



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA



**Evaluación de la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la
remoción de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada La Oyada,
Moyobamba, Perú – 2017**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

AUTORES:

Bach. Sherley Mónica Llanos Angeles

Bach. Hans Christian Mirano Celis

ASESOR:

Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 6054417

Moyobamba – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Evaluación de la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada La Oyada, Moyobamba, Perú – 2017

Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO SANITARIO

AUTORES:

Bach. Sherley Mónica Llanos Angeles

Bach. Hans Christian Mirano Celis

Sustentado y aprobado el día 15 de octubre del 2018 por los siguientes jurados.

Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Presidente

Ing. Alfonso Rojas Bardález
Secretario

Blgo. M. Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación
Miembro

Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Yo, **Sherley Mónica Llanos Angeles**, con DNI N° 73661707 y **Hans Christian Mirano Celis**, con DNI N° 70818065, egresados de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada “**Evaluación de la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada La Oyada, Moyobamba, Perú – 2017**”.

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 02 de diciembre del 2018.



.....
Sherley Mónica Llanos Angeles
DNI N° 73661707



.....
Hans Christian Mirano Celis
DNI N° 70818065

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: <i>Llanos Angeles Sherley Mónica</i>	
Código de alumno : <i>105217</i>	Teléfono: <i>947647768</i>
Correo electrónico : <i>sherleymonica.05@gmail.com</i>	DNI: <i>73661407</i>

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: <i>Ecología</i>
Escuela Profesional de: <i>Ingeniería Sanitaria.</i>

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: <i>" Evaluación de la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada La Oyada, Moyobamba, Perú - 2017"</i>
Año de publicación: <i>2018</i>

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

05 / 11 / 2018




.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

05 / 12 / 2018




.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A Dios que nos acompaña en cada momento de nuestras vidas dándonos fortaleza para afrontar las adversidades que se presentan en el camino.

A Rita Elena Angeles Mori (QEPD), por siempre apoyarnos y demostrarnos su cariño, y porque sabemos que este momento lo disfrutaría y sería muy especial para ella como lo es para nosotros.

A nuestros padres porque son los pilares más importantes de nuestras vidas, y porque somos el reflejo de ellos; por el cariño, el amor, la ayuda económica y emocional que hemos necesitado en el transcurso de nuestra formación académica. A nuestros hermanos y hermanas que son parte de este logro cumplido.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por acompañarnos todos los días de nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos porque son parte de este logro, gracias por las enseñanzas y estar en todos los momentos de nuestra vida.

A Einsten Alberto Llanos Angeles, José Manuel Altamirano Guerrero y Veronika Mirano Celis por apoyarnos en el proceso del desarrollo de nuestra tesis.

Al Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza por su asesoramiento en esta presente investigación.

A nuestros amigos por confiar en nosotros, por formar parte de nuestra etapa universitaria y a todas las personas que estuvieron directa e indirectamente en este proyecto.

A los docentes de la Universidad Nacional de San Martín - Facultad de Ecología, quienes con sus enseñanzas han contribuido en nuestra formación como profesional.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Antecedentes de la investigación	3
1.2 Bases teóricas.....	4
1.3. Definición de términos.....	19
CAPÍTULO II	21
MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1 Materiales.....	21
2.2 Método	21
2.2.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
2.2.2 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	23
CAPÍTULO III.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
3.1 Resultados.....	24
3.1.1 Diseño e implementación del filtro de piedra caliza y filtro de arena en la quebrada La Oyada.	24
3.1.2 Análisis de los niveles de turbiedad, color y sólidos totales, del afluente y efluente del filtro de arena y filtro de piedra caliza.....	28
3.1.3 Determinar la eficiencia de remoción de sólidos totales, turbiedad y color del filtro de arena y filtro de piedra caliza.....	35
3.1.3.1 Eficiencia de filtro de arena para temporada de avenidas	35
3.1.3.2 Eficiencia de filtro de piedra caliza para temporada de avenidas.	38
3.1.3.3 Eficiencia de filtro de arena para temporada de estiaje.....	41
3.1.3.4 Eficiencia de filtro de piedra caliza para temporada de estiaje	44

3.1.4 Comparación de la eficiencia de remoción de turbiedad, color y sólidos totales entre los filtros.....	47
3.2 Discusiones	50
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Variables del proceso que afectan la eficiencia de la filtración lenta	13
Tabla 2: Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	16
Tabla 3: Niveles de concentración de sólidos totales (mg/l) de afluente y efluente de los filtros comparados con los LMP en la temporada de avenida	29
Tabla 4: Niveles de concentración de turbiedad (UNT) de afluente y efluente de los filtros comparados con los LMP en la temporada de avenidas	30
Tabla 5: Niveles de concentración de color (PCU) del afluente y efluente de los filtros comparados con los LMP en la temporada de avenidas	31
Tabla 6: Niveles de concentración de sólidos totales (mg/l) de afluente y efluente de los filtros comparados con los LMP en la temporada de estiaje	32
Tabla 7: Niveles de concentración de turbiedad (UNT) de afluente y efluente de los filtros comparados con los LMP en la temporada de estiaje	33
Tabla 8: Niveles de concentración de color (PCU) de afluente y efluente de los filtros comparados con los LMP en la temporada de estiaje	34
Tabla 9: Eficiencia del filtro de arena para la remoción de sólidos totales en temporada de avenidas	35
Tabla 10: Eficiencia del filtro de arena para la remoción de turbiedad en temporada de avenidas	36
Tabla 11: Eficiencia del filtro de arena para la remoción de color en temporada de avenidas	37
Tabla 12: Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de sólidos totales en temporada de avenidas	38
Tabla 13: Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de turbiedad en temporada de avenidas	39
Tabla 14: Eficiencia del filtro de arena para la remoción de color en temporada de avenidas.	40
Tabla 15: Eficiencia del filtro de arena para la remoción de sólidos totales en temporada de estiaje	41
Tabla 16: Eficiencia del filtro de arena para la remoción de turbiedad en temporada de estiaje	42

Tabla 17: Eficiencia del filtro de arena para la remoción de color en temporada de estiaje	43
Tabla 18: Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de sólidos totales en temporada de estiaje	44
Tabla 19: Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de turbiedad en temporada de estiaje	45
Tabla 20: Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de color en temporada de estiaje	46
Tabla 21: Resumen de porcentaje de eficiencias entre el filtro de arena y filtro de piedra caliza para la temporada de avenidas	50
Tabla 22: Resumen de porcentaje de eficiencias entre el filtro de arena y filtro de piedra caliza para la temporada de estiaje	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismos de transporte en la filtración lenta de arena	8
Figura 2: Esquema de ubicación de puntos de muestreo	21
Figura 3: Niveles de concentración de sólidos totales comparados con los LMP en temporada de avenidas.	29
Figura 4: Niveles de concentración de turbiedad comparados con los LMP en temporada de avenidas	30
Figura 5: Niveles de concentración de color comparados con los LMP en temporada de avenidas	31
Figura 6: Niveles de concentración de sólidos totales comparados con los LMP en temporada de avenidas	32
Figura 7: Niveles de concentración de turbiedad comparados con los LMP en temporada de estiaje	33
Figura 8: Niveles concentración de color comparados con los LMP en temporada de estiaje	34
Figura 9: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de sólidos totales	35
Figura 10: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de turbiedad	36
Figura 11: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de color	37
Figura 12: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales	38
Figura 13: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad	39
Figura 14: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de color	40
Figura 15: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de sólidos totales	41
Figura 16: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de turbiedad	42
Figura 17: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de color	43
Figura 18: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales	44
Figura 19: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad	45

Figura 20: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de color	46
Figura 21: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales	47
Figura 22: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad	47
Figura 23: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de color	48
Figura 24: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales	48
Figura 25: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad	49
Figura 26: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de color	49

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la quebrada La Oyada – Moyobamba, ubicado en las coordenadas UTM E: 284343.52 y N: 9330956.97. Los filtros fueron diseñados e implementados tomando en cuenta el reglamento nacional de edificaciones - OS.020 plantas de tratamiento de agua para consumo humano. Los filtros tienen un diseño característico de forma rectangular, basándose en un consumo promedio diario de 0.081 l/s, con dimensiones de 1.15 m de largo, 0.90 m de ancho, 2.55 m de altura y 1.00 m² de área superficial. La construcción de los filtros se realizó en el mes de febrero del 2018 y la puesta en operación se realizó en el mes de marzo del mismo año. En los resultados obtuvimos que las mayores eficiencias de remoción fueron alcanzadas por el filtro de arena, llegando a obtener eficiencia promedio con respecto a sólidos totales de 58.25% para la temporada de estiaje, y de 36.25% para la temporada de avenidas. Para el parámetro turbiedad se obtuvo valor promedio de 58.25% para la temporada de estiaje y 51.50%, para la temporada de avenidas. Para el parámetro color se obtuvo valor promedio de 57.50% para la temporada de estiaje y 50.25% para la temporada de avenidas.

Finalmente se afirma que el filtro de piedra caliza no es más eficiente que el filtro de arena en la remoción de la concentración de parámetros físicos de las aguas de la quebrada La Oyada.

Palabras claves: arena, piedra caliza, filtro, remoción, eficiencia.

ABSTRACT

This research was carried out in La Oyada - Moyobamba Creek, located at UTM coordinates E: 284343.52 and N: 9330956.97. Filters were designed and implemented, taking into account the national building regulations - OS.020 water treatment plants for human consumption. The filters have a typical rectangular design, based on an average daily consumption of 0.081 l/s, with dimensions of 1.15 m long, 0.90 m wide, 2.55 m high and a 1.00 m² surface area. They were built in February 2018 and put into operation in March of the same year. In the results we found that the highest removal efficiencies were achieved by the sand filter, reaching average efficiencies, with respect to total solids, of 58.25% for the dry season and 36.25% for the flood season. For the turbidity parameter, an average value of 58.25% was obtained for the low water season and 51.50% for the flood season. For the color parameter, an average value of 57.50% was obtained for the low season and 50.25% for the flood season.

Finally, it is stated that the limestone filter is no more efficient than the sand filter in removing the concentration of the physical parameters of the waters of La Oyada Creek.

Keywords: sand, limestone, filter, removal, efficiency.



INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad que tienen las pequeñas comunidades de disponer continua y eficientemente de agua potable, es necesario recurrir al estudio y planteamiento de nuevas alternativas de potabilización del agua, alternativas que sean accesibles y económicamente viables, que satisfagan la demanda de agua para su uso doméstico.

Unas de las alternativas para la potabilización del agua son los métodos de filtración lenta en arena el cual es un tratamiento simple, económico y fiable que pueden satisfacer a la comunidad brindando agua potable libre de contaminantes que puedan afectar a su salud.

Aunque el uso de filtros de arena es una técnica muy antigua y empleada lo que la hace atractiva; en la actualidad, es la utilización de nuevos materiales de filtración que reemplazan a los usados en los medios granulares tradicionales, mejorando así su competencia frente a otras alternativas de tratamiento. Las variaciones que podrían hacerse al proceso evidencian un tema poco explorado a nivel mundial constituyéndose en un estudio novedoso.

Ante esta problemática, se diseñó y construyó dos filtros, una de arena y otra de piedra caliza en la quebrada La Oyada, la cual presenta alteración en sus características físicas por la presencia de una cantera de arena provocando contaminación por los movimientos de tierra y desperdicios. La quebrada La Oyada se encuentra ubicada a 3 kilómetros aproximadamente de la ciudad de Moyobamba con dirección a la ciudad de Tarapoto.

Entre el filtro de arena y filtro de piedra caliza, ¿cuál será más eficiente en la remoción de los niveles de concentración de los parámetros físicos de las aguas de la quebrada La Oyada?

El objetivo principal fue evaluar la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de los niveles de concentración de los parámetros físicos de las aguas de la quebrada La Oyada, lo cual se logró mediante los objetivos específicos que son los siguientes: diseñar e implementar un filtro de arena y filtro de piedra caliza en la quebrada La Oyada, analizar los niveles de sólidos totales, turbiedad y color del afluente y efluente del filtro de arena y filtro de piedra caliza, determinar la eficiencia de remoción de sólidos totales, turbiedad y color del filtro de arena y filtro de piedra caliza, comparar la eficiencia de remoción de sólidos totales, turbiedad y color entre los filtros.

Para la investigación se consideró como variable de estudio el filtro de arena y filtro de piedra caliza para la remoción de los niveles de concentración de parámetros físicos. Como hipótesis de investigación se consideró que el filtro de piedra caliza es más eficiente que el filtro de arena en la remoción de concentración de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada La Oyada.

Este trabajo está estructurado en tres capítulos, cada uno de los cuales está enfocado en los siguientes aspectos. Capítulo I; revisión bibliográfica, organiza y resume todas las referencias sobre el tema elegido. Capítulo II; material y métodos, indica los insumos y procedimiento que se tuvieron en cuenta en este proyecto. Capítulo III; resultados y discusiones, contiene los resultados de los objetivos y las discusiones con respecto a otros trabajos de investigación.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedentes de la investigación

Villota (2013) indica en su investigación “Diseño de un filtro con piroclastos gruesos para la purificación del agua de la comunidad de Vizcaya (Baños Turgurahua)”, en esta investigación se utilizó filtros con piroclastos con diámetros mayores a 2 cm y menor a 4 cm, proveniente del volcán Turgurahua, se obtuvo una eficiencia para reducir la turbiedad, después de 7 horas y de 24 horas de filtración, es similar (alrededor del 37%); sin embargo, después de 120 horas aumenta la eficiencia con una reducción de 80%. Por lo tanto, un filtro de estas características, con un tiempo de 24 horas o menos, reduciría hasta un 37% de turbiedad, mientras que un filtro con un tiempo de 120 horas o más, reducirá la turbiedad más del 80%.

Cardona (2012) indica en su investigación “Caracterización de un filtro lento de arena con un prefiltro de flujo horizontal de grava”, en esta investigación se diseñó, construyó y se comenzó operaciones de una planta consistente fundamentalmente de dos prefiltros de flujo horizontal de grava en paralelo seguidos de dos filtros lentos de arena también en paralelo. Los resultados de cuatro simulaciones de campo de eventos extremos de turbiedad y el muestreo rutinario llevado a cabo durante aproximadamente seis meses han demostrado que el filtro lento de arena (FLA) puede producir consistentemente agua potable con una turbidez menor de 1 UNT, cumpliendo así con los límites máximos permisibles.

Pérez (2014) indica en su investigación “Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano” – Universidad de Boyacá-Colombia, en este estudio se evaluaron dos sistemas de filtración casera, un filtro de 1 vela (1VC) y 2 velas cerámicas (2VC) presentaron material filtrante una bujía o vela cerámica revestida en su interior con plata coloidal y carbón activado, bajo condiciones controladas de laboratorio y durante un periodo prolongado de operación (150 días). Se empleó un sustrato sintético cuyo valor promedio de turbiedad fue de 32.7 ± 2.81 UNT, ambos sistemas de filtración lograron elevadas eficiencias de remoción (99% de turbiedad) y cumplieron las normas nacionales de calidad de agua para consumo humano, lo que evidencia el potencial y los beneficios de este tipo de sistemas caseros para el aseguramiento de la calidad de agua.

Palomino (2013) indica en su investigación “Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de Kuychiro – Cusco”, utilizó cilindros de PVC de 60 litros de capacidad además de material filtrante como arena con densidad de 2.5 gr/cm³ y porosidad de este material es de 34.86%, grava con densidad de 1.45 gr/cm³ y porosidad de 44% y por último arena gruesa con densidad de 1.86 gr/cm³ y porosidad de material de 32.28% además de geotextil, en conclusión, se obtuvo una eficiencia de 4.81% con respecto al parámetro de sólidos totales, encontrándose dentro de los límites máximos permisibles (LMP).

Vega (2013) indica en su investigación “Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la Hacienda Majavita”, se construyeron dos sistemas de filtración en múltiples etapas FiME, en tanques plásticos y el equivalente en concreto cumpliendo especificaciones para evaluar la operación bajo condiciones locales y comparar su eficiencia, los sistemas fueron operados y presentaron remociones apropiadas. El objetivo consistió en evaluar las condiciones de operación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre sedimentación y retro-lavado para establecer las remociones, para ello se diseñaron los componentes adicionales, se instalaron en el sistema, incluyendo una matriz en botellas plásticas en el pre-sedimentador, haciendo seguimiento y monitoreo tomando un total de 15 muestras compuestas durante el periodo comprendido entre febrero de 2011 y septiembre de 2012. Las características del efluente fueron en turbiedad 3.6 UNT con remoción del 84.6%, el color aparente fue de 11.8 UPC con remoción del 72.8%.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Calidad del agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (Vargas, 2011).

1.2.2 Purificación de agua

La purificación puede referirse a quitar las impurezas o la suciedad de un líquido. En el caso específico del agua, su purificación consiste en reducir el nivel de sustancias dañinas para el organismo, como bacterias, componentes tóxicos, etc. Cuando el agua alcanza un nivel apto para el consumo humano, la purificación se convierte en potabilización (Conagua, 2011).

1.2.3 Filtración

La Filtración es el proceso mediante el cual el agua es separada de la materia en suspensión haciéndola pasar a través de una sustancia porosa. En la práctica este material poroso es generalmente arena. Hay dos tipos de filtros de arena los de acción lenta y los de acción rápida. En los filtros lentos, el agua pasa por gravedad a través de la arena a baja velocidad, la separación de los materiales sólidos se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas a los granos de arena.

Filtros rápidos de arena, el principal carácter distintivo de estos filtros, consiste en la eliminación de partículas en suspensión, relativamente grandes por procesos físicos, durante esta operación estos sólidos son acumulados en la parte superior del medio filtrante. Es más, los filtros de arena de acción rápida requieren limpiarse mediante una operación de refluo un tanto complicado (Cristóbal, 2010).

1.2.4 Filtración lenta de arena

La filtración lenta de arena (FLA) consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruyen los microorganismos patógenos presentes en el agua no apta para consumo humano. Por esta característica, se puede considerar como una tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente y el consumidor (Arboleda, 2010).

El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, no mayores de 100 unidades nefelométricas de turbiedad, pero si se diseña y opera apropiadamente, puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua (Arboleda, 2010).

El filtro lento se caracteriza por ser un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento de agua. Su simplicidad y bajo costo de operación y mantenimiento lo convierten

en un sistema ideal para implementar en zonas rurales y pequeñas comunidades (Arboleda, 2010).

La filtración lenta, como se ha mencionado, es un proceso que se desarrolla en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química, pero requiere un buen diseño, así como una juiciosa operación y mantenimiento periódico para no afectar la capa microbiológica del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica y fisicoquímica (Solsona y Méndez, 2012).

1.2.4.1 Descripción del proceso de filtración lenta

En principio, el agua cruda que ingresa al filtro, permanece cierto tiempo sobre el medio filtrante, tiempo que depende de la velocidad de filtración. Durante este periodo, las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las más pequeñas tienden a formar flóculos. En la capa superior de la superficie filtrante, se forma una película delgada denominada *schmutzdecke* constituida por una gran variedad de microorganismos, biológicamente muy activos; sin embargo, se requiere un tiempo de maduración entre 3 y 5 semanas para la formación del mismo. Los microorganismos que conforman la película biológica se estabilizan en los poros de los medios filtrantes gracias al efecto de la gravedad y actúan de manera tal que atrapan, digieren y degradan la materia orgánica contenida en el agua. Cabe destacar que se debe mantener un nivel de agua constante sobre el *schmutzdecke* para posibilitar la subsistencia de los microorganismos que lo componen (Aguilar y Portela, 2009).

Posteriormente el agua sigue avanzando a través del medio filtrante y el material en suspensión es removido por cernido y otros procesos como la adherencia resultante de la acción de las fuerzas eléctricas, acciones químicas y atracción de masas, por lo que disminuye la turbidez y también disminuye el color. Por otro lado, en el espacio vacío del medio filtrante se llevan a cabo procesos de sedimentación. Debido a los procesos que se efectúan, la superficie de las partículas del material filtrante también es revestida por una película biológica similar al *schmutzdecke* con bajo contenido de algas, pero con un gran número de bacterias, las cuales continúan absorbiendo impurezas y otros residuos. En la parte inferior del medio filtrante disminuye la cantidad de alimento produciéndose así otro tipo de bacterias, las cuales utilizan el oxígeno disuelto en el agua y los nutrientes que se encuentran en solución.

Finalmente, el agua fluye a través de la capa inferior conformada por grava y es recolectada mediante una tubería de salida (García y Rivas, 2017).

1.2.4.2 Componentes del filtro.

Los filtros contienen los siguientes componentes: caja de filtro, es la estructura que contempla todo el material filtrante; estructura de entrada, permite el ingreso de un caudal uniforme a la estructura; capa de agua sobrenadante, proporciona una carga hidráulica que es suficiente para hacer pasar el agua a través del lecho del material filtrante siendo esta altura ideal entre 0.80 y 1 m ; lecho de material filtrante, debe estar compuesto por material granular inerte y durable; capa de soporte, consiste en soportar el material filtrante y a la vez recolectar uniforme del agua filtrante; cámara de salida, consta de dos secciones separadas por una pared, en cuya parte superior se coloca un vertedero con rebosadero ligeramente por encima de la parte superior del lecho de arena (Blacio y Palacio, 2014).

1.2.4.3 Mecanismos de remoción

Existe un coeficiente de remoción del filtro (λ), el cual puede ser determinado por medio de dos componentes que son: el coeficiente de probabilidad de colisión (η) y el coeficiente de adherencia (α), los cuales, a su vez, son expresados mediante los mecanismos de remoción de un filtro lento de arena: transporte, adherencia y biológico (Cánepa, 2011).

a) Mecanismo de transporte:

En esta etapa se dan procesos principalmente hidráulicos, bajo condiciones de flujo laminar y considerando que el grano de arena se comporta como una obstrucción que interrumpe el flujo del agua. En la Figura 1 se muestran los diferentes mecanismos mediante los cuales ocurre la colisión entre las partículas y los granos de arena.

Se define el coeficiente η como la oportunidad de colisión entre una partícula y un grano de arena y el número de colisiones por unidad de desplazamiento determina el potencial de remoción mediante la filtración (Cánepa, 2011).

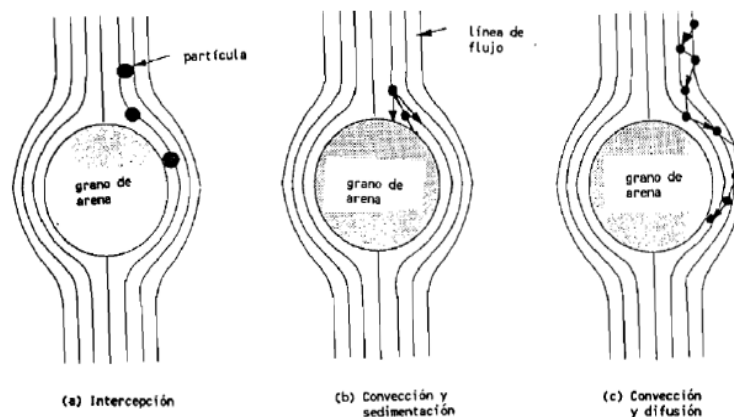


Figura 1: Mecanismos de transporte en la filtración lenta de arena
(Fuente: Filtración Lenta: Teoría y Evaluación, 2011)

- Cernido: Actúa únicamente en la superficie de la arena y sólo con las partículas cuyo tamaño sea mayor al de los espacios dejados por la arena. El cernido puede ocasionar colmatación de la capa superficial afectando así el resto del proceso de filtración.
- Intercepción: Consiste en la colisión de una partícula con un grano de arena cuando la primera es conducida mediante una línea de flujo muy cerca al grano de tal manera que roce con la superficie de éste.
- Sedimentación: Ocurre gracias a la fuerza de gravedad que actúa sobre las partículas cuya masa es suficiente para superar la densidad del agua en el que se encuentran.
- Difusión: Se da cuando una partícula es conducida por una línea de flujo y repentinamente cambia su trayectoria moviéndose de una línea de flujo a otra, pudiendo eventualmente colisionar con un grano de arena. (Cánepa, 2011).

b) Mecanismos de adherencia: La remoción será efectiva sólo si ocurre adherencia en los granos de arena, entonces se define el coeficiente α como la fracción de partículas que se adhieren en relación con el número de colisiones ocurridas, antes de la formación del schmutzdecke su valor es cero (Cánepa, 2011).

Algunas investigaciones sugieren que la adherencia en primera instancia se ve favorecida por el desarrollo de la película biológica del filtro, la cual proporciona a los granos de arena una superficie adsorbente. Existe otra postura que plantea que la adherencia se da gracias a que las enzimas extracelulares se encargan de coagular las partículas. (Cánepa, 2011).

c) Mecanismo biológico: Luego de la formación de la película biológica, la tasa de remoción de coliformes es de aproximadamente 2 a 4 logaritmos, por lo que el valor de α se aproxima a 1 (Cánepa, 2011), lo cual indica que tal vez el componente más importante de los filtros

lentos de arena es el Schmutzdecke, en el que además de la adherencia ocurre la predación por parte de los microorganismos que lo conforman.

Es importante aclarar que la cantidad de microorganismos contribuyentes en el mecanismo biológico se encuentra limitado por el contenido de materia orgánica y nutrientes en el agua cruda y va de la mano de un fenómeno de mortalidad concomitante, durante el cual se libera materia orgánica para ser utilizada por las bacterias de las capas más profundas; de este modo, la materia orgánica degradable presente en el agua, es gradualmente descompuesta en agua, dióxido de carbono y sales como sulfatos, nitratos y fosfatos, que son descargados en el efluente de los filtros (Cánepa, 2011).

1.2.4.4 Hidráulica de la filtración

El comportamiento hidráulico del filtro de arena depende en gran medida de la velocidad de filtración. Para que un filtro de arena pueda ser catalogado como lento, la velocidad de filtración v_f , debe estar en el rango:

$$0.1m^3/m^2/h \leq v_f \leq 0.4m^3/m^2/h$$

Para garantizar que la velocidad se encuentre dentro de los valores correspondientes, es necesario hallar la altura de la columna de agua que permita vencer la resistencia que genera la arena y a su vez controlar la velocidad de flujo en el medio filtrante (Piñol, 2009).

Considerando que el agua seguirá un régimen laminar en su filtración y mantendrá una presión constante en la entrada, es posible usar la ley de Darcy, en forma general:

$$q = -k\nabla h$$

El flujo de agua que pasará por el filtro viene controlado por:

- El nivel de agua cruda H_1
- El nivel de agua tratada H_2
- La velocidad de filtración v_f

Adaptando la Ley de Darcy a un filtro genérico, se obtiene la siguiente ecuación:

$$(H_1 - H_2) = \frac{v_f}{k} L$$

donde:

L es el espesor de la capa de arena, en m

k es el coeficiente de permeabilidad, en cm/s

H_1 es el nivel de agua cruda, en m

H_2 es el nivel de agua tratada, en m

vf es la velocidad de filtración en la arena, en cm/s

Es importante considerar que a medida que el tiempo transcurre, la velocidad de filtración disminuirá, debido a la acumulación de partículas en la arena, disminuyendo también el valor de la permeabilidad, por ello Piñol (2009) recomienda que el nivel de agua cruda se mantenga constante y se controle la velocidad de filtración en la salida del agua tratada, y de este modo se puede saber cuándo la permeabilidad del filtro baja al punto de que es necesario realizarle mantenimiento.

1.2.4.5 Ventajas y limitaciones de los filtros

En comparación con varios otros métodos de tratamiento diseñados para la remoción de materia orgánica, de organismos patógenos, de turbidez y de color, la filtración lenta en arena tiene muchas ventajas. Es la única operación unitaria conocida que consigue tan alto grado de mejora simultánea en la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda (Centro Internacional de Referencia para abastecimiento público de agua de la OMS, 2009).

Además, tiene otras ventajas como:

- Simplicidad en la construcción, operación y mantenimiento, puesto que no requiere de habilidades especiales.
- Altamente aceptado por los usuarios debido a que es fácil de operar y mejora la apariencia y sabor del agua, lo cual puede ser apreciado inmediatamente.
- Alta funcionalidad en las viviendas, debido a que el suministro, el tratamiento y la distribución están bajo el control de cada una de estas (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, 2008).
- No requiere de energía, dado que el proceso es llevado a cabo por gravedad y no tiene partes mecánicas.
- Amigable con el medio ambiente, ya que no requiere de químicos que puedan contaminar cursos cercanos de agua y los lodos que se obtienen como residuo en el mantenimiento se pueden utilizar como fertilizantes naturales para cultivos.
- Bajo costo, que se puede disminuir aún más utilizando técnicas locales y personal de la propia comunidad (Blacio y Palacios, 2014).

Limitaciones

Los filtros lentos de arena presentan ciertas limitaciones, tales como el tratamiento de agua con niveles altos de turbidez, puesto que puede tapar rápidamente la arena fina de estos filtros, si no se le aplica un pretratamiento al agua con una turbidez mayor a 15 NTU. Además, las aguas con muy bajo contenido de nutrientes pueden perjudicar el retiro de la turbidez, puesto que algunos nutrientes deben estar presentes para promover el crecimiento del ecosistema biológico dentro del lecho de filtro.

Los filtros lentos de arena no retiran completamente todos los químicos orgánicos, sustancias inorgánicas disueltas, como algunos metales pesados, y son menos efectivos al retirar microorganismos del agua fría porque a medida que la temperatura decrece, la actividad biológica dentro del lecho de filtro disminuye.

Por otro lado, el agua con arcillas muy finas no es tratada fácilmente usando filtros lentos de arena (National Environmental Services Center, 2009).

1.2.4.6 Características del medio filtrante

Entre las características del medio filtrante que influyen en la filtración, destacan:

- a) Tipo del medio filtrante; El medio filtrante debe seleccionarse de acuerdo con la calidad que se desea para el agua filtrada. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta la duración de la carrera de filtración (capacidad de retención) y la facilidad de lavado. Un medio filtrante ideal es aquel de granulometría determinada y cierto peso específico, que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado de manera eficiente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, para producir un efluente de buena calidad.

La elección del medio filtrante depende de innumerables factores. Entre los más importantes figuran la calidad deseada para el efluente, los costos y la facilidad de adquisición de los materiales en el mercado, y la existencia de personal calificado para operar las instalaciones de filtración (Pérez y Cánepa, 2009).

- b) Características granulométricas del material filtrante; no quede duda alguna sobre su granulometría. Los parámetros que se deben emplear para este fin son los siguientes:

- Tamaño efectivo: en relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el tamaño efectivo se refiere al tamaño de granos correspondiente al porcentaje de 10%.
 - Coeficiente de uniformidad (CU): en relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el coeficiente de uniformidad es igual a la relación entre el tamaño de los granos correspondientes a 60% y el tamaño de los granos correspondiente a 10%. Sería mejor que este coeficiente se llamase de desuniformidad, pues su valor se incrementa a medida que el material granular es menos uniforme.
 - Forma: la forma de los granos normalmente se evalúa en función del coeficiente de esfericidad (Ce). El coeficiente de esfericidad de una partícula se define como el resultado de la división del área superficial de la esfera de igual volumen a la del grano por el área superficial de la partícula considerada. Como es obvio, este valor resulta igual a la unidad para las partículas esféricas y menor de uno para las irregulares.
 - Tamaño mínimo: tamaño por debajo del cual no deben encontrarse granos en el medio filtrante.
 - Tamaño máximo: tamaño por encima del cual no deben encontrarse granos en el medio filtrante. (Pérez y Cánepa, 2009).
- c) Espesor de la capa filtrante. En una planta de tratamiento de agua con filtros de dos o más capas, es relativamente difícil fijar un espesor de medio filtrante para el cual los filtros funcionen constantemente en condiciones ideales, porque la calidad del afluente varía considerablemente durante el año. La experiencia ha demostrado que existe una relación entre el espesor de la capa de arena y la de antracita en un filtro de dos medios; en general, el espesor de la capa de antracita representa de 60 a 80%; y la arena, de 20 a 40% del espesor total del medio filtrante. De este modo, un medio filtrante de 70 cm de espesor tendrá aproximadamente 50 cm de antracita y 20 cm de arena. (Pérez y Cánepa, 2009).

1.2.4.7 Factores que modifican la eficiencia del filtro lento:

Estos factores pueden clasificarse como de diseño, operación y ambientales; del comportamiento de estos dependerá la eficiencia del proceso.

Tabla 1

Variables del proceso que afectan la eficiencia de la filtración lenta.

Clasificación	Variables
Condiciones de diseño	-Tasa de velocidad -Tamaño de arena d10 y C.U. -Pérdida de carga permitida -Profundidad del lecho de arena (máxima y mínima)
Parámetros de operación	-Frecuencia de raspado -Tiempo en que el filtro está fuera de operación después del raspado. -Mínima altura de lecho permitida -Tiempo de maduración del filtro -Variaciones del flujo -Edad y tipo de scmutzdecke.
Condiciones ambientales del agua cruda	-Temperatura del agua -Calidad del agua cruda -Tipoy concentración de algas -Magnitud y tipo de turbiedad -Concentración y tipo de compuestos orgánicos -Concentración y tipo de nutrientes.

Fuente: Pérez y Cánepa. Estudio y diseño de la planta de tratamiento de agua de Barranca.

1.2.5 Parámetros físicos de la calidad del agua

Son los que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, tacto, gusto y olfato como pueden ser los sólidos totales, turbiedad, color, sabor y olor (Vargas, 2011).

1.2.5.1 *Turbiedad*, Es una medida de la dispersión de la luz por el agua como consecuencia de la presencia en la misma de materiales suspendidos coloidales y/o particulados. La presencia de materia suspendida en el agua puede indicar un cambio en su calidad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos. La turbidez es un factor

ambiental importante en las aguas naturales, y afecta al ecosistema ya que la actividad fotosintética depende en gran medida de la penetración de la luz. Las aguas turbias tienen, por supuesto, una actividad fotosintética más débil, lo que afecta a la producción de fitoplancton y también a la dinámica del sistema. La turbidez del agua interfiere con usos recreativos y el aspecto estético del agua. La turbidez constituye un obstáculo para la eficacia de los tratamientos de desinfección, y las partículas en suspensión pueden ocasionar gustos y olores desagradables por lo que el agua de consumo debe estar exenta de las mismas. Por otra parte, la transparencia del agua es especialmente importante en el caso de aguas potables y también en el caso de industrias que producen materiales destinados al consumo humano, tales como las de alimentación, fabricación de bebidas, etc. (Jimeno, 2013).

1.2.5.2 Color, en cuanto al color del agua de consumo, lo ideal es que no tenga ningún color apreciable, pues influye mucho en la percepción de las personas sobre la calidad del agua; actuando así, como un indicador de aceptabilidad. El color del agua se debe principalmente a la presencia de materia orgánica coloreada, presencia de hierro, manganeso y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión. De igual manera, otra posible causa es la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales. En general, se puede deber a diversas causas, es por ello necesario determinar el origen de la coloración y actuar sobre ello. Por otro lado, existen dos tipos de color: color verdadero y color aparente. El color verdadero del agua depende sólo de la materia suspendida y disuelta. Una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como color aparente, producto pues de suspensiones no naturales que a su vez generan turbiedad (Caqui, 2013).

- Normas de color y unidades de color

Normas y unidades del color Platino Cobalto (PCU): el color por lo general hallado en mediciones del agua y aguas residuales es el color Platino Cobalto (Pt-Co), también conocido como color APHA o Hazen. Estos nombres son comúnmente utilizados en diferentes aplicaciones, pero están basados en procedimientos idénticos. Mediciones estándares como Pt-Co/PHA/Hazen están basadas en la escala Hazen de color que fue introducida en 1892 por el químico Allen Hazen. Este color varía de un aspecto amarillo claro hasta marrón. Su rango va de 0-500 en Unidades de color Platino (PCU)* siglas en inglés. Las normas intermedias son preparadas a partir de una solución madre de 500 ppm de cobalto de platino que está disponible comercialmente o se pueden preparar por usuario. Una unidad de color es el color producido por 1 mg/l de platino en forma de ion

cloroplatino. Los valores de color medidos por comparación con los estándares de platino-cobalto se pueden expresar como PCU, Pt-Co, APHA, o unidades Hazen en función de los procedimientos específicos. El límite máximo de unidades es de 15. La OMS recomienda que el consumo de agua de color no excede de 15 unidades de color verdadero (Caqui, 2013).

1.2.5.3 Sólidos totales, de forma genérica se puede denominar sólidos a todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua que no son agua ni gases. Atendiendo a esta definición se pueden clasificar en dos grupos: disueltos y en suspensión. En cada uno de ellos, a su vez, se pueden diferenciar los sólidos volátiles y los no volátiles. La medida de sólidos totales disueltos (TDS) es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química. TDS es definido analíticamente como residuo filtrable total (en mg/L) Los principales aniones inorgánicos disueltos en el agua son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Los principales cationes son calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, etc. Por otra parte, el término sólidos en suspensión, es descriptivo de la materia orgánica e inorgánica particulada existente en el agua (aceites, grasas, arcillas, arenas, fangos, etc.). La presencia de sólidos en suspensión participa en el desarrollo de la turbidez y el color del agua, mientras que la de sólidos disueltos determina la salinidad del medio, y en consecuencia la conductividad del mismo. Por último, la determinación de sólidos volátiles constituye una medida aproximada de la materia orgánica, ya que a la temperatura del método analítico empleado el único compuesto inorgánico que se descompone es el carbonato magnésico. (Romero, 2013).

1.2.6 Ecuación general de eficiencia de remoción.

Parra (2006), la ecuación general de eficiencia de remoción viene dada por:

$$E = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1} * 100 \right)$$

Dónde:

E= eficiencia de remoción del sistema (%)

C₁= concentración del parámetro en el afluente.

C₂ = concentración del parámetro en el efluente.

1.2.7 Límite Máximo Permisible (LMP).

El Límite Máximo Permisible - LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministro (Decreto Legislativo N° 1055, que modifica a la Ley general del ambiente – Ley N° 28611, publicado el 27 junio 2008).

Tabla 2

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica.

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica.			
	Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1.	Olor	---	Aceptable
2.	Sabor	---	Aceptable
3.	Color	UCV escala Pt/Co	15
4.	Turbiedad	UNT	5
5.	Sólidos totales disueltos	mg L ⁻¹	1 000

Fuente. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Decreto Supremo N°031-2010-SA.

UCV= Unidad de color verdadero.

UNT= Unidad nefelométrica de turbiedad.

1.2.8 Reglamento Nacional de Edificaciones- OS. 020 – Plantas de Tratamiento de Agua Potable.

1.2.8.1 Filtro de lento de arena.

- Requisitos generales

- La tasa de filtración deber estar comprendida entre 2 y 8 m³/(m² .día).

a) Cuando el único proceso considerado sea el filtro lento, se adoptarán velocidades de 2 a 3 m³/(m². día).

b) Cuando las aguas procedan de lagunas, embalses o se esté considerando tratamiento preliminar, se podrán emplear tasas de hasta 5 a 8 m³/ (m². día). El límite máximo sólo

se deberá admitir cuando se puedan garantizar excelentes condiciones de operación y mantenimiento.

- Se debe tener un mínimo de dos unidades, las que deberán estar interconectadas a través de la estructura de salida para que se pueda llenar en forma ascendente, después de cada operación de limpieza (raspado), por el filtro colindante en operación.
- La estructura de entrada a la unidad debe considerar:
 - a) Instalaciones para medir y regular el caudal en forma sencilla, mediante vertedero triangular o rectangular, antecedido de una válvula, o compuerta, para regular el flujo de ingreso y un aliviadero para eliminar excesos.
 - b) Un canal que distribuya equitativamente el caudal a todas las unidades.
 - c) Compuertas o válvulas para aislar las unidades.

- Lecho Filtrante

- a) La grava se colocará en tres capas, la primera de 15 cm, con tamaños de 19 a 50 mm, seguida de dos capas de 5 cm de espesor cada una, con tamaños de 9,5 mm a 19 mm y de 3 mm a 9,5 mm, respectivamente. No debe colocarse grava en zonas cercanas a las paredes o a las columnas.
- b) El espesor de la arena deberá ser de 80 a 100 cm. El valor mínimo considerado, después de raspados sucesivos durante la operación de limpieza, será de 50 cm.
- c) El tamaño efectivo de la arena debe estar entre 0,2 a 0,3 mm, y el coeficiente de uniformidad no mayor de 3.

- Caja de filtro

- a) Los filtros podrán ser circulares o rectangulares y el área máxima deberá ser de 50 m² cuando la limpieza se efectuó en forma manual. Las paredes verticales o inclinadas y el acabado en el tramo en el que se localiza el lecho filtrante, debe ser rugoso para evitar cortocircuitos.
- b) El sistema de drenaje, podrá ser:
 - b.1) Drenes formados por un colector principal y un número adecuado de ramales laterales. La pérdida de carga máxima en este sistema no deberá ser mayor que el 10% de la pérdida de carga en la arena, cuando esta se encuentra con su altura mínima (50 cm) y limpia. Este sistema es apropiado para unidades de sección circular

b.2) Canales formados por ladrillos colocados de canto y asentados con mortero, cubiertos encima con otros ladrillos colocados de plano (apoyados en su mayor superficie) y separados con ranuras de 2 cm, que drenan hacia un colector central. Con este tipo de drenaje se consigue una recolección

uniforme del flujo en toda la sección y la pérdida de carga es prácticamente nula. Es apropiado para unidades de sección rectangular y cuadrada.

- La altura máxima de agua en la caja de filtro deberá ser de 0,80 a 1,0 m.

- La estructura de salida deberá estar conformada por:

a) Un vertedero de salida de agua filtrada, ubicado a 0,10 m por encima del nivel del lecho filtrante para evitar que la película biológica quede sin la protección de una capa de agua. Este vertedero descargara hacia una cámara de recepciones agua filtrada.

b) Un aliviadero para controlar el nivel máximo en la caja del filtro. Este vertedero, además, indicara el término de la carrera de filtración y el momento de iniciar la operación de raspado. Los filtros lentos pueden operar con nivel variable sin menoscabo de su eficiencia. Este vertedero rebasara hacia una cámara de desagüe.

c) Una regla graduada dentro de la caja del filtro, haciendo coincidir el cero de la regla con el nivel del vertedero de salida para controlar la pérdida de carga. A medida que el nivel se incrementa se podrá leer conjuntamente la pérdida de carga inicial y la pérdida de carga por colmatación (Reglamento Nacional de Edificaciones- OS. 020 – Plantas de Tratamiento de Agua Potable).

1.2.9 Piroclastos

Los piroclastos son fragmentos expulsados por las explosiones, que tienen tamaños variables desde finísimas partículas ($< 0,001 \text{ mm}$) hasta bombas o bloques de unos 5 m de diámetro. La nomenclatura empleada según su tamaño es: ceniza ($< 0,001 - 2 \text{ mm}$), lapillo (2 -64 mm) y bombas o bloques ($> 64 \text{ mm}$). Todas las bombas son del magma en erupción, es decir son de material juvenil. Cuando este material fresco es poroso y de composición basáltica se le denomina escoria y cuando es silíceo se llama pómez. Escoria: $< 60\%$ de sílice y densidad $> 1 \text{ g/cm}^3$; pómez: $> 60\%$ de sílice y densidad $< 1 \text{ g/cm}^3$. Generalmente, los bloques son fragmentos angulosos de rocas, arrastrados desde las paredes del conducto eruptivo (Villota, 2013).

1.3 . Definición de términos.

Los términos se obtuvieron del reglamento nacional de edificaciones- OS.020. Plantas de Tratamiento de agua para consumo humano.

Agua cruda: es aquella que no ha sido sometida a un proceso de tratamiento.

Afluente: agua que entra a una unidad de tratamiento, inicia una etapa, ó el total de un proceso de tratamiento.

Arena: sedimento detrítico no consolidado cuyo tamaño está comprendido entre 20 μm y 2 mm.

Avenida: elevación, generalmente rápida, en el nivel de las aguas de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor.

Caja de filtro: estructura dentro de la cual se emplaza la capa soporte y el medio filtrante, el sistema de drenaje, el sistema colector del agua del lavado, etc.

Calidad: se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

Caudal máximo diario: es el máximo consumo que se espera realice la población en un día y se calcula como un factor de ampliación ($K_1=1.3$) del Qmd. dicho factor está establecido por la norma.

Caudal máximo horario: es el máximo gasto que será requerido en una determinada hora del día, y se calcula como un valor ampliado del Qmd.

Colorimetría: determinación de la concentración de una sustancia en una solución mediante la medición de la intensidad de color generado al reaccionar con un reactivo adecuado.

Control: proceso permanente y sistemático de comprobación, mediante programas establecidos de muestreo y otros procedimientos.

Efluente: agua que sale de un depósito, termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento.

Estiaje: es el nivel del caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año debido principalmente a la sequía.

Filtro: elemento que, interpuesto en un flujo, permite eliminar parte de los elementos de ese flujo, normalmente elementos no deseados.

Filtración: Es un proceso terminal que sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina, que no alcanzó a ser removida en los procesos anteriores.

Límite máximo permisible: Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua.

Piedra caliza: roca blanda cuyo principal constituyente es carbonato de calcio

Remoción: acción y resultado de remover o removerse.

Tasa constante de filtración: condición de operación de un filtro en la que se obliga a éste a operar a un mismo caudal a pesar de la reducción de la capacidad del filtro por efecto de la colmatación.

Tratamiento de agua: remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo.

Turbiedad: falta de claridad de un líquido, causada por las partículas suspendidas. Definido por la medida de dispersar la luz a través de una muestra.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Para la toma de muestras se utilizaron frascos rotulados, guantes de látex, mascarillas y botas de jebe; y para la medición de parámetros físicos se utilizaron turbidímetro, colorímetro, medidor de sólidos totales; los programas utilizados en el trabajo de gabinete fueron Word para la redacción del informe final, excel para la elaboración de memoria de cálculo y autocad para la elaboración de planos.

Los materiales para la construcción de los filtros que se utilizaron fue cemento portland tipo I, tubería de PVC 2" clase 10, codo 2" x 90° PVC clase 10, tee 2" PVC clase 10, ladrillos pandereta de 9 x 11 x 21cm de arcilla, arena gruesa, grava para filtro de 3/4", grava para filtro de 1/4", grava fina, impermeabilizante, pegamento para tubería, cinta teflón, wincha de 5 m, palana y machete.

2.2 Método

2.2.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de muestras se realizó en los filtros que se encuentran ubicados en la quebrada La Oyada para luego analizarlas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín – T, sede Moyobamba.

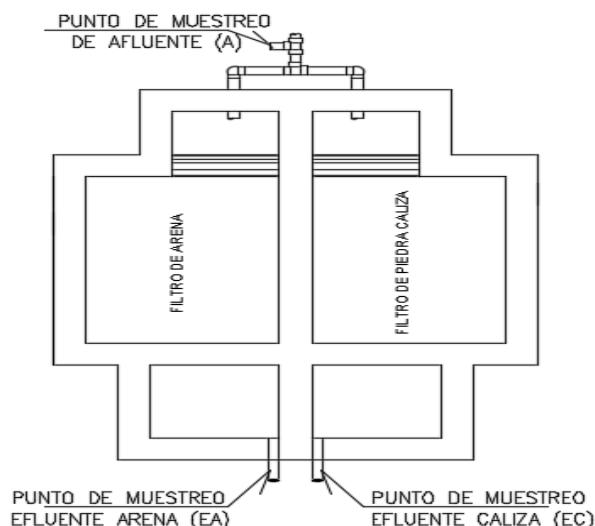


Figura 2: Esquema de ubicación de puntos de muestreo

Técnicas:

a. Observación:

Se realizó el seguimiento y control del funcionamiento del filtro de arena como el filtro de piedra caliza identificando todo cambio o sucesos producidos.

b. Toma de muestra:

Para una temporada de estiaje se realizaron muestreos cada 8 horas durante un periodo de 24 horas, obteniendo 4 muestras en el afluente, 4 en el efluente del filtro de arena y 4 en efluente de filtro de piedra caliza teniendo un total para esta temporada de 12 muestreos. Asimismo, se realizaron para la temporada de avenidas muestreos cada 8 horas durante un periodo de 24 horas, obteniendo 4 muestras en el afluente, 4 en el efluente del filtro de arena y 4 en efluente de filtro de piedra caliza teniendo un total para esta temporada de 12 muestreos.

c. Frecuencia de muestreo:

Las muestras para los análisis mencionados se realizaron cada 8 horas en un periodo de 24 horas para cada temporada (estiaje, avenidas).

Instrumentos:

Los parámetros a medir son sólidos totales, turbiedad y color.

Medidor de sólidos totales (HANNA instruments – Medidor de bolsillo de TDS impermeable DiST®2 (0-10.00 ppt)): el procedimiento seguido para la medición es:

Se limpia la cubeta de análisis, se retira la tapa protectora y se enciende el medidor para luego sumergir en la solución (el máximo de inmersión es de 5 cm). Girar ligeramente el medidor para desalojar cualquier burbuja de aire. Esperar que la pantalla se estabilice. Presionar el botón HOLD para bloquear el resultado. Después de utilizarlo, sacudir el exceso de agua del medidor y colocar la tapa protectora.

Colorímetro HANNA – Checker ® HC HI727: el procedimiento seguido para la medición es:

Limpia la cubeta de análisis y poner el instrumento en cero con ayuda del agua destilada. Después, preparar la muestra de acuerdo con la medición de color verdadero y luego colocar el segundo recipiente con la muestra preparada en el colorímetro, oprimir el botón operacional y el colorímetro presenta el valor de color en la escala de PCU.

Turbidímetro portátil– Turbiquant ® 1100: el procedimiento seguido para la medición es: Limpiar la cubeta de análisis y recoger una muestra representativa en la cubeta de análisis. Llenar una celda para muestras hasta la línea de llenado (15 ml). Cierra la celda. Limpiar la celda con un paño suave y sin pelusa para eliminar las manchas de agua y las huellas dactilares. Pulsar INICIO. Introducir la celda de la muestra en su compartimento, de modo que el diamante o la marca de la celda, coincida con la marca de orientación marcada en relieve delante del compartimento. Pulsar ENTER. En la pantalla aparecerá el valor de turbiedad en UNT.

2.2.2 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

El procesamiento y análisis de datos, se realizó mediante la comparación entre los valores obtenidos de las muestras del filtro de arena y el filtro de piedra caliza tanto en el afluente como en el efluente.

La información resultante del monitoreo del afluente y efluentes fue procesada mediante la aplicación de la estadística descriptiva, para visualizar las diferencias que existen entre estos dos filtros.

Se utilizó hojas de cálculos tales como el Excel para cálculos matemáticos como son dimensionamiento de los filtros; además, para trabajo de gráficos.

Software AutoCAD para el dibujo del dimensionamiento del filtro de arena y filtro de piedra caliza.

Para los cálculos de porcentaje de eficiencia de remoción, se consideró por cada filtro (filtro de arena y filtro de piedra caliza), parámetros (sólidos totales, turbiedad y color) y temporada (estiaje y avenidas). Siendo la ecuación general la siguiente:

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1} * 100 \right)$$

Dónde:

E= eficiencia de remoción del sistema (%)

C₁= concentración del parámetro en el afluente.

C₂ = concentración del parámetro en el efluente.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Diseño e implementación del filtro de piedra caliza y filtro de arena en la quebrada La Oyada.

El diseño de los filtros se realizó teniendo en cuenta el reglamento nacional de edificaciones. OS.020. Plantas de tratamiento para consumo humano. Filtros lentos de arena.

Los cálculos se realizaron teniendo en cuenta la guía para el diseño de sistemas de tratamiento de filtración.

Cálculo del diseño de filtro de arena y filtro de piedra caliza:

Para el cálculo del dimensionamiento del filtro de arena y filtro de piedra caliza se tomaron en cuenta los mismos datos generales, que se detallaran a continuación:

Población de diseño: 100 hab.

Dotación: 70 L/Hab./día.

Coefficiente de máxima variación diaria: $K1=1.3$

Coefficiente de máxima variación horaria: $K2=2$

Altura de primera capa de grava con diámetro de 3/4" (Hc1) = 15 cm.

Altura de segunda capa de grava con diámetro de 1/2" (Hc2) = 5 cm.

Altura de tercera capa de grava con diámetro de 1/4" (Hc3) = 5 cm.

Altura de cuarta capa:

- Arena con diámetro de 1 mm (Hca)= 80 cm., para filtro de arena.
- Caliza con diámetro de 1 mm (Hcc) = 80 cm, para filtro de piedra caliza

Altura del agua sobrenadante (Hagua) =1.00 m.

Altura de borde libre (Hbl) =0.20 m.

Altura de soporte de lechos de grava (Hs)=0.30 m.

Cálculo consumo promedio diario:

$$Q_m = Pd \times d$$

Donde:

Pd=población de diseño (hab.)

d =dotación (l/hab./día)

Qm=consumo promedio diario (l/s).

$$Q_m = 100 \text{ Hab.} \times (70 \text{ l/hab/día})$$

$$Q_m = \frac{7000 \text{ l}}{86400 \text{ s}}$$

$$Q_m = 0.081 \text{ l/s}$$

Cálculo consumo máximo diario (Qmd) y horario (Qmh):

$$Q_{md} = 1.3 \times 0.081 \text{ l/s} = 0.11 \text{ l/s.}$$

$$Q_{mh} = 2 \times 0.081 \text{ l/s} = 0.16 \text{ l/s.}$$

Área superficial (As):

$$As = \frac{Q_{md}}{N \times V_f}$$

Donde:

$$As = m^2$$

Vf= velocidad de filtración (m/h)

Qmd= consumo máximo diario (l/s)

N=número de unidades

$$As = \frac{0.11 \text{ l/s}}{2 \times 0.20 \text{ m/hora}}$$

$$As = \frac{0.11 \text{ l/s}}{0.40 \text{ m/hora}}$$

$$As = \frac{0.11 \text{ l} \times \text{h}}{0.40 \text{ m} \times \text{s}}$$

$$As = \frac{0.11 \text{ l} \times \text{h}}{0.40 \text{ m} \times \text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$As = \frac{396 \text{ m}^3}{400 \text{ m}}$$

$$As = 1.00 \text{ m}^2$$

Coefficiente de mínimo costo (K):

$$K = (2 * N) / (N + 1)$$

$$K = (2 * 2) / (2 + 1)$$

$$K = 4/3$$

$$K = 1.33$$

Longitud de la unidad (Lu):

$$L = (As * K)^{1/2}$$

$$L = (1.00 \text{ m}^2 * 1.33)^{1/2}$$

$$L = (1.00 \text{ m}^2 * 1.33)^{1/2}$$

$$L = 1.15 \text{ m}$$

Ancho de la unidad (b):

$$b = (As/K)^{1/2}$$

$$b = (1.00 \text{ m}^2 / 1.33)^{1/2}$$

$$b = 0.90 \text{ m}$$

Altura para los dos filtros

$$Af = Hc1 + Hc2 + Hc3 + Hca + Hagua + Hbl + Hs$$

$$Af = 0.15 + 0.05 + 0.05 + 0.80 + 1.00 + 0.20 + 0.30$$

$$Af = 2.55 \text{ m}$$

Implementación del filtro de arena y filtro de piedra caliza:

Los filtros se encuentran ubicado en las coordenadas UTM E: 284343.52 y N: 9330956.97, estos filtros fueron construidos en el mes de febrero del 2018. El proceso constructivo del filtro de arena y filtro de piedra caliza se detalla a continuación:

Lo primero que se realizó es un replanteo, demarcando la zona donde se construyeron los filtros, definiendo la sección y longitud que se calculó. Una vez realizado el replanteo, se dio inicio a los trabajos de excavación con el apoyo de 02 obreros alcanzando los niveles de profundidad requeridos. Luego de alcanzar la profundidad para la construcción de los filtros, se realizó un solado de 10 cm de espesor.

Sobre el solado se levantaron los muros de los filtros con ladrillo pandereta con dimensiones de 23x11x9 cm. Se realizó un asentado tipo sogá.

Una vez asentados los muros, se prosiguió con la instalación de las tuberías de PVC SAP C-10 con diámetros de 2" para el afluente y de 1 1/2" para el efluente.

Terminado la instalación de las tuberías, se realizó los trabajos de tarrajeo en el interior y exterior de la estructura logrando las dimensiones internas obtenidas en el cálculo, siendo estas de 0.90 m x 1.15 m x 2.55 m. A continuación, se construyó las canaletas de drenaje con dimensiones de 0.80m x 0.10 m x 0.15 m. Después de culminada la construcción se prosiguió con la limpieza interna y externa de los filtros.

Luego se acondicionó el soporte de grava con ladrillos King Kong de concreto bloque 14 con dimensiones de 24 cm x 14cm x 19 cm.

Agregamos el material filtrante que se detalla a continuación:

- Primera capa de grava con diámetro de 3/4" (Hc1) a una altura de 15 cm
- Segunda capa de grava con diámetro de 1/2" (Hc2) a una altura de 5 cm
- Tercera capa de grava con diámetro de 1/4" (Hc3) a una altura de 5 cm.
- Estos materiales son para los dos filtros, y como última capa tenemos.
- Cuarta capa de arena con diámetro de 1 mm (Hca) a una altura de 80 cm para el filtro de arena.
- Cuarta capa de piedra caliza con diámetro de 1 mm (Hca) a una altura de 80 cm para el filtro de piedra caliza.

Puesta en operación y mantenimiento del filtro de arena y filtro de piedra caliza:

Concluida la etapa de construcción de los filtros se inició la operación en el mes de marzo del 2018, en este periodo se pudo regular el nivel de agua manipulando las llaves de control tanto en el afluente y efluente de los filtros. Además, se retiró material desprendido presente en la capa superior del medio filtrante. Se continuó con la observación del buen funcionamiento de los filtros, verificando cambios en las características físicas del agua que puedan perjudicar el correcto funcionamiento de los filtros.

Para el mantenimiento de los filtros se inició cerrando la llave de control del afluente y abriendo la llave del efluente dejando 15 cm de agua sobre el material filtrante el cual sirvió para lavar las paredes del filtro; posteriormente se abrieron las llaves del afluente y efluente para el enjuague de los filtros, hasta observar que el efluente sea visiblemente similar al agua con el que se está lavando.

3.1.2 Análisis de los niveles de turbiedad, color y sólidos totales, del afluente y efluente del filtro de arena y filtro de piedra caliza.

En este numeral presentamos los resultados de 24 muestras que fueron de la siguiente manera; 4 muestras en el afluente, 4 en el efluente del filtro de arena y 4 en el efluente del filtro de piedra caliza para la temporada de estiaje haciendo un total de 12 muestras; asimismo, se realizaron 4 muestras en el afluente, 4 en el efluente del filtro de arena y 4 en el efluente del filtro de piedra caliza para la temporada de avenidas, haciendo un total de 12 muestras en esa temporada. Por lo tanto, se tomaron 24 muestras durante toda la investigación.

a. Temporada de avenida

Tabla 3

Niveles de concentración de sólidos totales (mg/l) de afluente y efluente de los filtros comparados con los límites máximo permisible (LMP) en la temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente (mg/l)	Efluente Caliza (mg/l)	Efluente Arena (mg/l)	LMP
08/04/18	8:00	240	180	162	1000
08/04/18	16:00	236	170	153	1000
09/04/18	0:00	230	163	146	1000
09/04/18	8:00	226	154	135	1000

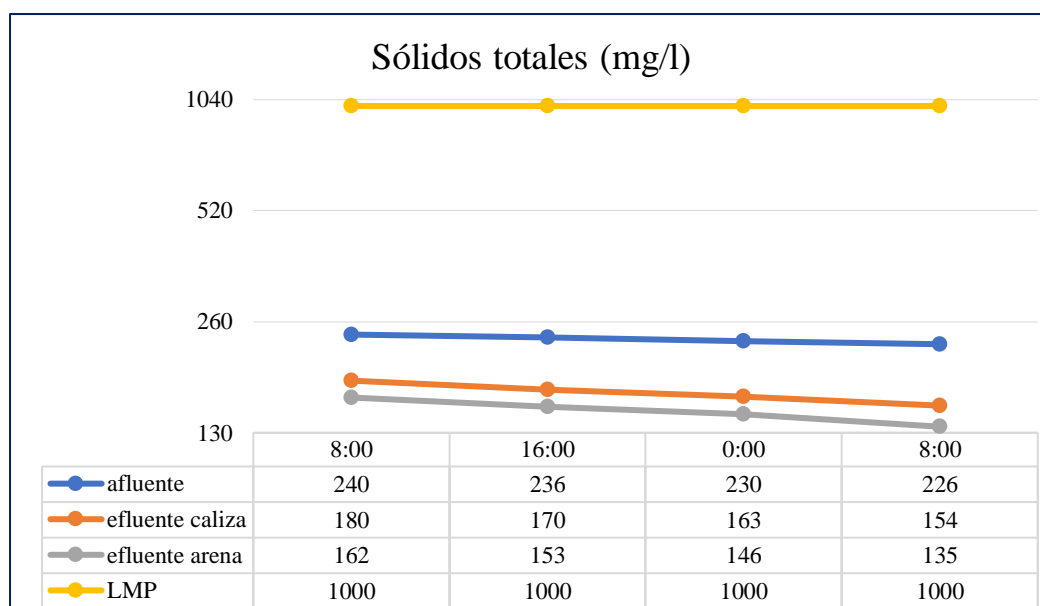


Figura 3: Niveles de concentración de sólidos totales comparados con los LMP en temporada de avenidas.

En la figura 3, se muestran datos de sólidos totales para una temporada de avenidas obtenidos dentro de 24 horas con un intervalo de 8 horas. Muestras tomadas del afluente de los filtros dan como valor promedio 233 mg/l y para los efluentes del filtro de arena y filtro de piedra caliza se obtuvieron valores promedios de 149.00 mg/l y 166.75 mg/l respectivamente, logrando una diferencia de 84 mg/l para el filtro de arena y 66.25 mg/l para el filtro de piedra caliza. Se aprecia que los valores obtenidos se encuentran dentro de los LMP.

Tabla 4

Niveles de concentración de turbiedad (UNT) de afluente y efluente de los filtros comparados con los límites máximos permisible (LMP) en la temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente (UNT)	Efluente Caliza (UNT)	Efluente Arena (UNT)	LMP
08/04/18	8:00	220	125	115	5
08/04/18	16:00	216	116	108	5
09/04/18	0:00	210	106	101	5
09/04/18	8:00	204	95	90	5

Nota: UNT, unidad nefelométrica de turbiedad.

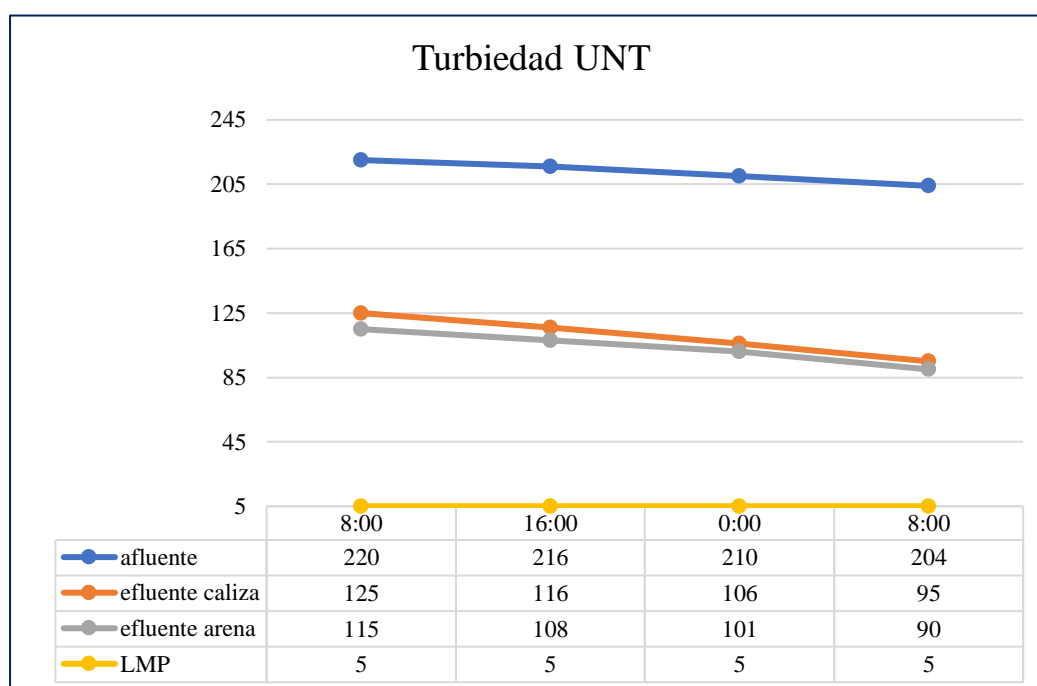


Figura 4: Niveles de concentración de turbiedad comparados con los LMP en temporada de avenidas.

En la figura 4, se muestran datos de turbiedad para una temporada de avenidas obtenidos dentro de 24 horas con un intervalo de 8 horas. Muestras tomadas del afluente de los filtros dan como valor promedio 212.50 UNT y para los efluentes del filtro de arena y filtro de piedra caliza se obtuvieron valores promedios de 103.5 UNT y 110.50 UNT respectivamente, logrando una diferencia de 109 UNT para el filtro de arena y 102 UNT para el filtro de piedra caliza. Los resultados obtenidos se encuentran por encima de los LMP.

Tabla 5

Niveles de concentración de color (PCU) del afluente y efluente de los filtros comparados con los límites máximos permisibles (LMP) en la temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente (PCU)	Efluente Caliza (PCU)	Efluente Arena (PCU)	LMP
08/04/18	8:00	415	240	220	15
08/04/18	16:00	410	230	210	15
09/04/18	0:00	405	215	195	15
09/04/18	8:00	390	200	185	15

Nota: PCU, unidad de Platino Cobalto (Pt/Co).

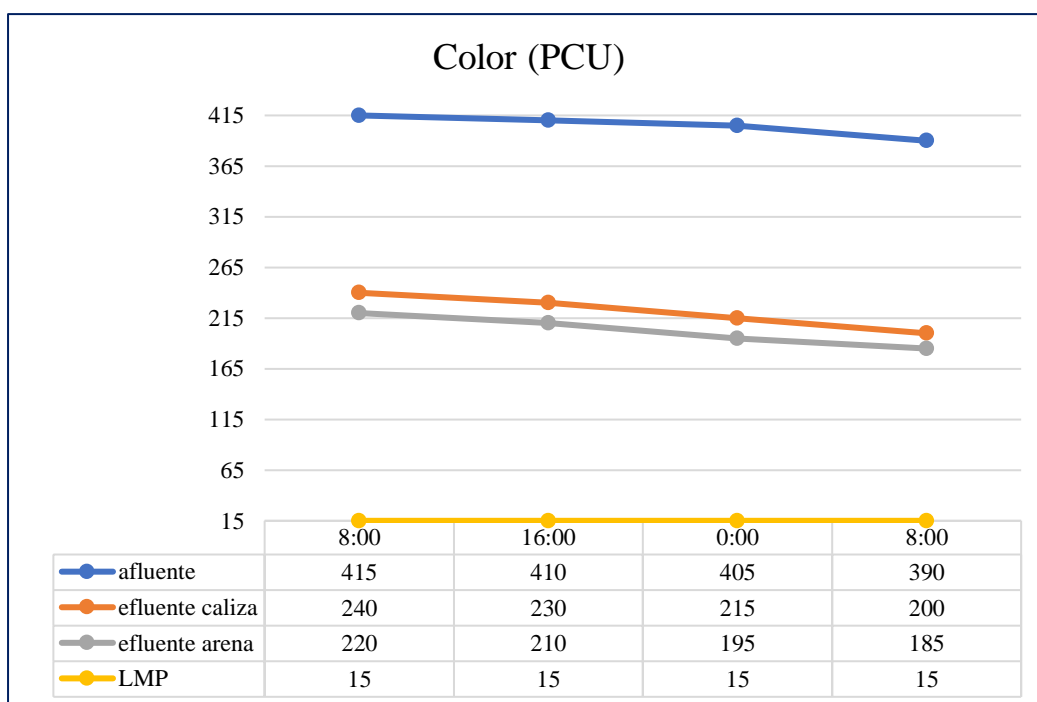


Figura 5: Niveles de concentración de color comparados con los LMP en temporada de avenidas.

En la figura 5, se muestran datos de olor para una temporada de avenidas obtenidos dentro de 24 horas con un intervalo de 8 horas. Muestras tomadas del afluente de los filtros dan como valor promedio 405 PCU y para los efluentes del filtro de arena y filtro de piedra caliza se obtuvieron valores promedios de 202.50 PCU y 221.25 PCU respectivamente, logrando una diferencia de 202.50 PCU para el filtro de arena y 183.75 PCU para el filtro de piedra caliza. Los resultados obtenidos se encuentran por encima de los LMP.

b. Temporada de estiaje

Tabla 6

Niveles de concentración de sólidos totales (mg/l) del afluente y efluente de los filtros comparados con los límites máximos permisible (LMP) en la temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente (mg/l)	Efluente Caliza (mg/l)	Efluente Arena (mg/l)	LMP
29/05/18	8:00	80	49	35	1000
29/05/18	16:00	75	47	32	1000
30/05/18	0:00	84	50	35	1000
30/05/18	8:00	79	46	30	1000

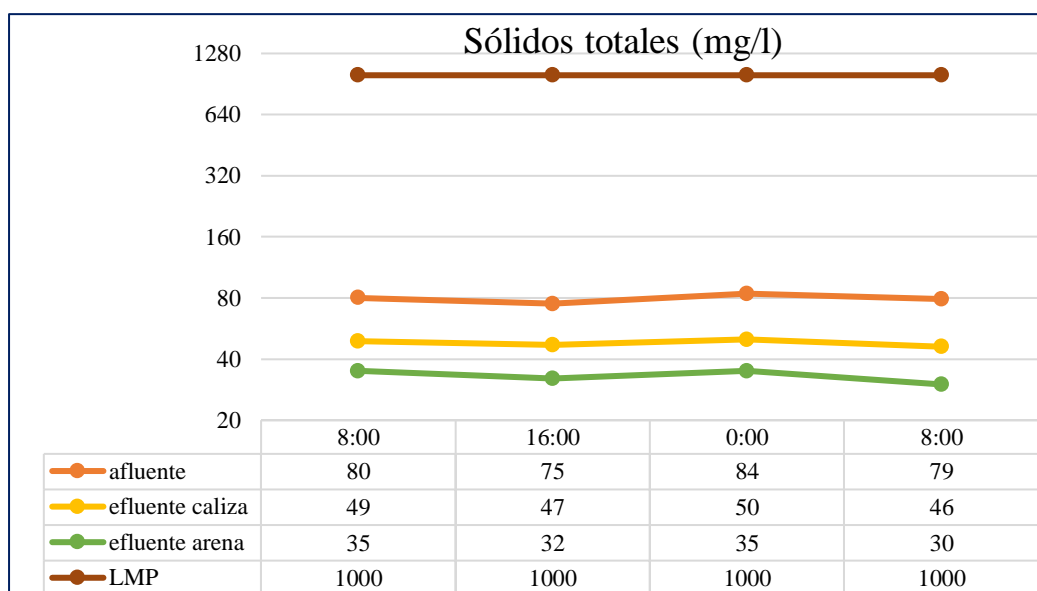


Figura 6: Niveles de concentración de sólidos totales comparados con los LMP en temporada de avenidas.

En la figura 6, se muestran datos de sólidos totales para una temporada de estiaje obtenidos dentro de 24 horas con un intervalo de 8 horas. Muestras tomadas del afluente de los filtros dan como valor promedio 79.50 mg/l y para los efluentes del filtro de arena y filtro de piedra caliza se obtuvieron valores promedios de 33 mg/l y 48 mg/l respectivamente, logrando una diferencia de 46.50 mg/l para el filtro de arena y 31.5 mg/l para el filtro de piedra caliza. Se aprecia que los valores obtenidos se encuentran dentro de los LMP.

Tabla 7

Niveles de concentración de turbiedad (UNT) de afluente y efluente de los filtros comparados con los límites máximos permisibles (LMP) en la temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente (UNT)	Efluente Caliza (UNT)	Efluente Arena (UNT)	LMP
29/05/18	8:00	84.25	42	38	5
29/05/18	16:00	76	35.26	32.45	5
30/05/18	0:00	69.12	30	28.8	5
30/05/18	8:00	76.55	29.9	28.6	5

Nota: UNT, unidad nefelométrica de turbiedad.

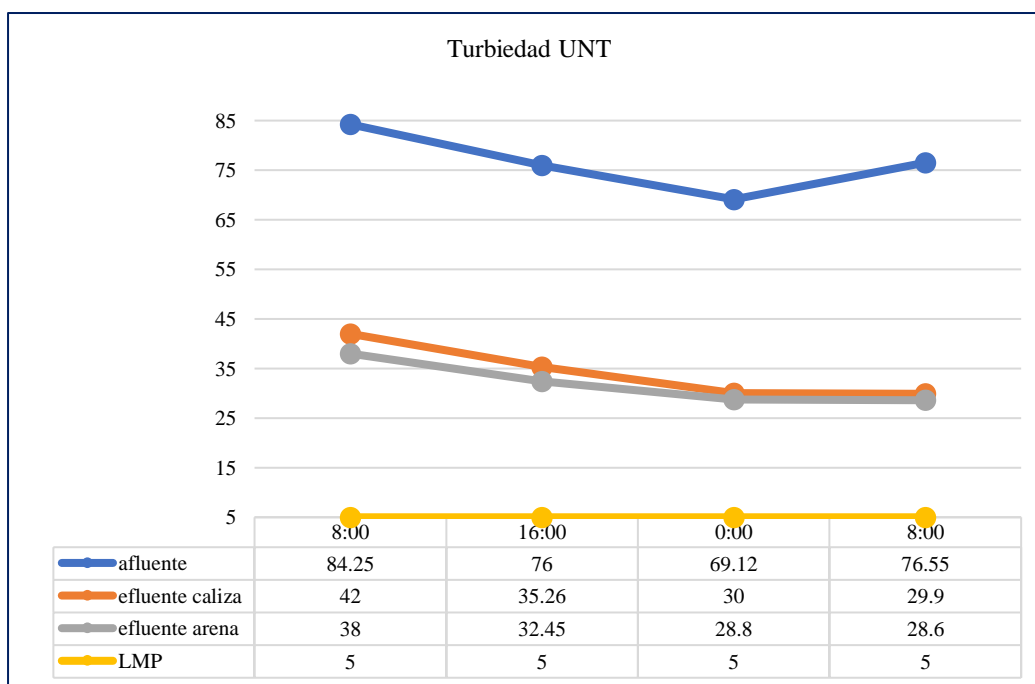


Figura 7: Niveles de concentración de turbiedad comparados con los LMP en temporada de avenidas.

En la figura 7, se muestran datos de turbiedad para una temporada de estiaje obtenidos dentro de 24 horas con un intervalo de 8 horas. Muestras tomadas del afluente de los filtros dan como valor promedio 76.48 UNT y para los efluentes del filtro de arena y filtro de piedra caliza se obtuvieron valores promedios de 31.96 UNT y 34.29 UNT respectivamente, logrando una diferencia de 44.52 UNT para el filtro de arena y 42.19 UNT para el filtro de piedra caliza. Los resultados obtenidos se encuentran por encima de los LMP.

Tabla 8

Niveles de concentración de color (PCU) de afluente y efluente de los filtros comparados con los límites máximos permisibles (LMP) en la temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente (PCU)	Efluente Caliza (PCU)	Efluente Arena (PCU)	LMP
29/05/18	8:00	175	85	77	15
29/05/18	16:00	165	83	70	15
30/05/18	0:00	155	73	65	15
30/05/18	8:00	150	74	63	15

Nota: PCU, unidad de Platino Cobalto (Pt/Co).

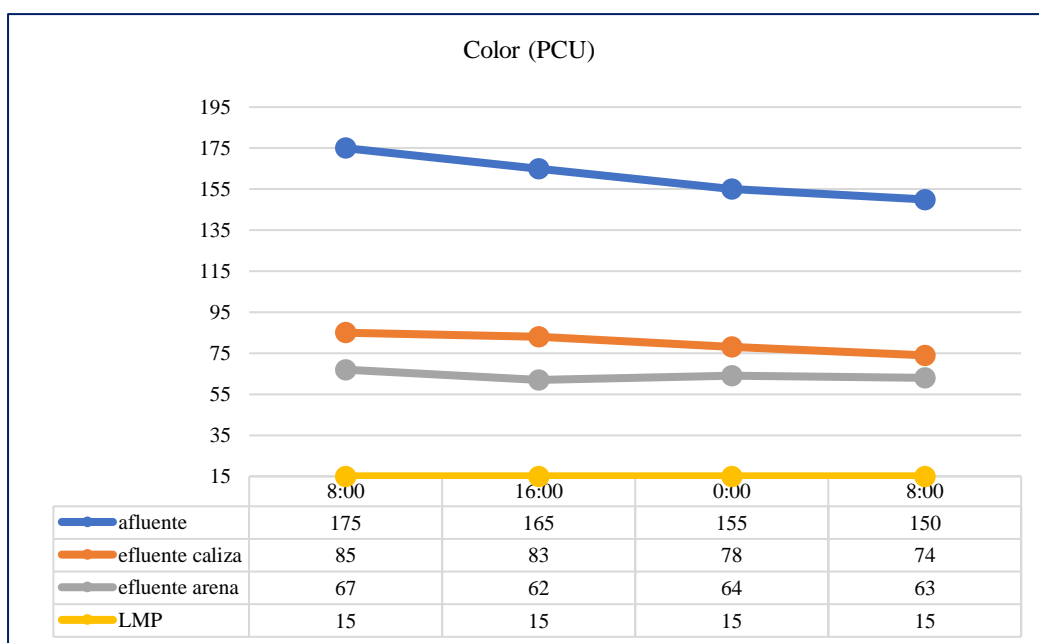


Figura 8: Niveles concentración de color comparados con los LMP en temporada de avenidas.

En la figura 8, se muestran datos de color para una temporada de estiaje obtenidos dentro de 24 horas con un intervalo de 8 horas. Muestras tomadas del afluente de los filtros dan como valor promedio 161.25 PCU y para los efluentes del filtro de arena y filtro de piedra caliza se obtuvieron valores promedios de 68.75 PCU y 78.75 PCU respectivamente, logrando una diferencia de 92.5 PCU para el filtro de arena y 82.5 PCU para el filtro de piedra caliza. Los resultados obtenidos se encuentran por encima de los LMP.

3.1.3 Determinar la eficiencia de remoción de sólidos totales, turbiedad y color del filtro de arena y filtro de piedra caliza.

Se presentan las eficiencias del filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad, color y sólidos totales, en un tiempo de 24 horas para cada temporada (estiaje y avenida).

3.1.3.1 Eficiencia de filtro de arena para temporada de avenidas

Tabla 9

Eficiencia del filtro de arena para la remoción de sólidos totales en temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente mg/l (C_1)	Efluente Arena mg/l (C_2)	Eficiencia
08/04/18	8:00	240	162	33%
08/04/18	16:00	236	153	35%
09/04/18	0:00	230	146	37%
09/04/18	8:00	226	135	40%

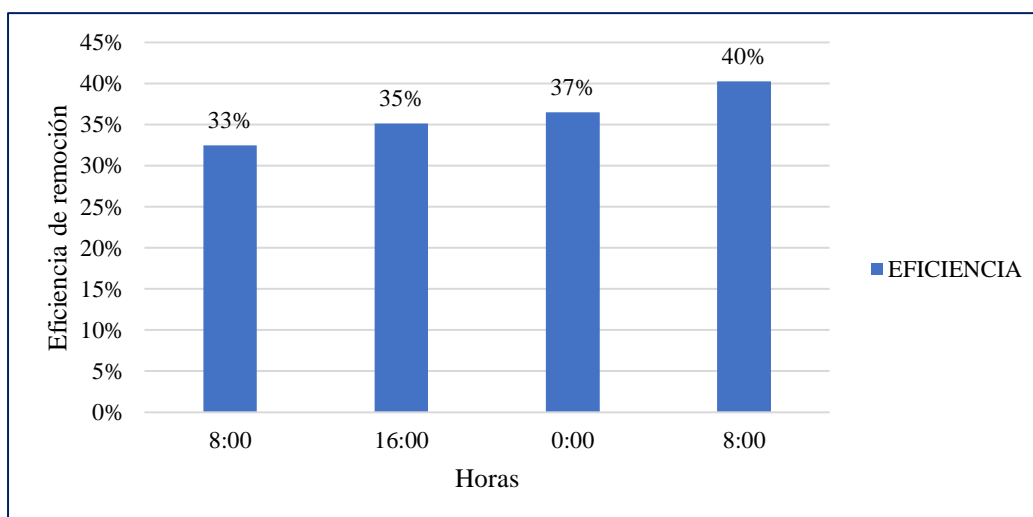


Figura 9: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de sólidos totales.

En la figura 9, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de arena en la remoción del parámetro sólidos totales (mg/l), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 33 % y la máxima eficiencia de 40 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 10

Eficiencia del filtro de arena para la remoción de turbiedad en temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluyente UNT (C_1)	Efluente Arena UNT (C_1)	Eficiencia
08/04/18	8:00	220	115	48%
08/04/18	16:00	216	108	50%
09/04/18	0:00	210	101	52%
09/04/18	8:00	204	90	56%

Nota: UNT, unidad nefelométrica de turbiedad

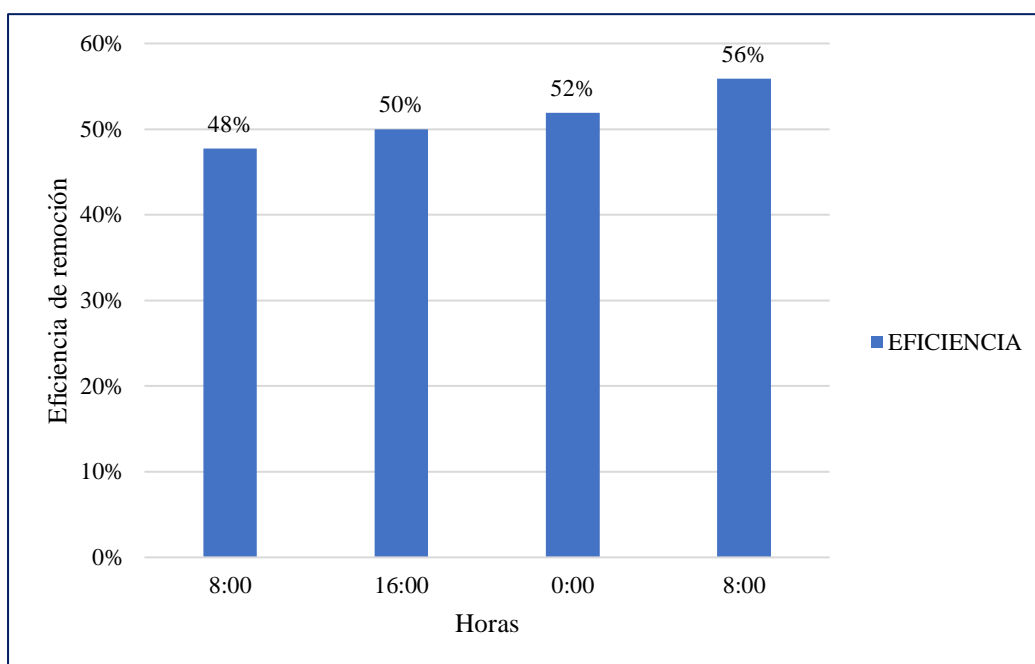


Figura 10: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de turbiedad.

En la figura 10, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de arena en la remoción del parámetro turbiedad (UNT), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 48 % y la máxima eficiencia de 56 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 11

Eficiencia del filtro de arena para la remoción de color en temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente PCU (C_1)	Efluente Arena PCU (C_2)	Eficiencia
08/04/18	8:00	415	220	47%
08/04/18	16:00	410	210	49%
09/04/18	0:00	405	195	52%
09/04/18	8:00	390	185	53%

Nota: PCU, unidad de Platino Cobalto (Pt/Co).

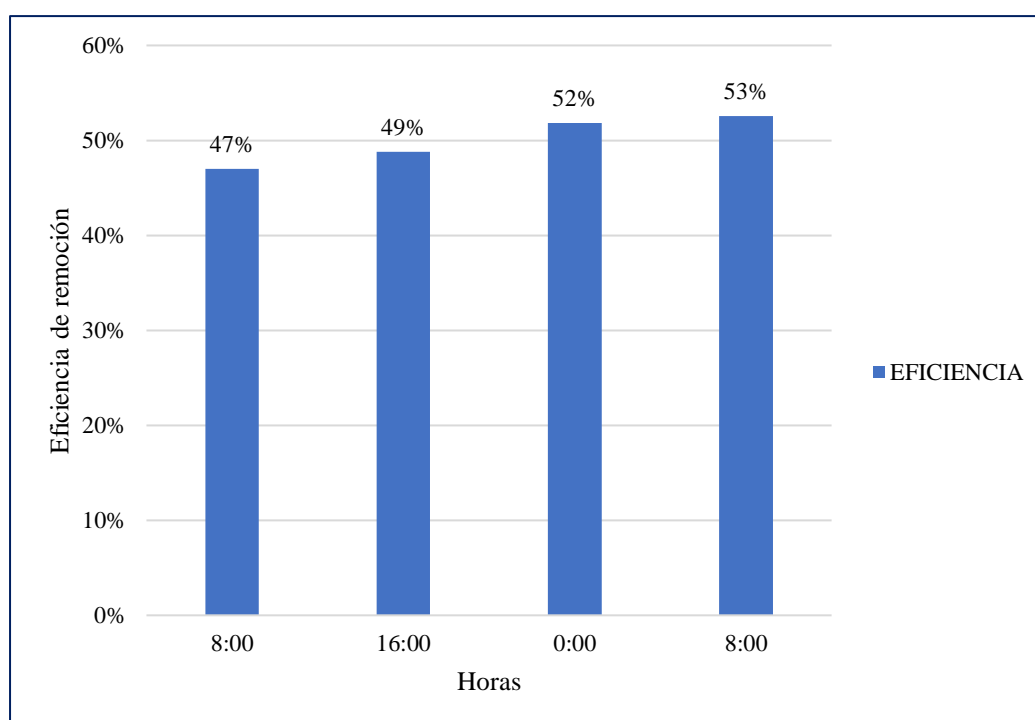


Figura 11: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de color.

En la figura 11, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de arena en la remoción del parámetro color (PCU), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 47 % y la máxima eficiencia de 53 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

3.1.3.2 Eficiencia de filtro de piedra caliza para temporada de avenidas.

Tabla 12

Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de sólidos totales en temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente mg/l (C_1)	Efluente Caliza mg/l (C_2)	Eficiencia
08/04/18	8:00	240	180	25%
08/04/18	16:00	236	170	28%
09/04/18	0:00	230	163	29%
09/04/18	8:00	226	154	32%

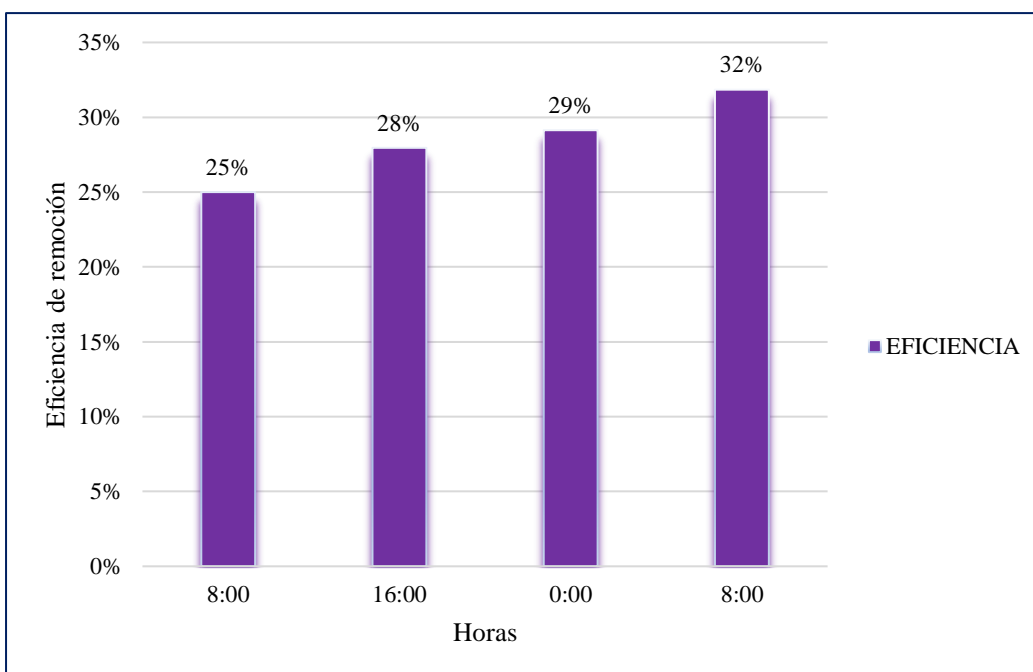


Figura 12: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales.

En la figura 12, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción del parámetro sólidos totales (mg/l), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 25 % y la máxima eficiencia de 32 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 13

Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de turbiedad en temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente UNT (C ₁)	Efluente Caliza UNT (C ₂)	Eficiencia
08/04/18	8:00	220	125	43%
08/04/18	16:00	216	116	46%
09/04/18	0:00	210	106	50%
09/04/18	8:00	204	95	53%

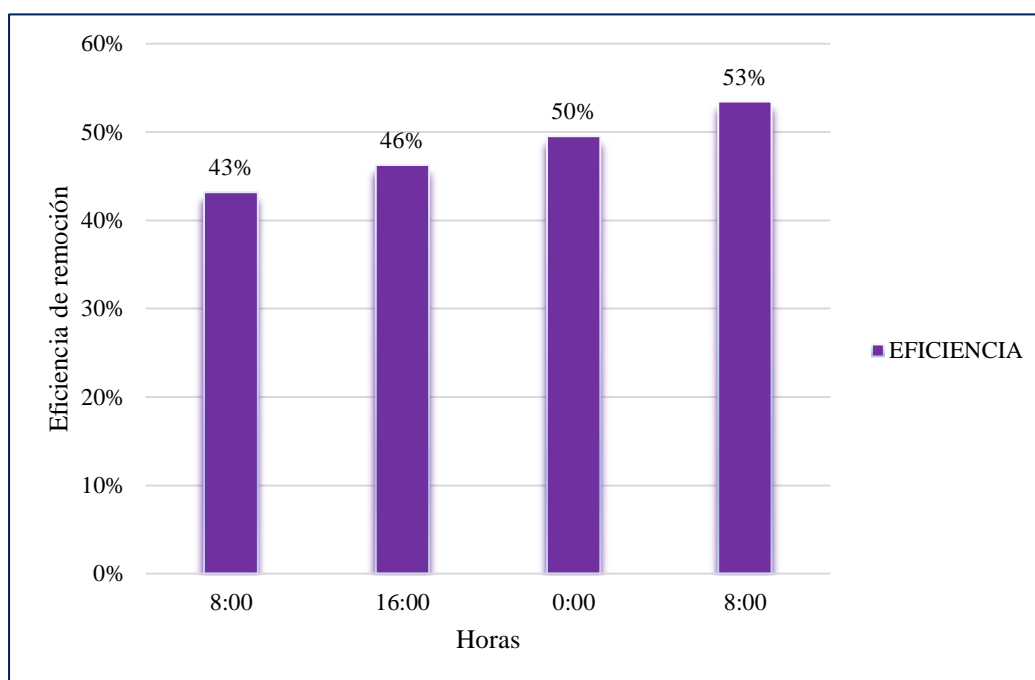


Figura 13: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad.

En la figura 13, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción del parámetro turbiedad (UNT), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 43 % y la máxima eficiencia de 53 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 14

Eficiencia del filtro de arena para la remoción de color en temporada de avenidas.

Fecha	Hora	Afluente PCU (C_1)	Efluente Caliza PCU (C_2)	Eficiencia
08/04/18	8:00	415	240	42%
08/04/18	16:00	410	230	44%
09/04/18	0:00	405	215	47%
09/04/18	8:00	390	200	49%

Nota: PCU, unidad de Platino Cobalto (Pt/Co).

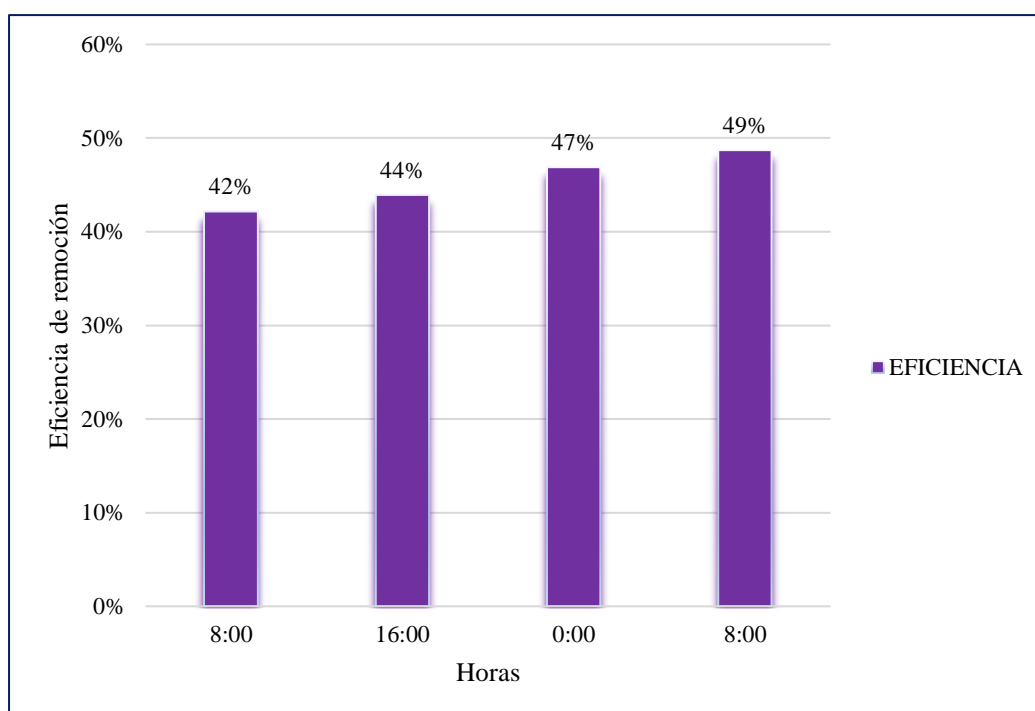


Figura 14: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de color.

En la figura 14, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción del parámetro color (PCU), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 42 % y la máxima eficiencia de 49 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

3.1.3.3 Eficiencia de filtro de arena para temporada de estiaje

Tabla 15

Eficiencia del filtro de arena para la remoción de sólidos totales en temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluyente mg/l (C_1)	Efluente Arena mg/l (C_2)	Eficiencia
29/05/18	8:00	80	35	56%
29/05/18	16:00	75	32	57%
30/05/18	0:00	84	35	58%
30/05/18	8:00	79	30	62%

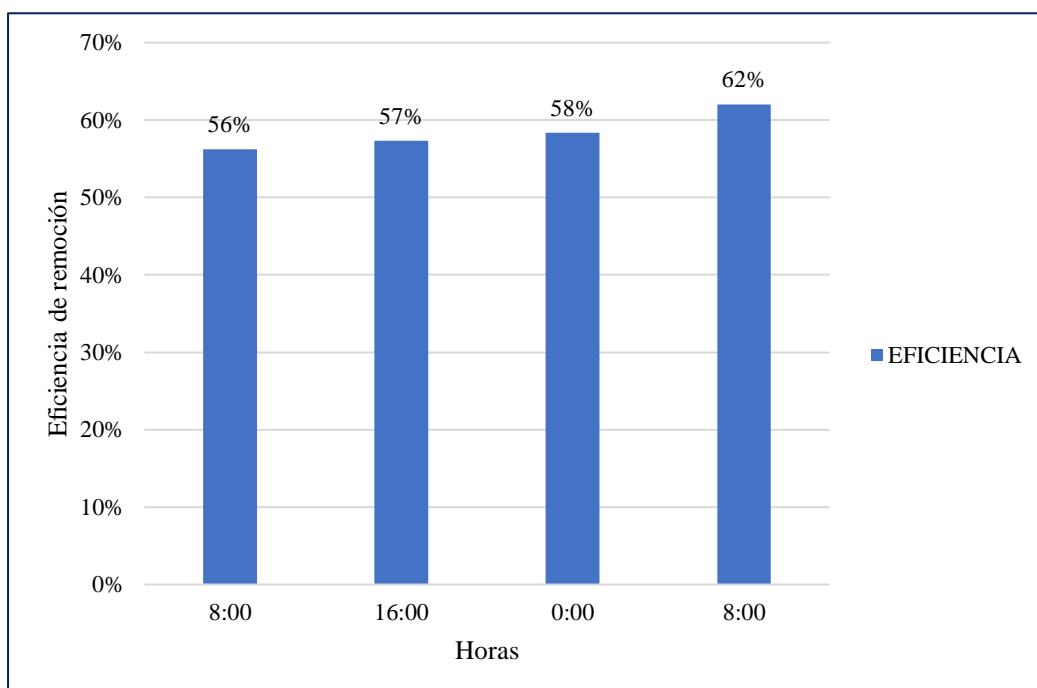


Figura 15: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de sólidos totales.

En la figura 15, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de arena en la remoción del parámetro sólidos totales (mg/l), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 56 % y la máxima eficiencia de 62 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 16

Eficiencia del filtro de arena para la remoción de turbiedad en temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente UNT (C_1)	Efluente Arena UNT (C_2)	Eficiencia
29/05/18	8:00	84.25	38	55%
29/05/18	16:00	75	32.45	57%
30/05/18	0:00	69.12	28.8	58%
30/05/18	8:00	76.55	28.6	63%

Nota: UNT, unidad nefelométrica de turbiedad

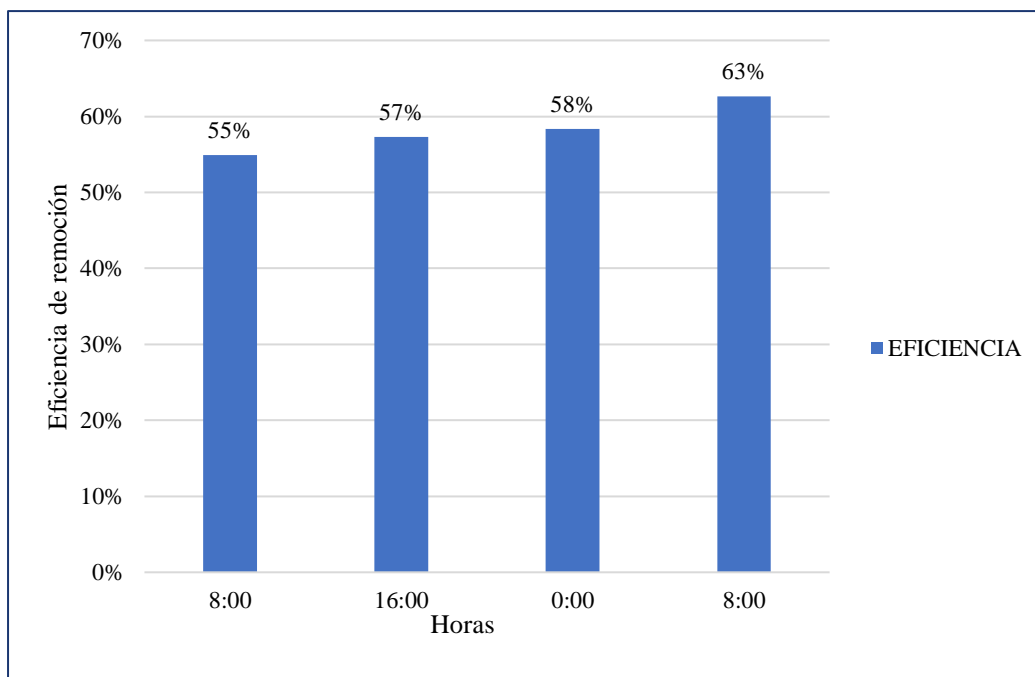


Figura 16: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de turbiedad.

En la figura 16, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de arena en la remoción del parámetro turbiedad (UNT), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 55 % y la máxima eficiencia de 63 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 17

Eficiencia del filtro de arena para la remoción de color en temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente PCU (C_1)	Efluente Arena PCU (C_2)	Eficiencia
29/05/18	8:00	175	77	56%
29/05/18	16:00	165	70	58%
30/05/18	0:00	155	65	58%
30/05/18	8:00	150	63	58%

Nota: PCU, unidad de Platino Cobalto (Pt/Co).

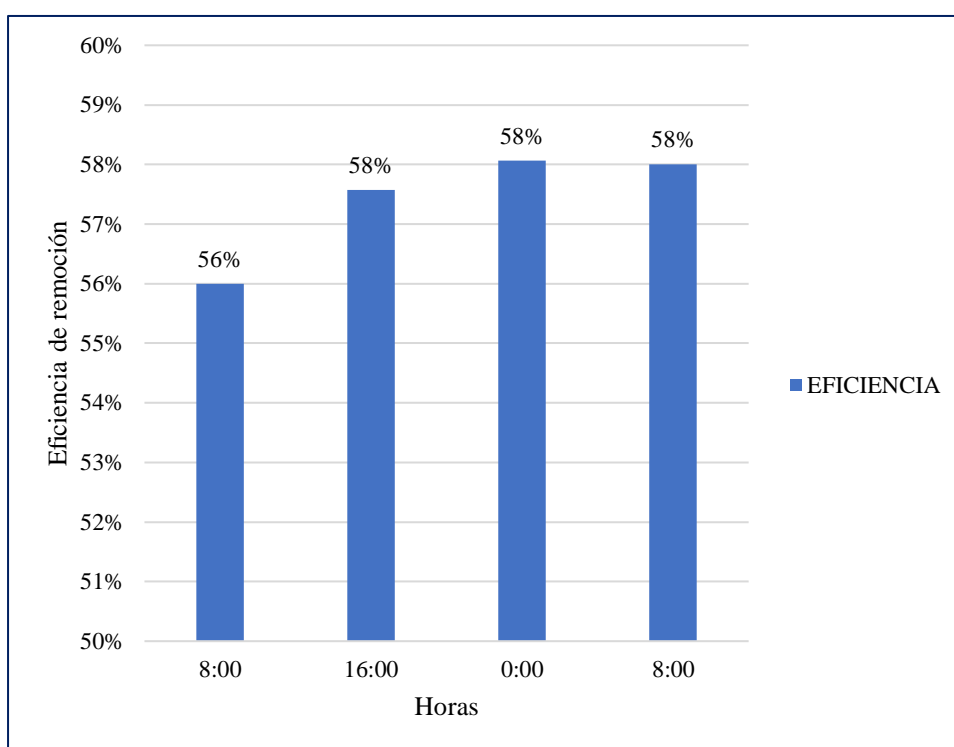


Figura 17: Evaluación de la eficiencia del filtro de arena en la remoción de color.

En la figura 17, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de arena en la remoción del parámetro color (PCU), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 56% y la máxima eficiencia de 58% se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

3.1.3.4 Eficiencia de filtro de piedra caliza para temporada de estiaje

Tabla 18.

Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de sólidos totales en temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente mg/l (C_1)	Efluente Caliza mg/l (C_2)	Eficiencia
29/05/18	8:00	80	49	39%
29/05/18	16:00	75	47	37 %
30/05/18	0:00	84	50	40%
30/05/18	8:00	79	46	42%

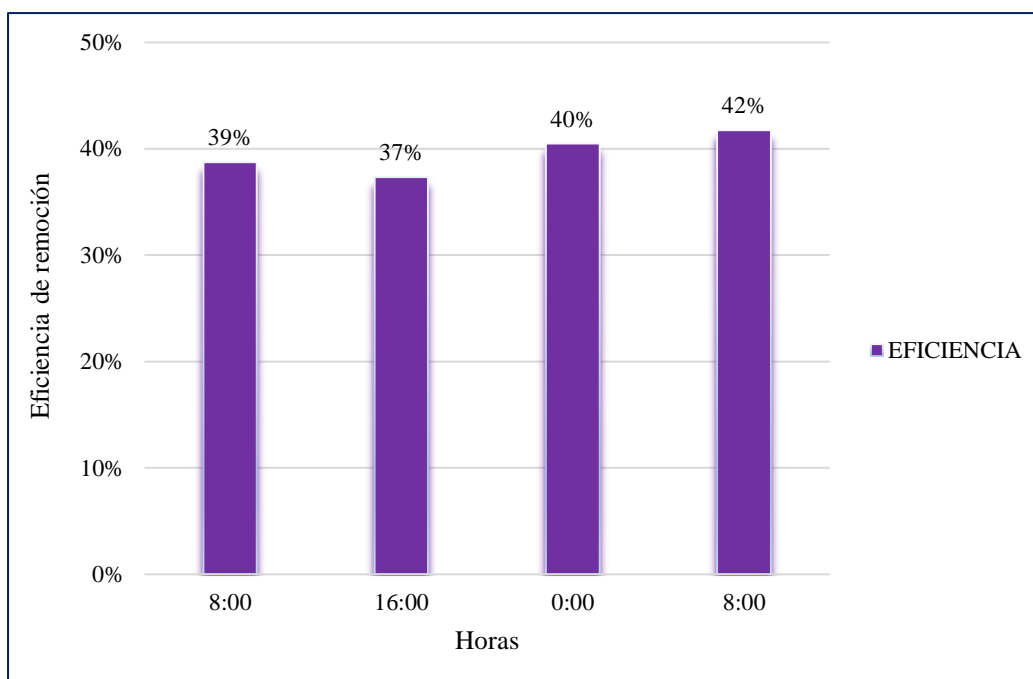


Figura 18: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales.

En la figura 18, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción del parámetro sólidos totales (mg/l), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 39 % y la máxima eficiencia de 42 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 19

Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de turbiedad en temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente UNT (C_1)	Efluente Caliza UNT (C_2)	Eficiencia
29/05/18	8:00	84.25	42	50%
29/05/18	16:00	76	35.26	54%
30/05/18	0:00	69.12	30	57%
30/05/18	8:00	76.55	29.9	61%

Nota: UNT, unidad nefelométrica de turbiedad

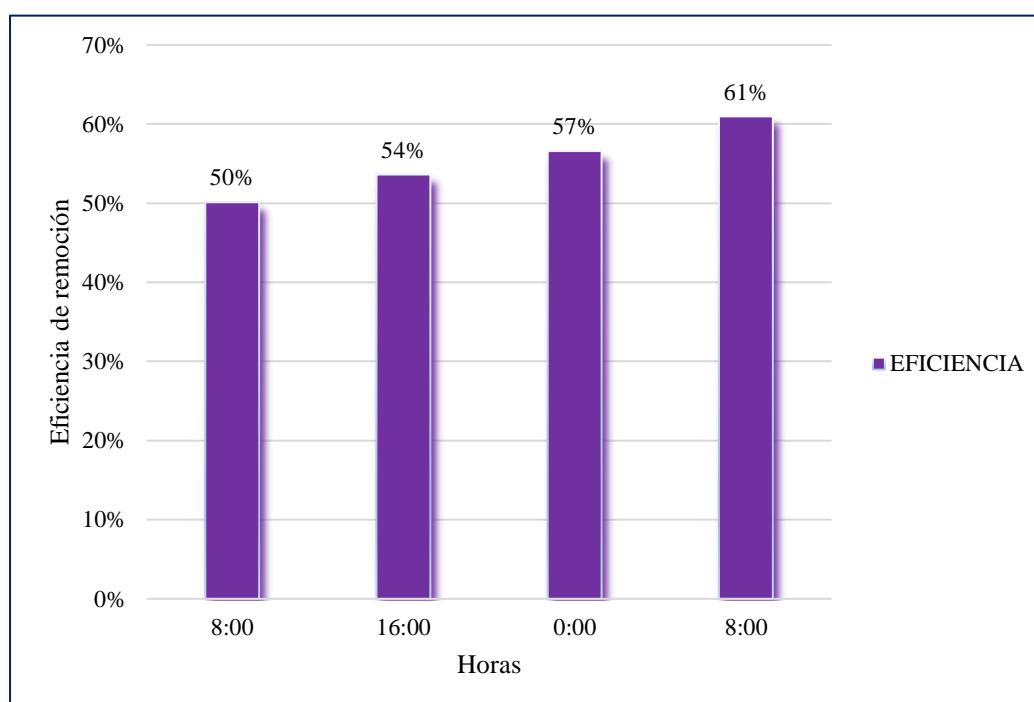


Figura 19: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad.

En la figura 19, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción del parámetro turbiedad (UNT), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 50 % y la máxima eficiencia de 61 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

Tabla 20

Eficiencia del filtro de piedra caliza para la remoción de color en temporada de estiaje.

Fecha	Hora	Afluente PCU (C_1)	Efluente Caliza PCU (C_2)	Eficiencia
29/05/18	8:00	175	85	51%
29/05/18	16:00	165	83	50%
30/05/18	0:00	155	73	53%
30/05/18	8:00	150	74	51%

Nota: PCU, unidad de Platino Cobalto (Pt/Co).

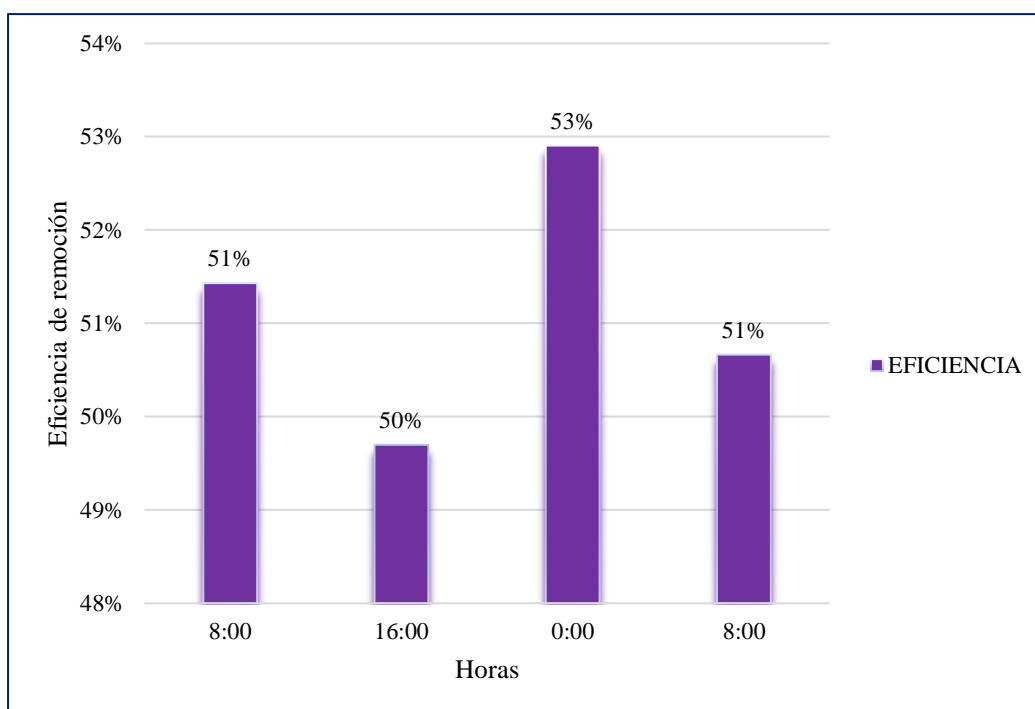


Figura 20: Evaluación de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción de color.

En la figura 20, se muestra los resultados de la eficiencia del filtro de piedra caliza en la remoción del parámetro color (PCU), a las 8 horas de la operación del sistema se observa una eficiencia de 50 % y la máxima eficiencia de 53 % se alcanza a las 24 horas. La tendencia de remoción en el tiempo es creciente, verificándose que se llega a porcentajes similares de remoción (estabilización de remoción).

3.1.4 Comparación de la eficiencia de remoción de turbiedad, color y sólidos totales entre los filtros.

Se realizó la comparación de la eficiencia del filtro de arena y filtro de piedra caliza para una temporada de avenidas y estiaje

3.1.4.1 Comparación de la eficiencia del filtro de arena y filtro de piedra caliza para la temporada de avenidas.

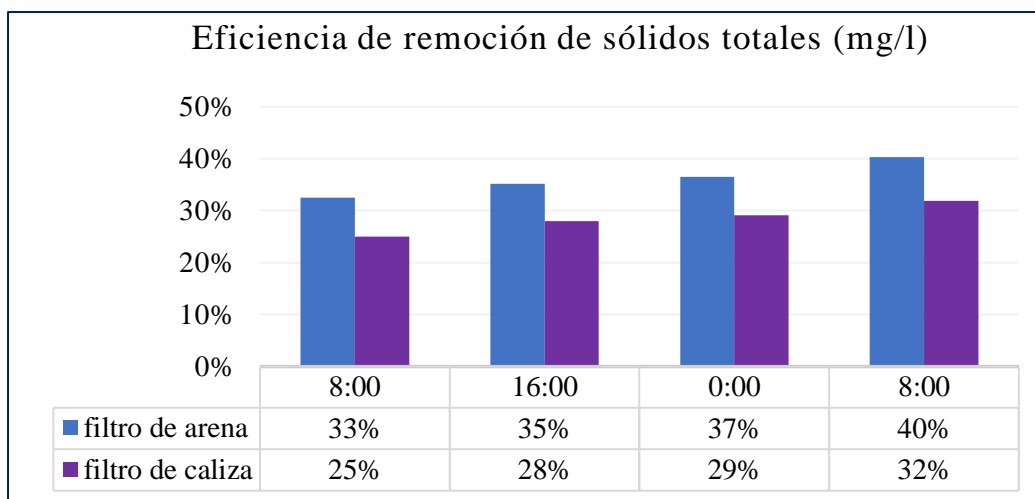


Figura 21: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales.

En la figura 21, se puede deducir que con el filtro de arena se obtuvo mayores eficiencias en un 8%, 7%, 8% y 8% para las 8:00, 16:00, 00:00 y 8:00 horas respectivamente, respecto a las eficiencias obtenidas para el filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales.

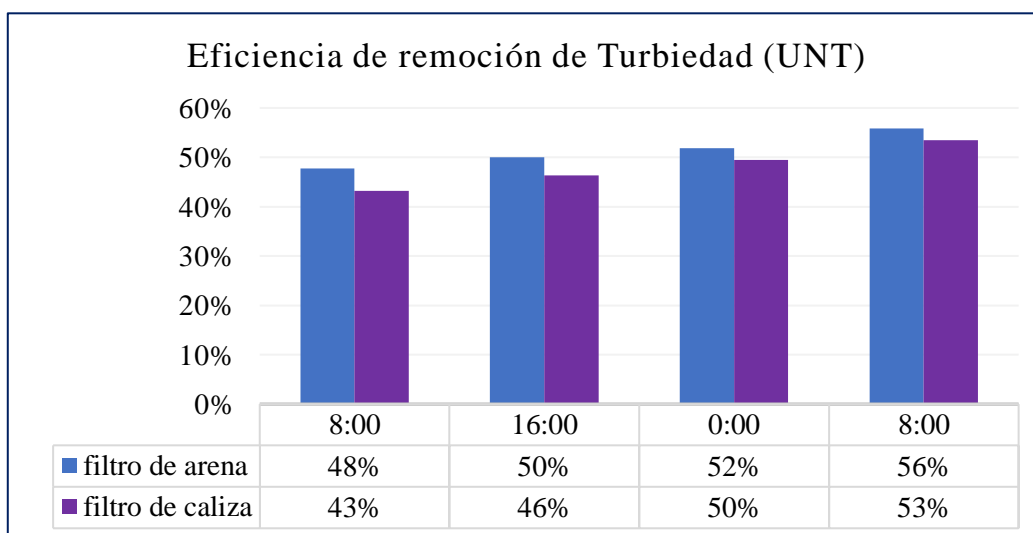


Figura 22: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad.

En la figura 22, se puede deducir que con el filtro de arena se obtuvo mayores eficiencias en un 5%, 4%, 2% y 3% para las 8:00, 16:00, 00:00 y 8:00 horas respectivamente, respecto a las eficiencias obtenidas para el filtro de piedra caliza en remoción de turbiedad.

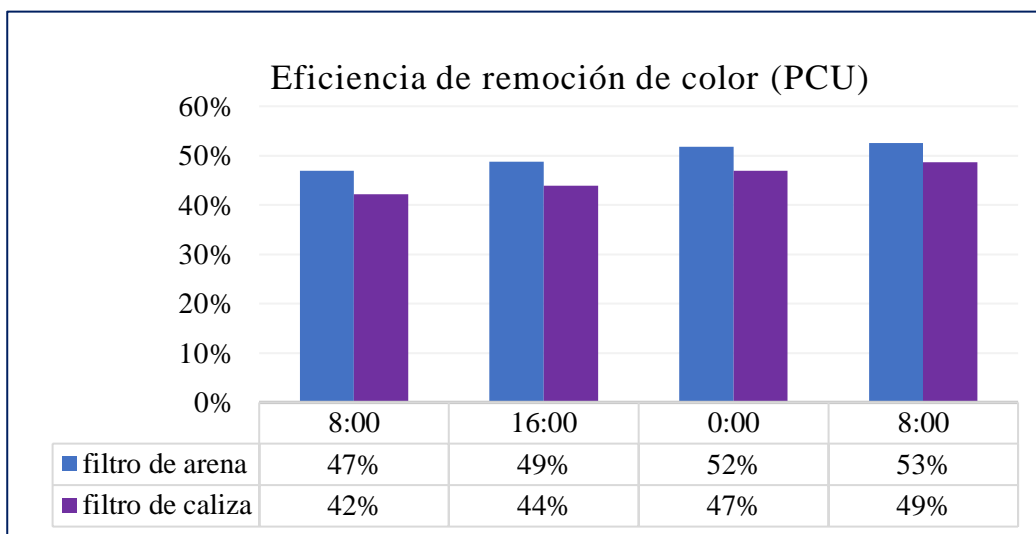


Figura 23: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de color.

En la figura 23, se puede deducir que con el filtro de arena se obtuvo mayores eficiencias en un 5%, 5%, 5% y 4% para las 8:00, 16:00, 00:00 y 8:00 horas respectivamente, respecto a las eficiencias obtenidas para el filtro de piedra caliza en remoción de color.

3.1.4.2 Comparación de la eficiencia del filtro de arena y filtro de piedra caliza para la temporada de estiaje.

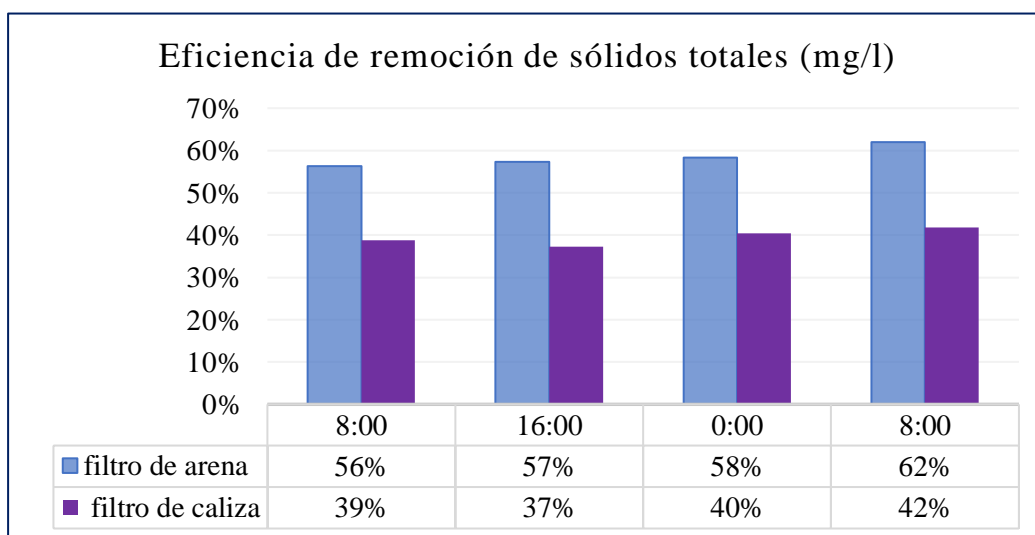


Figura 24: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de sólidos totales.

En la figura 24, se puede deducir que con el filtro de arena se obtuvo mayores eficiencias en un 17%, 20%, 18% y 20% para las 8:00, 16:00, 00:00 y 8:00 horas respectivamente, respecto a las eficiencias obtenidas para el filtro de piedra caliza en remoción de sólidos totales.

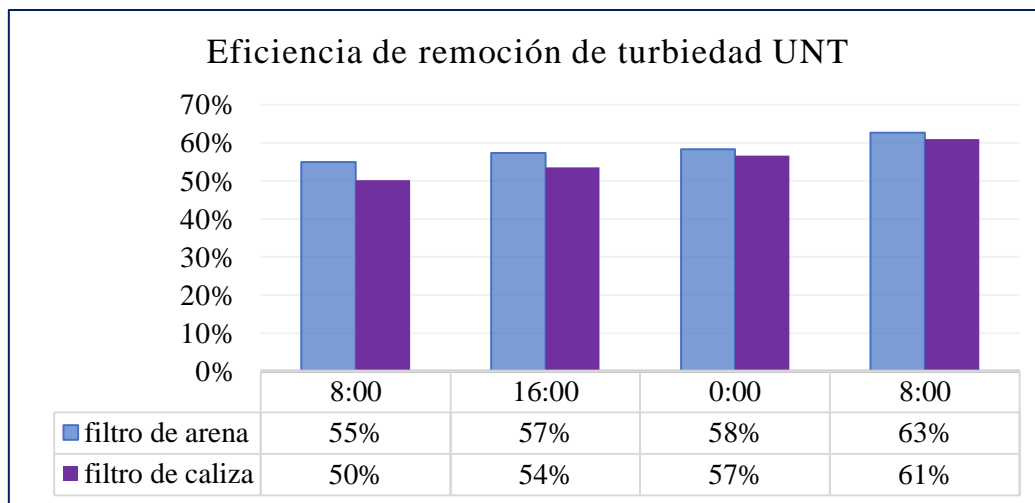


Figura 25: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de turbiedad.

En la figura 25, se puede deducir que con el filtro de arena se obtuvo mayores eficiencias en un 5%, 3%, 1% y 2% para las 8:00, 16:00, 00:00 y 8:00 horas respectivamente, respecto a las eficiencias obtenidas para el filtro de piedra caliza en remoción de turbiedad.

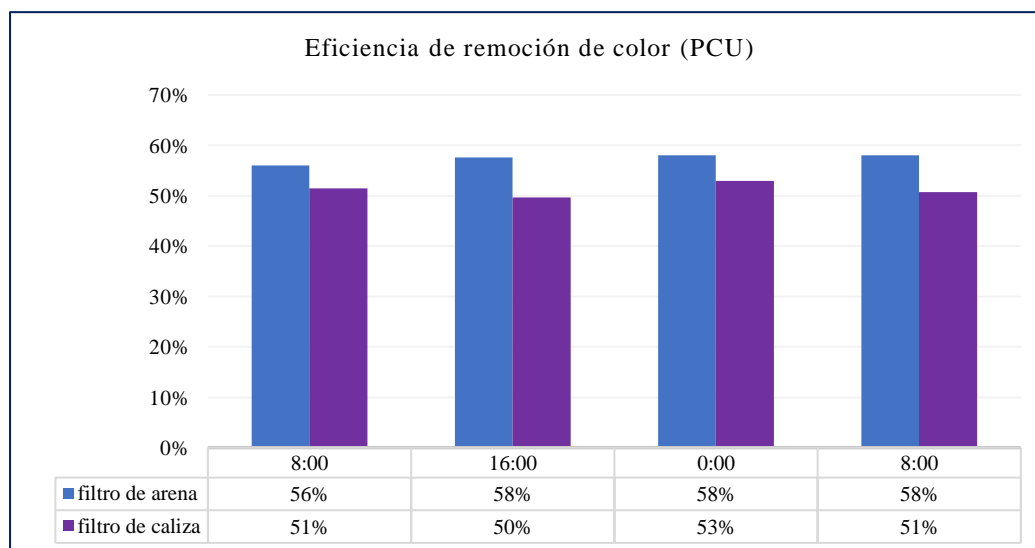


Figura 26: Comparación de eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza en la remoción de color.

En la figura 26, se puede deducir que con el filtro de arena se obtuvo mayores eficiencias en un 5%, 8%, 5% y 7% para las 8:00, 16:00, 00:00 y 8:00 horas respectivamente, respecto a las eficiencias obtenidas para el filtro de piedra caliza en remoción de color.

Tabla 21.

Resumen de porcentaje de eficiencias entre el filtro de arena y filtro de piedra caliza para la temporada de avenidas.

Parámetro	% promedio de eficiencia de filtro de arena	% promedio de eficiencia de filtro de piedra caliza
Sólidos totales	36.25	28.50
Turbiedad	51.50	48.00
Color	50.25	45.50

Tabla 22.

Resumen de porcentaje de eficiencias entre el filtro de arena y filtro de piedra caliza para la temporada de estiaje.

Parámetro	% promedio de eficiencia de filtro de arena	% promedio de eficiencia de filtro de piedra caliza
Sólidos totales	58.25	39.50
Turbiedad	58.25	55.50
Color	57.5	51.25

El filtro de arena y piedras caliza si remueven los parámetros físicos analizados, demostrando que ambos son efectivos; sin embargo, se demuestra que el filtro de arena presenta un porcentaje mayor de eficiencia de remoción que el filtro de piedra caliza.

La hipótesis plantea se contrastó con los resultados obtenidos el cual indica que el filtro de arena es más eficiente que el filtro de piedra caliza.

3.2 Discusiones

Villota (2013) en su investigación utilizó filtros con piroclastos con diámetros mayores a 2 cm, recolectados al noroeste de la ciudad de Baños de Agua Santa proveniente del volcán Tungurahua a 2143 msnm, con este tipo de filtro obtuvo una eficiencia de 37% para el parámetro de turbiedad después de 7 y 24 horas de filtración; sin embargo, después de 120 horas aumenta la eficiencia con una reducción de 80%. Para la presente investigación se consideró filtros con capas de grava con diámetros promedios de 3/4", 1/2" y 1/4 y material

filtrante (arena y caliza) con diámetros promedio de 1 mm estos materiales fueron recolectados en la zona, obteniendo para el parámetro turbiedad una eficiencia de 58 % y 56% para el filtro de arena y piedra caliza respectivamente en la temporada de estiaje en un tiempo de 24 horas; así mismo, una eficiencia de 52% y 48% para el filtro de arena y piedra caliza respectivamente en la temporada de avenidas en un tiempo de 24 horas de filtración.

Cardona (2012) concluye que el filtro lento de arena (FLA) puede producir consistentemente agua potable con una turbidez menor de 1 UNT. Para la presente investigación, se obtuvieron valores promedio de remoción en 31.96 UNT y 103.5 UNT para el filtro de arena en las temporadas de estiaje y avenida respectivamente. Estas diferencias de valores obtenidos se deben a que Cardona (2012), planteo en su investigación dos prefiltros de flujo horizontal de grava en paralelo seguidos de dos filtros lentos de arena también en paralelo. Los muestreos realizados en la investigación de Cardona fueron cuatro simulaciones de campo en un periodo de seis meses; sin embargo, en nuestra investigación se realizaron los muestreos cada 8 horas por un intervalo de 24 hora por cada temporada.

Pérez (2014) en su investigación aplicó dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano durante un periodo de 6 meses, utilizó como material filtrante una bujía o vela cerámica revestida en su interior con plata coloidal y carbón activado, alcanzando elevadas eficiencias de remoción (99% de turbiedad). Para la presente investigación, se logró una eficiencia de remoción de turbiedad de 63% y 56 % en la temporada de estiaje y avenidas respectivamente correspondiente al filtro de arena, para el filtro de piedra caliza una eficiencia de 61% y 53%. Esta diferencia en eficiencia de remoción se debe a la variación de porosidad de los materiales usados como medio filtrante, para el caso de la cerámica usada por Pérez cuenta con una porosidad entre 0.0005 a 0.001 mm a diferencia del material filtrante (arena y piedra caliza) usado en la investigación que tiene una porosidad de 0.1 a 0.5 mm, esto permite que el agua ingrese por las partículas con mayor facilidad por ende con menor capacidad de retención de partículas.

Palomino (2013) concluye en su investigación que el filtro lento de arena para el parámetro sólidos totales obtuvo una eficiencia de 4.81%; sin embargo, en la investigación se obtuvieron eficiencias de 58.25 % y 36.25 % para el filtro de arena en la temporada de estiaje y avenidas respectivamente; del mismo modo, se obtuvieron valores promedios de 39.5% y 28.5% para el filtro de piedra caliza. La diferencia de eficiencias mostradas entre estas dos

investigaciones, se debe a que Palomino utilizó prototipos sin dimensionamiento alguno además de geotextil; sin embargo, en la presente investigación se realizó el cálculo para el dimensionamiento de los filtros mostrados anteriormente en donde también se incluyó material filtrante de grava y no solo arena.

Vega (2013) concluye en su investigación que para el parámetro color obtuvo como resultado valor de 11.8 PCU con remoción del 72.8% aplicando un procedimiento de filtración de múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre sedimentación y retro-lavado haciendo seguimiento y monitoreo tomando un total de 15 muestras compuestas durante el periodo comprendido entre febrero de 2011 y septiembre de 2012. En la presente investigación se obtuvieron valores de eficiencia de 57.5% y 50.25% para el filtro de arena en la temporada de estiaje y avenida respectivamente, del mismo modo, se obtuvieron valores de eficiencia de 51.25% y 45.5% para el filtro de piedra caliza en la temporada de estiaje y avenida respectivamente, siendo estas muestras tomadas en un periodo de 24 horas con un intervalo de 8 horas para ambas temporadas. Esto se debe que en la investigación de Vega se planteó procesos físicos continuos; además, de tratamientos previos como pre – sedimentación.

CONCLUSIONES

El diseño se realizó tomando en cuenta el reglamento nacional de edificaciones - OS.020 plantas de tratamiento de agua para consumo humano, considerando una forma rectangular de 1.15 m de largo, 0.90 m ancho y 2.55 m de alto, medidas calculadas para ambos filtros.

Los filtros de arena y piedras caliza si remueve los parámetros físicos analizados, demostrando que ambos son efectivos; sin embargo, se demuestra que el filtro de arena presenta un porcentaje mayor de eficiencia de remoción que el filtro de piedra caliza; esto debido, al mecanismo de transporte de partículas en el agua, dentro de ella el mecanismo inercial.

Las mayores eficiencias de remoción fueron alcanzadas por el filtro de arena, llegando a obtener eficiencia promedio con respecto a sólidos totales de 58.25% y 36.25% para la temporada de estiaje y avenidas respectivamente. Para el parámetro turbiedad se obtuvo valor promedio de 58.25% y 51.50% para la temporada de estiaje y avenidas respectivamente y para el parámetro color se obtuvo valor promedio de 57.50% y 50.25% para la temporada de estiajes y avenidas respectivamente.

Los resultados de los filtros de arena y piedra caliza no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles debido a que se abasteció los filtros de una fuente superficial, siendo necesaria para este tipo de fuente tratamientos previos tales como sedimentadores y prefiltros para la reducción significativa de los niveles de concentración de turbiedad, sólidos totales y color.

RECOMENDACIONES

A futuros investigadores, se recomienda realizar muestras de agua durante mayor frecuencia para que se puedan observar variaciones significativas de eficiencias del filtro de arena y filtro de piedra caliza, además de tener un continuo funcionamiento en los filtros. Así mismo, al contar con equipos portátiles para la medición de los parámetros físicos, se puede realizar el análisis in situ para no obtener variaciones significativas en las muestras, debido al tiempo de traslado de la muestra hasta el laboratorio

A los alumnos de la Universidad Nacional de San Martín escuela profesional de Ingeniería Sanitaria que realicen investigaciones sobre otros materiales que puedan ser utilizados como medio filtrante para filtros, y así ir innovando en las nuevas tecnologías para tratamiento de agua potable.

A los propietarios de la cantera ubicado aguas arriba de la quebrada, no talar la vegetación para evitar deslizamientos que produzcan alteraciones en la fuente.

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, tanto para la temporada de avenidas y estiaje, se demuestra que en ambas temporadas el filtro de arena es más eficiente que el filtro de piedra caliza; por ello, a futuras investigaciones se recomienda la no utilización de filtros con piedra caliza.

A futuros investigadores, el uso del material filtrante de la zona tales como arena, caliza y otros materiales inertes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda, (2010). *Teoría práctica de la purificación del agua. Análisis del agua. Colombia. Mac-Graw Hill.*
- Aguiar y Portela, (2009). *Diseño y montaje del laboratorio de filtro lento de arena para agua potable.* Tesis de grado en Ingeniería Civil, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Girardot, Colombia.
- Blacio y Palacio, 2014. *Filtros Biológicos para la Potabilización del agua, posibilidades de uso de FLA (filtros lentos de arena) con agua superficial de nuestra región.* Tesis de grado en Ingeniería Civil, Cuenca Ecuador-2011.
- Cánepa, L. (2011). *Filtración Lenta: Teoría y Evaluación.* Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Caqui, (2013). *Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la Universidad de Piura.* Tesis de grado en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad de Piura. Perú.
- Cardona, (2012). *Caracterización de un Filtro Lento de Arena con un Prefiltro de Flujo Horizontal de Grava.* Tesis de grado en Ingeniería Civil, Universidad de Piura. Piura. Perú.
- Centro Internacional de Referencia para abastecimiento público de agua de la OMS, (2009). *Filtración Lenta en Arena para Abastecimiento Público de Agua en Países en Desarrollo.* La Haya, Países Bajos: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, 2008. Biosand Filter Manual. Calgary, Canadá: CAWST.
- Conagua, (2011). *Compendio Básico del Agua en México, Comisión Nacional del Agua.*

- Cristóbal, (2010). *Descripción hidráulica de la batería de filtros de planta N° 1 de La Atarjea*". Tesis de grado en Ingeniero Mecánico de Fluidos, Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima. Perú.
- García, M y Rivas, W. (2017). *Evaluación de la filtración lenta de arena para la potabilización del agua en el corregimiento de San José de Playón*. Tesis de grado en Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena. Colombia.
- Decreto Legislativo N° 1055, que modifica a la Ley general del ambiente – Ley N° 28611, publicado el 27 junio 2008.
- Jimeno, E. (2013). *En análisis de aguas y desagües UNI. Lima- Perú: oficina de bienestar universitario*.
- National Environmental Services Center. (2009). *Filtración Lenta con Arena*. Tecnología en breve, 1 – 4.
- Palomino, (2013). *Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de Kuychiro – Cusco*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco. Perú.
- Parra, (2006). *Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estado estable*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Colombia.
- Pérez (2014). *“Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano”*. Tesis de grado en Ingeniería Civil, Universidad de Boyacá- Colombia.
- Pérez, J y Cánepa, L, (2009). *Estudio y diseño de la planta de tratamiento de agua de Barranca*. Lima.
- Piñol, M.K. (2009). *Plan de manejo/auto gestión de captación y distribución por gravedad de agua para uso doméstico en San Luis, Salta*. Salta, Argentina.

Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Decreto Supremo N°031-2010-SA.

Reglamento Nacional de Edificación- OS.020 *Plantas de tratamiento de agua para consumo de agua- Filtros lentos de arena.*

Romero, J. (2013). “*Calidad del agua*”. México Alfaomega.

Solsona y Méndez, (2012). *Desinfección del agua. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.*

Vargas, (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano. Manual I: Teoría Tomo I.*

Vega, (2013), *Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la Hacienda Majavita.* Tesis de grado en Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro. Colombia.

Villota, (2013). *Diseño de un filtro con piroclastos gruesos para la purificación del agua de la comunidad de Vizcaya (Baños Turgurahua).* Tesis de grado en Ingeniería Civil, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.

ANEXOS

Anexo A: Ubicación satelital de la quebrada La Oyada.



Fuente: Google Earth.

Anexo B: Panel Fotográfico



Fotografía 1. Excavación manual del terreno para los filtros.



Fotografía 2. Asentado de la primera fila de ladrillos



Fotografía 3. Asentado de ladrillos hasta una altura de 2.55 m.



Fotografía 4. Colocación de tubos para el ingreso de agua a cada filtro.



Fotografía 5. Colocación de tubos para salida de agua de cada filtro.



Fotografía 6. Impermeabilización del área interna de los filtros.



Fotografía 7. Colocación de ladrillos de concreto para el sistema de drenaje.



Fotografía 8. Llenado de filtro con la primera capa de material filtrante.



Fotografía 9. Llenado de filtro con la segunda capa de material filtrante.



Fotografía 10. Llenado de filtro con la tercera capa de material filtrante.



Fotografía 11. Filtros listos para su funcionamiento.



Fotografía 12. Llenado de los filtros con aguas de la quebrada La Oyada.



Fotografía 13. Toma de muestra al ingreso del filtro.



Fotografía 14. Toma de muestra a la salida del filtro.



Fotografía 15. Rotulado de los frascos con las muestras de agua.



Fotografía 16. Frascos rotulados.



Fotografía 17. Personal debidamente protegido con EPP para realizar los análisis.



Fotografía 18. Análisis de sólidos totales.



Fotografía 19. Análisis de color.

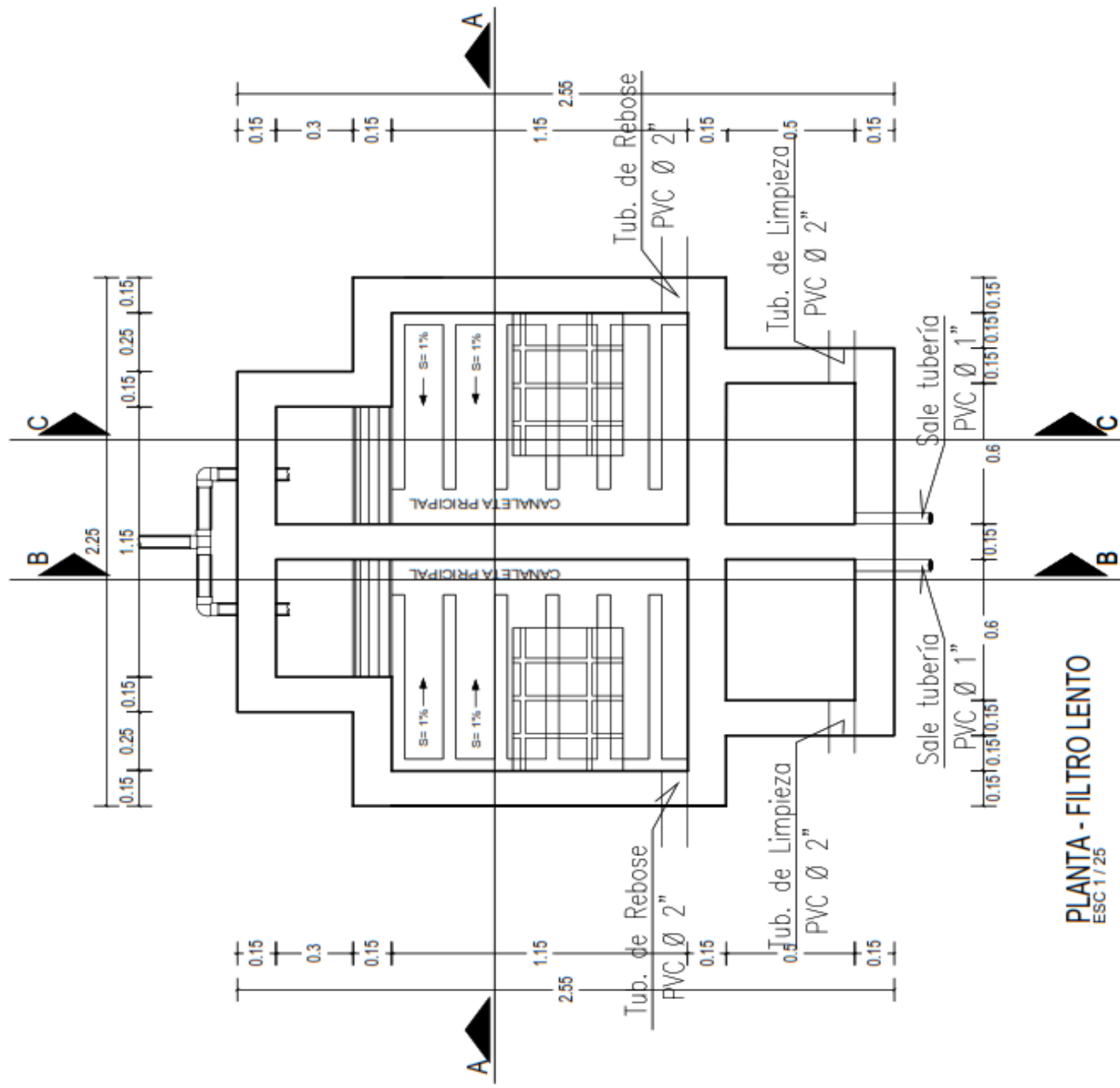


Fotografía 20. Análisis de turbiedad.



Fotografía 21. Turbidímetro, medidor de sólidos totales y colorímetro.

Anexo C
Plano de filtro de arena y filtro de piedra caliza



PLANTA - FILTRO LENTO
 ESC 1/25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
 FACULTAD DE ECOLOGIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

Tema : EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA EN LA REMOCCION DE PARAMETROS FISICOS DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DE LA CIUDAD DE ILO-ILO, ILO-ILO, PERU 2017

Titulo : PROPUESTA DE DISEÑO DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA

Ubicación : ILO-ILO
 Localidad : ILO-ILO
 Distrito : ILO-ILO
 Provincia : ILO-ILO
 Departamento : SAN MARTIN

Asesor : ING. M.S. YIMEN FRANCISCO ZAMORDE LUZA

Tutores : BACH. SPENLEY MONCALIANO ANGELES

BACH. HANS CHRISTIAN MARRASO CELIS

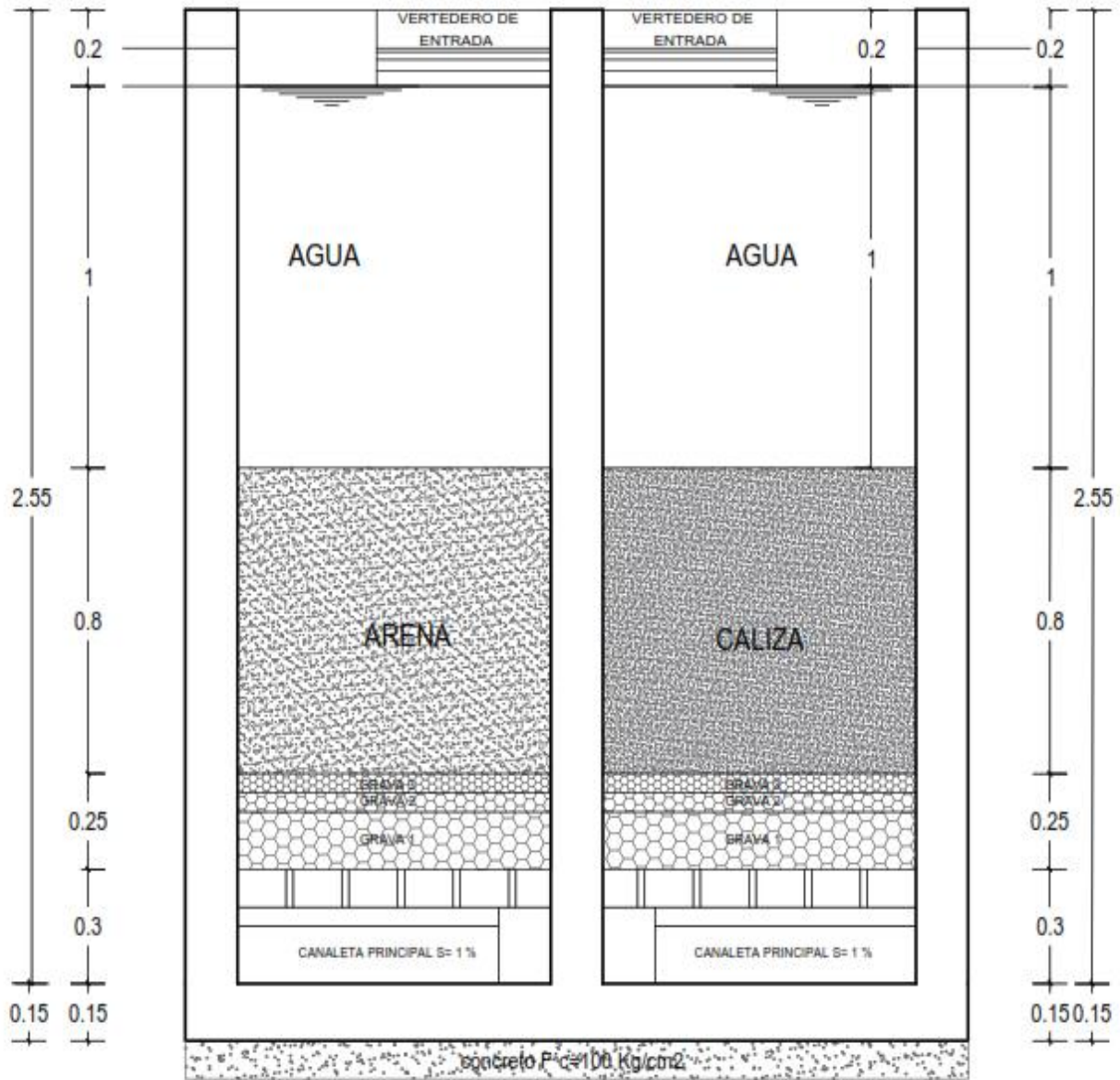
Especialidad : ARQUITECTURA

Escuela : ILO-ILO

Fecha : JULIO 2018

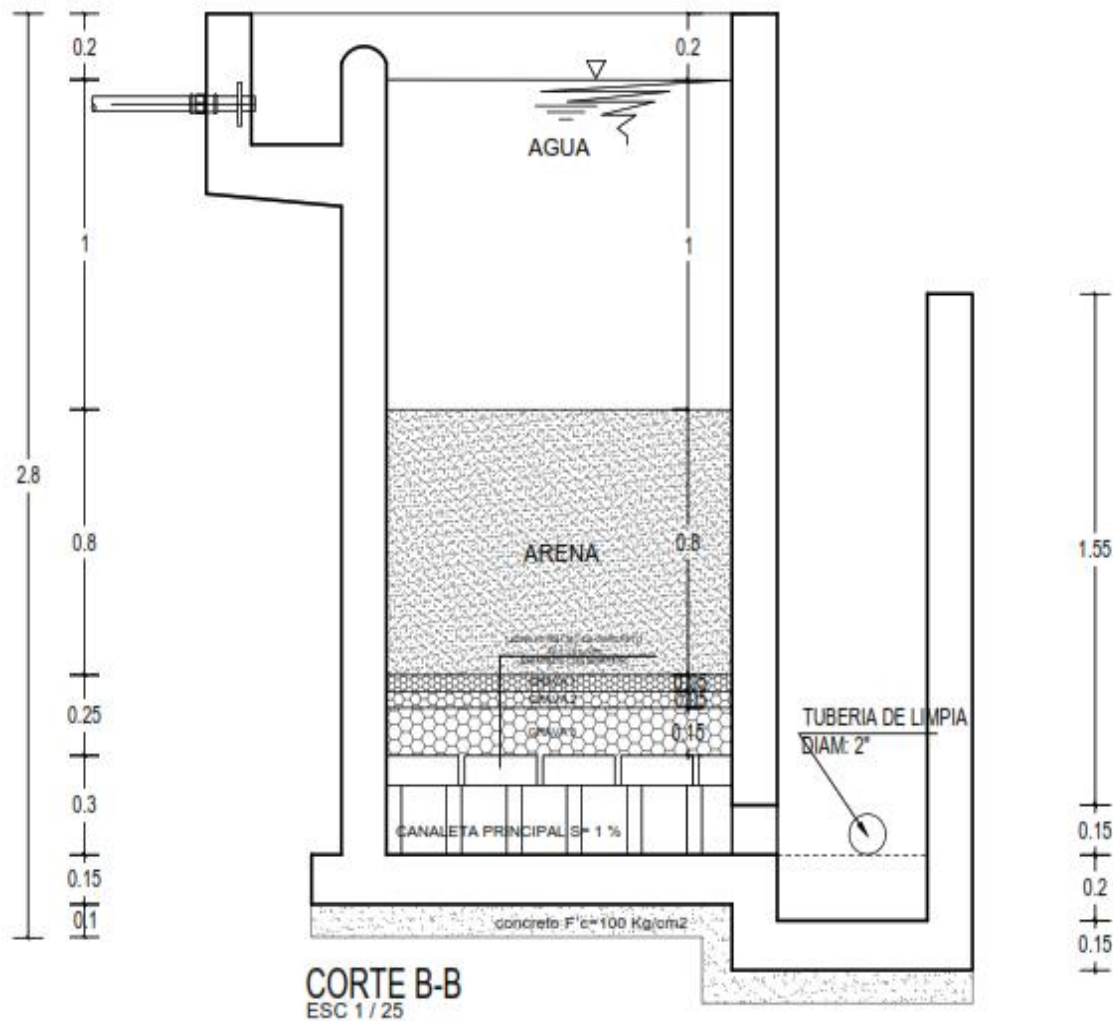
Nº Lámina :

A-01



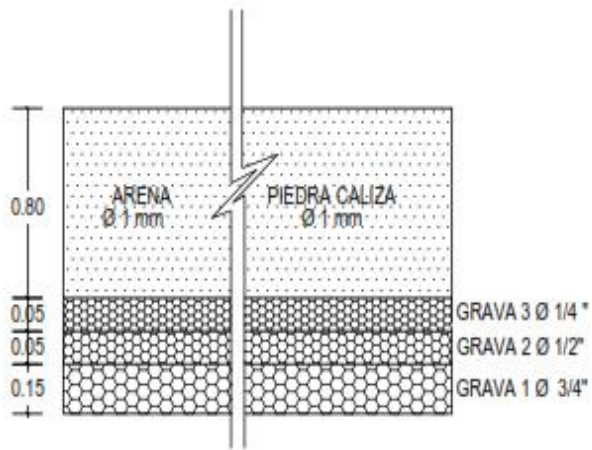
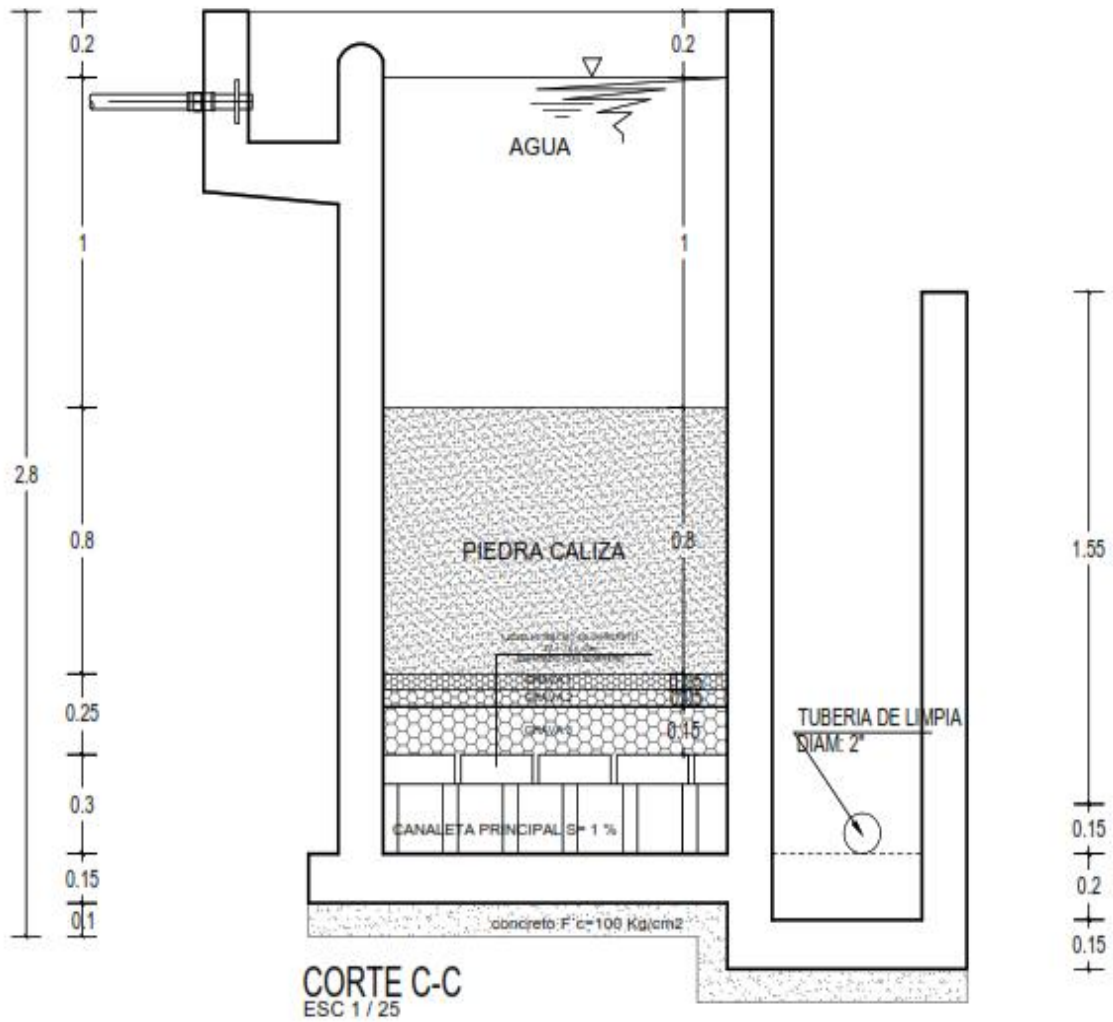
CORTE A-A
ESC 1 / 25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO			
FACULTAD DE ECOLOGIA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA			
Tema : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA, EN LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS, DE LAS AGUAS DE LA QUEBRADA LA OYADA, MOYOBAMBA, PERÚ 2017			
Plano : PROPUESTA DE DISEÑO DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA			
Ubicación : MOYOBAMBA	Asesor : ING. M.Sc. YRWIN FRANCISCO AZABACHE LIZA	N° Lámina :	
Dpto : MOYOBAMBA	Tutorías : BACH. SHIRLEY MONICALLANOS ANGELES	A-02	
Provincia : MOYOBAMBA	BACH. HANS CHRISTIAN MIRAND CELIS		
Departamento : SAN MARTÍN	Especialidad : ARQUITECTURA	Escala : Indicado	Fecha : JULIO 2018



CORTE B-B
ESC 1 / 25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO			
FACULTAD DE ECOLOGIA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA			
Tema :		EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA, EN LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS, DE LAS AGUAS DE LA QUEBRADA LA OYADA, MOYOBAMBA, PERÚ - 2017	
Título :		PROPUESTA DE DISEÑO DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA	
Ubicación :	Moyobamba	Asesor :	ING. M.Sc. YWEN FRANCISCO AZABACHE LIZA
Localidad :	Moyobamba	Tutorías :	BACH. SHERLEY MONICA LUMAS ANGELES BACH. HANS CHRISTIAN MIRANO CELIS
Dirección :	Moyobamba	Especialidad :	ARQUITECTURA
Departamento :	SAN MARTÍN	Escala :	Indicada
		Fecha :	JULIO 2018
			A-03



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO			
FACULTAD DE ECOLOGIA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA			
Tesis:		EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA, EN LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS AGUAS DE LA QUEBRADA LA OYADA, MOYOBAMBA, PERÚ 2017	
Plan:			
PROPUESTA DE DISEÑO DE FILTRO DE ARENA Y FILTRO DE PIEDRA CALIZA			
Ubicación:	Asesor:	ING. M.Sc. YIMIN FRANCISCO AZABACHE LIZA	N° Letras:
Localidad:	Tutor:	BACH. SHERLEY MONICA LLANOS ANGELES	A-04
Dirección:	BACH. HANS CHRISTIAN MIRANDA CELIS		
Provincia:	Especialidad:	ARQUITECTURA	Escala: Indicado
Departamento:			Fecha: JULIO 2018