

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Eficiencia del biocarbón en los parámetros microbiológicos y físicos químicos de las aguas de un ecosistema acuático artificial

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental

Autor:

Alessandra Adriana Ampuero Antazu
Patricia Lisbet Romero Bueno
Riter Jean's Esnaider Sanchez Vasquez

Asesor:

Ing. Milda Amparo Cruz Huaranga

Lima, agosto de 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Milda Amparo Cruz Huaranga, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFICIENCIA DEL BIOCARBÓN EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICOS QUÍMICOS DE LAS AGUAS DE UN ECOSISTEMA ACUÁTICO ARTIFICIAL”** de los autores Alessandra Adriana Ampuero Antazu, Patricia Lisbet Romero Bueno y Riter Jean's Esnaider Sanchez Vasquez tiene un índice de similitud de 17 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima a los 6 días del mes de octubre del año 2023



Milda Amparo Cruz Huaranga

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **22 días** día(s) del mes de **agosto** del año **2023** siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas y el Ing. Ferrer Canaza Rojas**, y el asesor **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Eficiencia del biocarbón en los parámetros microbiológicos y físicos químicos de las aguas de un ecosistema acuático artificial"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **ALESSANDRA ADRIANA AMPUERO ANTAZU**

.....b) **RITER JEANS ESNAIDER SANCHEZ VASQUEZ**

..... c) **PATRICIA LISBET ROMERO BUENO**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **ALESSANDRA ADRIANA AMPUERO ANTAZU**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): **RITER JEANS ESNAIDER SANCHEZ VASQUEZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE


Candidato (c): **PATRICIA LISBET ROMERO BUENO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio



Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Asesor
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Miembro
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Miembro
Ing. Ferrer Canaza
Rojas

Candidato/a (a)
Alessandra Adriana

Candidato/a (b)
Riter Jeans Esnaider

Candidato/a (c)
Patricia Lisbet

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
Área geográfica de estudio	6
Metodología de campo	7
Elaboración del biocarbón	7
Diseño del filtro.....	8
Muestreo de agua.....	8
Diseño estadístico	9
3. RESULTADOS	9
Resultados microbiológicos	9
Resultados físico químicos	9
4. DISCUSIÓN:	9
Análisis de los resultados en cuanto a Coliformes Totales	11
Análisis de resultados en cuanto a Coliformes termotolerantes:	11
Análisis de resultados en cuando a Escherichia Coli:	12
Análisis de los resultados físico-químicos	13
5. CONCLUSIÓN	14
6. AGRADECIMIENTOS	14
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

Eficiencia del biocarbón en los parámetros microbiológicos y físicos químicos de las aguas de un ecosistema acuático artificial

Alessandra Adriana Ampuero Antazu¹, Patricia Lisbet Romero Bueno¹, Riter Jean 's Esnaider Sanchez Vasquez¹, Ases. Milda Amparo Cruz Huaranga¹.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue medir la eficiencia del biocarbón en el tratamiento de las aguas residuales para su disminución en los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, y su uso como agua de riego para las áreas verdes, el proyecto se desarrolló mediante la elaboración de tres filtros de arena con biocarbón (tamizado a diferentes granulometrías) en bidones de agua de 20L, el biocarbón se obtuvo mediante el método de pirólisis rápida usando rastrojos vegetales (*Schinus molle*), el cual fue caracterizado en el laboratorio de Equipos especializados de la UNMSM, los análisis microbiológicos y fisicoquímicos fueron Pre y Post tratamiento, los cuales fueron sometidos a análisis estadísticos mediante el método DBCA en el programa R studio. El resultado final muestra la eficiencia promedio del biocarbón en un 88-98% para la disminución del parámetro microbiológicos (E. Coli, C. Termotolerantes y C. Totales) lo que permite el cumplimiento de la normativa peruana para el ECA AGUA MINAM 2017 Categoría 3: D3 - Agua para riego no restringido; así mismo, el tratamiento no realizó una variación significativa en los parámetros físico químicos.

Palabras clave: Filtros, Biocarbón, Aguas , Microbiológico, Fisicoquímico.

EFFICIENCY OF BIOCHAR ON THE MICROBIOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF WATER IN AN ARTIFICIAL AQUATIC ECOSYSTEM

ABSTRACT

The objective of this research was to measure the efficiency of biochar in the treatment of wastewater for its decrease in microbiological and physicochemical parameters, and its use as irrigation water for green areas, the project was developed through the development of three sand filters with biochar (sieved at different particle sizes) in 20L water drums, The biochar was obtained by the rapid pyrolysis method using vegetable stubble (*Schinus molle*), which was characterized in the specialized equipment laboratory of the UNMSM, the microbiological and physicochemical analyses were Pre and Post treatment, which were subjected to statistical analysis using the DBCA method in the R studio program. The final result shows the average efficiency of the biochar in 88-98% for the decrease of the microbiological parameter (E. Coli, C. Thermotolerant and C. Total) which allows compliance with Peruvian regulations for the ECA AGUA MINAM 2017 Category 3: D3 - Water for unrestricted irrigation; likewise, the treatment did not perform a significant variation in the physical-chemical parameters.

Keywords: *Filters, Biochar, Water, Microbiological, Physicochemical.*

¹ Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Lima Perú.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los graves problemas que trae consigo el cambio climático es la escasez hídrica. (FAO, 2022) Considerando que a nivel mundial la eutrofización es el principal problema relacionado con la mala calidad del agua, resultado del aumento de los niveles de nutrientes; afectando significativamente al uso del agua. (WWAP, 2019) El escaso tratamiento que se le brinda a las aguas residuales, también es considerado un grave problema; datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, señala que el 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas. (UNESCO, 2017) Escritos proporcionados por el Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe menciona que solo el 30 % y 40% de las aguas residuales recolectadas son tratadas, teniendo un impacto negativo en la salud, el medio ambiente y la economía. (BIRF y AIF, 2020) Según datos brindados por la SUNASS en el 2008, señalan que el 70% de las aguas residuales a nivel nacional no cuentan con ningún tratamiento; asimismo se sabe que de las 143 PTAR, solo el 14% cumplen con las normativas peruanas (J. Fernando et al., 2015).

Es por ello que uno de los objetivos de la ODS “Acceso a agua, servicios de saneamiento e higiene seguros para todos en 2030”, se enfoca en garantizar la disponibilidad y gestión de agua limpia y saneamiento para todos. (UNESCO, 2022) Centrando su atención en la sostenibilidad, mejorando de esta manera la calidad del agua, y donde la recuperación del agua residual contribuya a la llamada economía circular. (Rodríguez et al., 2020)

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), a través de la Evaluación de Desempeño Ambiental (EDA) en el Perú, señala que se debe prohibir la reutilización de las aguas residuales en el riego de áreas verdes sin un previo tratamiento, constituyendo, un problema para la salud pública y ambiental. (CEPAL, 2016) Es por ello, la importancia de buscar alternativas de solución rápidas, eficaces y de bajo costo para el tratamiento eficiente de estas aguas residuales, generando de esta manera aguas seguras

para su reutilización en diversas actividades (riego de áreas verdes, bebidas para animales, etc.). (Paucar, F. e Iturregui p., 2020)

El biocarbón es un subproducto procedente de la pirolización de biomasa seca. (D. Présiga-López et al., 2021). Su fácil obtención, hace que dicho material sea producido directamente en el campo, donde es mucho más fácil transportar la materia prima clave para su obtención. (Escalante et al., 2016). Debido a su alta porosidad en su estructura y demás características (área superficial y grupos funcionales presentes en su estructura), este se ha convertido en un material alternativo viable para su uso en la remoción de diferentes contaminantes presentes en las aguas residuales. (D. Présiga-López et al., 2021)

Por lo tanto, nuestra investigación busca tratar el agua de la laguna de la mansión ubicada dentro de las instalaciones de la Universidad Peruana Unión (UPeU), con el solo objetivo de evaluar la eficiencia del biocarbón adaptado a un filtro vertical de arena, brindando una alternativa de tratamiento primario a la laguna, permitiendo cumplir con el ECA Agua, siendo apta para su uso como agua de riego para las áreas verdes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área geográfica de estudio

Se llevó a cabo la investigación y el desarrollo experimental utilizando el agua superficial de la laguna “La Mansión”, ubicada dentro de las instalaciones privadas de la Universidad Peruana Unión, en el Kilómetro 19 de la Carretera Central, Lurigancho, Lima.

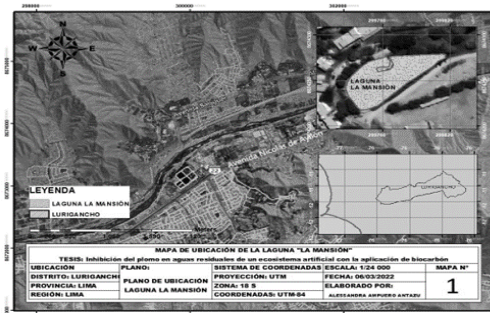


Figura 1. Plano de la laguna “La Mansión”

Metodología de campo

En la investigación se elaboraron 3 filtros con capas de arena fina, arena gruesa, grava y biocarbón de diferentes granulometrías. Así mismo se utilizaron bidones de 20 Litros como contenedores, los cuales fueron descontaminados previamente. La arena y grava fueron lavadas antes de su uso para reducir la presencia de sales minerales y otros contaminantes. El biocarbón se elaboró a base de rastrojos de poda, los cuales fueron proporcionados por el área de Ornato de la UPeU, posteriormente fueron tamizados a diferentes granulometrías.

Para el diagnóstico de contaminación del agua de la laguna artificial se usó el Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales y se comparó con el ECA agua Categoría 3: D1 Agua para riego no restringido. Los parámetros evaluados fueron: pH, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos, Temperatura, microorganismos termotolerantes y E. Coli.

Se realizaron 4 análisis del agua de la laguna en distintas temporadas, permitiendo tener las características del agua antes del tratamiento. Posteriormente se realizó el tratamiento y monitoreo del agua tratada durante 7 días, utilizando los filtros con biocarbón como tratamiento. En cada monitoreo se realizaron los análisis fisicoquímicos in situ, los microbiológicos y DBO5 en el laboratorio de microbiología de la UPeU.

Elaboración del biocarbón

El proceso para la obtención del biocarbón fue a través de la pirólisis de la biomasa (Novotny, et al., 2015). Algunos artículos científicos mencionan que, para un adecuado procesamiento, el precalentando del horno debe estar aproximadamente a 160°C inicialmente y gradualmente a razón de dos grados Celsius por minuto durante una hora, hasta alcanzar la temperatura total de 400 a 600 °C, posterior a ello se dejaría enfriar la muestra. (Iglesias, S., et al., 2020).

Para este método nos guiamos del proceso de pirólisis convencional de (Pinedo, 2013),

que nos indica utilizar un contenedor de metal en el que se colocó la biomasa vegetal seca y se calentó hasta los 600°C.

Durante el proceso de Pirólisis se utilizó un termómetro infrarrojo, con él cual se monitoreo el precalentado del Cilindro a razón de 300 °C a 500 °C, luego se procedió a añadir biomasa vegetal seca, dejando que se consuma entre 5 a 10 minutos a una temperatura de 550 °C, se repite el proceso con el resto de biomasa.

Una vez terminado, “se descartó 0.2 cm de material que se encuentra encima del biocarbón obtenido, debido a que el material superficial ha estado expuesto más tiempo al oxígeno y se ha convertido en cenizas” (Ayala et al., 2022).

Posteriormente a la selección del biocarbón recién pirolizado, enfriado y triturado, se realiza el tamizado con 3 granulometrías. El primer filtro tuvo un biocarbón del tamaño de 1.18 mm (Tamiz N°16), el segundo filtro tuvo biocarbón del tamaño de 2.00 mm (Tamiz N° 10) y por último el tercer filtro tuvo un biocarbón del tamaño de 4,75 mm (Tamiz N° 4).

Para la caracterización del biocarbón en las fases de pretratamiento y post tratamiento, se mandó a observar su estructura a un laboratorio. Mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido, se pudo verificar la formación de los poros de adsorción a una resolución de 30 micras (Ipohorski & Bozzano, 2013).

En la figura 2, se observa la caracterización del biocarbón empleado en el Filtro 1 luego de la trituración y el cribado con el tamiz # 16 (1.18mm), en él se observa que la estructura del biocarbón fue fragmentado en gran manera, lo cual aumentó la presencia de microporos, sin embargo, destruyó gran parte de la estructura.

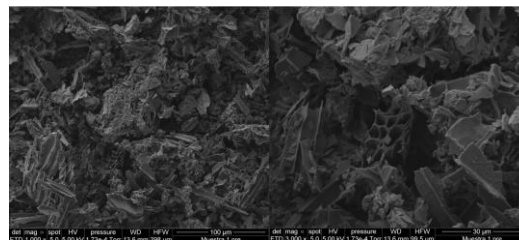


Figura 2. Caracterización del biocarbón del Filtro 1

En la figura 3 se observa la caracterización de la estructura del biocarbón empleado en el Filtro 2 luego de la trituración y cribado con el tamiz # 10 (2 mm), en el cual se aprecia que la estructura de los microporos está casi intacta teniendo mayor superficie específica de microporos y mayor volumen de los mismos.

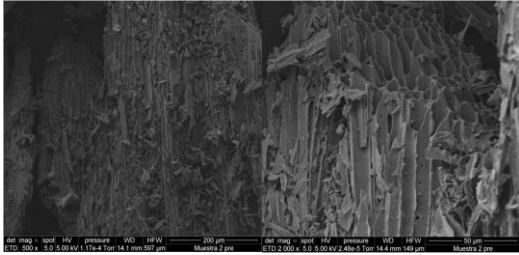


Figura 3. Caracterización del biocarbón del filtro 2

En la Figura 4 se observa el biocarbon empleado en el Filtro 3 posterior a su trituración y cribado con el tamiz # 4 (4.75 mm), en la imagen de la izquierda podemos observar la estructura a 1mm, en la imagen de la derecha se observa la misma estructura a 200 micras, lo cual nos indica que el biocarbón con este diámetro no llega a generar demasiada superficie específica de microporos, manteniéndose la estructura casi intacta.

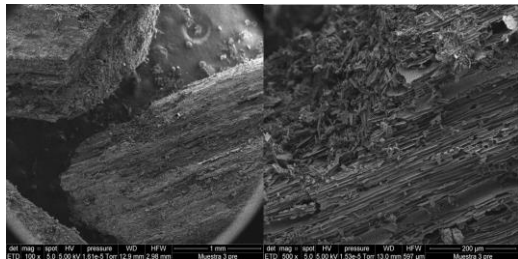


Figura 4. Caracterización del biocarbón del filtro 3

Diseño del filtro

Los tres filtros cuentan con la misma estructura (Grava, Arena gruesa, Biocarbón, Arena gruesa, Biocarbon, Arena fina y algodón) la única diferencia entre ellos es la granulometría del biocarbón que portan, para el caso del Filtro 1 (F1) llevó biocarbon que fue molido y cribado con un tamiz # 16(1.18mm), el Filtro 2 (F2) con un tamiz # 10(2 mm) y el Filtro 3 (F3) con un tamiz # 4

(4.75 mm). El diseño completo se aprecia en la Figura 5.

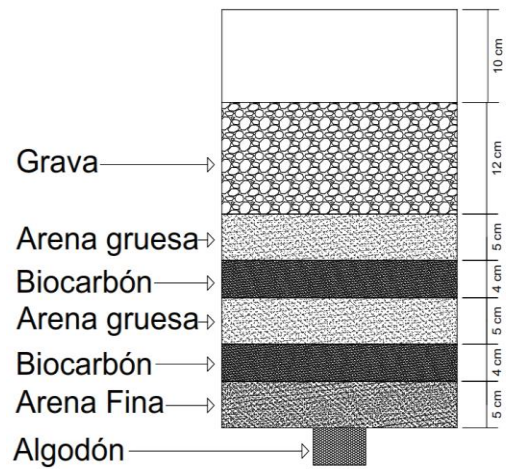


Figura 5. Diseño de Filtro

Muestreo de agua

Para el diagnóstico microbiológico y fisicoquímico del agua de la Laguna artificial se tomaron muestras compuestas. (ANA, 2016) El monitoreo se llevó a cabo cada 4 días por 2 semanas.

En el análisis microbiológico, se contó con envases de vidrio previamente rotulados y esterilizados de 475 ml, luego se cerró herméticamente. Se guardó la muestra en un cooler (Gallo et al., 2011), donde posteriormente se realizó la metodología de la prueba de tubos múltiples de fermentación, la cual permitió determinar la presencia de microorganismos termotolerantes a través del NMP (Herigstad et al., 2001).

Los análisis físico químicos se realizaron in situ y se tomó una muestra para el DBO5, los materiales usados para ello fueron 1 balde de 5 L, 1 balde de 20L, 4 frascos de 1L rotulados, soga, cuaderno de campo, cadena de custodia, Medidor de Ph portátil, Conductímetro portátil, Termómetro, Agua destilada y GPS.

Para analizar el agua obtenida del tratamiento mediante filtros de biocarbón se siguió la misma metodología que en el diagnóstico de la laguna artificial.

Diseño estadístico

$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$ $i=1,2,\dots,t$ $j=1,2,\dots,r$ <p> μ = Parámetro, efecto medio τ_i = Parámetro, efecto del tratamiento I β_j = Parámetro, efecto del bloque j ε_{ij} = valor aleatorio, error experimental de la u.e. i,j Y_{ij} = Observación en la unidad experimental </p>

Figura 6. Modelo del DBCA

3. RESULTADOS

Los análisis microbiológicos y físicos realizados al agua tratada de los 3 tipos de filtro, obtuvieron los siguientes resultados: En la tabla 1 se puede observar los tres parámetros microbiológicos, donde los Coliformes totales del F1, F2 y F3 tuvieron una eficiencia de 96.8%, 98.99%, 87.4% respectivamente, en Coliformes termotolerantes se demostró una eficiencia de 96.88% (F1), 98.99% (F2) y 88.21% (F3) respectivamente, en Escherichia Coli (E.Coli) la eficiencia de los filtros fueron, F1= 95.07% F2=95.07 y F3= 91.07%

Tabla 1

Resultados microbiológicos

Parámetros	U. medida	R. Pre	R. Post			Eficiencia (%)		
Microbiológicos	Blanco	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	
C. Totales	NMP/100ml	>1600	50.3	16.2	201.5	96.8	98.99	87.4
C. Termotolerantes	NMP/100ml	>1600	49.9	16.2	188.7	96.88	98.99	88.21
E. Coli	NMP/100ml	140	6.9	6.9	12.5	95.07	95.07	91.07

Como se observa en la tabla 2 de los resultados físico químicos se obtuvo lo siguiente: El Ph para los tres filtros se encuentra en un rango de entre 7.9 a 8. En cuanto a la conductividad, el agua tratada obtuvo un incremento en comparación con el blanco, tanto el F1 con una variación de 65.2 S/cm, el F2 con una variación de 37.5 μ S/cm y el F3 con una variación de 25.8 μ S/cm.

Los resultados de los STD para los tres filtros en comparación con el blanco fue mayor, obteniendo para el F1 una variación de 37.5 mg/L, para el F2 una variación de 14.2 mg/L y para el F3 una variación de 7.5 mg/L.

Los resultados de la temperatura para los tres filtros se mantuvo en un rango de 21.65 °C a 22.18°C. Por último, los resultados en cuanto al DBO5 para los tres filtros tuvo una

ligera disminución, teniendo una variación de -2 mg/L para el F1, -2.1 mg/L para el F2 y en -2 mg/L para el F3.

Tabla 2

Resultados físico químicos

Parámetros	U. Medida	R. Pre			R. Post			Variación		
Físico-Químico	Blanco	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
pH		7.9	7.95	7.97	8.02	+0.05	+0.07	+0.12		
Conductividad	μ S/cm	537.5	602.7	575	563.3	+65.2	+37.5	+25.8		
S. Totales Disueltos	Mg/L	262.5	300	276.7	270	+37.5	+14.2	+7.5		
Temperatura	°C	22.2	21.65	21.92	22.18	-0.55	-0.28	-0.04		
DBO ₅	Mg/L	3	1	0.9	1	-2	-2.1	-2		

La figura 7 muestra las imágenes electrónicas de barrido del biocarbón antes de su aplicación y después de los 7 días del tratamiento, con ello evidenciamos el biocarbón en sus tres tamaños, los cuales presentan biopelículas tapando los poros.

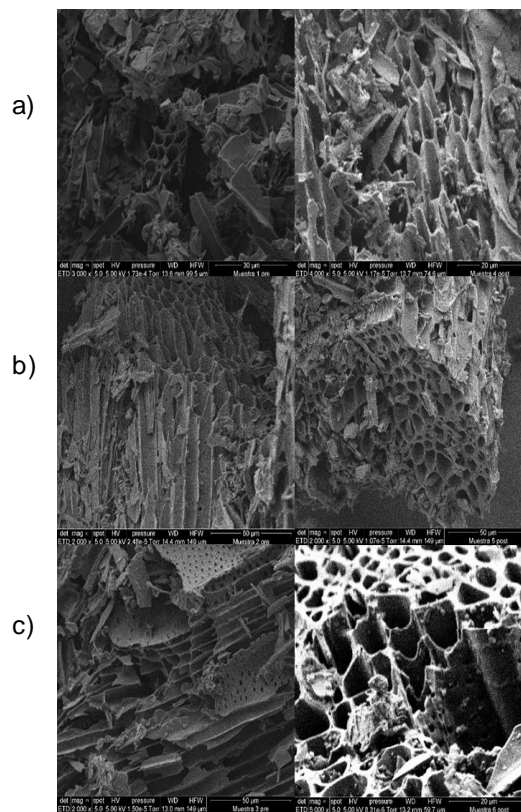


Figura 7.a) Comparación del biocarbón del filtro 1 pre (30 μ m) y post (20 μ m).

b) Comparación del biocarbón del filtro 2 pre (50 μ m) y post (50 μ m)

c) Comparación del biocarbón del filtro 3 pre (50 μ m) y post (20 μ m).

4. DISCUSIÓN:

Al analizar los resultados obtenidos mediante la prueba estadística DBCA, se demostró la eficiencia de los filtros:

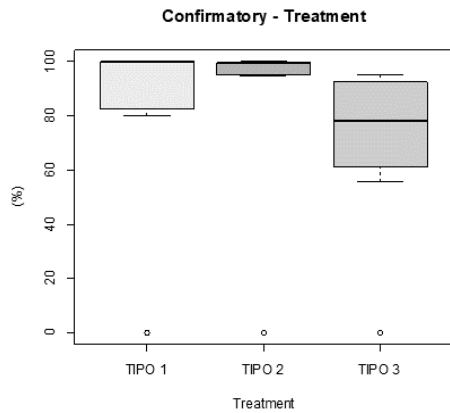


Figura 8. Resultados de la Confirmatoria por tratamiento

El ANOVA nos dio un p-valor = 0.0207 lo cual nos indicó que independientemente los tres tipos de filtros tienen un efecto significativo en cuanto al tratamiento. Siendo el Filtro 2 el que tuvo un mayor rendimiento seguido del Filtro 1 el cual tuvo un rendimiento similar, sin embargo, el filtro que tuvo más variación en cuanto a los resultados diarios fue el Filtro 3 con un menor rendimiento (Figura 8).

El ANOVA nos dio un p-valor = 1.86×10^{-7} lo cual nos indica que durante los 7 días de la prueba hubo una variación significativa del tratamiento en los tres tipos de filtros (Figura 9)

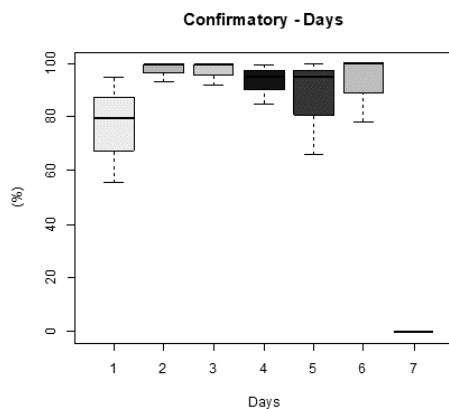


Figura. 9 Variación de la eficiencia de los tratamientos en los 7 días.

Para evaluar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-wilk el cual nos dio un p-valor = 0.4731 nos indica que existe una distribución normal.

Tras realizar la prueba LSD de fisher en los tipos de filtros (Figura 10) del tratamiento se comprobó que el filtro 1 y filtro 2 tienen semejanza en eficiencia y son diferentes que el tratamiento del Filtro 3 que evidencia una menor eficiencia. Esto es debido a que en la caracterización del biocarbón del filtro 1 y filtro 2 (Figura 1 y 2), podemos encontrar una similitud entre ellos en cuanto a la cantidad de microporos debido a su proceso de trituración, lo cual incrementó el área superficial específica (Lehmann, J., & Joseph, S. 2009), en este mismo sentido en la figura 3 el biocarbón del F3 posee estructuras complejas, lo que indica que no se ha fragmentado lo suficiente y por consiguiente se disminuye el área de los microporos.

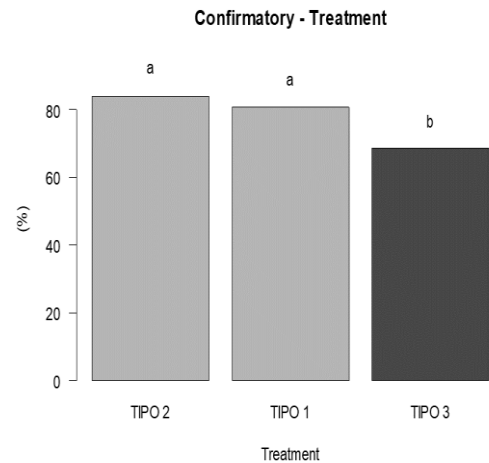


Figura 10. Prueba LSD de fisher por filtro

Luego de aplicar la prueba LSD de Fisher en los datos de los días del experimento (Figura 11), se comprobó que los días 2, 3, 4, 6 y 5 tienen semejanza en la eficiencia presentando una mayor remoción, a diferencia del día 1 en el cual se obtuvo una menor eficiencia con menos del 80% y el día 7 sin ninguna evidencia de remoción.

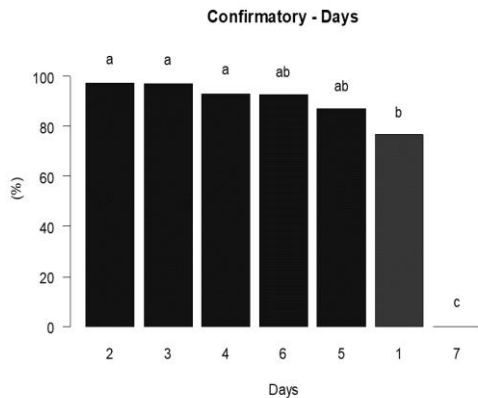


Figura 11. Prueba LSD de fisher por día

Análisis de los resultados en cuanto a Coliformes Totales

En la figura 12, se pudo observar que los 3 filtros tuvieron una eficiencia significativa en cuanto a la remoción de Coliformes totales. El F2 tuvo una eficiencia de remoción del 84% similar al del F1 con una eficiencia del 82%, y el F3 con un 70%. Esto significa que los tres tratamientos tuvieron una eficiencia alta para la remoción de los parámetros anteriormente mencionados.

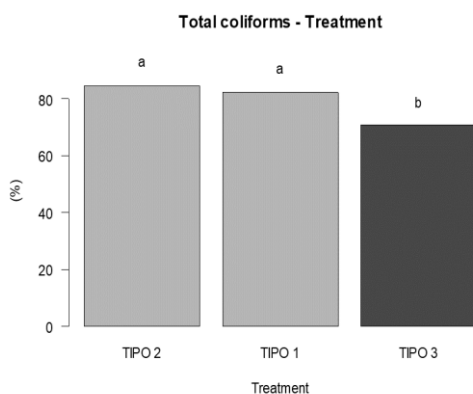


Figura 12. Remoción de coliformes totales por tratamientos

Así mismo en la figura 13, se observa que hubo una eficiencia significativa similar para los días 1, 2, 3, 4, 5 y 6 en el cual superó con

más del 80% de remoción de los Coliformes totales, a comparación del último día (7) que se diferencia con un 0% de remoción de los coliformes totales.

Esto se debe a que el filtro ha llegado a su límite máximo de tratamiento, por lo que ha permitido el paso de los microorganismos y su proliferación; así mismo, lo menciona Ridder et al.(2012, como se citó en Ambaye et al., 2020), cuando un filtro de biocarbón está saturado se encuentra en la fase agotada, en la cual su capacidad para adsorber contaminantes se ve comprometida y disminuye de manera significativa en la eficiencia de inhibición de los microorganismos (Johnson, D., Phillips, C. L., & Lee, R. D. 2011).

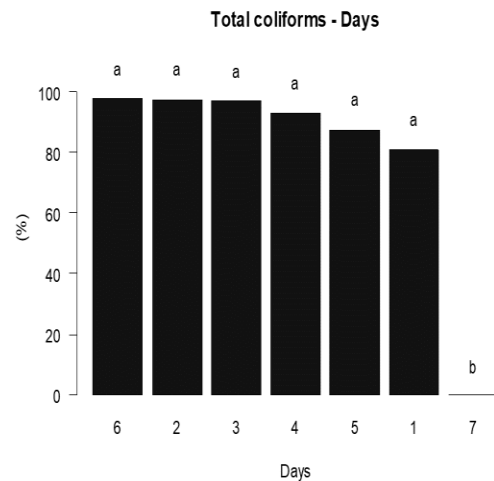


Figura 13. Prueba LSD de fisher por día de Coliformes Totales

Análisis de resultados en cuanto a Coliformes termotolerantes:

Se aplicó la prueba LSD de Fisher a cada filtro, donde los resultados nos permitió identificar que el F2 y F1 tuvieron una semejanza del 84% y 82% en cuanto a la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes, siendo diferentes al F3 con una eficiencia del 71% tal como se observa en la figura 14.

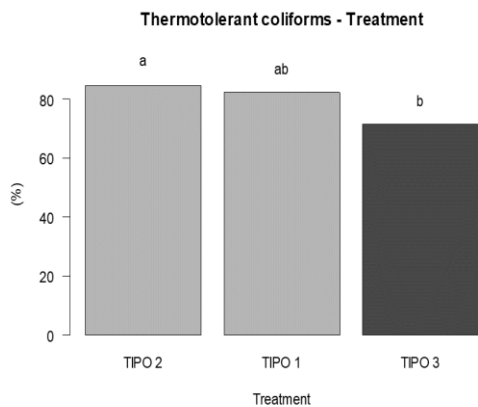


Figura 14. Eficiencia en la remoción de Coliformes termotolerantes por tipo de filtro

En la figura 15 se observa la prueba de LSD Fisher del tratamiento por día para coliformes termotolerantes, donde se comprobó que los días 2, 3, 4, 5 y 6 tiene una gran semejanza en cuanto a la eficiencia de remoción con porcentajes del 97%, 97%, 93%, 87% y 99%, teniendo una diferencia mínima en comparación con el día 1 el cual obtuvo una eficiencia del 80%, así mismo, el día 7 fue el más crítico con una eficiencia del 0% para los tres filtros.

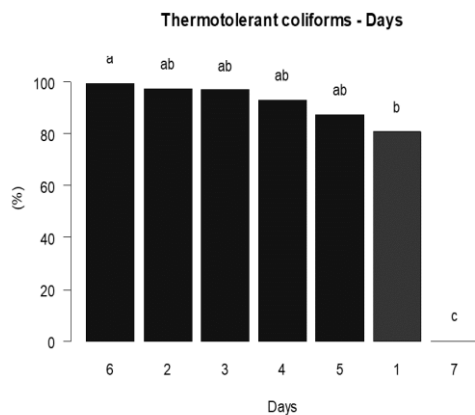


Figura 15: Prueba LSD de Fisher por día Coliformes Termotolerantes

En paralelo con la normativa peruana D.S 004-2017 ECA Agua MINAM, podemos observar la diferencia de los resultados Pre y Post de cada filtro comparándolo con límite que nos indica la norma para Coliformes termotolerantes, por lo cual damos por hecho de que el biocarbón inhibe a los C.Termotolerantes.

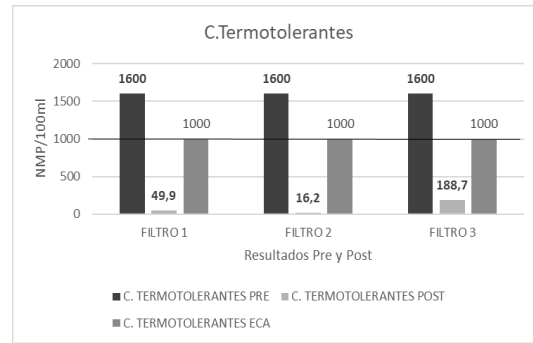


Figura 16. Comparación de los resultados Pre y Post tratamiento con el ECA.

Análisis de resultados en cuando a Escherichia Coli:

En la figura 17 se observa la prueba LSD de fisher por cada filtro para comparar la eficiencia en la Inhibición de Escherichia Coli por tipo de filtro, en el cual se determinó que el F1 y F2 son semejantes, en comparación al F3 que es diferente al F1 pero tiene semejanza al F2.

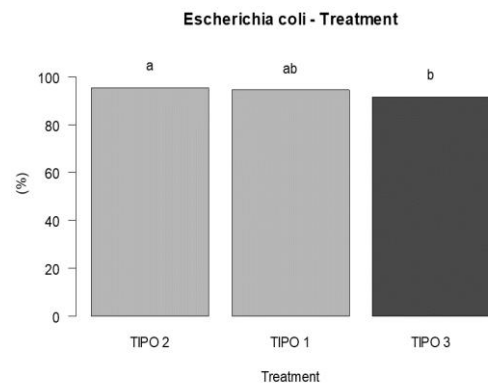


Figura 17. Eficiencia en la remoción de Escherichia Coli por tratamiento

En la figura 18 se observa, la prueba de LSD Fisher del tratamiento por día para el parámetro de Escherichia Coli, en el cual podemos observar que los días con mejor eficiencia fueron 6, 5, 2, 4, 3, los cuales son semejantes, en comparación de los días 1 que tuvo una eficiencia menor a los días ya mencionados y finalmente el día 7 que no hubo inhibición.

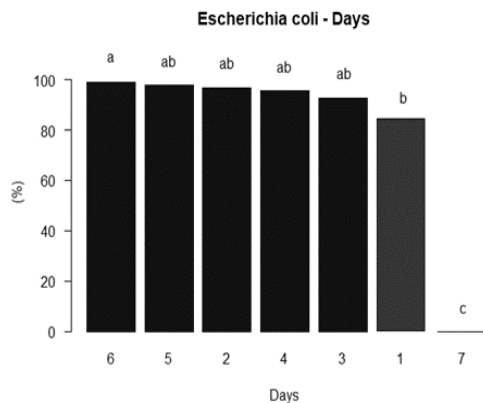


Figura 18: Prueba LSD de Fisher por día Escherichia Coli

En la figura 19 podemos observar la comparación de los resultados obtenidos pre y post tratamiento de los 3 filtros con la normativa ya mencionada en el cual se evidencio la eficiencia del tratamiento para los parámetro E.Coli, sin embargo el resultado Pre ya se encontraba por debajo de lo que indica el D.S 004-2017 MINAM ECA agua.

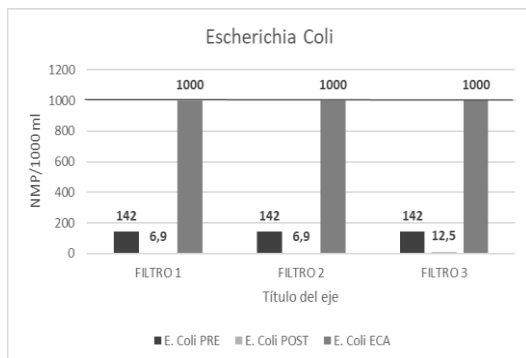


Figura 19. Comparación de los resultados de E. Coli Pre y Post tratamiento con el ECA

Análisis de los resultados físico-químicos

Mediante la figura 20 para los resultados físicoquímicos se puede observar la relación que tienen el F1, F2 y F3 en el incremento de la conductividad a comparación del Blanco. Según Vázquez y Torres (2006, como se citó en Martínez et al.,2022) esto se debe a la cantidad de sales que contienen los materiales del filtro (grava, arena gruesa y arena fina).

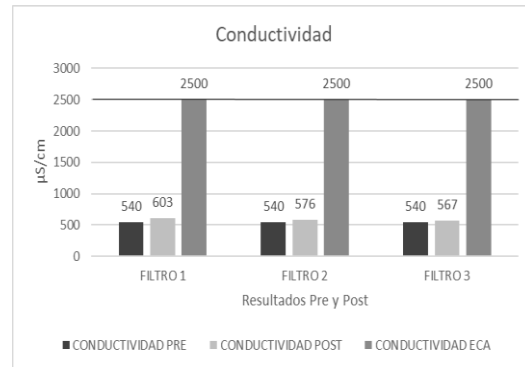


Figura 20. Comparación de los resultados de conductividad Pre y Post tratamiento

Así mismo en la Figura 21, se vió un incremento en el parámetro de sólidos totales disueltos a comparación del Blanco, debido a la estrecha relación que tiene con la conductividad. A mayor incremento de los sólidos totales disueltos habrá un incremento mayor de iones disueltos en el agua por lo tanto aumentará la conductividad. (Ortiz et. all, 2019) Esto debido a que aun habiendo lavado tanto la arena gruesa, fina y la grava, no se pudo eliminar todas las sales presentes lo cual conlleva al aumento de la conductividad.

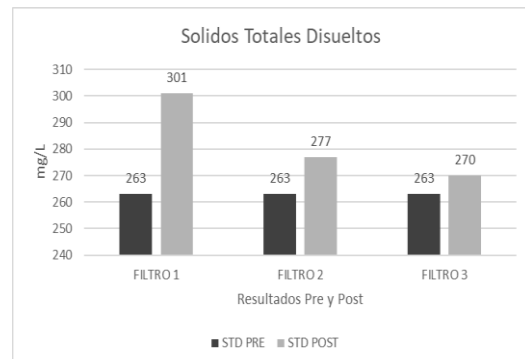


Figura 21. Comparación de los Sólidos Totales Disueltos Pre y Post tratamiento.

En la figura 22 de la prueba LSD de fisher para comparar la eficiencia en el parámetro de DBO5 se evidencia que el F1, F2 y F3 poseen una similitud, esto se debe a que si vemos la tabla 2, podemos observar el DBO5 pre es 3 y los datos Post tratamiento son F1 = 1 mg/L, F2 = 0.9 mg/L y F3= 1 mg/L, con una variación de -2, -2.1 y -2 respecto al pre.

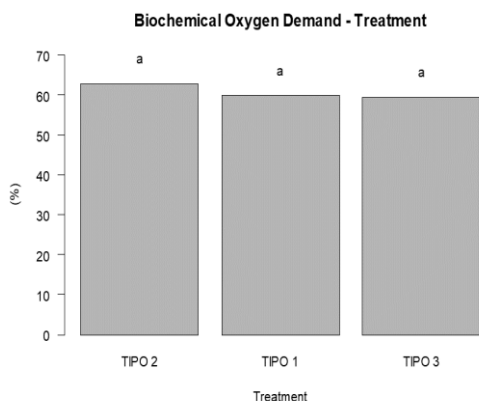


Figura 22. Eficiencia en el tratamiento del parámetro DBO5

Los demás resultados físico químicos no presentaron una diferencia significativa además de ello los parámetros de PH y temperatura se encuentran dentro del rango aceptable de acuerdo a la normativa peruana.

5. CONCLUSIÓN

Concluimos que el biocarbón adaptado a filtros verticales de arena para el tratamiento de las aguas de la laguna La mansión fue eficiente, obteniendo una eficiencia del 87.4% - 98.9% para los parámetros microbiológicos, sin embargo para los parámetros físico químicos no existe una variación significativa, de igual forma cumplen con la normativa vigente, por ello se ve factible como un tratamiento primario para la laguna.

Para posteriores investigaciones, si se quiere ampliar el tiempo de eficiencia de los filtros, se puede aplicar un retrolavado a la primera y segunda capa (grava y arena gruesa, respectivamente) y para tener un mejor control individual del caudal de entrada acorde por cada filtro, se debe implementar un tanque por cada filtro.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios por la Salud que nos dio para poder desarrollar esta investigación, a nuestros padres por su constante apoyo en nuestro crecimiento personal y profesional de igual forma a todos los docentes, administrativos y amigos que nos apoyaron durante todo el proceso.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambaye, TG, Vaccari, M., van Hullebusch, ED et al. (2021). Mecanismos y capacidades de adsorción del biochar para la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos de aguas residuales industriales. En t. J. Medio Ambiente. Ciencia Tecnología 18 , 3273–3294.

<https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>

Ayala, C., et al. (2022). Producción de biocarbón empleando biomasa residual no convencional para aplicaciones en remediación ambiental. Revista Jóvenes en la ciencia, vol. 16. Recuperado de <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/7494>

Herigstad B., Hamilton M., Heersink J. 2001. How optimize the drop

plate method for enumerating bacteria. Journal of Microbiological Methods. 44 (2): 121-129.

Iglesias, S., et al. (2020). Biochar de biomasa residual de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante dos métodos de pirólisis. Manglar 17(2): 105-111. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/153/286>

Martínez-Hernández, Carlos M., Sánchez-Jassa, Jesús A., Martínez-Flores, Nilda Rosa, Gómez-Ríos, István. (2022). Aplicación de filtros lentos de arena para la descontaminación de efluentes de lagunas de oxidación. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 31(4), e06. Epub 01 de noviembre de 2022. Recuperado en 13 de junio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S2071-00542022000400006&lng=es&tlng=es.

Novotny, E. H., Branco de Freitas, C. M. Carvalho, M. T. M & Madari, B. E. (2015). Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, 39(2), 321–344. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?pi-d=S0100-06832015000200321&script=sci_abstract

Ortiz, Ana María Aveiga, Noles, Patricio, Cruz, Aida De la, Peñarrieta, Fabián, Alcantara, Francisco. (2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río

Carrizal en Manabí. Enfoque UTE, 10(3), 30-41.

Pinedo, A. U. (2013). Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. Tesis de Máster, 83. http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf

Rodríguez, D., Serrano, H., Delgado, A., Nolasco, D. y Saltiel, G. (2020). De residuo a recurso. Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/serve/r/api/core/bitstreams/4f1d1637-77ce-5814-a39a-320bebe96069/content>

Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. (2020, 19 de marzo). COMUNICADO DE PRENSA N.º 2020/133/GWA. URL: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022. URL: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/sdg-6/es/>

Richard Connor. Resumen ejecutivo del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. Agua y Cambio Climático. WWAP. URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_spa/PDF/372882spa.pdf.multi

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) 2017. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>

Fernando Larios-Meño, Carlos González Taranco y Yennyfer Morales Olivares. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. SABER Y HACER, Volumen 2 (Nº 2), 2015. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y Las Aguas Residuales 2022 https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000380319&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_df027e05-fca3-4b7c-9cb5-b0ad7fab233c%3F_%3D380319eng.pdf&locale=en&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000380319/PDF/380319eng.pdf#1697_21%20M%20EauMega%20proceedingsno%20Acknowledgements.indd%3A.30798%3A81

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). (2016). Evaluación del desempeño ambiental Perú 2016: Aspectos destacados y Recomendaciones. URL: <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/16-00313%20Evaluacion%20desempeno-Peru-WEB.pdf>

Paucar, F. e Iturregui, p. (2020). “Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú”. *South Sustainability*, 1(1), e004 DOI: 10.21142/ss-0101-2020-004

D. Présiga-López, A. Rubio-Clemente, J. F. Pérez. (2021). “Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 1, pp. 121-134. Doi: 10.18273/revuin.v20n1-2021011D.

Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: science, technology, and implementation*. Routledge <https://www.routledge.com/Biochar-for-Environmental-Management-Science-Technology-and-Implementation/Lehmann-Joseph/p/book/9780367779184>.

Johnson, D., Phillips, C. L., & Lee, R. D. (2011). Microbial utilization and mineralization of biochar: a sustainable solution to increase agricultural productivity. *Advances in Agronomy*, 112, 103-143.