesús Daniel Guzmán Buste, Dulce María Farías Guzmán y a Luca Sebastián Farías Guzmán por ser fuente de inspiración y motivación para lograr mi meta.

Dedico este trabajo a mis tíos Marianita Guzmán Cedeño, Stery Guzmán Cedeño, Carlos Guzmán Cedeño por haber estado siempre pendiente de mis estudios.

A mis hermanos por todo el apoyo y el amor que me brindaron y por ser parte de mi inspiración.

Guzmán Paredes Washington Agapo



## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR .....	iii
APROBACIÓN DE TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y IMAGENES .....	xii
CUADROS.....	xii
GRÁFICOS.....	xii
IMÁGENES.....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
1.  CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1.  PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2.  JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3.  OBJETIVOS .....	3
1.3.1.  OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2.  OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4.  HIPÓTESIS .....	4
2.  CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.  RESIDUO AGROINDUSTRIAL .....	5
2.2.  CASCARILLA DE ARROZ .....	5
2.3.  FILTRACIÓN.....	5
2.4.  MEZCLA DE CASCARILLA DE ARROZ CON BARRO .....	6
2.5.  ANÁLISIS EN UNA MUESTRA DE AGUA.....	6
2.5.1.  SÓLIDOS SUSPENDIDOS.....	7
2.5.2.  TURBIDEZ.....	7
2.5.3.  COLOR.....	7
2.5.4.  pH.....	7

2.6.	FORMAS DE FILTRACIÓN.....	8
2.6.1.	MEDIO FILTRANTE DISCO .....	8
2.6.2.	ESFERAS.....	8
2.7.	ECUACIÓN DE TORRICELLI .....	9
2.8.	CARGA SUPERFICIAL.....	9
2.9.	GRADO DE REMOCIÓN .....	9
2.10.	TIEMPO DE RETENCIÓN .....	10
2.11.	FORMAS DE LECHOS FILTRANTES .....	10
2.11.1.	FILTRACIÓN LENTA.....	11
2.11.2.	FILTRACIÓN RÁPIDA.....	11
2.12.	TIEMPO DE VIDA DEL FILTRO .....	11
2.13.	PROPORCIONES DE LA MEZCLA.....	13
3.	CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	14
3.1.	UBICACIÓN .....	14
3.2.	DURACIÓN DEL TRABAJO.....	14
3.3.	FACTORES EN ESTUDIO.....	14
3.4.	NIVELES EN ESTUDIO .....	15
3.5.	TRATAMIENTOS .....	15
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	16
3.7.	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	16
3.8.	VARIABLES MEDIDAS.....	16
3.8.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	16
3.8.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	16
3.9.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	17
3.10.	PROCEDIMIENTOS .....	17
3.10.1.	FASE I. ELABORACIÓN DE FILTROS.....	17
3.10.2.	FASE II. ESTABLECER LA CARGA SUPERFICIAL, TIEMPO DE RETENCIÓN Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN LOS FILTROS ELABORADOS.....	18
3.10.3.	FASE III. DETERMINACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL.....	19
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
4.1.	ELABORAR FILTROS.....	21

4.2. ESTABLECIMIENTO DE INDICADORES.....	23
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.....	24
4.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	29
5. CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	30
5.1. CONCLUSIONES.....	30
5.2. RECOMENDACIONES .....	31
6. BIBLIOGRAFÍA .....	32
7. ANEXOS .....	37

## CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y IMAGENES

### CUADROS

Cuadro 3.1. Coordenadas de la zona de muestreo y laboratorios agroindustriales .....	14
Cuadro 3.2. Niveles en estudio .....	15
Cuadro 3.3. Tratamientos realidos .....	15
Cuadro 3.4. Tiempos para las repeticiones.....	19
Cuadro 4.1. Detalle de los materiales usados en cada tratamiento .....	21
Cuadro 4.2. Número de elementos (discos o esferas) para la elaboración de los filtros.....	22
Cuadro 4.3. Parámetros generales de los filtros .....	23
Cuadro 4.4. Tiempo de filtrado, caudal y carga superficial para los tratamientos. ....	24
Cuadro 4.8. Análisis de Shapiro-Wilks de los datos analizados .....	25
Cuadro 4.9. ANOVA no paramétrica de acuerdo con las mezclas utilizadas ...	25
Cuadro 4.10. ANOVA no paramétrica de acuerdo con las formas utilizadas ...	25
Cuadro 4.11. ANOVA no paramétrica de los tratamientos aplicados .....	26
Cuadro 4.12. ANOVA del caudal.....	26
Cuadro 4.12. ANOVA de la carga superficial .....	26
Cuadro 4.14. Prueba Tukey al 5% de significancia de los grados de remoción de acuerdo con mezclas realizadas .....	27
Cuadro 4.15. Prueba Tukey al 5% de significancia de los grados de remoción de acuerdo con las formas del medio.....	27
Cuadro 4.17. Prueba Tukey al 5% de significancia de los grados de remoción de acuerdo con los tratamientos .....	28

### GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Proporciones de las mezclas para los tratamientos.....	15
Gráfico 4.1. Grados de remoción de acuerdo con las proporciones de las mezclas .....	27

Gráfico 4.2. Grados de remoción según la forma del medio filtrante.....	28
Gráfico 4.3, Caudal de acuerdo con la forma del medio filtrante.....	28
Gráfico 4.4. Carga superficial de según la forma del medio filtrante .....	28
Gráfico 4.5. Grados de remoción de acuerdo con los tratamientos.....	28
Gráfico 4.6. Carga superficial de acuerdo con los tratamientos .....	29
Gráfico 4.7. Caudal de acuerdo con los tratamientos.....	29

## **IMÁGENES**

Imagen 4.1. Sistema utilizado .....	23
-------------------------------------	----

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la relación entre las mezclas de cascarilla de arroz con barro como formas del lecho filtrante en la remoción de sólidos suspendidos en el agua de río. Durante el estudio se estudiaron dos formas distintas de medio filtrante (discos y esferas) elaboradas de la cocción de tres mezclas de cascarilla (C) + barro (B) (5%(C)+95%(B), 10%(C)+90%(B); 15%(C)+85%(B)) y cuatro tiempos de retención (0,16; 1 ; 5; 12 y 24 horas), para el proceso de filtrado se creó una estructura para contener el medio filtrante y homogenizar los tiempos de retención en los distintos tratamientos. El proceso de filtración presentó grados de remoción de sólidos suspendidos inferiores al 2%, presentando los menores valores los tratamientos 5 y 3 y los mayores en el blanco y los tratamientos 1 y 7. En el análisis estadístico de las mezclas utilizadas (Factor A) se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los grados de remoción, siendo que los menores grados de remoción se presentaron en la mezcla 1 (5% (C)+95% (B) y los mayores en la filtración testigo. En cuanto a las formas en estudio (Factor B) mediante el cual se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los grados de remoción, el filtro sin presencia de medio filtrante presento los mayores grados de remoción y los discos los menores grados de remoción. Por lo que se puede definir que la utilización de discos o esferas de las características analizadas como medios filtrantes no es una alternativa fiable para la remoción de sólidos suspendidos en el agua de río.

**PALABRAS CLAVES:** Filtro, relación, concentración, formas, análisis estadístico

## ABSTRACT

The objective of this investigation was to evaluate the relationship between rice husk mixtures with mud as filter bed forms in the removal of suspended solids in river water. During the study two different forms of filter medium (discs and spheres) elaborated from the cooking of three mixtures of husk (C) + mud (B) (5%(C)+95%(B), 10%(C)+90%(B); 15%(C)+85%(B)) and four retention times (0,16; 1; 5; 12 and 24 hours), for the filtering process a structure was created to contain the filtering medium and to homogenize the retention times in the different treatments . The filtration process showed degrees of removal of suspended solids of less than 2%, with the lowest values being treatments 5 and 3 and the highest values in the target and treatments 1 and 7. In the statistical analysis of the mixtures used (Factor A) it was verified the existence of significant differences between the degrees of removal, being that the lowest degrees of removal were in mixture 1 (5% (C) + 95% (B) and the highest in the control filtration.) Regarding the forms under study (Factor B) by means of which the existence of significant differences between the degrees of removal was verified, the filter without the presence of filtering medium presented the highest degrees of removal and the discs the lowest degrees of removal, so it can be defined that the utilization of discs or spheres of the characteristics analyzed as filter media is not a reliable alternative for the removal of suspended solids in river wáter

**KEYWORDS:** Filter, relation, concentration, forms, statistical analysis

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según Argandoña y Macías (2013), todos los contaminantes del agua contribuyen a carga de sólidos suspendidos. Estos provienen de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales y de acuerdo con Tewari *et al.*, (2005), para la remoción de estos se ha utilizado metodologías convencionales, que, a pesar de ofrecer resultados satisfactorios, presentan desventajas como remoción incompleta. Actualmente, la adsorción con subproductos agrícolas se ha convertido en una alternativa viable (Li, *et al.*, 2009) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y por consiguiente mejorar la calidad física del agua (Sánchez., *et al.*, 2009).

A nivel mundial, el aumento de volumen de residuos agroindustriales, conlleva a una serie de implicaciones relacionadas con la disposición final que estos representan (Basanta *et al.*, 2007), los cuales constituyen actualmente uno de los principales objetos de investigaciones dirigidos a la búsqueda de usos alternativos de los mismos, que permitan su valorización (Rodríguez, 2013). En particular la cascarilla de arroz constituye uno de los residuos de mayor estudio pues es un material de sumo interés para los investigadores. Esto se debe a que las características fisicoquímicas de este subproducto resultan poco biodegradables y son, por tanto, un desecho altamente contaminante en especial para las fuentes de agua (Aguilar, 2009).

Assureira (2012) asegura que en algunos países se han realizado estudios que presentan varias posibilidades de uso para la cascarilla de arroz, entre las cuales pueden citarse la elaboración de alimentos concentrados para animales, combustible alternativo para uso doméstico (Salgado, 2005) y, en diferentes campos y por intermedio de diferentes métodos, preparar medios adsorbentes para el tratamiento de efluentes (Rodríguez, *et al.*, 2012). El uso de la cascarilla como un medio filtrante representa un aporte significativo a la preservación de



los recursos naturales y un avance en el desarrollo de tecnologías limpias y económicas (Valverde, *et al.*, 2007).

Según el MAGAP (2012), el 35% de la cascarilla de arroz es utilizada en la industria florícola y criaderos de animales, el restante es quemado en piladoras, arrojada en los ríos y por último tirada al borde de las carreteras. De acuerdo con Peñafiel *et al.*, (2015) en el Ecuador los residuos agroindustriales aún no son aprovechados eficientemente, en parte, por la falta de métodos apropiados y porque su valor aún es desconocido.

Con estos antecedentes se formula la siguiente interrogante:

¿Cómo se relaciona la mezcla de cascarilla de arroz con barro en formas distintas como lecho filtrante en la remoción de sólidos suspendidos en una muestra de agua de río?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Según Prada y Cortés (2010), la cascarilla de arroz es uno de los desechos más importantes de la producción de arroz, sin embargo, se le ha dedicado poca atención y a pesar de que algunos países le brindan aplicaciones, estas se muestran ineficientes, ocasionando que sea un factor de alteración de ecosistemas (Aguilar, 2009). Por tanto, resulta imprescindible buscar nuevas aplicaciones para el uso adecuado de estos desechos (Benayas, 2010). De acuerdo con Álvarez *et al.*, (2011), una posibilidad excelente es aprovechar las propiedades absorbentes de la cascarilla de arroz como medio filtrante para la remoción de sólidos suspendidos en el agua.

Desde esta perspectiva el trabajo de investigación propondrá soluciones a problemas sociales y ambientales, pues representa un aporte para el planteamiento de estrategias económicas e innovadoras, dirigidas a incrementar el aprovechamiento de estos subproductos.

Según el objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir (garantizar los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental territorial y global), en concordancia con lo que establece el artículo 12 de la Constitución del Ecuador (2008) *“El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”*, el estudio se desarrollará con la finalidad de evaluar la eficiencia que posee el lecho filtrante elaborado a base de cascarilla de arroz + barro y su aplicabilidad a la realidad nacional como posible alternativa en la remoción de sólidos suspendidos presentes en cuerpos de agua, posibilitando así el mejoramiento de la calidad.

Socialmente la presente investigación aportará con las personas ya que con el filtro se obtendrá un agua con menos presencia de sólidos suspendidos, aprovechando las propiedades de la cascara de arroz, el mismo que ayudará al mejoramiento de la calidad de agua para las diferentes actividades domésticas, cabe recalcar que este filtro no purificará el agua de tal manera que pueda ser apta para el consumo humano, Pero será útil para las actividades antes mencionadas.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la relación entre las mezclas de cascarilla de arroz con barro en formas distintas como lecho filtrante en la remoción de sólidos suspendidos en el agua.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar filtros con mezclas de cascarilla de arroz con barro en formas distintas.
- Establecer la carga superficial, tiempo de retención y eficiencia de remoción de sólidos suspendidos en los filtros elaborados.

- Determinar el comportamiento de los tratamientos experimentales planteados y tiempo de vida útil al mejor tratamiento.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

Existen diferencias significativas entre las diferentes proporciones de cascarilla de arroz con barro y formas utilizadas para la remoción de sólidos suspendidos en una muestra de agua de río.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. RESIDUO AGROINDUSTRIAL**

Los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social. (Saval, 2012)

### **2.2. CASCARILLA DE ARROZ**

La cascarilla de arroz es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo. Esta se encuentra en la parte exterior del grano de arroz maduro compuesta por dos glumas denominadas palea y lemma, unidas por dos pericarpios, localizada entre la cáscara y el endospermo representa todos los pulimentos que se desprenden del grano después de eliminar la cascarilla hasta que el grano queda listo para el mercadeo. (Vargas, 1995)

La cascarilla de arroz es un material ligero, tiene porosidad elevada, así como aireación y capacidad de retención (López, *et al.*, 2008) pues un sustrato inerte con poca retención de agua y nutrientes (Álvarez, *et al.*, 2007) de difícil descomposición al suelo (del Pino, *et al.*, 2008)

### **2.3. FILTRACIÓN**

El Filtro es un reactor en cuyo interior se dispone de un medio de soporte (lecho), con flujo ascendente o descendente y régimen de flujo básico de tipo pistón. Es una de las alternativas de mayor aplicación para aguas residuales industriales de concentración media y alta (superior a 1500 DQOmg/l) y con buen desempeño en el tratamiento de desechos del procesamiento de la carne, la leche, ácido láctico (presente en cantidades elevadas en residuos fácilmente

acidificables como las del proceso de extracción de almidón de yuca) y de otros productos agroindustriales como la caña de azúcar y el café. (Torres & Rodríguez, 2003)

#### **2.4. MEZCLA DE CASCARILLA DE ARROZ CON BARRO**

Las arcillas contienen fundamentalmente minerales arcillosos (filosilicatos) y no arcillosos que en conjunto son los que imparten tanto la plasticidad del material como las propiedades de secado y de cocción de las piezas elaboradas con dichas materias primas. (Torrecillas & Rodríguez:, 2002)

Cuando aumenta la temperatura de cocción con las arcillas tiende a formar vidrios, siendo esta fase vítrea, en arte, la responsable de la resistencia mecánica del bizcocho debido a exceso de fase vítrea disminuirá la porosidad del bizcocho debido a la gresificación y por tanto, lo deseable será un equilibrio para mantener la porosidad deseada con la mayor cantidad de fase vítrea. (Escardino, *et al.*, 2000)

#### **2.5. ANÁLISIS EN UNA MUESTRA DE AGUA**

El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis (Garay, *et al.*, 1993).

### **2.5.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS**

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente, para una remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. En la práctica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño menor de 1.2  $\mu\text{m}$  y los suspendidos los que tienen tamaño mayor de 1.2  $\mu\text{m}$ , tamaño nominal de poros. (Romero, 2002)

### **2.5.2. TURBIDEZ**

La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación. (Marcó, *et al.*, 2004)

### **2.5.3. COLOR**

Es la tonalidad que adquiere el agua debido a la presencia de sustancias orgánicas naturales, producidas por la descomposición de material vegetal, o de sustancias minerales como el hierro y el manganeso. Las unidades para expresar el color son las UPC, que significan Unidades de Platino Cobalto. (Aguilar, *et al.*, 2005)

### **2.5.4. pH**

El pH es un índice logarítmico del grado de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. Este índice es logarítmico por que se expresa mediante un exponente que es fácil de manejar. El índice de la escala de pH es muy importante en procesos químicos, biológicos, industriales y en general en la vida cotidiana. (Sanchez, *et al.*, 2008)

## **2.6. FORMAS DE FILTRACIÓN**

La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en diferentes medios porosos (arena, antracita, granate, etc) empleando solo un medio (lecho simple) o varios medios (lecho mixto), con flujo ascendente o descendente; por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante. (Pérez, 2005)

### **2.6.1. MEDIO FILTRANTE DISCO**

Villora (2012) detalla que el medio filtrante en forma de disco es aquel en donde el cuerpo de filtrado tiene una forma general cilíndrica anular, con un canal de flujo cilíndrico central que se extiende axialmente a lo largo de la longitud de dicho cuerpo del filtro. Tiene elementos anulares por los que pasa el líquido. Cada disco de filtro se forma con la alternancia de los grupos de ranuras que se extienden radialmente para definir conductos de filtrado circunferenciales entre los extremos de las ranuras. El agua pasa a través de las pequeñas ranuras y las impurezas se quedan atrapadas. La mayor o menor calidad de la filtración, definida como la mayor o menor cantidad y tamaño de las partículas que el elemento filtrante es capaz de retener, dependiendo de la geometría y tamaño de los canales, la longitud de estos y los puntos de intersección generados.

### **2.6.2. ESFERAS**

Esferas cerámicas son inofensivos compuestos inorgánicos, no-metálicos, que han sido usados con mucho éxito – desde el siglo 19 - en la más estricta y eficiente filtración del agua. Poseen una estructura porosa tan pequeña y compleja que las convierten en un excelente e ideal medio tanto de filtración como de purificación (SÁNCHEZ, 2013).

## 2.7. ECUACIÓN DE TORRICELLI

A partir del teorema de Torricelli se puede calcular el caudal de salida de un líquido por un orificio. La velocidad de un líquido en una vasija abierta, por un orificio, es la que tendría un cuerpo cualquiera, cayendo libremente en el vacío desde el nivel del líquido hasta el centro de gravedad del orificio.

$$V_t = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left( h + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \right)} \quad [ 2.1 ]$$

Donde:

- $V_t$ = la velocidad teórica del líquido a la salida del orificio.
- $V_0$ = la velocidad de aproximación o inicial.
- $h$ = la distancia desde la superficie del líquido al centro del orificio.
- $g$ = la aceleración de la gravedad.

## 2.8. CARGA SUPERFICIAL

Es la velocidad crítica de sedimentación. La carga superficial puede obtenerse experimentalmente efectuando un ensayo de sedimentación. (Pérez, 2005)

$$Carga\ superficial \left( \frac{m^3}{m^2} \times min \right) = \frac{Q \text{ (} m^3/min \text{)}}{Superficie \text{ (} m^2 \text{)}} \quad [ 2.2 ]$$

Donde:

$Q$ = Caudal

## 2.9. GRADO DE REMOCIÓN

La eficiencia del proceso de filtración depende sustancialmente de la calidad de agua cruda que llega a la planta, calidad de agua sedimentada (previa a la filtración), así también de las características físicas, como de las partículas (turbiedad, color) y de su estado de presentación (coloidal, suspensión, tamaño



y densidad) además la eficiencia se incrementa en relación directa con el contenido de partículas en estado de suspensión. (Vargas, 2004)

$$\text{Eficiencia} = \frac{SSp - SSf}{SSp} \times 100 \quad [ 2.3 ]$$

Dónde:

SSp= Contaminantes en el agua pre-filtrada.

SSf= Contaminantes en el de agua filtrada

## **2.10. TIEMPO DE RETENCIÓN**

Dentro de los factores hidrodinámicos que modulan el comportamiento de parámetros químicos y físicos, uno de los más relevantes es el tiempo de retención de las aguas. Tiempos de retención altos hacen que la ciénaga se convierta en un gran reactor-sedimentador y sea considerado por algunos investigadores como una trampa de sustancias químicas (organoclorados, hidrocarburos y metales pesados, entre otras), que ingresan por diferentes afluentes continentales.

El tiempo de retención también influye en el fenómeno de amortiguamiento de las sustancias exógenas que ingresan al sistema; este proceso de carácter hidrodinámico se presenta en las ciénagas y ayuda a explicar situaciones observadas durante las campañas de monitoreo. (Marta, 2005)

$$T = \frac{V}{Q} \quad [ 2.4 ]$$

## **2.11. FORMAS DE LECHOS FILTRANTES**

Se utiliza esta filtración cuando la dimensión de las partículas contenidas en el agua es relativamente pequeña

### **2.11.1.FILTRACIÓN LENTA**

Tiene por objeto la depuración de las aguas de superficie, sin coagulación ni decantación previa. Estos filtros están contruidos de tal forma que el agua fluye muy despacio a través de un lecho de arena fina, quedando retenidas en la superficie del filtro las partículas de mayor tamaño. De esta manera se forma una capa biológica porosa muy delgada, pero con una gran superficie de contacto en sus poros, que favorece la adsorción de impurezas

### **2.11.2.FILTRACIÓN RÁPIDA**

En el proceso de filtración rápida, el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidades de 4 a 50 m/h. (Universidad de salamanca, s.f.) El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte. Aunque también existen otros tipos de lechos como membranas filtrantes que pueden ser de plástico o de metal. (Romero, 2011)

## **2.12.TIEMPO DE VIDA DEL FILTRO**

La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla. El medio filtrante es la barrera que permite que pase el líquido, mientras retiene la mayor parte de los sólidos, los cuáles se acumulan en una capa sobre la superficie o filtro (torta de filtración), por lo que el fluido pasará a través del lecho de sólidos y la membrana de retención.

Usualmente, un filtro se cambia cuando ocurre alguna de las siguientes situaciones (Fluidscontrol S.A, 2013):

- La caída de presión del mismo llega a la máxima caída de presión admisible definida por el fabricante.

- La caída de presión corresponde a un caudal mínimo por debajo del cual no es conveniente seguir filtrando debido a la lentitud del proceso.
- La caída de presión no puede seguir aumentando porque la bomba no puede entregar más energía para que ello ocurra.

La caída de presión de un filtro será igual a:

$$\Delta p = \frac{\mu(V/t)}{A} \left[ \frac{\alpha VC}{A} + Rm \right] [ 2.5 ]$$

Dónde:

$\Delta p$ : Caída de la presión del filtro

$\mu$ : Viscosidad del fluido

V: Volumen del filtrado

t: Tiempo de filtración

A: Área de la superficie filtrante

$\alpha$ : Coeficiente de resistencia de la torta

Rm: Coeficiente de resistencia del medio filtrante (constante)

C: Concentración de sólidos en la suspensión

La resistencia del medio filtrante (Rm) se definirá mediante la fórmula (Martín & Font., 2011):

$$Rm = \frac{1}{\rho_s \varepsilon_s} [ 2.6 ]$$

Dónde:

$\rho_s$ : densidad del sólido

$\varepsilon_s$ : fracción volumétrica de sólido en la torta húmeda

En cuanto a la resistencia de la torta, se define como (Martín & Font., 2011):

$$\alpha = \alpha_s \frac{W_s}{A} \quad [ 2.7 ]$$

Dónde:

$W_s$ : masa de sólidos en el filtro

$\alpha_s$ : densidad de sólidos en el filtro

A: Área transversal

### **2.13. PROPORCIONES DE LA MEZCLA**

Henneberg y Briceño (2016) proponen proporciones de aproximadamente 22.63% de arcilla en mezclas de relleno que se encontraran sometidas a los efectos de agua.

García *et al.*, (2013) propone la utilización de arcilla en un rango de 20% al 60% para mantener la resistencia mecánica a la compresión de ladrillos que se encuentran sometidas al paso del agua.

## CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 3.1. UBICACIÓN

Los materiales utilizados en la ejecución del estudio se obtuvieron: el barro a partir de los proveedores de manualidades artesanales de la parroquia de Calceta; la cascarilla de arroz se obtuvo de las piladoras ubicadas en la vía Calceta-Tosagua, las cuales en su mayoría desechan el subproducto y el agua a tratar fue la del río carrizal.

Los análisis de laboratorio y los experimentos se realizaron en el laboratorio de química ambiental del área agroindustrial y las muestras de agua fueron tomadas del río Carrizal (Ver coordenadas en Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1.** Coordenadas de la zona de muestreo y laboratorios agroindustriales

LUGAR	X	Y
Laboratorio de química ambiental	590546	9908633
Toma de muestras	592307	9907370

Fuente: Autores (2017)

### 3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO.

Esta investigación tuvo una duración de 9 meses, a partir de la aprobación del proyecto de tesis.

### 3.3. FACTORES EN ESTUDIO

- Factor A. Mezclas de cascarilla de arroz + barro
- Factor B. formas del medio filtrante

### 3.4. NIVELES EN ESTUDIO

Cuadro 3.2. Niveles en estudio

FACTOR A. Cascarilla de arroz + barro	FACTOR B. formas del medio filtrante
A1. 5% cascarilla + 95% barro (Henneberg & Briceño, 2016)	B1. Esferas
A2. 10% cascarilla + 90% barro (García, et al., 2013)	B2. Discos
A3. 15% cascarilla +85% barro (García, et al., 2013)	

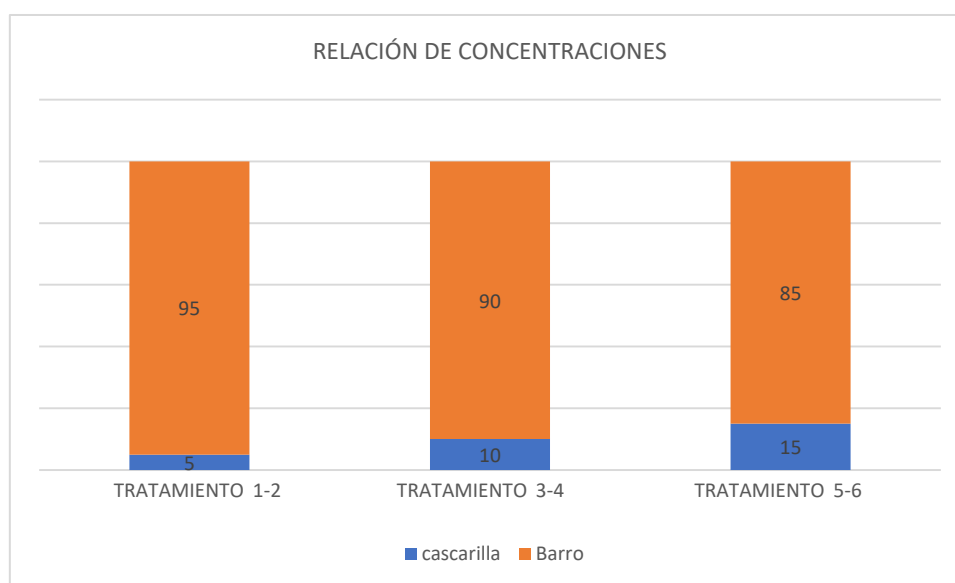


Gráfico 3.1. Proporciones de las mezclas para los tratamientos

### 3.5. TRATAMIENTOS

Cuadro 3.3. Tratamientos realizados

Tratamientos	Descripción
Tratamiento 1	A1 X B1
Tratamiento 2	A1 X B2
Tratamiento 3	A2 X B1
Tratamiento 4	A2 x B2
Tratamiento 5	A3 X B1
Tratamiento 6	A3 X B2

Fuente: Autores (2017)

### **3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utilizó un diseño bifactorial DBCA 3 x 2 con tres repeticiones cada uno, a los cuales se les realizó un análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un 5% de significancia, con la utilización del software estadístico SPSS.

### **3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL**

La unidad experimental corresponde a muestras de agua de 250 ml que fueron sometidos al medio filtrante en forma distintas (esferas- discos) con las proporciones de cascarilla de arroz + barro a utilizarse.

### **3.8. VARIABLES MEDIDAS**

#### **3.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Formas de lechos y Mezcla de cascarilla de arroz + barro

##### **Indicadores**

- ✓ Proporciones de cascarilla de arroz + barro
- ✓ Formas del lecho filtrante

#### **3.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE.**

Remoción de sólidos suspendidos

##### **Indicadores**

- ✓ Eficiencia en remoción de sólidos suspendidos
- ✓ Tiempo de retención

- ✓ Carga superficial

### **3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

Se realizó dos tipos de análisis estadísticos mediante el software estadístico SPSS.

- Análisis de la Varianza de un factor (ANOVA) DBCA.
- Gráficos Estadísticos

### **3.10. PROCEDIMIENTOS**

#### **3.10.1. FASE I. ELABORACIÓN DE FILTROS**

##### **3.10.1.1. ACTIVIDAD 1. OBTENCIÓN DE MATERIALES**

Se obtuvo el barro a partir de trabajadoras de manualidades artesanales ubicadas en la vía Calceta-Chone, La cascarilla de arroz se la obtuvo del residuo de la piladora de arroz ubicada en la vía Tosagua-Calceta la cual fue triturada y pasada por un tamiz N° 20 (Soriano, 2014); en cuanto al material de los filtros, se realizó la compra de tubo PVC.

##### **3.10.1.2. ACTIVIDAD 2. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES**

El barro que se utilizó en el filtro fue procesado hasta formar esferas de 5 cm de diámetro y discos con 1 cm de altura y 0.1016 m de diámetro (Sella, 2008) pues de acuerdo a Guime (2002) en este rango brinda mayor flujo de servicio y mejores niveles de filtración; luego las formas filtrantes se las llevó a cocción y posteriormente se dejó enfriar (Soriano, 2014) para asegurar su forma durante el proceso de filtración.



### **3.10.1.3. ACTIVIDAD 3. ELABORACIÓN DE FILTROS**

El medio filtrante elaborado con anterioridad se colocó en los tubos PVC de 0,5 m, con un diámetro de 0,1016 m, que tuvo la función adicional de repartir el flujo por toda la superficie del filtro (Suárez, *et al.*, 2015). Antes de que el agua pasara por los filtros se tomó muestras las mismas que serán analizadas para determinar el estado de los indicadores a ser estudiados.

Se colocó las 19 unidades experimentales en una estructura metálica, ubicados de forma vertical; para asegurar una velocidad de entrada uniforme en los filtros, se instaló una base metálica de 3 m de altura y una base intermedia de 1.5m para asegurar la misma altura de la lámina de agua y mantener la misma velocidad, esto se puede comprobar con la ecuación de Torricelli que menciona que la velocidad del fluido depende de la altura del agua.  $v = \sqrt{2gh}$ . Ya determinada la altura se pudo aplicar la fórmula  $Q = v * A$  para determinar el caudal.

### **3.10.2.FASE II. ESTABLECIMIENTO DE LA CARGA SUPERFICIAL, TIEMPO DE RETENCIÓN Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN LOS FILTROS ELABORADOS.**

#### **3.10.2.1. ACTIVIDAD 4. TOMA DE DATOS**

A los tamaños de filtros utilizados, se les realizó el cálculo de sus parámetros de área, volumen y en cuanto a la muestra de agua para determinar la velocidad del caudal se utilizó la formula [2.1].

Se realizó el análisis de sólidos suspendidos, previa a su colocación en el filtro este mantuvo el fluido continuo durante el periodo de una semana para medir la eficiencia del filtro, de los cuales se tomaron 10 muestras en diferentes tiempos como se muestra en la tabla, para comparar los resultados de los análisis antes y después del filtrado y con los resultados de los análisis del filtro en blanco.

**Cuadro 3.4.** Tiempos para las repeticiones.

Nº	Muestras	Tiempo (hora)
1	19	0,16
2	19	1
3	19	5
4	19	12
5	19	24
6	19	24
7	19	24
8	19	24
9	19	24
10	19	24

Fuente: Autores (2017)

**3.10.2.2. ACTIVIDAD 5. TOMA DE DATOS DEL PROCESO**

Luego, en cada filtro se realizó la aplicación de las muestras de agua y se tomó nota del tiempo que le toma al agua realizar el recorrido (tiempo de retención) en cada unidad experimental. Cada porción de agua, una vez recorrido el filtro, fue recogida y el caudal de salida del filtro se calculó mediante la fórmula de  $Q= V \cdot A$ , posteriormente se realizó el análisis de sólidos suspendidos finales.

**3.10.2.3. ACTIVIDAD 6. CÁLCULO DE PARÁMETROS**

De acuerdo con las formulas [2.2], [2.3] y [2.4] se calculó la eficiencia en remoción de sólidos suspendidos, la carga superficial y tiempo de retención de cada unidad experimental.

**3.10.3.FASE III. DETERMINACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL.****3.10.3.1. ACTIVIDAD 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS**

Los datos obtenidos (carga superficial, tiempo de retención y eficiencia), fueron tabulados y se estableció el rango de cada tratamiento, luego, con la utilización del software estadístico SPSS (SPSS, 2016) se establecieron las diferencias entre tratamientos y niveles en estudio con la aplicación de un DBCA (Badii, *et al.*, 2007).

### **3.10.3.2. ACTIVIDAD 8. ESTABLECIMIENTO DEL MEJOR TRATAMIENTO**

De acuerdo con la eficiencia de cada tratamiento reflejada en los análisis de laboratorio, y en base el costo de la aplicación de cada uno, se estableció el tratamiento más factible para su aplicación en campo.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ELABORACIÓN DE FILTROS

Para cumplir con el primer objetivo de esta investigación se obtuvo el material para el medio filtrante de la piladora ubicada en la vía Tosagua y de las trabajadoras de manualidades de la Parroquia Calceta. A continuación, en el Cuadro 4.1, se detalla el total de material para cada tratamiento

Cuadro 4.1. Detalle de los materiales usados en cada tratamiento

Tratamiento/forma	Formula %*cant/100=R//	Concentraciones
Tratamiento 1	5% de 20 lb = 1 lb	19 lb barro-1lb cascarilla de arroz
Tratamiento 2	5% de 20 lb = 1 lb	19 lb barro-1lb cascarilla de arroz
Tratamiento 3	10% de 20 lb = 2 lb	18 lb barro-2 lb cascarilla de arroz
Tratamiento 4	10% de 20 lb = 2 lb	18 lb barro-2 lb cascarilla de arroz
Tratamiento 5	15% de 20 lb= 3 lb	17 lb barro-3 lb cascarilla de arroz
Tratamiento 6	15% de 20 lb= 3 lb	17 lb barro-3 lb cascarilla de arroz

Se realizó el cálculo para la determinación de la cantidad de medio filtrante a ubicar en cada filtro. Se aplicó formula 4.1 para determinar el volumen del filtro y de los discos y la fórmula 4.2 para el volumen de las esferas. Luego, la relación entre estos estableció el número de medios filtrantes para cada filtro.

$$V. fil = \pi * r^2 h [ 4.1 ]$$

$$V. fil = \pi * (5,08cm)^2 \cdot 25cm$$

$$V. fil = 2026,83$$

$$V. esf = \frac{4}{3} \pi r^3 [ 4.2 ]$$

$$V. esf = \frac{4}{3} \pi \cdot 2,5cm^3$$

$$V. esf = 65,44 cm^3$$

$$V. t = \frac{2026,83}{65,44} cm^3$$

$$V. t = 30 \text{ unidades}$$

$$V. Fil = \pi * r^2 h$$

$$V. fil = \pi * (5,08cm)^2 \cdot 25cm$$

$$V = 2026,83cm^3$$

$$V. dis = \pi * r^2 h$$

$$V. dis = \pi * (5,08cm)^2 \cdot 1cm$$

$$V. dis = 81,07cm^3$$

$$V. t = \frac{2026,83}{81,07} cm^3$$

$$V. t = 25 \text{ unidades}$$

**Cuadro 4.2.** Número de elementos (discos o esferas) para la elaboración de los filtros

Forma	Unidades	Total
<b>Esferas</b>	30 x filtro	9 filtros= 270
<b>Discos</b>	25 x filtro	9 filtros= 225

Se diseñó una estructura para el filtrado de agua que incluyó un tanque reservorio alimentado por una bomba encargada de transportar el agua de río, 19 salidas, cada una con 1,5 m de tubo PVC de 0,0127 m conectados a 0,50 m de tubería de 0,1016 m donde se encuentra el medio filtrante, esta estructura conto con una llave de paso antes de que llegue a los medios filtrantes que permitió manejar el fluido del líquido. Para cada filtro se trabajó con las mismas medidas incluido el blanco (Ver Imagen 4.1)



Imagen 4.1. Sistema utilizado

## 4.2. ESTABLECIMIENTO DE INDICADORES

Todos los filtros utilizados poseen las características detalladas en el Cuadro 4.3.

**Cuadro 4.3.** Parámetros generales de los filtros

Parámetro	Unidad	Valor
Área de filtros	$cm^2$	80,75
Altura	$m$	0,50
Volumen de los filtros	$cm^3$	4037,72

En el análisis del proceso de filtración, se utilizaron 5 tiempos de retención (con 6 repeticiones para las 24 horas). Cada uno de estos posee datos de caudal y

carga superficial diferente, calculada a partir del volumen de los filtros, los cuales están detallados en el Cuadro 4.4.

Se controló el agua de salida al final del proceso de los filtros con la utilización de un vaso de precipitación de  $100 \text{ cm}^3$ , en los cuales manipulando la llave de paso se controló el flujo de agua por los filtros hasta conseguir el llenado de los vasos. Los valores obtenidos a partir del filtrado del agua se detallan el Cuadro 4.5, en donde se muestra la media de los valores obtenidos en conjunto con la desviación estándar de cada dato.

El proceso de filtración, a pesar de haber reportado valores superiores al 40% en la remoción de sólidos suspendidos en variadas investigaciones de filtros biológicos (Galindo, *et al.*, 2016), filtros de café (Gutiérrez *et al.*, 2014) y filtros de arena (Valencia *et al.*, 2009); en la investigación, presentan valores inferiores al 2%, con los menores grados de remoción los tratamientos 5 y 3 y los mayores en el blanco y los tratamientos 1 y 7 (Ver Cuadro 4.4).

**Cuadro 4.4.** Tiempo de filtrado, caudal y carga superficial para los tratamientos.

Mezcla	Forma	Caudal( $\text{cm}^3/\text{s}$ )	Carga superficial ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ )	Grado de remoción (%)	Tiempo (s)
0	0	$6,25 \pm 0,00$	$193,49 \pm 0,00$	$1,62 \pm 0,00$	$16,00 \pm 0,00$
1	1	$6,02 \pm 0,66$	$186,46 \pm 20,29$	$0,28 \pm 0,21$	$16,60 \pm 1,95$
1	2	$5,79 \pm 0,71$	$179,31 \pm 21,93$	$0,38 \pm 0,37$	$17,53 \pm 2,23$
2	1	$6,11 \pm 0,73$	$189,05 \pm 22,48$	$0,43 \pm 0,39$	$16,59 \pm 1,92$
2	2	$5,80 \pm 0,85$	$179,66 \pm 26,31$	$0,34 \pm 0,26$	$17,63 \pm 2,84$
3	1	$6,02 \pm 0,84$	$186,37 \pm 25,89$	$0,46 \pm 0,33$	$16,93 \pm 2,40$
3	2	$5,68 \pm 0,77$	$175,87 \pm 23,77$	$0,29 \pm 0,30$	$17,94 \pm 2,58$

### 4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Se realizó el análisis de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos comprobando mediante este la distribución no normal de los datos de tiempo y grado de remoción por lo que se les realizó el análisis de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis (Ver Cuadro 4.5). En cuanto a los restantes, se les realizó la prueba F de igualdad de varianzas que comprobó la existencia de igualdad de varianzas, por los que se les realizó en Análisis de Varianza paramétrica.

**Cuadro 4.5.** Análisis de Shapiro-Wilks de los datos analizados

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Caudal ( $cm^3/s$ )	190	5,92	0,75	0,98	0,1407
Carga superficial ( $cm^3/cm^2/s$ )	190	183,35	23,18	0,98	0,1407
Tiempo (s)	190	17,14	2,32	0,94	<0,0001
Grado de remoción (%)	190	4,30E-03	4,20E-03	0,8	<0,0001

Se realizó el análisis de varianza de los factores por separado, por tiempos de remoción, por tratamiento y por tiempos de remoción + tratamiento. En lo que concierne a las mezclas utilizadas (Factor A) se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los grados de remoción y la no existencia entre los tiempos de retención (Ver Cuadro 4.6).

**Cuadro 4.6.** ANOVA no paramétrica de acuerdo con las mezclas utilizadas

Variable	Mezcla	N	Medias	D.E.	H	P
Grado de remoción (%)	0	10	2	0	28,93	<0,0001
Grado de remoción (%)	1	60	0,33	3,00E-01		
Grado de remoción (%)	2	60	0,38	3,30E-01		
Grado de remoción (%)	3	60	0,37	3,20E-01		
Tiempo (s)	0	10	16	0	3,21	0,3598
Tiempo (s)	1	60	17,07	2,13		
Tiempo (s)	2	60	17,11	2,46		
Tiempo (s)	3	60	17,43	2,52		

En cuanto a las formas en estudio (Factor B) mediante el cual se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los grados de remoción y los tiempos de retención (Ver Cuadro 4.7).

**Cuadro 4.7.** ANOVA no paramétrica de acuerdo con las formas utilizadas

Variable	Forma	N	Medias	D.E.	H	p
Tiempo (s)	0	10	16	0	8,08	0,0176
Tiempo (s)	1	90	16,71	2,08		
Tiempo (s)	2	90	17,7	2,54		
Grado de remoción (%)	0	10	0,02	0	30,38	<0,0001
Grado de remoción (%)	1	90	3,90E-03	3,20E-03		
Grado de remoción (%)	2	90	3,30E-03	3,10E-03		

En el análisis de varianza no paramétrica de los tratamientos, se constató la existencia de diferencias significativas entre los grados de remoción mas no entre los tiempos de retención (Ver Cuadro 4.8).



**Cuadro 4.8.** ANOVA no paramétrica de los tratamientos aplicados

Variable	Mezcla	Forma	N	Medias	D. E.	H	p
Tiempo (s)	0	0	10	16	0	8,96	0,1755
Tiempo (s)	1	1	30	16,6	1,95		
Tiempo (s)	1	2	30	17,53	2,23		
Tiempo (s)	2	1	30	16,59	1,92		
Tiempo (s)	2	2	30	17,63	2,84		
Tiempo (s)	3	1	30	16,93	2,4		
Tiempo (s)	3	2	30	17,94	2,58		
Grado de remoción (%)	0	0	10	0,02	0	35,79	<0,0001
Grado de remoción (%)	1	1	30	2,80E-03	2,10E-03		
Grado de remoción (%)	1	2	30	3,80E-03	3,70E-03		
Grado de remoción (%)	2	1	30	4,30E-03	3,90E-03		
Grado de remoción (%)	2	2	30	3,40E-03	2,60E-03		
Grado de remoción (%)	3	1	30	4,60E-03	3,30E-03		
Grado de remoción (%)	3	2	30	2,90E-03	3,00E-03		

En cuanto al caudal (Ver Cuadro 4.12) y la carga superficial (Ver Cuadro 4.13), presentan un coeficiente de variación de 12,52%, contante en ambos parámetros debido a que el uno (carga superficial) es resultado del otro (caudal). En ambos, se comprobó no la existencia de diferencias significativas entre las formas utilizadas y la existencia entre los tratamientos y las mezclas utilizadas.

**Cuadro 4.9.** ANOVA del caudal

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo.	5,36	6	0,89	1,63	0,1423
Mezcla	1,46	3	0,49	0,89	0,4498
Forma	3,81	1	3,81	6,93	0,0092
Mezcla*Forma	0,09	2	0,05	0,08	0,9208
Error	100,64	183	0,55		
Total	106	189			

**Cuadro 4.10.** ANOVA de la carga superficial

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5140,6	6	856,77	1,63	0,1423
Mezcla	1399,79	3	466,6	0,89	0,4498
Forma	3653,8	1	3653,8	6,93	0,0092
Mezcla*Forma	87,01	2	43,5	0,08	0,9208
Error	96453,16	183	527,07		
Total	101593,75	189			

Mediante la prueba de Tukey con el 5% de significancia se establecieron los niveles de clasificación para todos los datos que presentaron diferencias significativas. En esta se determinó que los menores grados de remoción se

presentaron en la mezcla 1 (5% cascarilla + 95% barro) y los mayores en la filtración testigo (Ver Cuadro 4.11).

**Cuadro 4.11.** Prueba Tukey al 5% de significancia de los grados de remoción de acuerdo con mezclas realizadas

Mezclas	Media del grado de remoción (%)
0	2,00 B
1	0,37 A
2	0,33 A
3	0,38 A

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

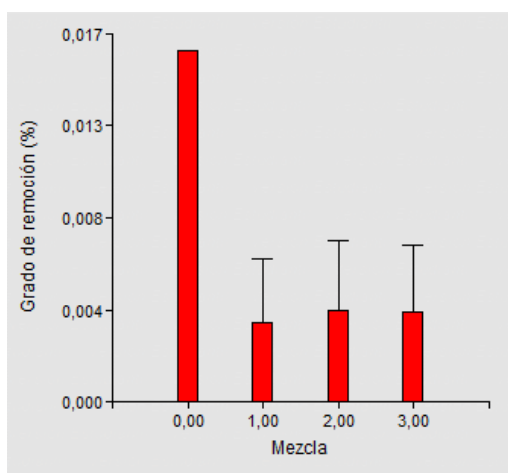


Gráfico 4.1. Grados de remoción de acuerdo con las proporciones de las mezclas

Considerando las formas del medio filtrante, el filtro sin presencia de medio filtrante presenta los mayores grados de remoción y los discos los menores grados de remoción; los mayores valores de caudal y carga superficial los presentó el filtro sin medio filtrante y los menores los discos. Ver cuadro (4.12)

**Cuadro 4.12.** Prueba Tukey al 5% de significancia de los grados de remoción de acuerdo con las formas del medio

Forma del medio filtrante	Media aritmética		
	Grados de remoción (%)	Caudal ( $cm^3/s$ )	Carga superficial ( $cm^3/cm^2/s$ )
2	0,33 A	5,76 A	178,28 A
1	0,39 A	6,05 AB	187,29 AB
0	2 B	6,25 B	193,49 B

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

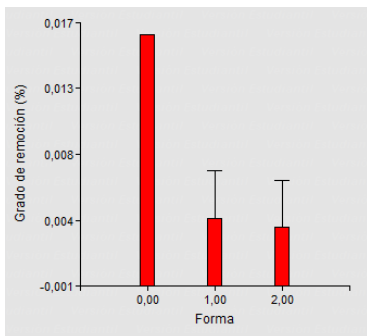


Gráfico 4.2. Grados de remoción según la forma del medio filtrante

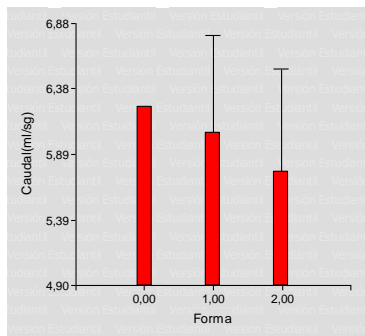


Gráfico 4.3. Caudal de acuerdo con la forma del medio filtrante

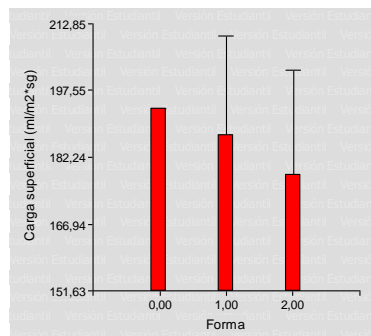


Gráfico 4.4. Carga superficial de acuerdo con la forma del medio filtrante

En los tratamientos, la prueba de Tukey con el 5% de significancia (Ver Cuadro 4.13) muestra que el mayor grado de remoción fue el obtenido en el testigo y los menores en los tratamientos 1 y 6.

Cuadro 4.13. Prueba Tukey al 5% de significancia de los grados de remoción de acuerdo con los tratamientos

Mezcla	Forma	Media aritmética					
		Grados de remoción (%)		Caudal $cm^3/s$		Carga superficial $cm^3/cm^2/s$	
0	0	2,00	C	6,25	B	193,49	B
1	1	0,28	A	6,02	AB	186,46	AB
1	2	0,38	AB	5,79	AB	179,31	AB
2	1	0,43	AB	6,11	AB	189,05	AB
2	2	0,34	AB	5,8	AB	179,66	AB
3	1	0,46	B	6,02	AB	186,37	AB
3	2	0,29	A	5,68	A	175,87	A

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

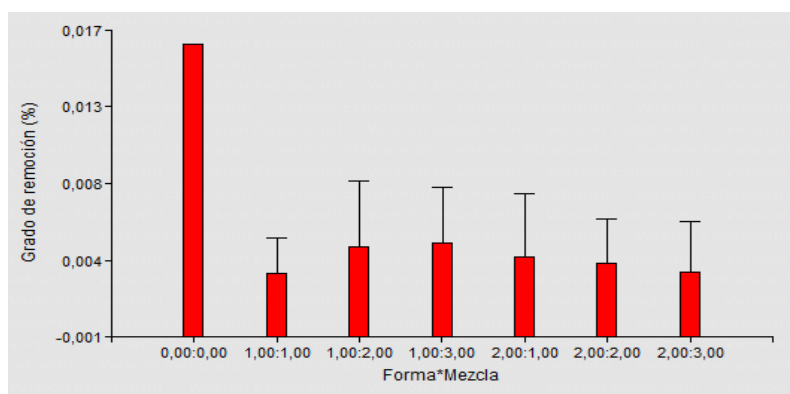


Gráfico 4.5. Grados de remoción de acuerdo con los tratamientos

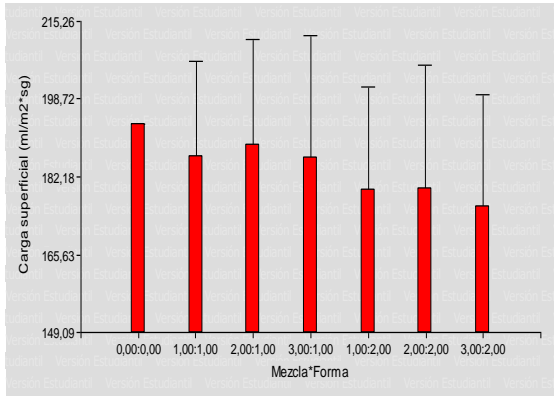


Gráfico 4.6. Carga superficial de acuerdo con los tratamientos

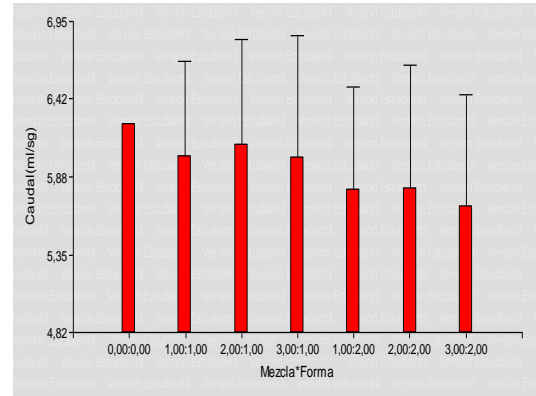


Gráfico 4.7. Caudal de acuerdo con los tratamientos

#### 4.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis planteada en la investigación es rechazada puesto que no existen diferencias significativas entre las diferentes proporciones de cascarilla de arroz con barro y formas utilizadas para la remoción de sólidos suspendidos en una muestra de agua de río. Con estos datos, se puede definir que la utilización de discos o esferas de las características analizadas como medio filtrantes no es una alternativa fiable para la remoción de sólidos suspendidos ni tampoco las mezclas de barro y cascarilla de arroz; esto se evidencia en los análisis de varianza realizados mostrando que no existen diferencias significativas en la variable independiente.

# CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- Para el desarrollo de filtrado se diseñó una estructura que incluyó un tanque reservorio alimentado por una bomba encargada de transportar el agua de río, 19 salidas, cada una con 1,5 m de tubo PVC de 0,0127 m conectados a 0,50 m de tubería de 0,1016 m donde se encuentra el medio filtrante en concentración y formas distintas, siendo las variaciones de concentraciones de (5% (C) – 95%(B); 10%(C) - 90%(B); 15%(C) – 85%(B)) y esferas de 5 cm de diámetro, discos de 1 cm de altura y 10,16 cm de diámetro. Cada tratamiento que incluía esferas ocupó un total de 30 unidades como medio filtrante y para el caso de los discos ocupó 25 unidades
- El proceso de filtración presentó grados de remoción de sólidos suspendidos inferiores al 2%, presentando los menores valores los tratamientos 1 y 6 y los mayores en el blanco y los tratamientos 2 y 3. En cuanto a los tiempos de retención estudiados, los mayores grados de remoción se presentaron con 1 y 6 horas y los menores con 0,14, 5 y 24 horas.
- En el análisis estadístico de las mezclas utilizadas (Factor A) se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los grados de remoción, siendo que los menores grados de remoción se presentaron en la mezcla 1 (5% cascarilla + 95% barro) y los mayores en la filtración testigo. En cuanto a las formas en estudio (Factor B) mediante el cual se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los grados de remoción, el filtro sin presencia de medio filtrante presentó los mayores grados de remoción y los discos los menores grados de remoción. En los tratamientos el mayor grado de remoción fue el obtenido en el testigo y el menor en tratamiento 1 (5% cascarilla +95% barro, con forma de esferas) y 6 (15% cascarilla +85% barro, con forma de discos), por tanto la utilización de discos o esferas de las características analizadas como medio filtrantes no es una alternativa fiable para la remoción de sólidos suspendidos.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

1. Usar barro cocido en formas de esfera y discos como medio filtrante no aporta remoción de contaminantes, por lo que se recomienda no usar esta técnica para futuras investigaciones.
2. Incursionar con otros tipos de materiales que sean propios del medio para seguir con futuras investigaciones.
3. Si se desea seguir investigando con barro se sugiere que se trabaje con concentraciones y formas distintas a las ya estudiadas en esta investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., 2009. *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*, s.l.: Departamento de Ingeniería Agrícola.
- Aguilar, P., Ballesteros, M. & Jácome, R., 2005. *Cartilla de Operación y Mantenimiento de Sistemas Rurales de Agua Potable con Capacitación superficial*. s.l.:s.n.
- Álvarez, J., Rodríguez, S. & Chacón, E., 2007. Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación del romero (*Rosmarinus officinalis* L.). *Agronomía Colombiana*, 25(2), pp. 224-230.
- Álvarez, M., Alemán, A. & Hormaza, A., 2011. Remoción de rojo básico de un efluente textil simulado: un caso de aplicación de la cascarilla de arroz. *Producción + Limpia*, Enero, 6(1), pp. 66-75.
- Anon., 2008. *Constitución de la República del Ecuador*. Quito: s.n.
- Argandoña, L. & Macías, R., 2013. *Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia colón, cantón portoviejo, provincia de manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013*, Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí.
- Assureira, E., 2012. *Combustible alternativo: La cascarilla de arroz.*, s.l.: s.n.
- Badii, M. J. y otros, 2007. Diseños experimentales e investigación científica. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 4(2), p. 283 – 330.
- Baldwin, 2008. Filtro. *Recomendaciones Técnicas*.
- Basanta, G., Martínez, C., Vázquez, M. & Vázquez, B., 2007. Sostenibilidad del Reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, Julio, 5(4), pp. 1135-8122.
- Benayas, A. F., 2010. *Agua suficiente y limpia para todos*. s.l.:s.n.
- del Pino, A., Repetto, C., Mori, C. & Perdomo, C., 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoam*, 26(1), pp. 43-52.

- Escardino, A., Ramos, J. E. & Enrique, E., 2000. Arcillas cerámicas de la region valenciana. li estudio de las arcillas de los yacimientos de las zonas sichar, mas vell, san juan de moro y araya. *EUROCAS*.
- Fluidscontrol S.A, 2013. *Vida útil de un filtro en función de la superficie del medio filtrante..* [En línea]  
Available at: <http://fluidscontrol.blogspot.com/2013/03/vida-util-de-un-filtro-en-funcion-de-la.html>  
[Último acceso: 25 Febrero 2017].
- Galindo, A., Toncel, E. & Rincón, N., 2016. Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte. *Revista ION*, 29(2), pp. 39-50.
- Garay, J. y otros, 1993. *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos. Tercera edición*. Cartagena: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.
- García, C., García, M. & Vaca, M., 2013. Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. *Tecnura*, 17(38), pp. 68-81.
- Guime, F., 2002. Filtración de Sólidos Suspendidos. *Agua Latinoamérica*, Volumen 5, pp. 20-25.
- Gutiérrez, N., Valencia, E. & Aragón, R. A., 2014. Eficiencia de remoción de DBO5 y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arabica*). *Colombia Forestal*, 17(2), pp. 151-159.
- Henneberg, A. & Briceño, D., 2016. Ensayos a mezclas de barro estabilizadas para el relleno y empañetado de paredes de Bahareque. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 17(1), pp. 143-154.
- J. M. VILLORA, P. C. M. F. B., 2012. *Influencia del procesamiento de materiales cerámicos en su*, Madrid: Cantoblanco.
- Li, J., Lin, Q., Zhang, X. & Yan, Y., 2009. Kinetic parameters and mechanisms of the batch biosorption of Cr(VI) and Cr(III) onto *Leersia hexandra* Swartz biomass. *Journal of Col. and Interf. Sc.*, Volumen 333, pp. 71-77.
- López, F., Guío, N., Fischer, G. & Lasprilla, D., 2008. Propagación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante diferentes tipos de esquejes y sustratos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61(1), pp. 4347-4357.



- MAGAP, 2012. *Sistema de información Nacional de agricultura, ganadería*. [En línea]  
Available at: [www.agricultura.gob.ec](http://www.agricultura.gob.ec)
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C. & Garcia, M., 2004. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales.. *Higiene y Sanidad Ambiental*, pp. 72-82.
- Marta, S., 2005. Boletín de investigaciones marinas y costeras. *invemar*.
- Martín, R. & Font., R., 2011. *Transporte cantidad movimiento sólido-fluido*. s.l.:Universidad de Alicante.
- Peñafiel, S., Brito, G., Zabala, A. & Chafra, A., 2015. Utilización de residuos agroindustriales para la producción de proteína microbiana. 11(27).
- Pérez, A., 2005. *Tratamiento de aguas*. Colombia: Universidad Nacional.
- Prada, A. & Cortés, C., 2010. La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una Alternativa de Aprovechamiento integral. *ORINOQUIA*, 1 Diciembre, Volumen 14, pp. 155-170.
- Rodríguez, G., 2013. *Valorización del residuo Obtendio de la quema de la cáscara de arroz*, Montevideo: Unidad de Comunicación y Transferencia del Tecnología del INIA.
- Rodríguez, Y., Salina, L., Ríos, C. & Vargas, L., 2012. Absorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Enero-Junio.10(1).
- Romero, J., 2002. *Reactor de flujo en pistón*. En: *Tratamiento de aguas residuales*. s.l.:s.n.
- Romero, M., 2011. TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN POTABILIZACIÓN DE AGUA. *ozonoalbacete*.
- Salgado, 2005. *Cascarilla de arroz: un excelente sustituto de la madera*, s.l.: s.n.
- Sánchez., L., Latorre., J. & Valencia, V., 2009. Mejoramiento de la calidad del agua de riego por filtración en múltiples etapas ( $\pm$ IME). *Revista Agronomía Colombiana*, 27(3), pp. 407-415.

SÁNCHEZ, C. I. R., 2013. *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA SAN ISIDRO DEL CANTÓN GUANO*, Riobamba: s.n.

Sanchez, R., Caudillo, R., López, O. & Monroy, R., 2008. *El pH y sus efectos*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.. s.l.:s.n.

Saval, S., 2012. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Biotecnología*.

Sella, A., 2008. *Evaluación de anillos de rashing de una empresa de jabones*, Bogotá: Universidad de La Salle.

Soriano, F. H., 2014. "EFICIENCIA DEL FILTRO DE ARCILLA EN LA PURIFICACIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN CAJAMARCA", CAJAMARCA: UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.

SPSS, 2016. SPSS. [En línea]  
Available at: <https://www.ibm.com/analytics/us/en/technology/spss/>

Suárez, A., Mesa, P., Bravo, V. & Prieto, A., 2015. Evaluación de un sistema de filtros de cascarilla de arroz y luffa cylindrica para el tratamiento de aguas lluvias. *MUTIS*, 5(1), pp. 21-27.

Tewari, N., Vasudevan, P. & Guha, B., 2005. Study on biosorption of Cr(VI) by *Mucor hiemalis*. *Biochemical Engineering Journal*, Volumen 23, pp. 185-192.

Torrecillas, L. & Rodríguez:, R., 2002. Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*.

Torres, P. & Rodríguez, A., 2003. Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio. *servlet*.

TULAS, 2012. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua*. [En línea]  
Available at: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

Universidad de salamanca, s.f. CIDTA. [En línea]  
Available at:  
[http://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/curso/uni\\_05/u5c4s5.htm#Anchorr6](http://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/curso/uni_05/u5c4s5.htm#Anchorr6)

Valencia, V., Sánchez, L. D. & Aponte, A., 2009. Evaluación de la filtración lenta en arena como tratamiento terciario de agua residual doméstica con fines

de reuso agropecuario y piscícola. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, Issue 8, pp. 39-49.

Valverde, A., Sarria, B. & Montea, J., 2007. *Scientia et Technica Año XIII*, Issue 32.

Vargas, E., 1995. *El valor nutritivo de los subproductos del arroz en Costa Rica. Composición química, disponibilidad y uso. Nutrición animal tropical*. s.l.:s.n.

Vargas, L. D., 2004. *Tratamiento de Agua Para Consumo, Plantas de Filtración*. Lima: OPS/ CEPIS/PUB/04.109.

# **ANEXOS**

Anexo 1  
Registro fotográfico.



Anexo 1A. Recolección de materiales



Anexo 1B. Elaboración de medios filtrantes



Anexo 1C. Pesado del papel filtrante



Anexo 1D. Eliminación de humedad



Anexo 1E. Toma de datos



Anexo 1F. Filtración de muestras de agua