

Efficiency of an activated carbon filter system for the removal of organic matter from domestic wastewater in the Centro Poblado Punchauca, Carabayllo 2024

Maryory Alison Garrido Najar¹; Alexander Pomalaya Inga²; Carlos Alberto Alva Huapaya³

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Av. Alfredo Mendiola 6062, Lima, Perú




¹maryoryalisson@gmail.com, ²pomalayaingaalexander@gmail.com

³car.alva@gmail.com

Abstract - The discharge of untreated wastewater generates environmental pollution and poses health risks; therefore, wastewater must undergo treatment to reduce organic matter contamination. A quantitative methodology with an experimental design was applied. Twenty effluent flows were taken, with 2 liters of water sampled from each flow. Initial physicochemical conditions were determined, yielding the following results: 371.2 mg/L of oils and greases, 2046 mg/L of BOD, 3988 mg O₂/L of COD, 1.57 mg/L of DO, 5.51 pH, 5725 mg/L of TSS, and 360 NTU of turbidity. Subsequently, a filtration system was designed, using 40 liters of domestic wastewater, achieving organic matter removal with an average efficiency of 99.1%, 99.3%, 99%, 81.8%, 21%, 90.1%, and 96.4%, respectively. It is concluded that the activated carbon filtration system influences the removal of organic matter.

Keywords – organic matter, organic matter removal, domestic wastewater.

Eficiencia de un sistema de filtros de carbón activado para la remoción de materia orgánica de aguas residuales domésticas en el Centro Poblado Punchauca, Carabayllo 2024

Maryory Alison Garrido Najar¹; Alexander Pomalaya Inga²; Carlos Alberto Alva Huapaya³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Av. Alfredo Mendiola 6062, Lima, Perú
¹maryoryalisson@gmail.com, ²pomalayaingaalexander@gmail.com
³car.alva@gmail.com

Resumen– El vertimiento de aguas residuales sin un pretratamiento genera la contaminación del medio y pone en riesgo la salud; siendo así, estas deben pasar por un tratamiento que ayude a reducir la contaminación por materia orgánica. La metodología aplicada fue cuantitativa, con un diseño experimental, se tomó 20 flujos de efluentes donde se tomaron 2 litros de agua por cada efluente, y se determinaron las condiciones fisicoquímicas iniciales dando como resultado 371,2 mg/L de Aceites y grasas, 2046 mg/L de DBO, 3988 mg O₂/L de DQO, 1,57 mg/L de OD, 5,51 de pH, 5725 mg/L de STD y 360 NTU de turbidez. Posteriormente, se diseñó el sistema de filtros, donde se utilizó 40 litros de agua residual doméstica, donde se alcanzó la remoción de materia orgánica en un promedio de 99.1%, 99.3%, 99%, 81.8%, 21%, 90.1% y 96.4% de eficiencia respectivamente, se concluye que el sistema de filtros de carbón activado tiene influencia en la remoción de materia orgánica.

Palabras clave: Materia orgánica, remoción de materia orgánica, aguas residuales domésticas.

I. INTRODUCCIÓN

El dossier de las Naciones Unidas referente al desarrollo de las actividades del agua (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2017) da mérito a las aguas residuales en el ciclo hidrológico, como también la importancia de tratarlas adecuadamente. Las aguas residuales provienen de casi todas las actividades humanas realizadas con agua y sus niveles de contaminación crecen al igual que la necesidad de esta en el mundo.

Por otro lado, la contaminación del agua afecta al ecosistema y el bienestar económico de todos los países, debido a la variedad de fuentes y la complejidad de las medidas de mitigación. En los últimos cuarenta años ha habido un progreso, sin embargo, la deficiente calidad del agua es una de las complicaciones más críticas del planeta (Pedrozo Acuña, 2020). Referente al día mundial del agua (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017), denota que más del 80 % de las aguas negras se vierten sin tratar.

Para cumplir de las normas actuales, las aguas negras deben ser tratadas a fin de reducir la contaminación. No obstante, el tratamiento en Perú aumento solo un 11% entre el

2016 y 2020, lo que resulta una cobertura de tratamiento deficiente, ya que solo el 32.7% de las aguas servidas fueron tratadas en el 2010 (Rodríguez Tuesta, 2014).

La eliminación de materia orgánica debe ser una de las prioridades en el proceso de efluentes, ya que esta es la principal contribuyente de la degradación de las cuencas hidrográficas (Pintilie, Torres, Teodosiu, & Castells, 2016).

Las partículas macroscópicas, los coloides y las macromoléculas disueltas son solo algunos de los miles de componentes de la materia orgánica que se encuentran presentes en el agua (Fuentes et al., 2015). Principalmente en el agua residual se encuentran sustancias orgánicas como las proteínas (40-60 %), carbohidratos (25- 50 %) y aceites y grasas (10 %) (Mostofa et al. 2007, Chandrappa y Das 2014).

En el distrito de Carabayllo está situado el centro poblado Punchauca, la mayoría de la población no terminó la escuela y no accedieron a educación superior, se desempeñan como trabajadores domésticos, albañil, ayudantes de agricultura y otros trabajos mal pagados apenas les permiten satisfacer sus necesidades, el distrito está posicionado en el séptimo lugar del ranking de pobreza en Lima y Callao con un 35.4%. Estos indicadores señalan que el 30% de la población no cuentan con agua potable, lo que obliga a los pobladores a verter las aguas domésticas directamente al suelo y el 30% no cuenta con desagüe y en consecuencia a ello la población dispone de algún sistema de eliminación de excretas, puesto que, no posee ni letrinas ni silos; deteriorando, contaminando el suelo con microorganismos de aguas domésticas. De esta manera, se reduce la calidad del suelo y su potencial uso para actividades productivas en general (Rodríguez Villamar, 2017).

El riego prolongado en la labranza con aguas residuales domésticas sin ningún tratamiento previo conduce a un aumento sustancial en el contenido de sodio del terreno afectando negativamente su estructura a largo plazo (Murcia et al., 2014).

Cabe señalar que, la agricultura está sujeta a la disponibilidad del agua. Si esta no es segura, el rendimiento agrícola y ganadero se vuelve difícil, si no irrealizable. Entonces, cuando se carece de agua o el suministro no es confiable, se hace necesario el desarrollo del riego. La costa

peruana casi no recibe lluvia durante todo el año, por lo que la agricultura en esta zona depende en gran medida del riego. Los estándares del agua son temas críticos en la mayoría de las cuencas peruanas, especialmente en las áreas costeras, ya que la concesión de recursos hídricos es solo el 1,8% del monto total nacional, pero el área irrigada es casi la mitad del monto total del país.

La investigación pretende encontrar una solución para reducir la carga de materia orgánica del agua gris doméstica del Centro Poblado Punchauca, dando una solución sustentable y de bajo costo, puesto que se encuentra en situación de pobreza. Por otro lado, la población del Centro Poblado Punchauca, en su mayoría se dedican al cultivo y este sector carece de agua potable, en consecuencia, a ello sus aguas residuales domésticas son utilizadas para regar sus cultivos sin ningún tratamiento previo, haciendo mal uso de las aguas negras.

Esta investigación profundiza en el conocimiento de eliminación de M.O. Por ende, esta tesis será de aporte para el desarrollo sostenible y también de ayuda para sectores sin agua potable, además se podría implementar a menor escala dentro del sector agrícola.

II. METODOLOGÍA

La investigación mantiene un enfoque cuantitativo, debido a que se midieron las características de las aguas domésticas antes y después de la implementación del sistema de filtros de carbón activado. Se buscó remover la materia orgánica de las aguas residuales domésticas en el Centro Poblado Punchauca, Carabayllo – Lima mediante la propuesta de diseño de un prototipo de sistema de filtros de carbón activado. El nivel de investigación que se desarrolló fue explicativo, porque se detalló el efecto de un prototipo de sistema de filtros de carbón activado a la eficiencia de remoción de la DQO y la DBO de las aguas residuales domésticas. Es por ello, que para la selección de población se consideró 40 L (aguas domésticas sin tratamiento) del centro poblado Punchauca – Carabayllo, estas aguas residuales domésticas recolectadas fueron de uso de cocina y lavado de ropa. Se tomó 20 puntos de muestreo, estos puntos fueron tomados con coordenadas (UTM, WGS 84), recolectando 2 litros de agua residual por punto, donde se obtuvo 40 litros en total.

Para el análisis de datos se encontró el porcentaje de la concentración de materia orgánica para luego ser sometido al análisis de varianza, así como también para aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales y turbidez. Adicionalmente, para la evaluación del efecto de los filtros sobre la concentración de materia orgánica se usó las pruebas estadísticas de NORMALIDAD y luego ANOVA, el análisis de varianza (ANOVA y NORMALIDAD) aprueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales, los datos fueron analizados mediante el programa estadístico IBM SPSS.

Para el análisis de la eficiencia de remoción de materia orgánica se realizó con la siguiente fórmula de Caicedo J. (2017).

Análisis de la eficiencia de remoción.

$$\% E = \frac{(C_i) - (C_f)}{(C_i)} \times 100$$

% E= Porcentaje Eficiencia.

Ci= Concentración inicial.

Cf= Concentración final.

III. RESULTADO

3.1 *Evaluar la capacidad del sistema de filtros de carbón activado en la remoción de materia orgánica de aguas residuales domésticas que se genera en el centro poblado Punchauca.*

Para las aguas residuales domésticas que fueron recolectadas, se analizaron los parámetros fisicoquímicos ante el laboratorio ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY S.A. acreditado por la INACAL, donde se caracterizó la concentración inicial antes del tratamiento, estas fueron caracterizadas 15 de octubre del presente año. Posteriormente, se obtuvo tres concentraciones finales A, B y C luego de ser tratado por el sistema de filtros, estas fueron caracterizadas el 29 de octubre del 2024 para poder evaluar la cantidad de remoción del sistema de filtros. A continuación, se indican los parámetros caracterizados en la presente investigación, ver tabla 1.

Tabla 1
Resumen de las variables de estudio.

Parámetro	Unidad de medida	Concentración Inicial	Concentración Final		
			A	B	C
Aceites y Grasas	mg AyG/L	371,2	2,6	3,9	3,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg DBO ₅ /L	2046	13,2	14,9	14,5
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	3988	8,3	39,0	39,6
Oxígeno Disuelto	mg/L	1,57	8,65	8,62	8,61
Ph	Unidad de Ph	5,51	7,06	6,79	6,56
Sólidos Totales	mg ST/L	5725	506	581	605
Turbidez	NTU	360,0	11,40	11,60	16,00

Nota. Concentración inicial y final de cada parámetro en tres muestras (A, B y C), los análisis fueron realizados conforme a los estándares del laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C.

Tabla 2
Resumen de las variables en la concentración final.

Parámetro	Unidad de medida	Concentración Final			ECA Cat. 3, Sub. D1 (mg/L)
		A	B	C	
Aceites y Grasas	mg AyG/L	2,6	3,9	3,3	5
Demanda Bioquímica de	mg BOD ₅ /L	13,2	14,9	14,5	15

Oxígeno					
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	38,3	39,0	9,6	40
Oxígeno Disuelto	mg/L	8,65	8,62	8,61	≥ 4
pH	Unidad de pH	7,06	6,79	6,56	6,5 – 8,5

Nota. Concentración final de cada parámetro en tres muestras (A, B y C), comparado de forma referencial con el ECA Categoría 3, Subcategoría D1.

Tabla 3
Resumen de las variables en concentración final.

Parámetro	Unidad de medida	Concentración Final			ECA Cat. 1, Sub. A2 (mg/L)
		A	B	C	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	506	581	605	1000
Turbidez	NTU	11,40	11,60	16,00	100

Nota. Concentración final de cada parámetro en tres muestras (A, B y C), comparado de forma referencial con el ECA Categoría 1, Subcategoría A2.

Tal como se muestra en la tabla 1,2 y 3, después de obtener los resultados iniciales se puede inferir que las concentraciones elevadas de dichos parámetros, donde los ST es el parámetro con mayor influencia con 5725 mg ST/L, de igual manera con el DQO con 3988 Mg O₂/L siendo el segundo parámetro con mayor influencia, seguidamente de la DBO con 2046 mg DBO₅/L, además con Aceites y Grasas con 3712,2 mg AyG/L, después con la Turbidez con 360 NTU, finalmente con el pH 5,51 y oxígeno disuelto 1,57. Después de obtener las concentraciones finales como resultado, se aprecia que la DQO oscilan entre 38,3, 39 y 39,6 Mg O₂/L, lo cual evidencia mayor eficacia en el tratamiento de remoción de materia orgánica, ya que, los resultados están por debajo de los 200 mg/L (límite máximo permisible) cumpliendo con lo establecido por el MINAM (2017), además de manera referencial también está cumpliendo con el Estándar de Calidad Ambiental de Categoría 3, Subcategoría D1.

Como primer paso se realizó una prueba de normalidad, para comprobar estadísticamente si los datos se distribuyen normalmente; para lo cual nos planteamos las siguientes hipótesis.

H₀: Los datos siguen una distribución normal.

H_a: Los datos no siguen una distribución normal.

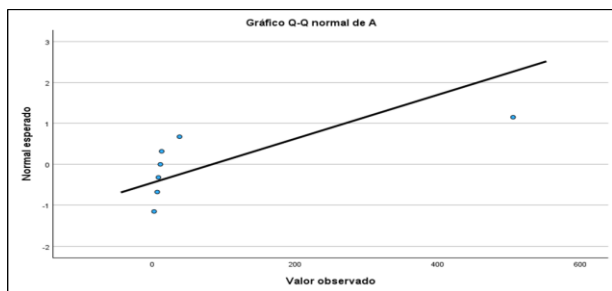


Fig. 1 Resultados de la prueba de normalidad para el tratamiento A.
Nota. Evaluación de la normalidad de los parámetros: aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno

(DQO), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos totales y turbidez, correspondientes al tratamiento A, realizada con el Software IBM SPSS.

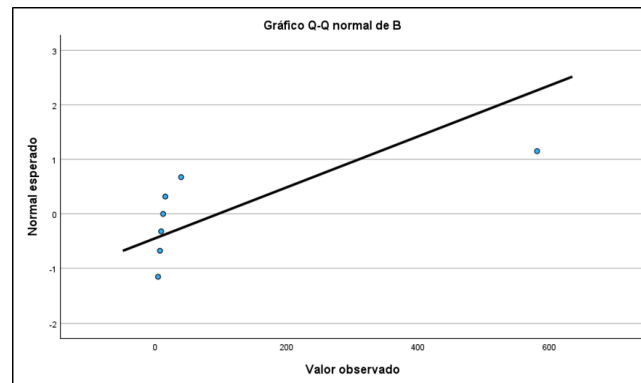


Fig. 2 Resultados de la prueba de normalidad para el tratamiento B.
Nota. Prueba de normalidad aplicada a los datos de aceites y grasas, DBO, DQO, OD, pH, sólidos totales y turbidez, correspondientes al tratamiento B, para verificar el cumplimiento de los supuestos estadísticos, realizada con el Software IBM SPSS.

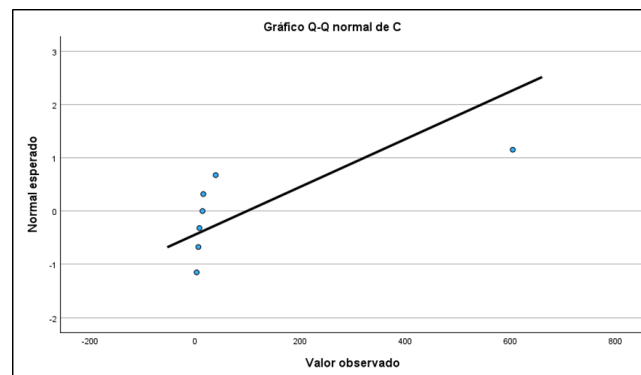


Fig. 3 Resultados para la prueba de normalidad para el tratamiento C.
Nota. Evaluación de normalidad de los datos de aceites y grasas, DBO, DQO, OD, pH, sólidos totales y turbidez en el tratamiento C, utilizando el Software IBM SPSS.

En la figura 1, 2 y 3 nos muestra la prueba de normalidad aplicada, donde, se obtuvo el valor de p 0. El valor de significancia con la que se evaluó la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza obteniendo:

$$0 < 0,05$$

Por lo que estadísticamente, se acepta la hipótesis alterna.

Tras observar los datos de la Tabla 4 y dado que la muestra es menos a 50 se considera la prueba de Shapiro Wilk, de igual manera se observa que las variables no siguen una distribución normal, ya que el p – valor es < 0,001. El valor de significancia con la que se evaluó la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza obteniendo:

$$0,001 < 0,05$$

Por lo que estadísticamente, se acepta la hipótesis alterna, los datos no siguen una distribución normal respecto a los parámetros.

Tabla 4
Prueba de normalidad para los parámetros: Aceites y grasas, DBO, DQO, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales y turbidez

Tratamiento	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
A	,454	7	<,001	,502	7	<,001
B	,460	7	<,001	,496	7	<,001
C	,462	7	<,001	,497	7	<,001

Nota. Evaluación estadística de los datos mediante las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, cuyos resultados se presentan en la tabla.

Luego de haber realizado la prueba de normalidad se asume que los datos de los parámetros no tienen una distribución normal, por lo tanto, se trabajó con el análisis no paramétrico. Para la constatación del segundo objetivo específica se utilizó el análisis de varianza ANOVA para los parámetros: Aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales y turbidez, para lo cual se plantea la segunda hipótesis específica de investigación (H2) y su respectiva hipótesis nula (H0).

H2: El tiempo de residencia influirá significativamente en el % de remoción de los parámetros en el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante el sistema de filtros de carbón activado.

H0: El tiempo de residencia no influirá significativamente en el % de remoción de los parámetros en el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante el sistema de filtros de carbón activado.

En la tabla 5 se observa el factor tiempo de residencia para el análisis ANOVA en la tabla 10, se muestra que con respecto al tiempo de residencia en la remoción de los parámetros se tuvo un valor de p de 0,030 el valor de p es menor en valor de significancia de 0,05 en consecuencia, se acepta la hipótesis de investigación (H2) y se rechaza la hipótesis nula (H0), por lo tanto, las remociones se verán influenciados significativamente por el tiempo de residencia.

Tabla 5
Análisis de varianza ANOVA para los parámetros: Aceites y grasas, DBO, DQO, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales y turbidez.

Contaminante	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor p
Entre grupos	254056,655		127028,328	4,304	0,030
Error	531204,819	18	29511,379		
Total	785261,474	20			

Nota. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor aplicado para evaluar diferencias significativas entre grupos con respecto a los niveles del contaminante. Se observa una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,030$), considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

3.2 Desarrollar una propuesta de diseño de un prototipo de sistema de filtros de carbón activado para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

El prototipo funcional del sistema de filtros se desarrolló como un piloto a escala de laboratorio con el objetivo de filtrar

aguas residuales domésticas; obtenidas del lavado de ropa y cocina recolectándolas en botellas de plástico para luego tratar con el prototipo propuesto con el fin de poder reutilizar el agua residual doméstica para uso de riego agrícola.

El prototipo se construyó a partir de envases de acrílico y su estructura de soporte con madera, la cual consta de cuatro fases de filtración cuyas dimensiones se encuentran en la figura 4.

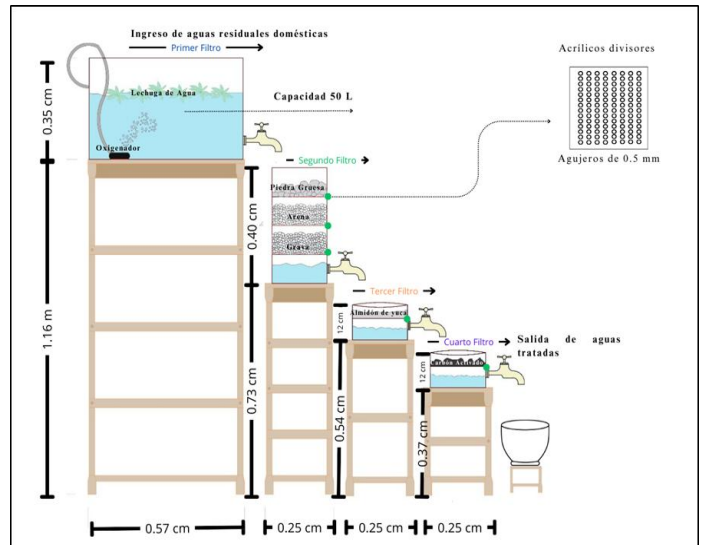


Fig. 4 Diseño con medidas y flujo del sistema de filtros.

Nota. En cada fase se emplea diferentes materiales para la remoción de materia orgánica.

Inicialmente se tomó un envase de plástico con capacidad de 50 L, y se cortó una de las caras una circunferencia de 3 cm de diámetro para poder instalar el caño de nuestro primer filtro, este contiene 9 lechugas de agua (*Pistia striotes*) para que cubra toda la superficie del envase, las plantas acuáticas pueden remover los contaminantes del agua residual, mediante la inyección de oxígeno del medio hacia sus raíces para la metabolización de sus nutrientes (Motta, 2014) como se presenta en la figura 4 y 5.



Fig. 5 Primera fase del sistema de filtros.

Nota. En la primera fase se utilizó *Pistia striotes*.

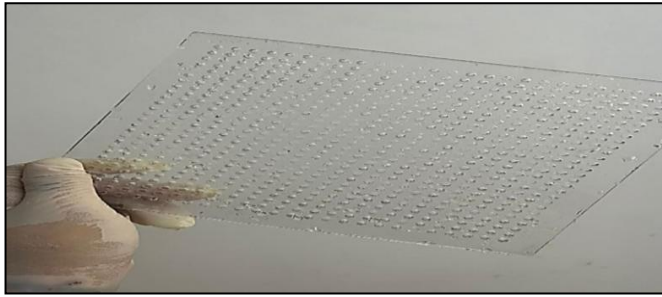


Fig. 6 Rejilla de divisora de cada filtro.
Nota. Divisor de acrílico con agujeros de 0.5 mm.

Para el segundo filtro internamente está conformado por un soporte de acrílico con agujeros de 0.5 mm, estos trabajan como divisores ubicados en cada filtro tal como se puede observar en la figura 6, este funciona como una cámara de almacenamiento, seguido de tres capas de material filtrante la primera capa contiene material inerte de grava, tipo granito que se caracteriza por su rigidez térmica, además de su alta resistencia cuya función específica es detener partículas de gran tamaño; así mismo la segunda capa corresponde a material inerte de porosidad más fina, tipo arena resistente a los cambios bruscos de temperatura y calorimetría, que se encarga de retener partículas de menor tamaño; por último en la tercera capa se encuentra un material de piedra gruesa se caracteriza por su alta resistencia cuya función específica es detener partículas de gran tamaño poroso absorbente específicamente. Entre cada una de las capas filtrantes se ubicó una maya filtrante de 0.3 mm y por último en la parte final del segundo filtro se colocó una hoja de algodón tal como se puede observar en la figura 7.



Fig. 7 Prototipo de la segunda fase del sistema de filtros.
Nota. Segunda fase con tres capas de material filtrante.

De igual manera, para el tercer filtro se construyó un envase de acrílico, este contiene una capa filtrante de almidón de yuca que se caracteriza por su recristalización y un tiempo de retención de 20 minutos. Finalmente, para el cuarto filtro construido, se encuentra un material poroso absorbente específicamente carbón activado pulverizado que tiene como función clarificar el fluido circulante absorbiendo partículas orgánicas e inorgánicas presentes en el mismo tal como se observa en la figura 8.

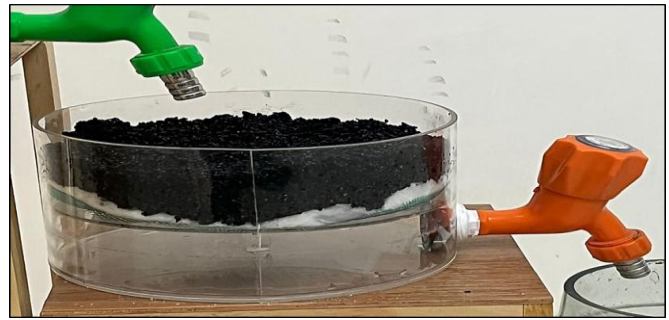


Fig. 8 Prototipo de la última fase con rejilla divisora, malla de micrón, algodón y carbón activado.

Nota. La fase cuatro representa la última etapa del sistema de filtros, en esta fase se utiliza como materiales de filtro el carbón activado y el algodón.

3.3 Evaluar la eficiencia de un sistema de filtros de carbón activado para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas en el Centro Poblado Punchauca, Carabayllo – Lima, 2024

En la tabla 6, se puede apreciar la concentración de aceites y grasas inicial y final del sistema de filtros, las concentraciones obtenidas durante las tres muestras se compararon de forma referencial con el Estándar de Calidad Ambiental y se encuentran por debajo, ya que resultan 2.6, 3.9, 3.3 mg AyG/L respectivamente, donde la norma establece un máximo de 5 mg AyG/L, así mismo se evidenció 99.3, 98.9 y 99.1 % de remoción, con ello se demuestra que la eficiencia en la remoción de aceites y grasas.

Tabla 6
Valores de aceites y grasas en la concentración inicial y final.

Parámetro	Concentración Inicial mg AyG/L	Concentración Final mg AyG/L			ECA Cat. 3, Sub. D1 mg AyG/L	% de Eficiencia mg AyG/L		
		A	B	C		A	B	C
Aceites y Grasas	371.2	2.6	3.9	3.3	5	99.3	98.9	99.1

Nota. Concentración final de aceites y grasas, comparado con el ECA Categoría 3, Subcategoría D1, así como el porcentaje de eficiencia calculado mediante la fórmula.

Para la tabla 7, se puede apreciar la concentración de DBO5 inicial y final del sistema de filtros, donde se obtuvo tres resultados como concentración final de 13.2, 14.9 y 14.5 mg DBO5/L, las concentraciones obtenidas se compararon de manera referencial con el Estándar de Calidad Ambiental y se encuentran por debajo, además se evidenció un 99.4, 99.3 y 99.3% de remoción, resultando un agua apta según la referencia con el estándar de calidad ambiental.

Tabla 7
Valores de DBO en la concentración inicial y final.

Parámetro	Concentración Inicial mg DBO ₅ /L	Concentración Final mg DBO ₅ /L			ECA Cat. 3, Sub.D1 mg DBO ₅ /L	% de Eficiencia mg DBO ₅ /L		
		A	B	C		A	B	C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2046	13,2	14,9	14,5	15	99,4	99,3	99,3

Nota. Concentración final de DBO5, comparado con el ECA Categoría 3, Subcategoría D1, así como el porcentaje de eficiencia calculado mediante la fórmula.

En la tabla 8, se puede apreciar la concentración de DQO inicial y final del sistema de filtros, donde se obtuvo tres resultados como concentración final de 38.3, 39.0 y 39.6 mg O₂/L, se compararon de forma referencial con el Estándar de Calidad Ambiental y se encuentran por debajo, con un porcentaje de eficiencia de 99% de remoción.

Tabla 8
Valores de DQO en la concentración inicial y final.

Parámetro	Concentración Inicial mg O ₂ /L	Concentración Final mg O ₂ /L			ECA Cat. 3, Sub. D1 mg O ₂ /L	% de Eficiencia mg O ₂ /L		
		A	B	C		A	B	C
Demanda Química de Oxígeno	3988	38,3	39,0	39,6	40	99	99	99

Nota. Concentración final de DQO, comparado con el ECA Categoría 3, Subcategoría D1, así como el porcentaje de eficiencia calculado mediante la fórmula.

En la tabla 9, se puede apreciar la concentración de OD inicial y final del sistema de filtros, donde se obtuvo tres resultados como concentración final de 8.65, 8.62 y 8.61 mg/L, las concentraciones obtenidas fueron comparadas de forma referencial con el ECA y se encuentran dentro del rango establecido, con un porcentaje de eficiencia de 81.8% de remoción.

Tabla 9
Valores de OD en la concentración inicial y final.

Parámetro	Concentración Inicial mg/L	Concentración Final mg/L			ECA Cat. 3, Sub. D1 mg/L	% de Eficiencia mg/L		
		A	B	C		A	B	C
Oxígeno Disuelto	1,57	8,65	8,62	8,61	≥ 4	81.8	81.8	81.8

Nota. Concentración final del oxígeno disuelto, comparado con el ECA Categoría 3, Subcategoría D1, así como el porcentaje de eficiencia calculado mediante la fórmula.

En la tabla 10, se puede apreciar la concentración de pH inicial y final del sistema de filtros, donde se obtuvo tres resultados como concentración final de 7.06, 6.79 y 6.56, las concentraciones obtenidas muestran la mejora, ya que este paso de ácido a neutro encontrándose dentro del parámetro del ECA, estos resultados se compararon de manera referencial con dicho estándar, resultando con un porcentaje de variación de 28.1, 18.9 y 16% de remoción.

Tabla 10
Valores de pH en la concentración inicial y final.

Parámetro	Concentración Inicial	Concentración Final			ECA Cat. 3, Sub. D1	% de Eficiencia		
		A	B	C		A	B	C
pH	5,51	7,06	6,79	6,56	6,5 – 8,5	28.1	18.9	16.0

Nota. Concentración final del pH, comparado con el ECA Categoría 3, Subcategoría D1, así como el porcentaje de eficiencia calculado mediante la fórmula.

Para la tabla 11, se puede apreciar la concentración de ST inicial y final del sistema de filtros, donde se obtuvo tres resultados como concentración final de 506, 581 y 605 mg

ST/L, se comparó de forma referencial con el ECA Categoría 1, Subcategoría A2, esta norma pide como mínimo 1000 mg ST/L y se obtuvo una disminución de 494, 419 y 395 mg ST/L significando un 91.2, 89.9 y 89.4% de remoción.

Tabla 11
Valores de ST en la concentración inicial y final.

Parámetro	Concentración Inicial mg ST/L	Concentración Final mg ST/L			ECA Cat. 1, Sub. A2 mg ST/L	% de Eficiencia mg ST/L		
		A	B	C		A	B	C
Sólidos Totales	5725	506	581	605	1000	91.2	89.9	89.4

Nota. Concentración final de sólidos totales, comparado con el ECA Categoría 1, Subcategoría A2, así como el porcentaje de eficiencia calculado mediante la fórmula.

En la tabla 12, se puede apreciar la concentración de turbidez inicial y final del sistema de filtros, donde se obtuvo tres resultados como concentración final de 11.4, 11.6 y 16 NTU, se comparó de forma referencial con el ECA Categoría 1, Subcategoría A2, esta norma pide como máximo de 100 NTU de turbiedad, obteniendo una remoción de 88.6, 88.4 y 84 significando un 91.2, 89.9 y 89.4% de remoción, resultando un agua idónea según la referencia con el estándar de calidad.

Tabla 12
Valores de Turbidez en la concentración inicial y final.

Parámetro	Concentración Inicial NTU	Concentración Final NTU			ECA Cat. 1, Sub. A2 NTU	% de Eficiencia NTU		
		A	B	C		A	B	C
Turbidez	360,0	11,4	11,6	16	100	96.8	96.8	95.6

Nota. Concentración final de turbidez, comparado con el ECA Categoría 1, Subcategoría A2, así como el porcentaje de eficiencia calculado mediante la fórmula.

Consecuentemente, en la figura 16 se aprecia los porcentajes de los parámetros remediados por el sistema de filtros de carbón activado, donde se logró comprobar la concentración inicial y final de cada parámetro, y se promedió los porcentajes de eficiencia de las concentraciones finales, donde la DBO fue el segundo parámetro con mayor concentración inicial como se observó en la tabla 7 y con mayor porcentaje de remoción con un total de 99.3%.

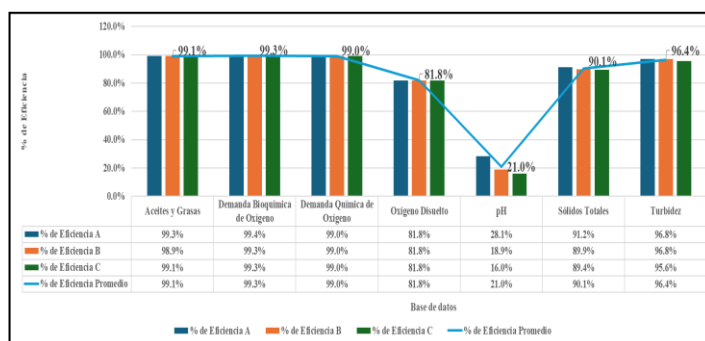


Fig. 16 Promedio de porcentajes de concentración final.

Nota. El gráfico representa la concentración inicial y la concentración final de los parámetros remediados con el sistema de filtro de carbón activado.

IV. DISCUSIÓN

La concentración de los parámetros analizados son Demanda Química de Oxígeno (DQO) es de 3988 mg O₂/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 2046 mg DBO₅/L este sobrepasa los estándares establecidos en D.S N°004 – 2017-MINAM, ya que indica que la DQO debe ser de 40 mg/L y el DBO debe ser de 15 mg/L. Por ello, Chaves et al. (2019), encontraron que su muestra inicial de Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ de 630 DBO₅/L y DQO de 520 mg O₂/L superando los límites establecidos en la norma, a causa de ello, indagaron el tratamiento adecuado para la disminución de dichos parámetros.

Luego de la recopilación de información en la muestra seleccionada y su indagación, se evidenció la concentración final del pH, turbidez, oxígeno disuelto, DQO, DBO, sólidos totales, aceites y grasas. Posterior al uso del sistema de filtros de carbón activado, se ha registrado una reducción de 21% de pH, 96.4% NTU de turbidez, 81.8% de oxígeno disuelto, 99% de DQO, 99.3% de DBO y 99.1% de aceites y grasas se logró remover en un rango de 99% de materia orgánica. Malquí S. (2021) mencionado en los antecedentes nacionales, implementó un sistema de filtros, donde logró un porcentaje de remoción del 99.98% de aceites y grasas.

Teniendo en cuenta que, en la figura 1, 2 y 3 se observa los análisis de las muestras finales de todas las variables: Aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales y turbidez, debido a que con este análisis se determinó la normalidad, además se demuestra la capacidad de cada muestra del tratamiento, donde se obtuvo un valor de significancia 0 siendo menor que el valor que se evaluó en la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza obtenido. En referencia a ello, se acepta la hipótesis que indica la capacidad del sistema para generar una alta remoción de materia orgánica con filtro de carbón activado. Considerando que el análisis estadístico tiene semejanza con Díaz Muñoz L. (2021) donde aplicó un análisis estadístico de varianza 0,000547 siendo menor con el valor que se evaluó en la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza. En ese sentido, de acuerdo a los hallazgos comparados se puede entender que, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula, en consecuencia, se acepta la hipótesis específica de la investigación que menciona la capacidad del sistema de filtros de carbón activado genera una alta remoción de materia orgánica de aguas residuales domésticas en el centro poblado Punchauca.

En la tabla 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 se pueden verificar la concentración inicial de nuestras variables de acuerdo al análisis de las aguas residuales domésticas. Este resultado presenta una concentración ascendente a 5725 mg/L de agua; además se comparó de forma referencial con el estándar de

calidad ambiental Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales establecido en D.S N°004 – 2017-MINAM y para la tabla 11 y 12 se comparó de forma referencial con ECA Categoría 1, Subcategoría A2, se constató que en ambas categorías sobrepasan los límites establecidos, en el cual indica los requisitos necesarios para el riego de vegetales entre otros. Considerando el resultado inicial, luego de implementar el sistema de filtros de carbón activado en las aguas de muestra se logró remover la materia orgánica en un 99%. Asimismo, en comparación a los resultados de eficiencia indicado por Castillo Sánchez, J. G., & Chimbo Solórzano, J. E. (2021) quien en su investigación obtuvo una eficiencia de un 52% que se ha obtenido mediante lombrifiltros valor muy lejano a 99% a la eficiencia que se ha obtenido con el diseño de filtros de carbón activado de la presente investigación, siendo así una diferencia de 47%.

De igual manera, de la recolección de datos finales, se muestra en la figura 10 y 11 el porcentaje promedio de la remoción de las variables, donde se tomó, DQO, DBO, aceites y grasas, se obtuvo un 99% de eficacia, en consecuencia, se acepta la hipótesis general de la investigación donde menciona que el uso del sistema de filtros de carbón activado influye en la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales domésticas del Centro Poblado Punchauca. Este resultado significa que la influencia del sistema de los filtros de carbón activado es significativa en la remoción de materia orgánica. Al respecto, Castro et al. (2023) en su investigación con el objetivo de remediar la materia orgánica en aguas residuales domésticas donde obtuvieron como resultado que el porcentaje de remoción mayor en el DQO y DBO con un intervalo de 50 – 57%. Dando a entender que el carbón activado tiene más repercusión en la remoción siempre y cuando estén conformados por filtros eficaces para la remoción de materia orgánica, en comparación a González et al. (2020) quienes en su investigación mencionan, que el uso ART para el riego agrario es un método eco amigable que beneficia a algunos parámetros del suelo. Esta relación se toma en cuenta, ya que ambas investigaciones denotan el interés por la remoción de la materia orgánica llegando a la misma idea de que el sistema de filtros de carbón activado tiene una gran importancia en la remoción de contaminantes.

En la tabla 5, se tiene el análisis varianza ANOVA de todas las variables remediadas en la presente investigación. Este resultado estadístico con respecto al tiempo de residencia específica el análisis de varianza con un valor de 0,030 es menor en valor de significancia de 0,05. En efecto, se acepta la hipótesis de investigación (H₂) y se rechaza la hipótesis nula (H₀), por lo tanto, teniendo el análisis estadístico tiene semejanza con Maldonado et al. (2020) donde aplicaron un análisis estadístico TUKEY a través del análisis varianza de ANOVA por cada variable: PH con 0.999, DBO con 0.2441, DQO con 0.8049, Sólidos Totales con 0.3559, Aceites y Grasas con 0.5338 aceptando su hipótesis de investigación. En conclusión, las remociones se verán influenciadas significativamente por el tiempo de residencia.

REFERENCIAS

- [1] Castro Moro, B. J. (2023) Evaluación de la eficiencia del carbón activado y la turba como material filtrante para la remediación de las aguas residuales urbanas del canal de la ciudadela mucho lote 1. [Tesis para optar título de Ingeniero Ambiental. Universidad Agraria Del Ecuador, Guayaquil, Ecuador].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CASTRO%20MORA%20BURLAN%20JOEL.pdf>
- [2] Castillo Sánchez, J. G., & Chimbo Solórzano, J. E. (2021) Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- [3] Chandrappa R. y Das D.B. (2014). Sustainable water engineering: Theory and practice. Jhohn Wiley and Sons.
<https://www.perlego.com/book/1000159/sustainable-water-engineering-theory-and-practice-pdf>
- [4] Chaves, J., Franceschi, M. (2019). Eficiencia de remoción de materia orgánica mediante carbón activado, en agua residual de la industria lechera [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/990/Chaves%20Contreras%2C%20Jenny%20Paola-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] Díaz, L. (2020). Eficiencia en la remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lajas, 2020. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental]. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Cajamarca, Perú.
<http://hdl.handle.net/20.500.14142/311>
- [6] Fuentes Rivas, R.M., Ramos Leal, J.A., Jimenez Moleón, M.D., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31 (3), 253-264.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37041042005>
- [7] González Fragozo, H., Zabaleta Solano, C., Devia González, J., Moya Salinas, Y. Y Afanador Rico, O. (2020). Efecto del riego con agua residual tratada sobre la calidad microbiológica del suelo y pasto King Grass. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2).
<https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1513>
- [8] Hoyos, Y. E., & Saucedo, J. F. (2020). Calidad del agua utilizando un sistema de filtros en serie de diferentes materiales en el río Chonta – tramo Otuzco en la ciudad de Cajamarca 2019 (Tesis de licenciatura).
<https://hdl.handle.net/11537/25866>
- [9] Maldonado Mite, D.J. (2020) Diseño de un filtro de carbón activado a base de estopa de coco (cocos nucifera) para la eliminación de aceites y grasas en aguas residuales avícolas. [Tesis para optar título de Ingeniero Ambiental. Universidad Agraria Del Ecuador, Guayaquil, Ecuador].
https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MALDONADO%20MITE%20DIEG%20JOSE_compressed.pdf
- [10] Malqui Solorzano S. (2021) Implementación de un sistema de filtros para la remoción de aceites y grasas de aguas residuales domesticas en la Asociación Café Perú, Puente Piedra, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte] Archivo digital.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29220>
- [11] Mostofa K.M.G., Yoshioka T., Konohira E. y Tanoue E. (2007). Dynamics and characteristics of fluorescent dissolved organic matter in groundwater, river and lake water. *Water Air and Soil Pollut.* 184, 157-176.
[10.1007/s11270-007-9405-1](https://doi.org/10.1007/s11270-007-9405-1)
- [12] Murcia, M. L., Calderón, O. G., & Díaz, J. E. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *Tecnológicas*, 17(32), 57.
<https://doi.org/10.22430/22565337.204>
- [13] OMS (2017) Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 6. Garantizar la Disponibilidad de Agua y su Gestión Sostenible y el Saneamiento para Todos. Establecido el 25 de septiembre del 2015.
[https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/.](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/)
- [14] ONU. (2017). Desarrollo de recursos hídricos.
[Inicio | Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de 2021 \(unesco.org\)](https://www.unesco.org/es/water)

El prototipo contribuye al tratamiento óptimo de las aguas residuales domésticas. En consecuencia, se acepta la hipótesis que menciona que el diseño de un prototipo de un sistema de filtros de carbón activado contribuye al tratamiento óptimo de las aguas residuales domésticas, donde se logró un tratamiento óptimo de 99.1%, 99.3%, 99%, 81.8%, 21%, 90.1% y 96.4% de eficiencia respectivamente en la figura 16, además este prototipo cuenta con 4 filtros que trabajan como un sistema que tiene semejanza con Hoyos et al. (2020) mencionado en los antecedentes nacionales, donde desarrollaron un sistema de filtro en serie. Esta relación se tomó en cuenta ya que ambas investigaciones elaboraron un sistema de filtros y demostraron la eficacia del carbón activado. Gracias a la reducción de contaminantes es importante reconocer que el sistema de filtros es eficiente, por lo que se recomienda ejercer este proyecto con un intervalo de tiempo.

Este resultado especifica que la remoción por medio de carbón activado es beneficiosa para reducir la materia orgánica. Comparando con, Ruiz et al. (2019) en su investigación evidenciaron resultados similares con una medida de 20 g/L tanto para el carbón de tusa y mineral en 3 horas. Esto confirma que el tratamiento con filtros de carbón activado es eficaz para la eliminación de materia orgánica, y puede aplicarse en diferentes tipos de aguas negras.

V. CONCLUSIÓN

Se concluye que, la implementación del sistema de filtros de carbón activado tiene influencia en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas del Centro Poblado Punchauca, el porcentaje de remoción y/o estabilización de los parámetros de: 21% de pH, 96.4% NTU de turbidez, 81.8% de oxígeno disuelto, 99% de DQO, 99.3% de DBO y 99.1% de aceites y grasas.

La eficiencia del sistema de filtros de carbón activado en la remoción de materia orgánica del agua residual doméstica fue de aproximadamente 99% en el agua tratada. Por otra parte, las aguas residuales domésticas del centro poblado Punchauca – Carabayllo en relación al Estándar de Calidad Ambiental para la Categoría 3, subcategoría D1: se evaluó de manera referencial considerando que el agua será para uso riego de vegetales, concluyendo que los parámetros de pH, turbidez, oxígeno disuelto, DQO, DBO, sólidos totales disueltos, aceites y grasas superan lo establecido por la norma.

Cabe señalar que los sistemas de filtración es un método económico para tratar las aguas domésticas, ya que constituyen procesos amigables con el ambiente y minimizan los impactos negativos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios quien nos ha guiado y dado fortaleza para seguir adelante y a todas las personas que nos han apoyado e hicieron posible que la investigación culmine con éxito.

[15]Pedrozo Acuña A.(2020) La calidad del agua: un eje clave de política pública.
doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2020-03

[16]Pintilie, L., Torres, C. M., Teodosiu, C., & Castells, F. (2016). Recuperación de aguas residuales urbanas para reutilización industrial: un estudio de caso de ACV.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.209

[17]Rodríguez Tuesta, A. A. (2014). Estudio de la eficiencia de un filtro sumergido y un filtro percolador en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas, Moyobamba, 2014. Moyobamba.
https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/256

[18]Rodríguez Villamar, C. A. (2017). Empleo, ingresos, pobreza en el distrito de Carabayllo en los últimos treinta años. [Tesis para optar doctora en Gestión Pública y Gobernabilidad. Universidad César Vallejo, Lima, Perú].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/4534/Rodr%C3%ADguez_VCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[19]Ruiz Valles, L., & Orbegoso Alvarez, K. Y. (2019). Eficiencia del carbón activado obtenido a partir del endocarpo de “coco” (Cocos nucifera) y semilla de “aguaje” (Mauritia flexuosa), en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana – Moyobamba, 2018.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSM_62b98a96a500464d0f520ec0582f5b66/Details

ANEXOS

- Anexo 1 – Coordenadas tomadas según las 20 casas como puntos de muestra.
 Anexo 2 – Vivienda utilizada como punto de muestra
 Anexo 3 – Recolección de agua residual doméstica de los 20 puntos de muestra.
 Anexo 4 – Prototipo final a escala de laboratorio.

Anexo 2
Vivienda utilizada como punto de muestra



Anexo 3.
Recolección de agua residual doméstica de los 20 puntos de muestra



Anexo 4.
Prototipo final a escala de laboratorio



Anexo 1
Coordenadas tomadas según las 20 casas como puntos de muestra.

N.º de casa	UTM	
	x	Y
1	281887	8690967
2	281896	8690967
3	281921	8690982
4	281891	8691086
5	281898	8691139
6	281936	8691193
7	281956	8691201
8	281961	8691207
9	281962	8691211
10	282028	8691256
11	281887	8691114
12	281835	8691025
13	281821	8691050
14	281814	8691058
15	281812	8691065
16	281804	8691079
17	281841	8690995
18	281888	8690948
19	281881	8690945
20	281858	8690942

Nota. Datos tomados con GPS Essentials.