

Eficiencia del biofiltro a base de los residuos del cultivo de maíz (*Zea mays*) y cacao (*Theobroma cacao*) para remoción de sólidos en agua.

Patricio Noles Aguilar, Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, Cesar Manuel Zambrano Iza⁽¹⁾

Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, MFL, Calceta, Ecuador

E-mail: chiki1996@live.com

RESUMEN

La investigación radicó en evaluar la eficiencia de los biofiltros a base de residuos de cosecha de maíz (*Zea mays*) y cacao (*Theobroma cacao*) en la remoción de sólidos en agua (turbidez, color, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y pH) del efluente de una actividad camaronera a mediana escala ubicada en la comunidad de San Antonio del cantón Chone. La construcción de la unidad experimental se realizó con tubos pvc de 80cm de altura con diámetro de 10cm complementados por uniones y llaves de paso ubicados en una base metálica. El acondicionamiento de los materiales filtrantes orgánicos consistió en, limpiarlos, secarlos, reducir su tamaño, lavarlos mediante (desinfección con cloro) y por último se los deshidrato, así mismo los materiales inorgánicos se los acondiciono mediante un simple lavado. Se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado que consistió en 4 tratamientos y 3 réplicas T₁ (90% maíz – 10% cacao), T₂ (25% maíz – 75% cacao), T₃ (75% maíz – 25% cacao) y T₄ (20% maíz – 20% cacao). La caracterización del agua residual demostró condiciones físicas, que permitieron la aplicación de los biofiltros, en el cual se encontraron diferencias significativas en los tratamientos aplicados, reportándose que el T₄ es el que presenta mayor eficiencia en la remoción de turbidez 95%, sólidos disueltos totales 25% y sólidos suspendidos totales 84%, el análisis de costo revela que la construcción y acondicionamiento del medio filtrante más eficiente es de \$47,89 para esto se deduce que los biofiltros son una tecnología que permiten mejorar la calidad del agua.

ABSTRACT

The research was based on evaluating the efficiency of biofilters based on corn crop residues (*Zea mays*) and cocoa (*Theobroma cacao*) in the removal of solids in water (turbidity, color, total solids, total suspended solids and pH) of effluent from a medium-scale shrimp activity located in the San Antonio community of city Chone. The construction of the experimental unit was carried out with 80cm high pvc pipes with a diameter of 10cm complemented by joints and stopcocks located in a metal base. The conditioning of the organic filter materials consisted of cleaning, drying, reducing their size, washing them by means of (chlorine disinfection) and finally they were dehydrated, and the inorganic materials were conditioned by simple washing. A completely randomized experimental design was applied, consisting of 4 treatments and 3 replicates T₁ (90% corn - 10% cocoa), T₂ (25% corn - 75% cocoa), T₃ (75% corn - 25% cocoa) and T₄ (20% corn - 20% cocoa). The characterization of the residual water showed physical conditions, which allowed the application of biofilters, significant differences were found in the treatments applied, reporting that T₄ is the one that presents greater efficiency in the removal of turbidity 95%, total solids dissolved 25% and solids Suspended total 84%, the cost analysis indicated that the construction and conditioning of the most efficient filter medium is \$47.89 for this it follows that biofilters are a technology that allows to improve the quality of water.

PALABRAS CLAVES

Biofiltro, remoción., residuos orgánicos, agua residual de camaroneras.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales esenciales y principales de la naturaleza e integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor fundamental para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible (Monge, 2004).

En la actualidad ante la deficiencia de algunos de los métodos de tratamiento de agua y como solución a la generación de residuos de cosecha sumerge la necesidad del aprovechamiento de las características de algunos residuos para ser parte de biofiltros, (Cruz, 2016).

Como una alternativa se presentan los filtros a base de residuos cultivos de maíz y cacao, los mismos que consisten en el paso del agua por un filtro con diferentes tipos de medios filtrantes entre ellos el carbón activado es decir carbonos con una estructura porosa altamente desarrollada, del cual cumplirá funciones fundamentales para mejorar su calidad, este método podrá eliminar cloro, mal olor, sabores desagradables y sólidos como a su vez también retiene algunos contaminantes orgánicos, a esto sumado algunos componentes más como es la arena, grava, gravilla, etc (Cortes, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de titulación se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, en el sitio “El Limón”, en la ciudad de Calceta, del cantón Bolívar, provincia de Manabí, específicamente en los laboratorios del área agroindustrial, se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), por lo cual se realizaron cuatro tratamientos T_1 (90% maíz – 10% cacao), T_2 (25% maíz – 75% cacao), T_3 (75% maíz – 25% cacao) y T_4 (20% maíz – 20% cacao), para los mismos que se hicieron tres repeticiones, de un total equivalente de 12 unidades experimentales, dichos tratamientos fueron en combinaciones de residuos de maíz y cacao con el fin de complementar la eficiencia de los tratamientos, de la misma manera se utilizaron programas para el análisis estadístico tales como: InfoStat versión 2008, Excel versión 2013 y Statgraphics versión 17.

FASE 1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN LA DESCARGA DE UNA ACTIVIDAD CAMARONERA

FASE 2. APLICACIÓN DE DIFERENTES VOLÚMENES DE RESIDUOS DE MAÍZ Y CACAO EN FILTROS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

FASE 3. ANÁLISIS DE COSTO DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN LA DESCARGA DE UNA ACTIVIDAD CAMARONERA

La recolección de la muestra del efluente de una actividad acuícola se realizó en la comunidad, San Antonio perteneciente al cantón Chone. En su caracterización inicial se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 1. Resultados caracterización de muestra de agua.

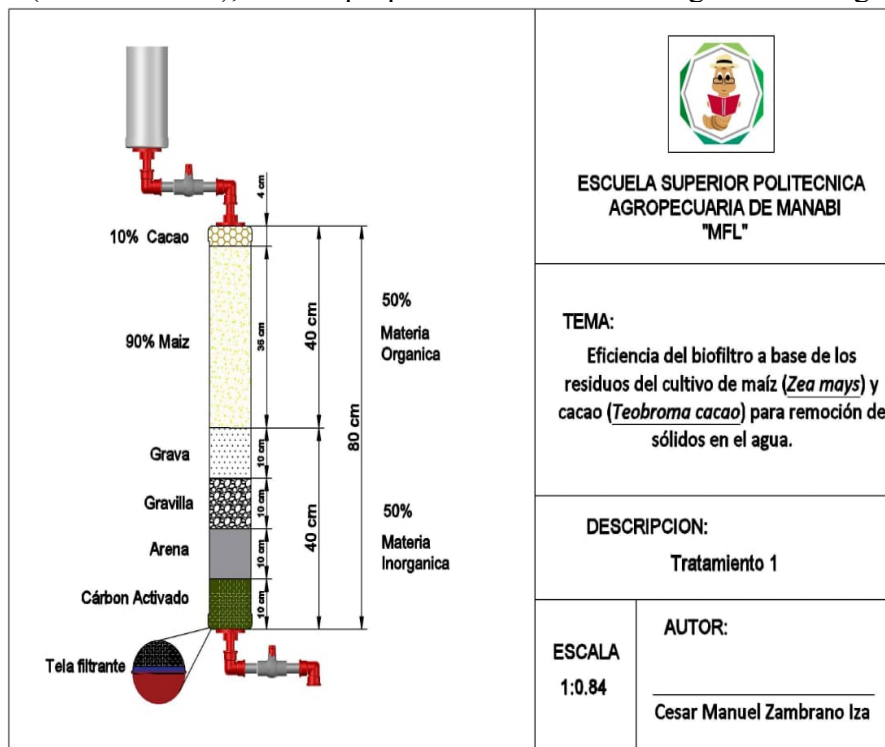
Indicadores	Método	Resultados	Unidades
Sólidos Disueltos Totales	Gravimetría	6.400	mg/l
Sólidos Suspendidos totales	Gravimetría	90	mg/l
Turbidez	Turbidimetría	104	NTU
Color	Espectrofotometría	170	Pt/Co
pH	Potenciómetro	7,95	-

Fuente: Zambrano (2019)

ESQUEMATIZACIÓN DE LOS BIOFILTROS

En la imagen 1 se ilustra el esquema de las proporciones utilizadas en el tratamiento 1, enfatizando que se lo realizo de acuerdo a la altura del filtro y a sus parámetros de diseño

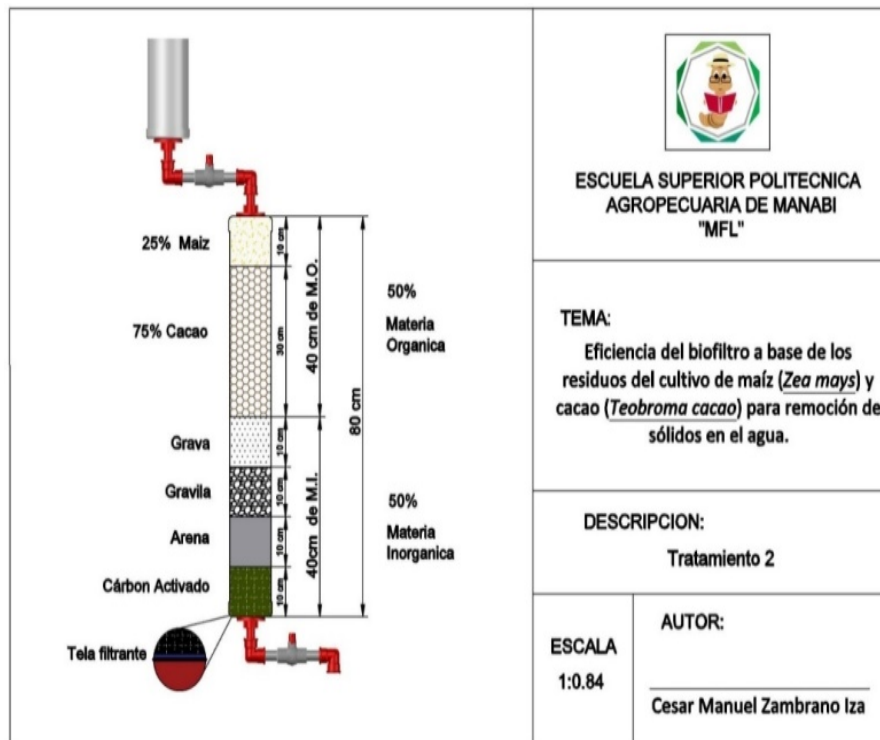
Imagen 1. (Tratamiento 1), con las proporciones de materia orgánica e inorgánica



Su composición se encuentra dividida en un 50% de materia orgánica equivalente a 40cm de altura la misma que contempla las proporciones 90% maíz (36cm) y 10% cacao (4cm), en la parte baja del biofiltro que corresponde al 50% restante es decir 40cm se encuentra ubicada la materia inorgánica, conformada por grava (10cm), gravilla (10cm), arena (10cm) y carbón activado (10cm).

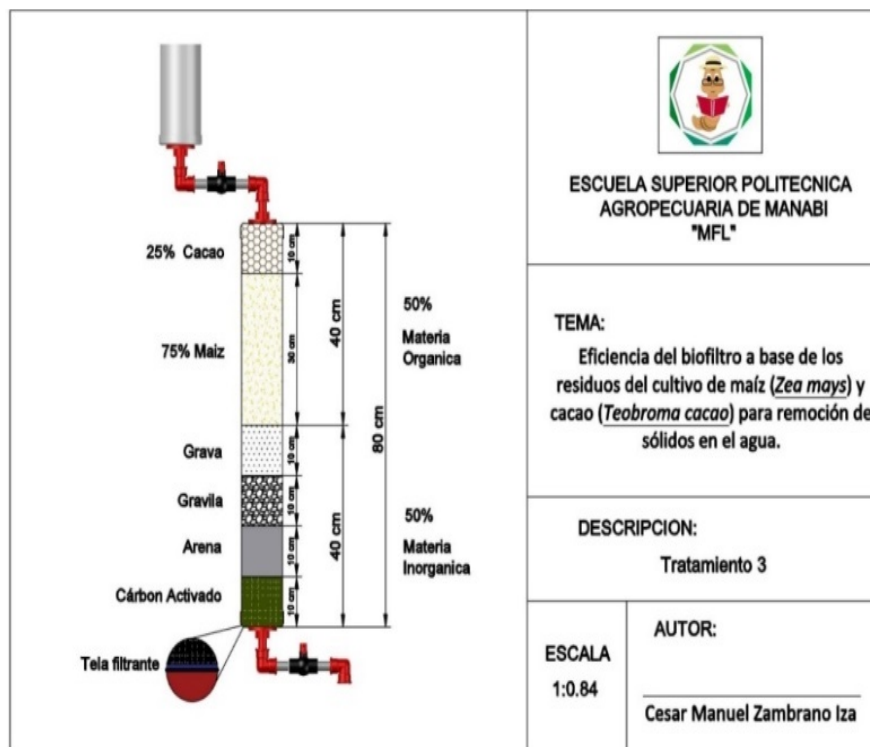
Imagen 2. (Tratamiento 2), con las proporciones de materia orgánica e inorgánica

La



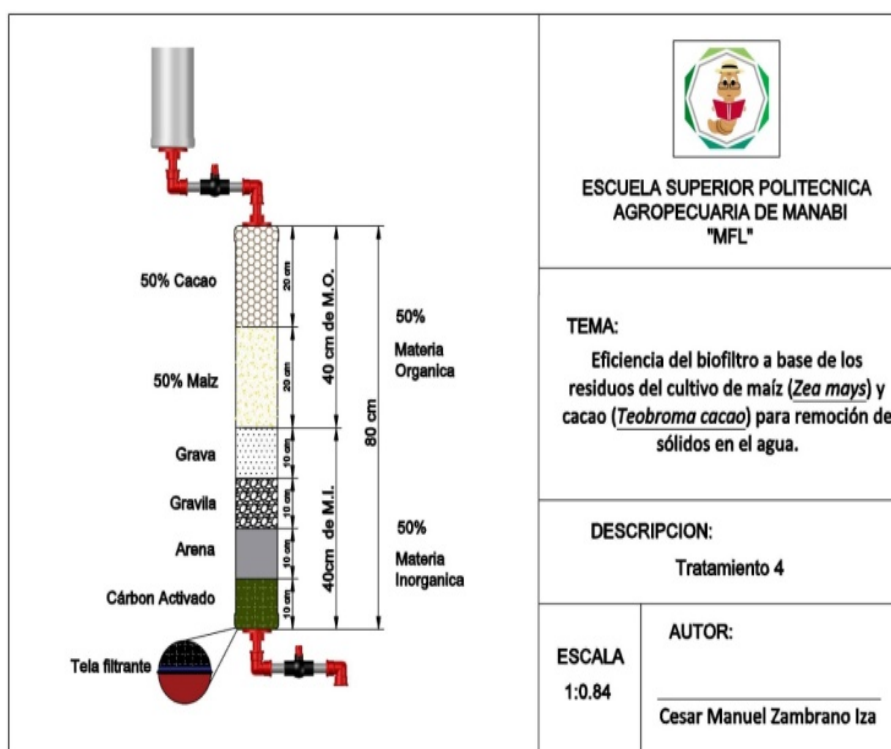
composición se encuentra dividida en un 50% de materia orgánica equivalente a 40cm de altura la misma que contempla las proporciones 25% maíz (10cm) y 75% cacao (30cm).

Imagen 1. (Tratamiento 3), con las proporciones de materia orgánica e inorgánica



La composición se encuentra dividida en un 50% de materia orgánica equivalente a 40cm de altura la misma que contempla las proporciones 75% maíz (30cm) y 25% cacao (10cm).

Imagen 4. (Tratamiento 4), con las proporciones de materia orgánica e inorgánica



La composición se encuentra dividida en un 50% de materia orgánica equivalente a 40cm de altura la misma que contempla las proporciones 20% maíz (20cm) y 20% cacao (20cm).

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ.

Cuadro. 3. Porcentaje de remoción de Turbidez

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T ₁	1	T ₁ R ₁	84
	2	T ₁ R ₂	74
	3	T ₁ R ₃	79
	Eficiencia		79%
T ₂	1	T ₂ R ₁	88
	2	T ₂ R ₂	90
	3	T ₂ R ₃	85
	Eficiencia		87%
T ₃	1	T ₃ R ₁	85
	2	T ₃ R ₂	86
	3	T ₃ R ₃	87
	Eficiencia		86%
T ₄	1	T ₄ R ₁	95
	2	T ₄ R ₂	96
	3	T ₄ R ₃	94
	Eficiencia		95%

En el **cuadro 3**, se detallan los porcentajes de remoción obtenidos en los diferentes tratamientos aplicados para el parámetro de turbidez, obteniéndose que el tratamiento que

presento mayor remoción fue el T4 (20% maíz – 20% cacao), con un 95% de eficiencia, mientras el tratamiento T3 (75% maíz – 25% cacao) alcanzo una 79% de eficacia.

Cuadro 4. Porcentaje de remoción de Color

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T ₁	1	T ₁ R ₁	85
	2	T ₁ R ₂	85
	3	T ₁ R ₃	85
Eficiencia			85%
T ₂	1	T ₂ R ₁	85
	2	T ₂ R ₂	84
	3	T ₂ R ₃	84
Eficiencia			84%
T ₃	1	T ₃ R ₁	45
	2	T ₃ R ₂	31
	3	T ₃ R ₃	25
Eficiencia			33%
T ₄	1	T ₄ R ₁	25
	2	T ₄ R ₂	25
	3	T ₄ R ₃	56
Eficiencia			35%

En el **Cuadro 4.** Se presentan los resultados de la remoción de color. Aplicado los tratamientos correspondientes se denoto una remoción del 84% en el tratamiento T2 (25% maíz – 75% cacao), el T3 (75% maíz – 25% cacao) con un 69% (T3), 35% para el tratamiento (20% maíz – 20% cacao) y para el T1(90% maíz – 10% cacao) la remoción fue de 85% siendo mayor a las demás pero no al 100% con el valor menor a 25 Pt/Co..

Cuadro 5. Porcentaje de remoción de pH.

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T ₁	1	T ₁ R ₁	11
	2	T ₁ R ₂	14
	3	T ₁ R ₃	13
Eficiencia			13%
T ₂	1	T ₂ R ₁	16
	2	T ₂ R ₂	17
	3	T ₂ R ₃	17
Eficiencia			17%
T ₃	1	T ₃ R ₁	16
	2	T ₃ R ₂	16
	3	T ₃ R ₃	2,8
Eficiencia			12%
T ₄	1	T ₄ R ₁	16
	2	T ₄ R ₂	16
	3	T ₄ R ₃	16
Eficiencia			16%

El **cuadro 5** Demuestra los resultados obtenidos en el variable pH aplicado en los biofiltros. Se constató el comportamiento en cada tratamientos, el tratamiento T2 (25% maíz – 75% cacao) tuvo una remoción de 17%, a su vez se demuestra que el tratamiento T3 (75% maíz – 25% cacao) removió el 12%.

Cuadro 6. Porcentaje de remoción de Sólidos Disueltos Totales

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T ₁	1	T ₁ R ₁	6
	2	T ₁ R ₂	8
	3	T ₁ R ₃	12
Eficiencia			9%
T ₂	1	T ₂ R ₁	21
	2	T ₂ R ₂	7
	3	T ₂ R ₃	10
Eficiencia			13%
T ₃	1	T ₃ R ₁	19
	2	T ₃ R ₂	15
	3	T ₃ R ₃	21
Eficiencia			18%
T ₄	1	T ₄ R ₁	21
	2	T ₄ R ₂	25
	3	T ₄ R ₃	29
Eficiencia			25%

El **cuadro 6** Muestra los valores obtenidos para Sólidos Totales, finalizado el proceso de filtración, se observa que el T4 es el que mayor remoción presentó con un 25%, mientras que el tratamiento que menor remoción manifestó fue el T1 con 9%.

Cuadro 7. Porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos Totales

Tratamiento	Repeticiones	Tratamientos	% de Remoción
T ₁	1	T ₁ R ₁	75
	2	T ₁ R ₂	73
	3	T ₁ R ₃	74
Eficiencia			74%
T ₂	1	T ₂ R ₁	77
	2	T ₂ R ₂	70
	3	T ₂ R ₃	73
Eficiencia			73%
T ₃	1	T ₃ R ₁	81
	2	T ₃ R ₂	83
	3	T ₃ R ₃	80
Eficiencia			81%
T ₄	1	T ₄ R ₁	86
	2	T ₄ R ₂	83
	3	T ₄ R ₃	84
Eficiencia			84%

El **cuadro 7**. Demuestra los porcentajes de remoción obtenidos en cada uno de los tratamientos aplicados, el T4 se presenta como el más eficiente con un 84% de remoción en comparación al T1 que es el que menor remoción presentó 74%,

ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN POR TRATAMIENTOS TURBIDEZ

Tabla 1. ANOVA para % porcentaje de Remoción de Turbidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	388,25	3	129,417	15,53	0,0011
Intra grupos	66,6667	8	8,33333		
Total (Corr.)	454,917	11			

La tabla 1, denota que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % porcentaje de Remoción de turbidez entre un nivel de tratamientos y otro, con un nivel del 95.0% de confianza,

Tabla 2. Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD4 Turbidez

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T ₁	3	79,0	A
T ₃	3	86,0	A B
T ₂	3	87,667	B C
T ₄	3	95,0	C

Es recomendable emplear el tratamiento T1 y T4 que tienen significancia estadística diferente en la remoción de turbidez.

ANALISIS DE LA VARIANZA DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN POR TRATAMIENTOS COLOR

Tabla 3. ANOVA para % porcentaje de Remoción de Color

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7554,92	3	2518,31	23,65	0,0002
Intra grupos	85,0	8	106,5		
Total (Corr.)	8406,92	11			

La tabla 3, denota que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % porcentaje de Remoción de color entre un nivel de tratamientos y otro, con un nivel del 95.0% de confianza

Tabla 4. Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD Color

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T ₃	3	33,66	A
T ₄	3	35,33	A
T ₂	3	84,33	B
T ₁	3	85,0	B

Es recomendable utilizar el tratamiento T2 y T1 ya que presentan una significancia estadística en la remoción de color.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN POR TRATAMIENTOS PH

Tabla 5. ANOVA para % porcentaje de Remoción pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	81,3333	3	27,1111	2,14	0,1733
Intra grupos	101,333	8	12,6667		
Total (Corr.)	182,667	11			

La tabla 5, muestra que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % porcentaje de Remoción de pH entre un nivel de tratamientos y otro

Tabla 6. Método: 95.0 porcentaje LSD pH

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T ₁	3	12,666	A
T ₄	3	16,0	A
T ₂	3	16,666	A
T ₃	3	20,0	A

No difieren una estadística significativa entre ellos.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN POR TRATAMIENTOS SÓLIDOS TOTALES

Tabla 7. ANOVA para % porcentaje de Remoción de T.D.S

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	453,667	3	151.222	6,80	0,0137
Intra grupos	178,0	8	22.25		
Total (Corr.)	631,667	11			

La tabla 7, indica que existe una diferencia estadísticamente significativa en la remoción de Sólidos Totales entre la media de % porcentaje de Remoción

Tabla 8. Método: 95.0 porcentaje LSD T.D.S

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T ₁	3	8,6666	A
T ₂	3	12,666	A B
T ₃	3	18,333	A B
T ₄	3	25,0	B

Aplicada la prueba de Tukey a los tratamientos se determinó dos grupos homogéneos para las medias de los tratamientos en la remoción de sólidos totales

ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN POR TRATAMIENTOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.

Tabla 9. ANOVA para % porcentaje de Remoción de S.S.T

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	266,25	3	88,75	19,72	0,0005
Intra grupos	36,0	8	4,5		
Total (Corr.)	302,25	11			

La tabla 9, indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % porcentaje de Remoción de sólidos suspendidos totales entre un nivel de tratamientos y otro.

Tabla 10. Método: 95.0 porcentaje LSD S.S.T

TRATAMIENTOS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T ₂	3	73,333	A
T ₁	3	74,0	A
T ₃	3	81,333	B
T ₄	3	84,333	B

Aplicada la prueba de Tukey a los tratamientos se identificó dos grupos homogéneos tratamiento 3 y 4 pertenecientes al grupo A que difieren una estadística significativa con el tratamiento 2 y 1, es recomendable usarlos en la remoción de sólidos suspendidos totales.

ANÁLISIS DE COSTO DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE

Mediante las pruebas experimentales en las aguas residuales de la actividad acuícola se determinó que el tratamiento más eficiente es el T₄, a continuación se detalla la cantidad y el valor unitario de los materiales utilizados en la construcción de dicho biofiltro

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Residuo maíz	...	0	0
Residuos cacao	...	0	0
Conector polimex 1/2	3	1,60	4,80
Codo polimex 1/2	4	0,35	1,40
Llave económica	1	1,00	1,00
Tapón pvc 110mm	3	1,00	3,00
tubo económico 110mm	1 m	4,00	4,00
Teflón	1	0,50	0,50
Pega tubo	1	1,25	1,25
Malla	10 cm	0,20	0,20
Arena	10 cm	0,25	0,25
Grava	10 cm	0,25	0,25
Gravilla	10 cm	0,25	0,25
Carbón activado	10 cm	0,75	0,75
Energía eléctrica	36 h	0,04	1,44
Recurso Agua	60 L	0,48	28,8
TOTAL			\$47,89

CONCLUSIONES

Los datos de eficiencia obtenidos mediante el uso del biofiltro de residuos de cosecha y materiales filtrantes, mejoró la composición fisicoquímica del agua residual de la actividad camaronera con la disminución de parámetros como turbidez, color, pH, sólidos totales y sólidos suspendidos totales.

Las combinaciones de material absorbente de maíz y cacao obtuvieron diferencias significativas en la remoción de los parámetros evaluados (sólidos totales, sólidos suspendidos totales, turbidez, color, pH), denotando que el mejor tratamiento fue el T4 con un (84%) de remoción de sólidos suspendidos totales, sólidos totales (25%) y turbidez (95%).

La construcción del biofiltro y el acondicionamiento de los materiales filtrantes del T4 (tratamiento más eficiente) representan un valor económico de \$47,89 dólares.

LITERATURA CITADA

Cortes, J. (2015). Propuesta de un sistema de biofiltración de cromo hexavalente en agua, utilizando olote de maíz. Obtenido de Propuesta de un sistema de biofiltración de cromo hexavalente en agua, utilizando olote de maíz: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49402/UAEM-FAPUR-TESIS-CORTES%2C%20JENNIFER.pdf?sequence=1>

Cruz, G. (2016). Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual. Obtenido de Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual: <http://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/viewFile/36/37>

Monge, C. (2004). El agua: recurso natural y elemento de desarrollo. Obtenido de El agua: recurso natural y elemento de desarrollo:

<http://www.fusda.org/revista11pdf/Revista11-2ELAGUARECURSONATURALYELEMENTODEDESARROLLO.pdf>