

Evaluación de un cartucho en geotextiles sintéticos no tejidos (NT) para el pre-tratamiento de
agua cruda



Trabajo de Grado Para Obtener El Título De Ingenieros Ambientales

Modalidad Investigación

Presentado por:

Leidy Yobana Pérez Finscue

Código: 104912010359

José Miguel Palechor Palechor

Código: 104911010319

Director:

PhD. Javier Ernesto Fernández Mera

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Civil

Programa de Ingeniería Ambiental

Popayán- Cauca

Junio de 2017

Nota de aprobación

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatoria

A mi padre, Efraín Pérez Ospina, amor de mi vida, te debo mi carácter y mi recorrido académico, por ser el ancla que guio mis pasos para evitar andar a la deriva, quien me protegió hasta sus últimos días y que hoy desde el cielo disfruta con migo esta alegría. A mi madre Carlina Yaneth Finscue, por su gran amor comprensión y apoyo, por ser el mejor ejemplo de mujer y mi motor en este camino que llamamos vida.

Leidy Yobana Pérez

A mi madre, Blanca Eunice Palechor Hormiga, que fue mi soporte y sustento durante los años más difíciles y más dulces de mi carrera, y que de seguro en este momento estaría disfrutando con migo este triunfo como era su gran anhelo, pero desde el cielo lo divisa. A mi padre, Jairo Alonso Palechor quien ha sido un incansable en su esfuerzo por verme salir adelante y siempre sus palabras sabias estuvieron en mi mente. A mis hermanos John, Hernán y Fredy que siempre han estado atentos a mi avance académico. A mis tíos, Over, Victor, María por apoyarme e instarme a alcanzar mis sueños. A mi abuela, Bertha Emma por apoyarme en cada instante. A mi esposa y mi hija Yenny Oime y María José porque son la cereza que adornan a este triunfo.

José Miguel Palechor

Agradecimientos

A Dios por su infinito amor, apoyo y bendición que guiaron nuestro camino hasta el final de este gratificante logro.

Al ingeniero y maestro Javier Fernández Mera, por confiarnos su equipo, por todo su tiempo, sabiduría y apoyo que permitieron hacer esta investigación posible.

A Walter Ariza Camacho por su paciencia, cariño, ayuda y compañía incondicional que me permitieron aclarar mis ideas y continuar ante la adversidad.

Al laboratorio de Hidráulica y laboratorio de ambiental de la Universidad del Cauca, por permitirnos hacer uso de las instalaciones y equipos del laboratorio a su cargo.

Contenido

1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema.....	2
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
Objetivo general.....	7
Objetivo específicos.....	7
5. Revisión de literatura	8
5.1. Geotextiles sintéticos no tejidos (NT).....	8
6. Metodología	12
6.1. Tipo de estudio.....	12
6.2. Localización.....	12
6.3. Dispositivo de estudio.....	12
6.4. Metodología para la evaluación previa	14
6.5. Metodología para el objetivo 1	15
6.6. Metodología para el objetivo 2	17
7. Presentación de resultados	19
7.1. Comportamiento del caudal filtrado.	19
7.2. Efecto del caudal en el desarrollo de la pérdida de carga.....	21
7.3. Calidad de agua.....	22

7.3.1. Turbiedad.....	22
7.3.2. Sólidos suspendidos.....	25
8. Discusión de resultados.....	27
8.1. Comportamiento hidráulico.....	27
8.2 Caudal filtrado.....	27
8.3 Duración de carrera.....	29
8.4 Pérdida de carga.....	32
8.5 Turbiedad.....	35
8.5.1. Influencia de la turbiedad del afluente sobre la calidad del efluente.....	36
8.6 Sólidos suspendidos.....	37
8.6.1 Efecto del caudal sobre la concentración de sólidos suspendidos a través del tiempo	37
8.7 Volumen de agua producida.....	38
9. Conclusiones y recomendaciones.....	42
10. Referencias bibliográficas.....	43

Índice de Tablas

Tabla 1. Características hidráulicas y físicas del geotextil NT.....	13
Tabla 2. Turbiedades de entrada y salida para cada caudal y eficiencias de remoción	23
Tabla 3. Parámetros de calidad de agua, SST para los caudales evaluados.....	26
Tabla 4. Parámetros de calidad de agua, Color aparente para los caudales evaluados	26
Tabla 5. Razón F y Valor - P para las Pendientes por réplica	28
Tabla 6. Reducciones de caudal al 20%, 30% y 40%	31
Tabla 7. Resultados prueba ANOVA, calidad de agua por réplicas	35
Tabla 8. Pendiente (m) y ajuste R^2 para los caudales evaluados por réplica	39
Tabla 9. Producción de agua para los caudales evaluados.....	39
Tabla 10. Razón F, Valor-P y Nivel de confianza por caudales	40

Índice de figuras

Figura 1. Cartucho en geotextil NT.	13
Figura 2. Curva de conductividad hidráulica.....	15
Figura 3. Montaje del sistema de pre-tratamiento	16
Figura 4. Turbidímetro Portátil Hach Modelo 2100P ISO	18
Figura 5. Comportamiento del caudal de 0,1 L/s.....	19
Figura 6. Comportamiento del caudal de 0,2 L/s.....	19
Figura 7. Comportamiento del caudal de 0,3 L/s.....	20
Figura 8. Comportamiento del caudal de 0,4 L/s.....	20
Figura 9. Efecto del caudal de 0,4 L/s en la pérdida de carga del sistema.	21
Figura 10. Efecto del caudal de 0,3 L/s en la pérdida de carga del sistema	21
Figura 11. Efecto del caudal de 0,2 L/s en la pérdida de carga del sistema	22
Figura 12. Efecto del caudal de 0,1 L/s en la pérdida de carga del sistema	22
Figura 13. Eficiencia de remoción para caudal de 0,1 L/s.....	24
Figura 14. Eficiencia de remoción para caudal de 0,2 L/s.....	24
Figura 15. Eficiencia de remoción para caudal de 0,3 L/s.....	24
Figura 16. Eficiencia de remoción para caudal de 0,4 L/s.....	24
Figura 17. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,1 L/s.....	29
Figura 18. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,2 L/s.....	29
Figura 19. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,3 L/s.....	29
Figura 20. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,4 L/s.....	29

Figura 21. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q= 0,1$ L/s.....	32
Figura 22. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q= 0,2$ L/s.....	32
Figura 23. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q= 0,3$ L/s.....	32
Figura 24. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q= 0,4$ L/s.....	32
Figura 25. Pérdida de carga para los caudales evaluados	33
Figura 26. Pérdida de carga en el tiempo para el caudal de $0,4$ L/s.....	34
Figura 27. Pérdida de carga en el tiempo para el caudal de $0,3$ L/s.....	34
Figura 28. Relación entre remoción de turbiedad y cada uno de los caudales evaluados	36
Figura 29. Comparación de líneas de regresión de sólidos suspendidos	37
Figura 30. Volumen de agua producido para el caudal de $0,1$ L/s.....	38
Figura 31. Volumen de agua producido para el caudal de $0,2$ L/s.....	38
Figura 32. Volumen de agua producido para el caudal de $0,3$ L/s.....	39
Figura 33. Volumen de agua producido para el caudal de $0,4$ L/s.....	39

1. Introducción

La calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el incremento de la población, el aumento de la actividad industrial, agrícola y demás sectores económicos han generado un impacto bien sea directa o indirectamente positivo y negativo en el medio ambiente, reduciendo las fuentes de agua potable, si bien la evolución ha traído consigo un mejoramiento en la calidad de vida de las personas también ha disminuido la calidad del aire, suelo y principalmente agua, líquido vital para la vida, pero que no todos tienen acceso a ella de forma potable para cubrir ni siquiera sus necesidades básicas, es por esto que se debe fomentar la investigación e implementación de tecnologías no solo eficientes sino adecuadas para cada zona, tanto rural como urbana que permitan brindar a la sociedad agua potable mejorando la calidad de vida de muchos y proteger la salud humana.

Es así como en la búsqueda de brindar cobertura de agua potable a toda la población en especial a las zonas con menor capacidad de obtener y mantener sistemas de tratamiento convencional, se propone evaluar el cartucho de geotextil sintéticos no tejidos como una alternativa de pre-tratamiento de agua potable sometiendo el sistema a condiciones fisicoquímicas y microbiológicas propias de las fuentes de agua.

2. Planteamiento del problema

Según la Asamblea General de las Naciones Unidas, Colombia es uno de los nueve países con mayor riqueza hídrica, generando en términos de rendimiento 58 L/s*km² (CEPAL, 2000), cifra que triplica la cantidad de agua en Latinoamérica; sin embargo, la falta de participación ciudadana y la poca gestión por parte de los organismos gubernamentales para la creación de planes y proyectos que garanticen la potabilización de agua han ocasionado que para el año 2012 tan solo el 58,8% de la población colombiana tuviera acceso de agua potable (CONPES, 2014).

Con base en el Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA), el cual es un indicador que muestra el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, se puede observar que en las regiones del país la calidad del agua potable disminuye a medida que reduce el número de habitantes en una población; especialmente en las zonas rurales. Según el informe nacional de calidad de agua para consumo humano (INCA) del año 2015 desarrollado por el Ministerio de Salud de Colombia, los municipios con más de 100.000 habitantes, los cuales tienen una baja ruralidad, presenta un índice del 49% sin riesgo 36% riesgo bajo ,9% riesgo medio, 5% riesgo alto tan solo el 1% es inviable sanitariamente; mientras que municipios con alta ruralidad con una población menor a 30.000 habitantes cuentan con el 22.7 % de agua sin riesgo, 17,6% riesgo bajo ,22,4% riesgo medio, 29,8% riesgo alto y el 2,4% es inviable sanitariamente, cifras que revelan la desigualdad presentada en la distribución de agua potable en el país.

Este panorama no es nada favorable para la población rural ya que la falta de agua potable se asocia directamente con la presencia de enfermedades como la hepatitis A, cólera, diarrea, fiebre tifoidea/paratifoidea reportadas al Sistema Nacional de vigilancia en salud pública (SIVICAP, 2014) las cuales afectan principalmente a la población menor de 5 años. De acuerdo a un análisis de situación de salud en Colombia en el 2016, se estableció que se presentaron 13.329 muertes en menores de cinco años, para un promedio anual de 11.333 y una desviación estándar de 1.866; el número de muertes osciló entre 9.149 y 13.983 entre el 2005 y 2014, muertes generadas especialmente en los municipios con mayor porcentaje de necesidades básicas insatisfechas según el Instituto Nacional de Salud (INS, 2014).

La falta de presencia del Estado en buena parte del territorio nacional, la inhabilidad de garantizar la defensa y seguridad de todos sus ciudadanos además de la desigualdad en la distribución del ingreso y la baja cobertura de servicios públicos básicos como agua potable ha sido uno de los factores que ha aportado al creciente desplazamiento de la población rural hacia zonas urbanas (Urdinola, 2001). Frenando así el desarrollo del sector agrícola; es por esto que es necesario garantizar los derechos básicos de agua potable en las zonas rurales y poder crear y mantener una economía estable para un país que depende principalmente del sector agrícola.

Por lo anterior es necesario fortalecer las acciones para mejorar la calidad del agua suministrada y minimizar así los riesgos de salud pública, pues a pesar que se reconoce que se han realizado acciones para ampliar los servicios, es necesario trabajar más en la construcción y el mantenimiento de sistemas de potabilización y distribución que no solo sea eficiente si no también accesible y económico; para así poder dotar a todos los habitantes de unos niveles de consumo de

agua en condiciones adecuadas y a un costo razonable.

3. Justificación

Dada la importancia de garantizar el acceso al agua potable a toda la población colombiana y conociendo la desigualdad económico y social que favorece a la población urbana; se hace necesaria la implementación de sistemas de potabilización de agua que tengan en cuenta el nivel socioeconómico de las poblaciones rurales.

Gran parte de estas zonas se encuentran en pobreza extrema lo que dificulta aún más la gestión por parte de los organismos locales; debido a que la distribución geográfica por parte de la población rural se encuentra localizada en grandes extensiones de tierra y se dificulta la implementación de sistemas de potabilización comunitarios.

Es por esto que en la mayoría de los casos se debe pensar en sistemas de potabilización individuales; conocer el contexto cultural y étnico que permita la apropiación de estos sistemas por parte de la comunidad ya que son ellos los directamente responsables que el sistema de potabilización tenga éxito durante la instalación y sobre todo el mantenimiento del sistema durante el funcionamiento.

La búsqueda de un sistema de potabilización de agua que se ajuste a las necesidades y requerimientos de las poblaciones rurales no es una tarea fácil; se han desarrollado diferentes investigaciones en torno a la implementación de modelos que sean tanto económicos como eficientes a la hora de potabilizar el agua.

Unos de estos sistemas de tratamiento de agua es la Filtración Lenta en Arena (FLA) debido a su

simplicidad en el diseño y operación; tecnología que se ha utilizado para la eliminación de partículas y patógenos en la potabilización del agua desde hace décadas (Logsdon et al., 2002).

Estos sistemas han venido siendo modificados a través del tiempo; una de las modificaciones es la implementación de mantas sintéticas las cuales permiten la optimización de los filtros tanto en los costos iniciales como en los procesos de operación y mantenimiento puesto que mejoran la calidad del agua y aumentan la carrera de filtración (Tobergte & Curtis 2013).

Este sistema es aplicable para zonas rurales; sin embargo, el rendimiento de tales sistemas puede no ser suficiente cuando el agua contiene un alto nivel de turbiedad (>10 UNT) por largos períodos de tiempo (Galvis et al, 1999). Es por esto que existen alternativas de pre-tratamiento que pueden ser usadas para mejorar la calidad del agua antes de llegar a las unidades de FLA.

4. Objetivos

Objetivo general

- Evaluar el comportamiento hidráulico y la eficiencia de remoción de cartuchos en geotextiles sintéticos no tejidos, como sistemas de pre-tratamiento, para generar soluciones individuales en la potabilización de agua de zonas rurales.

Objetivo específicos

- Evaluar el comportamiento del caudal y las pérdidas de carga en cartuchos de geotextiles sintéticos no tejidos.
- Determinar la eficiencia de remoción de sólidos en suspensión y turbiedad del sistema del cartucho en geotextiles sintéticos no tejidos propuesto en relación con el caudal de trabajo.

5. Revisión de literatura

5.1. Geotextiles sintéticos no tejidos (NT)

Los geo-textiles se definen como un material textil plano, permeable y polimérico que puede ser de origen sintético o natural. Cumplen simultáneamente con funciones mecánicas e hidráulicas, entre ellas la filtración, drenaje, refuerzos, separación y fijación de sólidos (Ingold, et al., 1988).

Durante los últimos 30 años los geotextiles NT han sido utilizados como materiales de drenaje y como filtros de trabajo geo-ambiental, por su permeabilidad, alta compresibilidad, capacidad de filtrar y de drenar siendo evaluados a altos niveles de estrés, según (Palmeira & Gardoni, 2002) su estructura, le permite filtrar partículas de sólidos sometidas a fuerzas hidrodinámicas, permitiendo el paso de fluidos sin presión a través del geotextil NT, aumentando la duración de carrera.

Lo anterior le permite una buena concordancia entre las propiedades físicas e hidráulicas, a medida que el espesor del geotextil se reduce bajo estrés también lo hace su coeficiente de permeabilidad y las dimensiones de sus poros, donde, la capacidad de retención del geotextil aumenta significativamente debido a la obstrucción parcial por la presencia de partículas atrapadas y se confirma que los criterios de retención pueden ser significativamente conservadores (Palmeira & Gardoni, 2002).

Un ejemplo claro lo muestra (Bourgès-Gastaud et al., 2014), donde determinaron la capacidad de los geotextiles NT para filtrar lodos minerales de grano fino (producidos por la minería, como el tizón, que proviene de la extracción de las arenas alquitranadas) y permitir que llegue el agua al

núcleo del drenaje a través del geotextil, la principal particularidad de estos lodos, es la dificultad de eliminar el agua debido a su alto contenido de arcilla y su baja conductividad hidráulica.

Para esto, (Bourgès-Gastaud et al., 2014), mediante la comparación de retención y filtración de ocho (8) lodos diferentes con características de grano (d_{50} = 3,2 a 55 micras), que además fueron seleccionados para que tengan alto contenido de arcilla (en promedio 24% de las partículas en masa fueron menor a 2 micras) por su dificultad de deshidratar, se encontró que la dinámica de expulsión de filtrado es similar para todas las pruebas, donde las curvas de expulsión filtrado vs tiempo son hiperbólicos y los caudales disminuyen monótonamente sobre las pruebas durante siete días.

El estudio concluye que, las partículas depositadas en la parte superior de los geotextiles forman gradualmente una torta de filtro, que se convierte en el principal órgano de filtración y cuanto menor sea el contenido de limo, menor es la deshidratación y así, la obtención de filtrado a partir de lodos de arcilla toma 90 minutos en lugar de 5 minutos para el lodo con contenido de limo de 25%. (Bourgès-Gastaud et al., 2014) considera factible la utilización de geotextiles NT para la deshidratación de residuos de grano fino con altos contenidos de lodos arcillosos, utilizando la filtración que es una importante función de los geotextiles.

Otro estudio de caso lo muestra (Gharbia et al., 2016), donde se evaluaron dos opciones de post-tratamiento de aguas residuales (AR) para la reutilización del efluente en la agricultura, que es el segundo sector con más alto consumo de agua, superando el 50% de las captaciones: la primera opción fue, mediante la filtración lenta en arena (FLA) abierta en múltiples etapas, que consta de

grava gruesa, arena, arena fina y geomembrana texturizada, alimentada por las AR; el segundo, un Sistema de tratamiento suelo acuífero con sus siglas en inglés SAT System (Soil Aquifer Treatment). A los dos sistemas se les realizó análisis Físicoquímicos DQO, DBO₅, SST, OD, pH y Coliformes totales. Mediante un análisis relacional jerarquía gris y la matriz de comparación, a través de una evaluación ambiental para cada opción, utilizando una metodología semi-empírica que combina los resultados de las pruebas de campo y simulaciones informáticas hidrológicas, y además se basa en aspectos operacionales de la planta de tratamiento y aspectos socio-ambientales como económicos, determina que tratamiento es más eficiente (Gharbia et al., 2016).

El estudio concluye que los costos operacionales y aspectos ambientales son los principales factores que afectan el proceso de evaluación de las opciones de AR después de tratamiento, donde la FLA (con geomembrana texturizada) está en el puesto más alto que el sistema SAT para el estudio en particular, aunque la calidad del agua efluente de post-tratado para el segundo es mejor que para el primero, además el costo de energía específica por cada metro cúbico de AR tratada para el sistema SAT es 10 veces mayor que para el sistema de FLA, aunque éste tenga mayor costo inicial en infraestructura (Gharbia et al., 2016).

También, (Fernandez et al., 2001) muestra un estudio desarrollado en el Valle del Cauca-Colombia, donde presenta resultados de la evaluación realizada a 4 FLA, que usaron mantas sintéticas o naturales y uno sin manta. El estudio comparó el efecto de introducir las mantas NT como la calidad del agua tratada, la duración de carrera y el nivel de degradación. Para evaluar el comportamiento hidráulico de las unidades de FLA, se midió la pérdida de carga tanto en la manta como en el lecho filtrante, además los filtros fueron operados a velocidades de filtración de 0,15

m/h con velocidades de maduración de 0,10 m/h. La calidad de agua fue monitoreada con base a los parámetros de turbiedad, color real, sólidos suspendidos (SS) y Coliformes fecales.

En el estudio, muestra que la aplicación de filtros lentos en arena (FLA) con mantas sintéticas no tejidas como NT 1400 y NT 2000, en un ambiente tropical como Colombia, incrementa las carreras de filtración en un factor de 1.33 a 1.72, este incremento producido permite suponer que es factible la optimización de los filtros lentos con mantas sintéticas no tejidas, tanto en reducción de costos de inversión inicial como en las actividades de operación y mantenimiento.

6. Metodología

6.1. Tipo de estudio

El presente estudio se realizó a nivel de planta piloto en laboratorio.

6.2. Localización

La parte experimental del proyecto se desarrolló en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca. El agua utilizada fue proporcionada por los tres tanques de almacenamiento del laboratorio. En el tanque que tiene mayor cabeza de presión, se realizó una mezcla manual para generar turbiedades entre el rango de 3 y 50 UNT, los dos (2) tanques auxiliares se encargan de recolectar el efluente y por medio de bombeo poderlo llevar al tanque inicial de mezcla.

6.3. Dispositivo de estudio

El dispositivo utilizado para el estudio corresponde a un cartucho de geo-textil NT 1600 Pavco, el esquema se presenta en la Figura 1, las características se presentan en la Tabla 1.

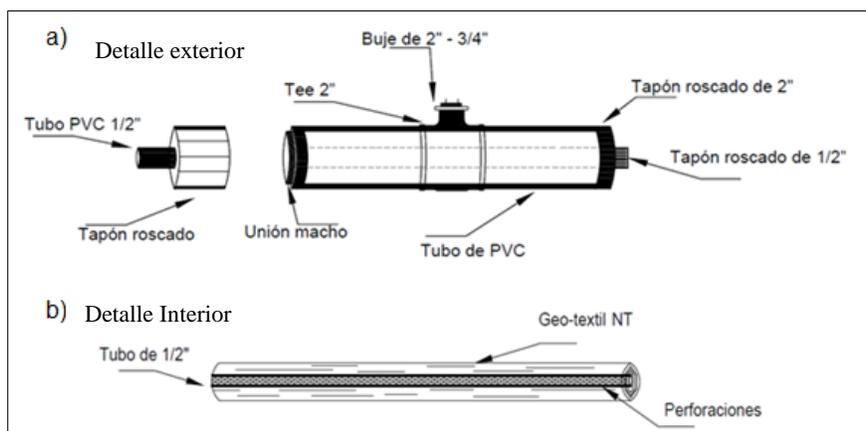


Figura 1. Cartucho en geotextil NT.

Tabla 1. Características hidráulicas y físicas del geotextil NT

<i>Parámetro</i>	<i>Propiedad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor Típico</i>
<i>Hidráulicas</i>	Tamaño de abertura aparente	mm (no tamiz)	0,18
	Permeabilidad	cm/s	4400
	Permitividad	1/s	2,9
	Tasa de flujo	L/min/m ²	8109
<i>Físicas</i>	Abertura	mm	1,5

Fuente: (Geosistemas PAVCO, 2013)

6.4. Metodología para la evaluación previa

Para determinar los caudales a utilizar en la evaluación del Cartucho en Geotextiles NT fue necesario realizar un estudio de filtrabilidad, que se denominó “Evaluación Previa”, con la cual se determinó la curva de conductividad hidráulica (Figura 2).

Para esta evaluación previa no se utilizó el agua de laboratorio si no que fue necesario utilizar agua de grifo la cual presenta una turbiedad menor a 2 UNT; se realizaron ensayos evaluando un rango amplio de caudales a los cuales se les fue determinando su respectiva pérdida de carga.

Se inició con un caudal bajo el orden de 38,95 mL/s, incrementándolo gradualmente hasta alcanzar un caudal máximo 536 mL/s, cuando se alcanza la capacidad máxima del sistema de bombeo (cabe destacar que se evitó la estrangulación del sistema).

Cada caudal evaluado se filtró durante un tiempo aproximado de 25 minutos, con un monitoreo continuo de las presiones y el caudal de salida, con el objetivo de asegurar que el caudal y las pérdidas de carga sean estables.

En base a los datos obtenidos en el ensayo se obtuvo la curva de conductividad hidráulica y su respectiva ecuación, que se muestran en la Figura 2.

Los caudales seleccionados para evaluar el comportamiento hidráulico del Filtro en geotextil NT son: 0.1 L/s, 0.2 L/s, 0.3 L/s, 0.4 L/s, puesto que fueron considerados los caudales más adecuados dentro de la curva de conductividad hidráulica.

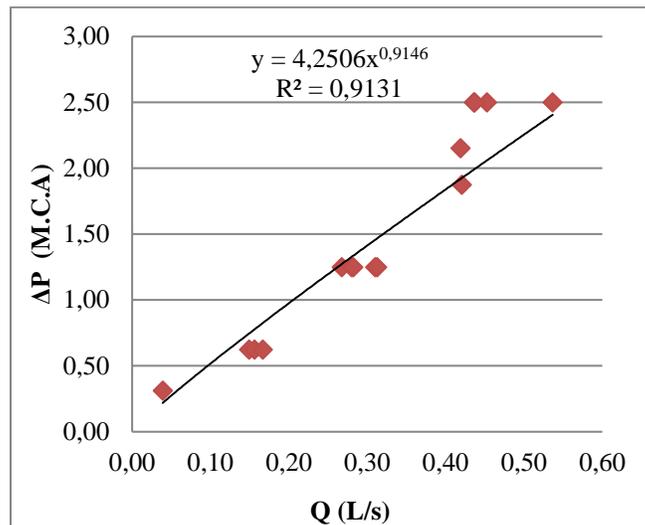


Figura 2. Curva de conductividad hidráulica

6.5. Metodología para el objetivo 1

Para el desarrollo del objetivo se evaluó el comportamiento de la pérdida de carga con cuatro caudales determinados según la evaluación previa; estos caudales (Q_x) fueron 0.4, 0.3, 0.2 y 0.1 L/s. Para cada caudal de estudio se realizaron mediciones teniendo en cuenta el siguiente procedimiento.

1. El canal de agua se abastecerá con agua potable con la cual se busca establecer una presión en el punto MI constante, por medio de una válvula VI que permitía controlar la cantidad de agua que entra al sistema y recircular el exceso de agua impulsada por la bomba al canal y así obtener el caudal Q_x de estudio requerido.
2. Una vez estabilizada la presión MI con su respectivo Q_x se abasteció el sistema con agua de laboratorio generada bajo condiciones específicas de mezcla.
3. Una vez toda el agua potable ha salido del sistema y se introduce el agua bajo condiciones específica mezclada y se registra el dato durante cada 15 minutos el

- caudal de salida ② de la unidad en estudio y las diferencias de presión en los puntos *M1* y *M2*.
4. De igual forma se tomaron muestras a la entrada (punto 1) y de salida (punto 2) del cartucho en intervalos de tiempo establecido (dependen de caudal que se esté evaluando). Estas muestras serán llevadas a laboratorio para el análisis de sólidos suspendidos, turbiedad, pH y color aparente.
 5. Este procedimiento se llevó a cabo hasta observar una pérdida de carga del 50%, parámetro establecido como punto de colmatación del filtro.
 6. Este procedimiento se replicó 3 veces y posteriormente se procederá a variar la presión del sistema y a realizar un cambio del geo-textil en el cartucho y evaluar así en que caudales, el sistema es más eficiente.

A continuación en la Figura 3 se presenta el montaje del sistema de pretratamiento a evaluar.

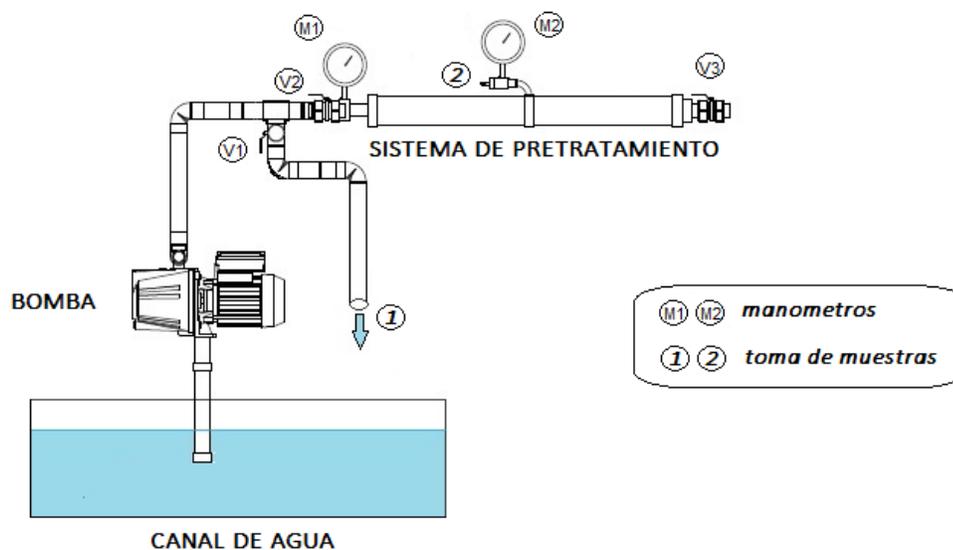


Figura 3. Montaje del sistema de pre-tratamiento

6.6. Metodología para el objetivo 2

Sólidos suspendidos

La determinación de los sólidos suspendidos se llevó a cabo en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la universidad del Cauca. Una vez se obtuvo la muestra de entrada y salida del filtro de pretratamiento, la muestra fue recolectada y refrigerada para ser analizada al día siguiente en el laboratorio, mediante el siguiente procedimiento.

1. Previamente se colocaron en el horno a 110 °C dos cajas de Petri por 1 hora; luego se llevaron a un desecador por 2 horas.
2. Se pesaron las cajas de Petri y el papel filtro de celulosa de 4 µm de diámetro en balanza analítica.
3. Se filtró con la bomba de vacío.
4. Se tomaron 10 mL de muestra filtrada y 10 mL de muestra sin filtrar; luego se separó el papel filtro de celulosa, se colocaron en su caja de Petri correspondiente y se llevaron al horno para su secado a 110 °C.
5. Se transportaron las muestras al desecador.
6. Se pesaron las muestras en la balanza analítica y al restar el valor del peso de las cajas de Petri de la muestra sin filtrar con la muestra filtrada, y
7. con el volumen utilizado y la diferencia de peso se puede obtener la concentración de ST, SD y por diferencia SS.

Turbiedad

La determinación de la turbiedad de la muestra se determinó por medio de Turbidímetro Portátil Hach Modelo 2100P ISO (Figura 4) el cual mide la turbiedad en el intervalo comprendido entre 0,01 y 1.000 FNU. El paso a paso del procedimiento se presenta a continuación.

1. Se tomó la muestra previamente aclimatada.
2. Se agito suavemente las muestras en sus recipientes.
3. Se adicionó la muestra en una celda perfectamente limpia, y se purgó previamente
4. Se tapó la celda, se limpió y se secó de tal manera que no quedara suciedad, ni motas en sus paredes externas.
5. Se colocó la celda con muestra en la porta celda, asegurándose que la celda entrara hasta el fondo de la porta celda y quedara alineada.
6. Una vez leído el dato se registro
7. Se retiró la celda y desecho la muestra y se repitió el procedimiento con cada una de las muestras.



Figura 4. Turbidímetro Portátil Hach Modelo 2100P ISO

7. Presentación de resultados

7.1. Comportamiento del caudal filtrado.

En las Figuras 5 y 6 se presenta el comportamiento del caudal a través del filtro para las pruebas de caudales de 0,1 L/s y 0,2 L/s respectivamente. Las curvas muestran una tendencia a disminuir el caudal conforme aumenta el tiempo de funcionamiento del filtro en geotextil NT, siendo este evento similar entre cada réplica.

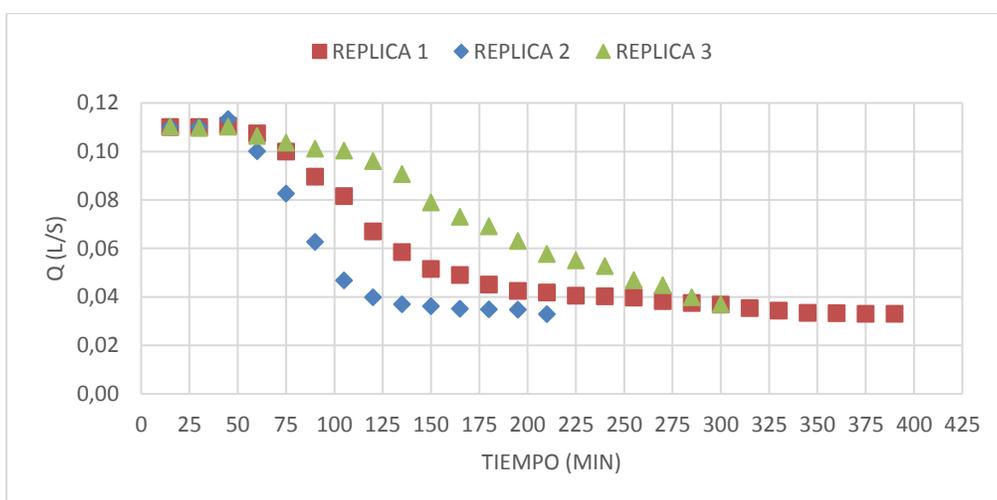


Figura 5. Comportamiento del caudal de 0,1 L/s

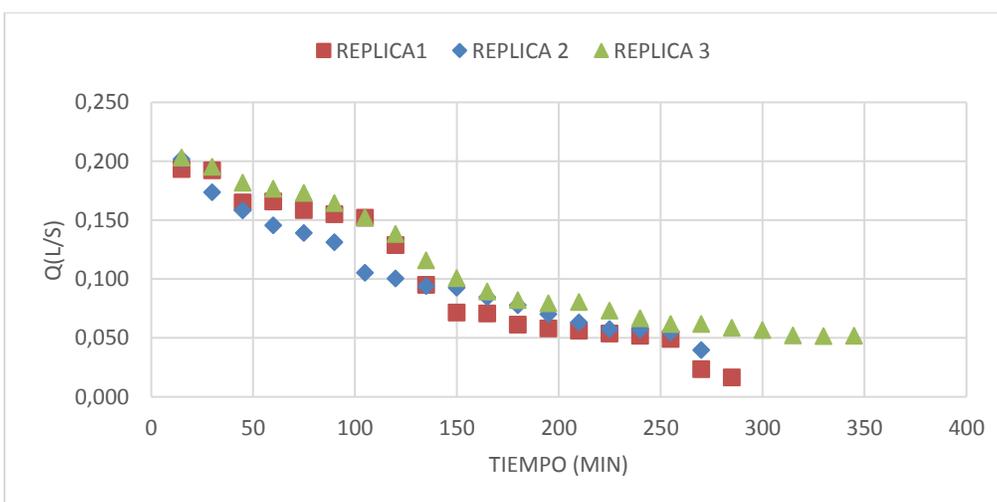


Figura 6. Comportamiento del caudal de 0,2 L/s

La Figura 7. Ilustra el comportamiento del caudal de 0,3 L/s, teniendo la tercera réplica un comportamiento distinto a las dos anteriores, presentando una recuperación de caudal en el minuto 105 y continuando su disminución hasta el final de la réplica.

La Figura 8 representa el comportamiento del caudal de 0,4 L/s, si bien en las réplicas 2 y 3 se observa un comportamiento similar, la réplica 1 presentó una tendencia de caudal a valores constantes.

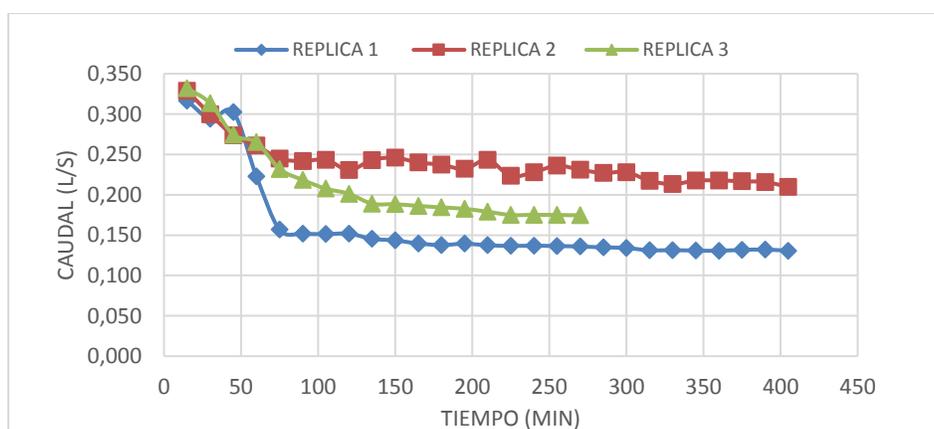


Figura 7. Comportamiento del caudal de 0,3 L/s

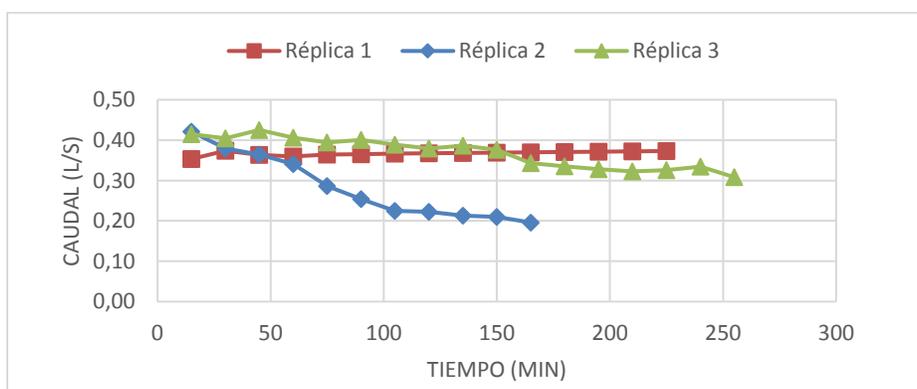


Figura 8. Comportamiento del caudal de 0,4 L/s

7.2. Efecto del caudal en el desarrollo de la pérdida de carga.

Las siguientes figuras condensan el comportamiento del caudal y pérdida de carga de cada uno de los caudales de estudio. En las Figuras 9 y 10, se observa una relación simultánea e indirecta de la pérdida de carga a medida que disminuye el caudal.

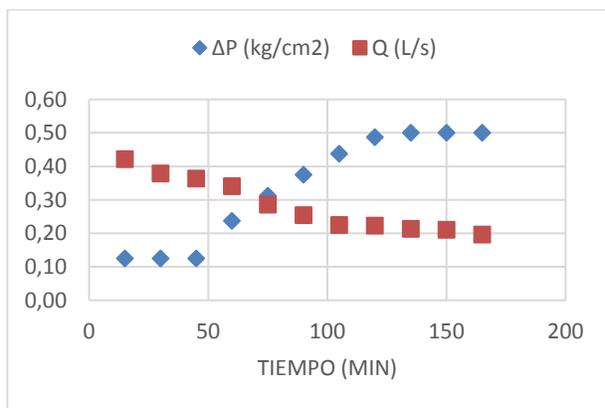


Figura 9. Efecto del caudal de 0,4 L/s en la pérdida de carga del sistema.

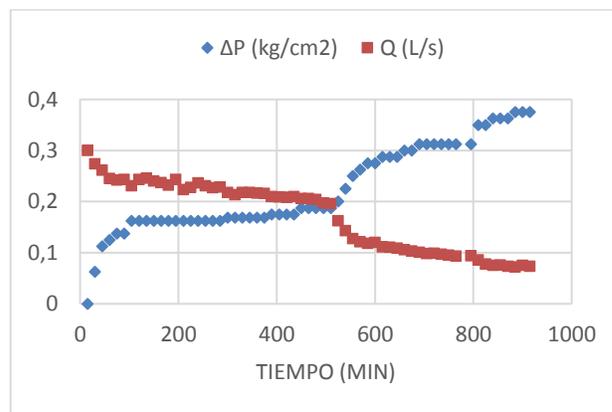


Figura 10. Efecto del caudal de 0,3 L/s en la pérdida de carga del sistema

La Figura 11 representa el comportamiento del caudal y pérdida de carga en el tiempo, donde la pérdida de carga tiene un comportamiento constante en cortos periodos de tiempo, representados como mesetas en la figura con simultáneos aumentos de pérdida, mientras el caudal representa una constante y uniforme disminución en el tiempo. La Figura 12 manifiesta el comportamiento del caudal de 0,1 L/s y pérdida de carga, siendo el caudal decreciente en el tiempo, mientras la pérdida de carga tuvo un comportamiento nulo en el sistema.

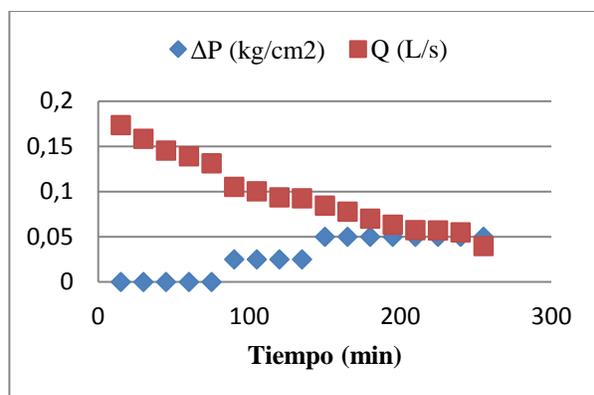


Figura 11. Efecto del caudal de 0,2 L/s en la pérdida de carga del sistema

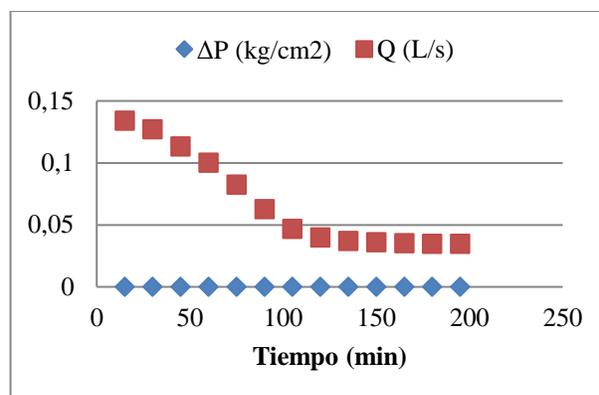


Figura 12. Efecto del caudal de 0,1 L/s en la pérdida de carga del sistema

7.3. Calidad de agua

7.3.1. Turbiedad.

En la Tabla 2, se presentan los datos de turbiedad de entrada y salida por réplica para cada caudal evaluado con su respectiva eficiencia de remoción y las Figuras 13 a la 16 reproducen el comportamiento de eficiencia de remoción de turbiedad para cada réplica de los caudales evaluados. Los cuales presentaron variaciones a medida que varía el caudal, es de resaltar que las turbiedades del afluente únicamente fueron similares para las réplicas del caudal de 0,2 L/s.

Tabla 2. Turbiedades de entrada y salida para cada caudal

<i>Q</i> (L/s)	<i>Turb. IN</i> (UNT)	<i>Desviación</i> <i>estándar</i>	<i>Turb. OUT</i> (UNT)	<i>Desviación</i> <i>estándar</i>	<i>Eficiencia</i> (%)	<i>Eficiencia Prom.</i> (%)
0,1	12,35	3,96	6,78	2,41	45	40
	13,02	1,75	8,29	0,78	36	
	14,99	0,73	9,11	0,55	39	
0,2	11,4	4,03	3,59	1,98	40	37
	12,00	1,44	8,28	1,71	29	
	12,04	1,57	8,57	0,54	33	
0,3	13,66	2,56	8,72	2,35	37	29
	15,13	2,96	10,63	2,23	29	
	20,80	7,42	15,27	5,24	22	
0,4	3,79	0,82	2,3	0,36	41	33
	12,24	7,20	6,57	3,35	37	
	17,95	10,82	13,16	6,86	22	

El caudal de 0,1 L/s presenta eficiencias de remoción de turbiedad que tiende a disminuir a través del tiempo de carrera, y que para las réplicas 1 y 3 es uniforme, presentando eficiencias entre 26% y el 45%. Los datos obtenidos para las turbiedades promedio de entrada y salida, para la réplica 1 están de 10,93 UNT y 7,15 UNT respectivamente, para la réplica 2 están de 12,76 UNT y 8,32 UNT respectivamente y para la réplica 3 están entre 15,00 UNT y 9,11 UNT respectivamente.

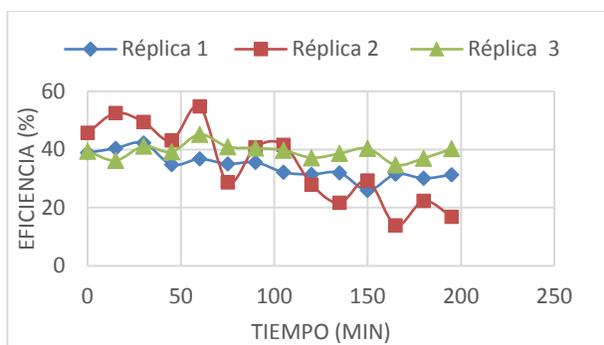


Figura 13. Eficiencia de remoción para caudal de 0,1 L/s.

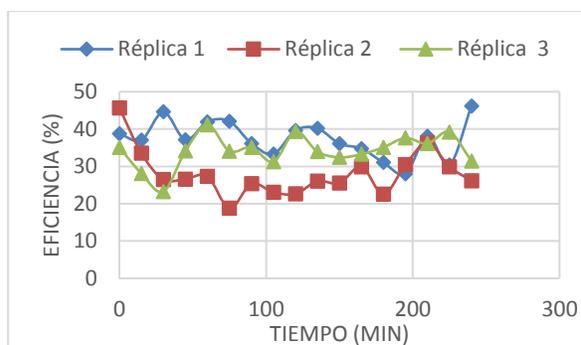


Figura 14. Eficiencia de remoción para caudal de 0,2 L/s

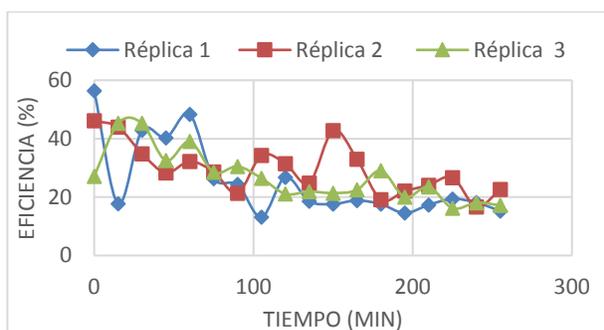


Figura 15. Eficiencia de remoción para caudal de 0,3 L/s

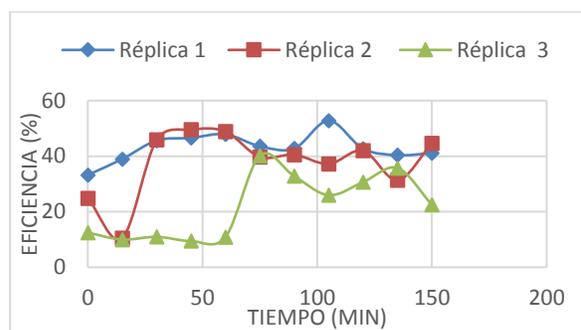


Figura 16. Eficiencia de remoción para caudal de 0,4 L/s

El caudal de 0,2 L/s, presenta unas eficiencias de remoción de turbiedad que tiende a ser altas al correr el sistema y que paulatinamente disminuye a la mitad del tiempo de carrera, pero al final tiende a aumentar dicha eficiencia, a medida que el espesor del geotextil NT se reduce bajo estrés también lo hacen las dimensiones de sus poros aumentando la capacidad de retención debido a la obstrucción parcial de partículas como lo experimental (Palmeira & Gordoni, 2002), Las réplicas 1 y 3 son las que presentan mejor uniformidad en la eficiencia de remoción de turbiedad, donde se manejaron turbiedades de entrada similares para las tres réplicas que están entre 13,20 UNT y 13,57 UNT, pero la turbiedad media de salida no fue homogénea, para la réplica 1, de 8,32 UNT; para la réplica 2, de 9,54 UNT y para la réplica 3, de 8,50 UNT.

El caudal de 0,3 L/s, presenta eficiencias de remoción de turbiedad que tienden a ser aleatorias con respecto al tiempo de carrera, es decir presenta picos de eficiencias altos y en seguida picos bajos de turbiedad, y en general tienden a disminuir las eficiencias con respecto al tiempo de carrera del cartucho en geotextil NT, obteniendo eficiencias entre 13% y 56% para las 3 réplicas. Las turbiedades promedio de entrada y salida para la réplica 1 están de orden 12,44 UNT y 9,97 UNT, para la réplica 2 están 18,18 UNT y 13,14 UNT y para la réplica 3 de 15,57 UNT y 11,36 UNT.

El caudal de 0,4 L/s, presenta eficiencias de remoción muy variables para cada una de las réplicas. La réplica 1 tuvo eficiencias entre 33% y 50%, la réplica 2 entre 10% y 50%, la réplica 3 entre 9% y 40%. Las bajas eficiencias de remoción se presentan al inicio del sistema, que aumentan al intermedio del tiempo de carrera, pero al final del tiempo de carrera tienden a disminuir. La turbiedad media de entrada y salida para la réplica 1 fue de 3,53 UNT y 2,44 UNT, para la réplica 2 de 12,18 UNT y 6,96 UNT, para la réplica 3 de 18,48 UNT y 13,40 UNT.

7.3.2. Sólidos suspendidos.

En la Tabla 3 y Tabla 4, se presentan los valores promedio obtenidos en el estudio de la calidad de agua para los sólidos suspendidos totales (SST) y color aparente, para cada uno de los caudales evaluados.

Tabla 3. Parámetros de calidad de agua, SST para los caudales evaluados

	<i>Q = 0,1 L/s</i>		<i>Q = 0,2 L/s</i>		<i>Q = 0,3 L/s</i>		<i>Q = 0,4 L/s</i>	
	<i>SST (mg/L)</i>		<i>SST (mg/L)</i>		<i>SST (mg/L)</i>		<i>SST (mg/L)</i>	
	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>
<i>Media</i>	6,4	2,1	337	132,3	14,9	7,2	24,4	17,3
<i>Desviación Estándar</i>	5,2	2,1	991,2	381,4	14,95	3,87	14,99	11,72
<i># Datos</i>	7	7	7	7	9	9	10	10
<i>Max</i>	18	5	2633	1016	52	14	68	65
<i>Min</i>	4	0	2	2	4	2	10	2
<i>Eficiencia Promedio</i>	64		32		41		30	

Tabla 4. Parámetros de calidad de agua, Color aparente para los caudales evaluados

	<i>Q = 0,1 L/s</i>		<i>Q = 0,2 L/s</i>		<i>Q = 0,3 L/s</i>		<i>Q = 0,4 L/s</i>	
	<i>Color (PtCo)</i>		<i>Color (PtCo)</i>		<i>Color (PtCo)</i>		<i>Color (PtCo)</i>	
	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>	<i>Entra</i>	<i>Sale</i>
<i>Media</i>	39,1	22,6	57,4	43,8	95,5	59	54,7	40
<i>Desviación Estándar</i>	20,5	18,5	29	37	94,66	39,36	28,62	24,16
<i># Datos</i>	7	7	7	7	9	9	10	10
<i>Max</i>	74	54	101	114	345	151	121	91
<i>Min</i>	20	9	25	6	32	22	23	17
<i>Eficiencia promedio</i>	38		31		31		30	

8. Discusión de resultados

8.1. Comportamiento hidráulico

De la Figura 9 a la 12 de la presentación de resultados, se aprecia el comportamiento del filtro para cada uno de los caudales evaluados, se observa como al aumentar el tiempo de carrera en cada uno de los caudales, se presenta un paulatino aumento de la pérdida de carga mientras el caudal disminuye a lo largo del tiempo de carrera, siendo las mayores pérdidas de carga generadas por el caudal más alto (Figura 9), donde para una disminución por debajo del 50% del caudal de 0,4 L/s se obtiene pérdidas de carga de hasta 0,5 kg/cm², para el caudal de 0,3 L/s de 0,375 kg/cm² (Figura 10) para el caudal de 0,2 L/s de 0,05 kg/cm² (Figura 11) y finalmente para el caudal más bajo de 0,1 L/s no se genera una lectura de pérdida de carga durante toda la evaluación (Figura 12) muy posiblemente por la baja sensibilidad de los manómetros utilizados.

Este comportamiento es debido a que al estar ingresando el agua con turbiedad se genera una acumulación de sólidos en el filtro, haciendo que se produzca una resistencia en el flujo de agua, generando un aumento paulatino de energía cinética y a su vez disminuyendo el caudal a través del tiempo.

8.2 Caudal filtrado

Para determinar si existe una relación en el comportamiento de la disminución del caudal entre las réplicas por caudal, fue necesario hacer una comparación de líneas de regresión, donde se comparan las pendientes generadas por cada réplica y se establece si tiene relación.

Este procedimiento se realizó mediante el Software Statgraphics Centurion, que permitió determinar una diferencia estadística de las pendientes por réplica para los caudales de 0,1 L/s, 0,3

L/s y 0,4 L/s, puesto que su Valor-P es menor a 0,01 (Valor-P=0,0000), resultados obtenidos con un nivel de confianza del 99%. Para el caudal de 0,2 L/s, no hay una diferencia estadística de las pendientes por réplica puesto que su Valor-P es mayor a 0,1 (Valor-P=0,8897) con un nivel de confianza del 90% y un R-cuadrado del 94,3285. Los resultados de la Razón-F,-el Valor-P con su respectivo nivel de confianza por caudal, se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Razón F y Valor - P para las Pendientes por réplica

<i>Caudal(L/s)</i>	<i>Réplica</i>	<i>Pendientes</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Nivel de confianza (%)</i>
0,1	1	-0,00112667	79,3	0,0000	99
	2	-0,00056364			
	3	-0,00033626			
0,2	1	-0,00073016	0,12	0,8897	90
	2	-0,0007697			
	3	-0,00078788			
0,3	1	-0,00207143	39,49	0,0000	99
	2	-0,00015502			
	3	-0,00042174			
0,4	1	-2,54E-05	167,08	0,0000	99
	2	-0,00167677			
	3	-0,00066873			

La comparación de líneas de regresión para el caudal filtrado versus el tiempo de carrera por réplica, se muestran desde la Figura 17 a la 20, donde se observa la disminución del caudal filtrado con respecto al tiempo de carrera y también se aprecian las pendientes que son distintas para los caudales de 0,1 L/s, 0,3 L/s y 0,4 L/s; para el caudal de 0,2 L/s se observa una correlación entre las pendientes.

Lo anterior, permite establecer que para el caudal de 0,2 L/s tiene un caudal filtrado similar en un mismo tiempo de carrera para las tres réplicas y que para los caudales de 0,1 L/s, 0,3 L/s y 0,4 L/s, el caudal filtrado va a estar determinado por una variable como por ejemplo la turbiedad del

afluente, porque para cada una de las réplicas por caudal fue distinta, influyendo directamente en la duración de carrera del cartucho en geotextil NT.

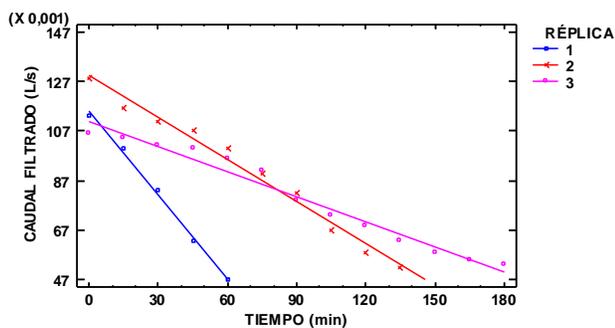


Figura 17. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,1 L/s.

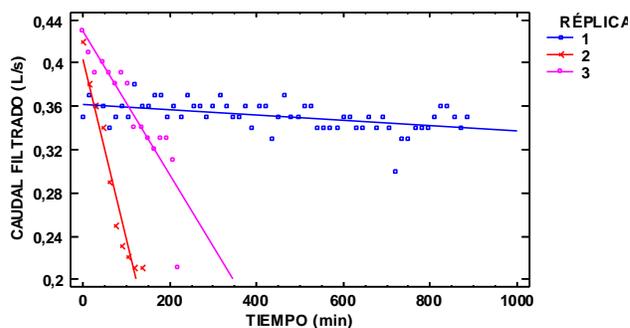


Figura 18. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,2 L/s.

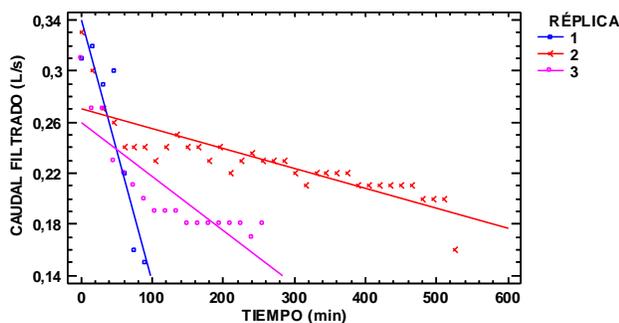


Figura 19. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,3 L/s.

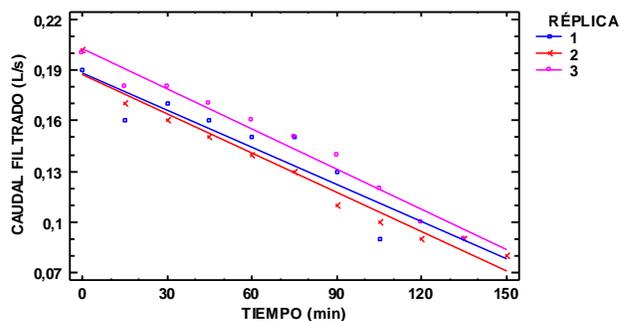


Figura 20. Caudal filtrado versus tiempo de carrera para el caudal de 0,4 L/s.

8.3 Duración de carrera

Para establecer si entre las réplicas se presenta un comportamiento similar o igual en la duración de carrera del filtro por caudal, se estudió cual fue el caudal al llegar a una reducción de caudal (Q) del 20%, 30% y 40% y a su vez que tiempo transcurrió, como se observa en la Tabla 6 de la cual se evidencia que para una reducción del 40%, en los caudales de 0,3 y 0,4 L/s se obtuvo una duración de carrera de 227,8 y 144,6 minutos respectivamente, es de resaltar que para el caudal de

0,4 L/s no se tomó en cuenta los valores de la réplica 1 porque se manejaron turbiedades muy bajas del afluente las cuales no permitieron alcanzar la máxima reducción de Q. Para los caudales de 0,2 y 0,1 L/s se obtuvo una duración de carrera de 98,2 y 93,4 minutos respectivamente. De este modo se seleccionó la duración de carrera y reducción de caudal en cada punto y se analizó mediante el Software Statgraphics Centurion.

Al realizar una regresión entre estos parámetros, para cada caudal evaluado, se determinó que no hay una relación estadísticamente significativa para la duración de carrera y la disminución de caudal entre las réplicas de los caudales de 0,1 L/s, 0,3 L/s y 0,4 L/s , puesto que el valor-P para estos caudales son mayores a 0,05, (Valor-P=0,2636; 0,1261; 0,5068 respectivamente) mientras que el caudal de 0,2 L/s, generó un Valor-P=0,0001 presentando una relación estadísticamente significativa entre la duración de carrera y la reducción del caudal.

Tabla 6. Reducciones de caudal al 20%, 30% y 40%

<i>Q (L/s)</i>	<i>Réplica</i>	<i>Q/Q_i (%)</i>	<i>Duración carrera (min)</i>	<i>Caudal filtrado (L/s)</i>
0,1	1	20	77,14	0,089
	1	30	94,62	0,077
	1	40	106,88	0,066
	2	20	23	0,091
	2	30	32,5	0,08
	2	40	40,83	0,069
	3	20	74,31	0,076
	3	30	102	0,074
	3	40	132,5	0,064
0,2	1	20	67,5	0,15
	1	30	86,3	0,14
	1	40	95,83	0,11
	2	20	60	0,14
	2	30	81	0,12
	2	40	95	0,11
	3	20	70	0,15
	3	30	91,3	0,14
	3	40	103,7	0,12
0,3	1	20	55,2	0,25
	1	30	61,4	0,21
	1	40	68,6	0,19
	2	20	41,25	0,26
	2	30	105	0,23
	2	40	495	0,2
	3	20	36,8	0,25
	3	30	60	0,22
	3	40	120	0,19
0,4	2	20	46,2	0,34
	2	30	57,7	0,3
	2	40	75	0,25
	3	20	127,5	0,34
	3	30	210,7	0,3
	3	40	214,2	0,26

El análisis anterior permite establecer que la duración de carrera para cada réplica fue diferente como se evidencia desde la Figura 21 a la 24. Este evento es generado muy seguramente por la variabilidad de la turbiedad del afluente, lo que permite establecer que la turbiedad tiene una influencia en la duración de carrera del filtro. Puesto que solamente hay relación entre las réplicas del caudal de 0,2 L/s y este es el único que presenta turbiedades de entrada similares, hecho que

se ve demostrado en la sección 8.3., sin embargo es necesario realizar posteriores análisis para determinar de qué manera la turbiedad de entrada afecta la duración de carrera en los caudales.

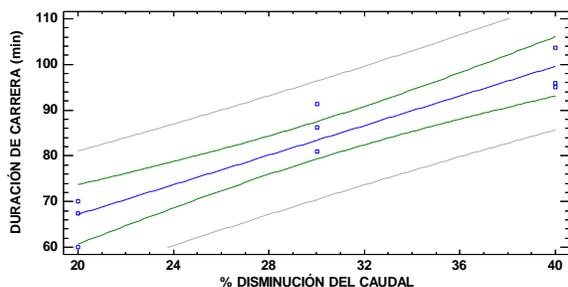


Figura 21. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q=0,1$ L/s.

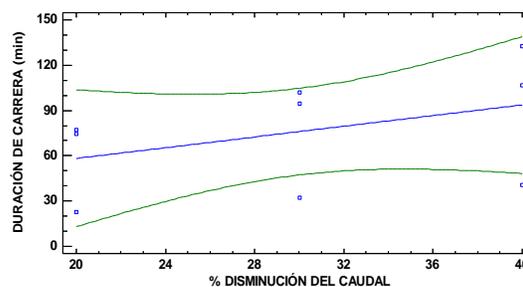


Figura 22. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q=0,2$ L/s.

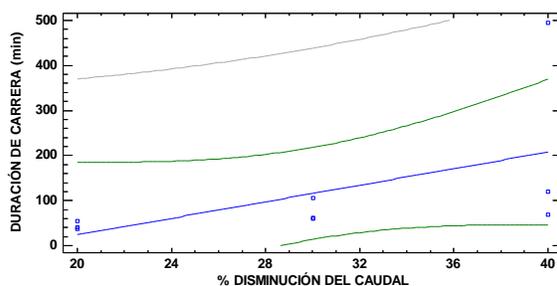


Figura 23. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q=0,3$ L/s.

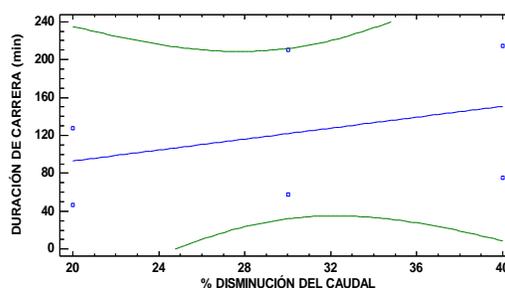


Figura 24. Relación entre duración de carrera y disminución de caudal para $Q=0,4$ L/s.

8.4 Pérdida de carga

Las pérdidas de carga en el filtro para cada uno de los caudales evaluados se observan en la Figura 25, donde se aprecia que la mayor pérdida de carga tiende a ser generada por el mayor caudal y va en decremento conforme el caudal disminuye, siendo este un comportamiento hidráulicamente esperado, debido a que las pérdidas cinemáticas en el sistema aumentan, puesto que a mayor velocidad de circulación del fluido; mayor caudal y mayor serán las pérdidas cinemáticas (Guevara, 2013).

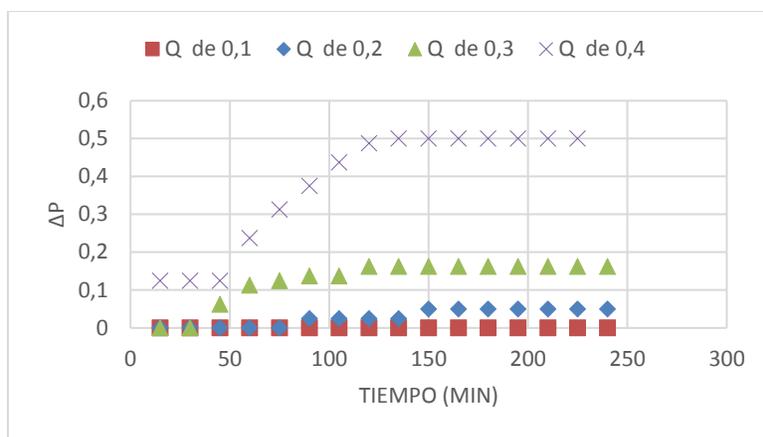


Figura 25. Pérdida de carga para los caudales evaluados

De acuerdo a los estudios realizados, se evidenciaron diferencias de comportamiento en la pérdida de carga entre las evaluaciones de mayor caudal (0,4 L/s y 0,3 L/s) y las de menor caudal (0,2 L/s y 0,1 L/s); es por esto, que para una mejor comprensión, el análisis se realiza teniendo en cuenta las diferencias entre estos dos grupos estudiados.

La Figura 26 y Figura 27 ilustra el comportamiento de las pérdidas de carga en el filtro para el caudal de 0,4 L/s y 0,3 L/s respectivamente, En estas se observa un comportamiento que inicia con una fase estacionaria hasta alcanzar un punto en que se produce un crecimiento exponencial marcado con pequeñas mesetas a lo largo del tiempo, finalizando en una larga fase estacionaria cuando está próxima a alcanzar el máximo tiempo de carrera del filtro, fenómeno generando debido a que el filtro llega a una etapa en el que se presenta una compensación de cargar por la disminución constante del caudal durante toda la evaluación (Figura 3 y Figura 4 de la presentación de resultados).

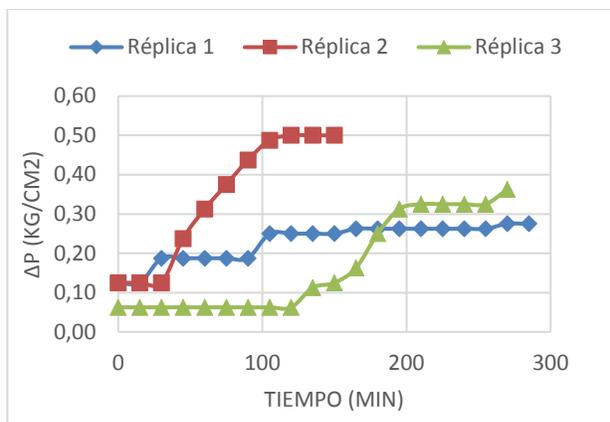


Figura 26. Pérdida de carga en el tiempo para el caudal de 0,4 L/s

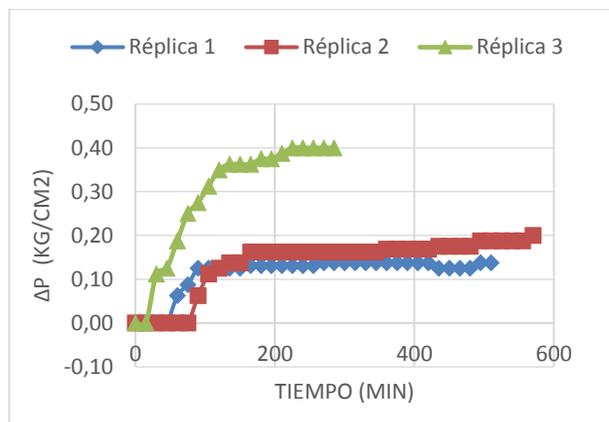


Figura 27. Pérdida de carga en el tiempo para el caudal de 0,3 L/s

Las Figuras 26 y 27 adicionalmente permiten observar claras diferencias entre cada una de las réplicas de los caudales evaluados. Por medio del análisis comparativo de regresiones lineales ejecutado en el software Statgraphics Centurion, se confirmó que dado que el valor-P ($P = 0,0000$) existen diferencias estadísticas entre las réplicas con un nivel de confianza del 99% para estos dos caudales.

Para los caudales menores a 0,2 L/s, no se evidencia gráficamente una diferencia en su comportamiento, debido a las bajas pérdidas de carga presentadas durante el tiempo de carrera, sin embargo al realizar el mismo tratamiento estadístico a los ensayos del caudal de 0,2 L/s se determinó que el valor-P ($P=0,2176$) para las pendientes, es mayor que 0,01, es decir que no existen diferencias estadísticas entre las distintas réplicas con un nivel de confianza del 95%, mientras que para el caudal de 0,1 L/s, no es posible determinar la replicabilidad dado que sus pendientes son nulas (El análisis detallado de estos resultados se puede encontrar en el anexo 1).

Acorde a los anteriores resultados y dado que efectivamente no se encuentra relación entre las réplicas de estudio, salvo para el caudal de 0,2 L/s, se puede establecer que el sistema se encuentra

afectado por otra variable, la cual seguramente es la turbiedad del afluente, que pareciera ser tiene una influencia en el comportamiento del filtro.

8.5 Turbiedad

Se realizaron análisis de varianza ANOVA para las turbiedades de entrada de cada uno de los caudales evaluados, del cual se obtuvo que para los caudales de 0,4 L/s y 0,3 L/s, el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05 (ver Tabla 7) es decir que existen diferencias significativas en las turbiedades de entrada de cada una de las réplicas para ambos caudales, siendo estos resultados obtenidos con un 95% de confianza.

Al realizar el mismo tratamiento estadístico para el caudal de 0,2 L/s y 0,1 L/s, el valor-P de la razón-F es mayor que 0,05 (ver Tabla 7), para el caudal de 0,2 L/s, es decir que no presenta una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las turbiedades de las tres réplicas, mientras que para el caudal de 0,1 L/s, si se presentaron diferencias estadísticas. Mayores detalles acerca de estos análisis se pueden observar en el anexo 2.

Tabla 7. Resultados prueba ANOVA, calidad de agua por réplicas

<i>Caudal (L/s)</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
0,4	28,38	0,0000
0,3	15,46	0,0000
0,2	0,11	0,8993
0,1	20,77	0,0000

De lo anterior se puede observar que la turbiedad juega un papel determinante en el comportamiento de los filtros, en términos hidráulicos afecta las pérdidas de carga en el filtro y a su vez el caudal filtrado; haciendo que cada una de las réplicas realizadas presentara un

comportamiento diferente exceptuando el caudal de 0,2 L/s en el que al mantener el parámetro de la turbiedad constante, se obtuvo un comportamiento hidráulico determinado dentro del filtro.

Sin embargo estas diferencias de turbiedad nos permitieron evidenciar una tendencia a disminuir la eficiencia de remoción de turbiedad al aumentar el caudal de entrada.

La Figura 28 evidencia este comportamiento, en el cual si bien se observa una tendencia logarítmica decreciente de la eficiencia conforme aumenta el caudal, no presenta una relación estadísticamente significativa entre estas dos variables dado que presenta un Valor P de 0,2066 con un R-Cuadrada del 20,2526%, debido a lo observado en la Figura 28 la variabilidad de los datos aumentan conforme crece el caudal, siendo los de mayor variabilidad los resultados obtenidos para el caudal de 0,4 L/s.

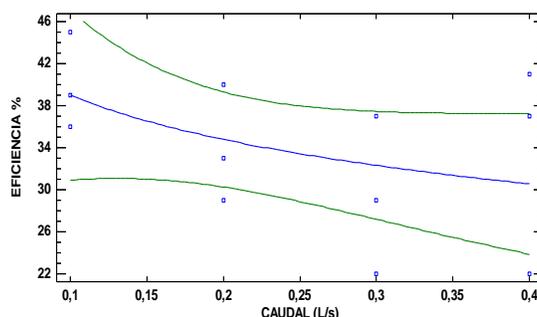


Figura 28. Relación entre remoción de turbiedad y cada uno de los caudales evaluados

8.5.1. Influencia de la turbiedad del afluente sobre la calidad del efluente.

La Tabla 2, resume los valores de turbiedad promedios y las eficiencias obtenidas en las evaluaciones de cada una de las réplicas de los caudales de estudio durante la duración de carrera del filtro, siendo este establecido como el tiempo requerido por el filtro para alcanzar una disminución de caudal de hasta del 50%.

Los datos permiten presumir que la calidad del agua de salida, se ve afectada por la turbiedad de entrada, es por esto que se realiza para cada uno de los caudales evaluados una comparación de líneas de regresión, y se obtiene que efectivamente, no existen diferencias estadísticas entre las

pendientes con un nivel de confianza del 90%, dado que el valor-P para las pendientes fue mayor a 0,1 ($P_{0,4L/S}=0,6213$, $P_{0,3L/S}=0,2618$, $P_{0,2L/S}=0,2207$, $P_{0,1L/S}=0,7516$), es así como se establece que al variar la calidad del afluente equivalentemente se generan variaciones en la remoción de turbiedad de salida.

8.6 Sólidos suspendidos

8.6.1 Efecto del caudal sobre la concentración de sólidos suspendidos a través del tiempo

Al evaluar la eficiencia de la remoción de sólidos suspendidos por el filtro se puede evidenciar que para todos los ensayos realizados se presentó una disminución en la eficiencia a través del tiempo. La Figura 29 presenta el comportamiento de la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos para cada uno de los caudales.

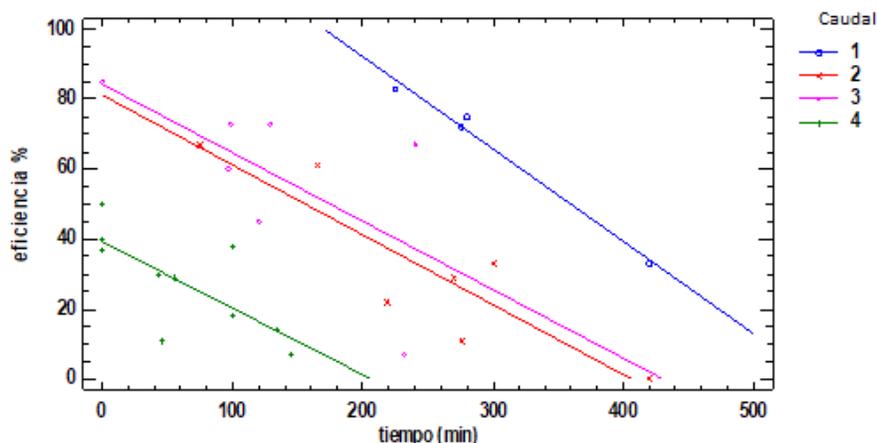


Figura 29. Comparación de líneas de regresión de sólidos suspendidos

Como se puede observar se presenta una disminución de la tasa de remoción en el tiempo, donde al realizar una comparación de líneas de regresión se obtuvo un valor-P para las pendientes mayor que 0,1, por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las pendientes, con un nivel de confianza del 90%. Dado que la tasa de remoción es similar para cada uno de los tres caudales, se indica que los sólidos suspendidos no son un factor determinante en la selección

del mejor caudal; sin embargo se sugiere realizar ensayos con una mayor frecuencia en la lectura de sólidos suspendidos ya que para la evaluación de este parámetro solo se tomaron tres datos por réplica, por lo cual se obtuvo un nivel de confianza de tan solo el 90%, haciendo que sea muy prematuro realizar una conclusión.

8.7 Volumen de agua producida

El volumen de agua producido se calculó como el producto entre el caudal medio producido en un delta de tiempo y el delta considerado (Fernández, 2016), el volumen producido de agua se graficó en función del tiempo de carrera para su respectivo análisis.

$$V = \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} * (t_i + t_{i+1})$$

El volumen acumulado de agua producida con respecto al tiempo de carrera para los caudales evaluados, se muestran desde la Figura 30 a la 33. Donde se observa un comportamiento lineal para la producción de agua con un crecimiento proporcional. Las pendientes representan la tasa de producción de agua, lo que físicamente muestra el caudal medio por réplica para cada caudal evaluado, las pendientes, el ajuste R-cuadrado se presentan en la Tabla 8 y la producción de agua se presentan en la Tabla 9.

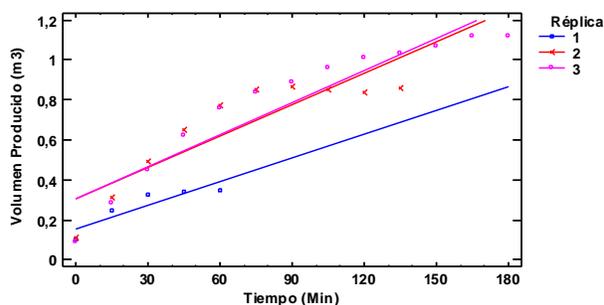


Figura 30. Volumen de agua producida para el caudal de

0,1 L/s

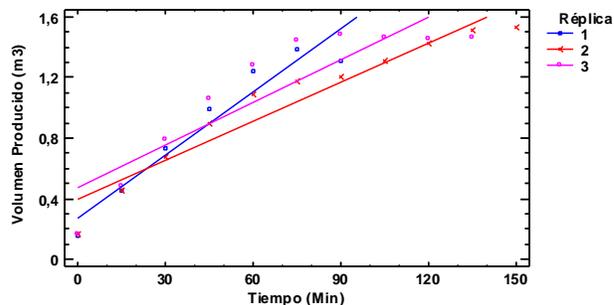


Figura 31. Volumen de agua producida para el caudal de

0,2 L/s

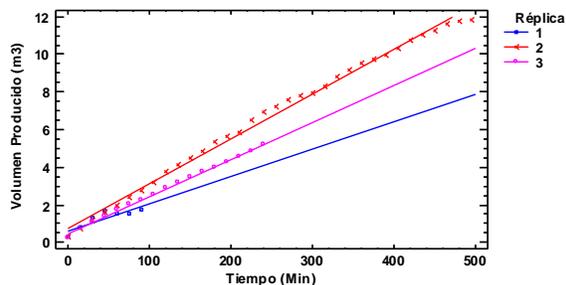


Figura 32. Volumen de agua producido para el caudal de
0,3 L/s

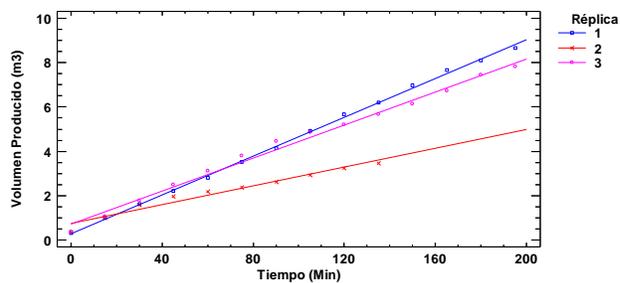


Figura 33. Volumen de agua producido para el caudal de
0,4 L/s

Tabla 8. Pendiente (m) y ajuste R^2 para los caudales evaluados por réplica

		$Q = 0,1 \text{ L/s}$		$Q = 0,2 \text{ L/s}$		$Q = 0,3 \text{ L/s}$		$Q = 0,4 \text{ L/s}$	
		m	R^2	m	R^2	m	R^2	m	R^2
<i>Réplica</i>	1	0,0039		0,0138		0,015		0,041	
	2	0,0053	0,899	0,0085	0,885	0,024	0,996	0,021	0,995
	3	0,0052		0,0096		0,02		0,037	

Tabla 9. Producción de agua para los caudales evaluados

$Q \text{ (L/s)}$	<i>Réplica</i>	<i>Duración de carrera (min)</i>	<i>Volumen Por réplica (m³)</i>	<i>Volumen promedio (m³)</i>	<i>Desviación estándar</i>
0,1	1	60	0,35		
	2	135	0,86	0,78	0,39
	3	180	1,12		
0,2	1	90	1,31		
	2	150	1,53	1,43	0,11
	3	135	1,46		
0,3	1	90	1,77		
	2	495	11,86	6,27	5,13
	3	240	5,19		
0,4	1	195	8,66		
	2	135	3,47	6,65	2,78
	3	195	7,81		

Para evaluar el comportamiento de la producción de agua por réplica para cada caudal, se realizó una comparación de líneas de regresión con el software Statgraphics Centurion y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 10, donde se evidencia que no existen diferencias estadísticas para el caudal de 0,1 L/s y 0,2 L/s, dado que el Valor-P es mayor que 0,1 con un nivel de confianza del 90%, lo que permite precisar que la tasa de producción de agua para las tres réplicas por caudal no tiene diferencias significativas, o es equivalente la producción de agua entre las réplicas para estos caudales

Tabla 10. Razón F, Valor-P y Nivel de confianza por caudales

		<i>Caudal (L/s)</i>			
		<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>
<i>Pendiente</i>	<i>Razón F</i>	0,13	2,44	15,55	109,84
	<i>Valor-P</i>	0,8817	0,1104	0,0000	0,0000
	<i>Nivel de confianza (%)</i>	90	90	99	99

Mientras que para los caudales de 0,3 L/s y 0,4 L/s, si existen diferencias estadísticas significativas para las pendientes, debido que el Valor-P es menor que 0,01, lo que permite establecer que la producción de agua por réplica tuvo independencia, seguramente a la eficiencia de remoción presentadas por el cartucho en geotextil NT para cada una de las réplicas. Lo cual se ve influenciado no solo por las diferencias de turbiedad, sino también que al trabajar con mayor caudal y por ende mayor velocidad de filtración, se generaron variaciones más perceptibles en la cantidad de agua producida por el filtro.

Para comparar los volúmenes producidos por cada caudal estudiado, se utilizó la prueba estadística de Kruskal Wallis, indicando que los volúmenes producidos son distintos (Valor-P = 0,0248791). Este resultado indica que entre más alto sea el caudal filtrado, mayor cantidad de volumen de agua acumulado será producido. En este sentido y considerando que las eficiencias de remoción fueron

similares en todos los caudales seleccionados, podría ser de mayor utilidad la utilización del sistema con los caudales más altos que con los bajos.

Por lo tanto se recomienda un caudal entre 0,3 L/s a 0,4 L/s, con los cuales se espera que se obtengan una producción media entre 6,3 y 6,7 m³ entre 3 y 5 horas. Volumen de agua que con base a una dotación neta de 120 L/hab./día para las zonas rurales (CEPAL, 2000), es capaz de satisfacer las necesidades de abastecimiento de 216 a 288 habitantes, utilizando un solo filtro en geotextil NT.

9. Conclusiones y recomendaciones

El uso de un cartucho en geotextil NT 1600 PAVCO, se puede aplicar como sistema de pretratamiento de agua cruda para soluciones individuales de potabilización en zonas rurales.

La pérdida de carga generada en el cartucho de geotextil NT es directamente proporcional a los caudales de estudio; es decir a mayor caudal, mayor pérdida de carga.

El comportamiento hidráulico del filtro se ve influenciado por la turbiedad del afluente, afectando las pérdidas de carga en el filtro y a su vez el caudal filtrado.

La calidad del agua del afluente afecta la calidad del agua del efluente y a su vez determina la duración de carrera del cartucho de geotextil NT, sin embargo se recomienda realizar más estudios para determinar de qué forma la turbiedad afecta el tiempo de carrera.

Los caudales de 0,3 L/s y 0,4 L/s, pueden producir volumen de agua suficiente para abastecer una dotación neta de 120 L/ hab. /día, con eficiencias que alcanzan el 30% de remoción de turbiedad.

No se encontraron diferencias entre la tasa de remoción de sólidos suspendidos y turbiedad del filtro para los diferentes caudales de estudio.

Se recomienda estudiar el comportamiento y eficiencia de remoción al instalar filtros en serie, para aumentar la eficiencia del sistema.

10. Referencias bibliográficas

- Bourgès-Gastaud Sébastien., Guillaume Stoltz., Fabienne Sidjui., and Nathalie Touze-Foltz. 2014. “Nonwoven Geotextiles to Filter Clayey Sludge: An Experimental Study.” *Geotextiles and Geomembranes* 42(3), 214–223. [Http://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.03.002](http://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.03.002)
- CEPAL (2000): Informe Nacional Sobre La Gestión Del Agua En Colombia. "Agua Para El Siglo XXI Para América Del Sur, De La Visión A La Acción.": <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23345/inco00200.pdf>.
- CONPES (2014), Consejo Nacional De Política Económica Y Social, República De Colombia, Departamento Nacional De Planeación, “Política Para el Suministro de Agua Potable Y Saneamiento Básico En La Zona Rural.”
- Fernández, M Javier., Iriarte, V Mauricio., (2016). "Evaluación De La Producción De Agua, Remoción Fisicoquímica Y Microbiológica Del Cartucho De Filtración Bastech L01R Para El Tratamiento de Agua Cruda." Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil Programa de Ingeniería Ambiental, Comunicación Personal al E-mail Jefernandez@unicauca.edu.co.
- Fernández, M Javier., Latorre, M Jorge., Berón, C Fabiola., Muñoz, Noel., Vargas, Viviana., (2001). “Uso de Mantas Sintéticas Y Naturales En Filtración Lenta En Arena Una Experiencia En Ambientes Tropicales.” Cinara, Instituto De Investigación Y Desarrollo En Agua Potable, Saneamiento Básico Y Conservación Del Recurso Hídrico, Universidad Del Valle.
- Galvis G., Latorre j., Y Visscher J.T. ;(1999). Filtración en Múltiples Etapas. "Tecnología Innovativa Para El Tratamiento De Agua". Cinara, Instituto De Investigación Y Desarrollo En Agua Potable, Saneamiento Básico Y Conservación Del Recurso Hídrico, Universidad Del Valle. - IRC, Cali, Colombia.
- Geosistemas PAVCO. 2013. “Geotextiles NT1600AR.” (262626): 262626,.
- Gharbia, Salem S. et al. 2016. “Evaluation of Wastewater Post-Treatment Options for Reuse Purposes in the Agricultural Sector under Rural Development Conditions.” *Journal of Water Process Engineering* 9: 111–22. [Http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.12.003](http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.12.003).
- Guevara, Maria E., Laboratorio de hidráulica.2013.”Estructuras Hidraulicas”
- INCA (Informe Nacional De La Calidad Del Agua Para Consumo), (2015), Ministerio De Salud Y Protección Social, Subdirección De Salud Ambiental. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-2015_reducido.pdf

- Ingold, T. S., Miller, K. S., & Thomas Telford Limited. (1988). *Geotextiles Handbook*. London: Thomas Telford., 24(2), 1–9. [Http://doi.org/10.1145/2505515.2507827](http://doi.org/10.1145/2505515.2507827).
- INS (Instituto Nacional de Salud). (2014). “Protocolo de Vigilancia En Salud Pública Mortalidad Por Enfermedad Diarreica Aguda En Menores de 5 Años.” 1: 18. https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/diarrea_ag.pdf.
- Palmeira, Ennio M., and Maria G. Gardoni. (2002). “Drainage And Filtration Properties Of Non-Woven Geotextiles Under Confinement Using Different Experimental Techniques.” *Geotextiles And Geomembranes* 20(2): 97–115. [Http://doi.org/10.1016/s0266-1144\(02\)00004-3](http://doi.org/10.1016/s0266-1144(02)00004-3)
- Logsdon G, Kohne R., Abel S., Labonde S. (2002). "Slow Sand Filtration For Small Water Systems: *Journal Environment*, pp. 339–348.
- SIVICAP (Estado De La Vigilancia De La Calidad De Agua Para Consumo Humano En Colombia). (2014)., Ministerio de Salud Y La Protección Social., Instituto Nacional De Salud., Grupo Calidad de Agua. <http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/2015%20Estado%20de%20la%20vigilancia%20de%20la%20calida%20del%20agua%202014.pdf>
- Urdinola, Piedad., “La Población Desplazada Interna: El Caso Colombiano”, *Amérique Latine Histoire et Mémoire. Les Cahiers ALHIM* [En línea], (2001), Publicado el 16 Junio 2006, Consultado el 12 septiembre 2017. URL: <http://alhim.revues.org/525>
- Haarrhoff j. And Cleasby jl; 1991. Biological and physical mechanisms in slow sand filtration, pages 19–68. *American society of civil engineers*, new york.
- Tobergte, David R., and Shirley Curtis. (2013). “Uso de mantas sinteticas y naturales en filtracion lenta en arena una experiencia en ambientes naturales” *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9): 1689–1699. [.](#)
- Ramírez, r. M. (2003). Colombia: potencia hídrica. *Potencia*, 1–15.

ANEXO 1.

Comparación de Líneas de Regresión para la Pérdida de carga versus Tiempo por réplica para Q de 0,4 L/S

Variable dependiente: Pérdida de carga

Variable independiente: Tiempo (min)

Códigos de Nivel: Réplica

Número de casos completos: 59

Número de líneas de regresión: 3

Análisis de Regresión Múltiple

		<i>Error</i>	<i>Estadístic</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	0,17708	0,0143118	12,373	0,0000
TIEMPO	0,00030359 7	0,000053744 5	5,64888	0,0000
REPLICA=2	-0,112717	0,0285596	-3,94672	0,0002
REPLICA=3	-0,206326	0,0236233	-8,73397	0,0000
TIEMPO*REPLIC A=2	0,00276913	0,000248808	11,1296	0,0000
TIEMPO*REPLIC A=3	0,00100397	0,000127623	7,86672	0,0000

Coefficients

<i>REPLIC</i>	<i>Intercepto</i>	<i>Pendiente</i>
A		
1	0,17708	0,00030359 7
2	0,0643636	0,00307273
3	- 0,0292451	0,00130757

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,703804	5	0,140761	96,37	0,0000
Residuo	0,0774153	53	0,00146067		
Total (Corr.)	0,78122	58			

R-Cuadrada = 90,0905 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 89,1556 por ciento

Error estándar del est. = 0,0382187

Error medio absoluto = 0,0287783

Estadístico Durbin-Watson = 0,731825 (P=0,0000)

Autocorrelación residual de retardo 1 = 0,616859

ANOVA Adicional para Variables Según el Orden de Introducción

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
TIEMPO	0,138232	1	0,138232	94,64	0,0000
Intercepto s	0,315446	2	0,157723	107,98	0,0000
Pendiente s	0,250127	2	0,125063	85,62	0,0000
Modelo	0,703804	5			

El StatAdvisor

Esta tabla le permite evaluar la significancia estadística de los términos en el modelo. Debido a que el valor-P para las pendientes es menor que 0,01, existen diferencias estadísticas entre las pendientes para los distintos valores de Réplica con un nivel de confianza del 99%. Dado el valor-P para los interceptos es menor que 0,01, existen diferencias estadísticamente significativas entre los interceptos para los diferentes valores de Réplica con un nivel de confianza del 99%.

Comparación de Líneas de Regresión para Pérdida de carga versus Tiempo por Réplica para Q de 0,3 L/s

Variable dependiente: Pérdida de Carga

Variable independiente: Tiempo (min)

Códigos de Nivel: Réplica

Número de casos completos: 141

Número de líneas de regresión: 3

Análisis de Regresión Múltiple

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	0,0900328	0,00834347	10,7908	0,0000
TIEMPO	0,000123674	0,0000156021	7,92673	0,0000
REPLICA=2	-0,0197377	0,0117994	-1,67277	0,0967
REPLICA=3	0,0326339	0,017488	1,86608	0,0642
TIEMPO*REPLIC A=2	0,000197814	0,0000220647	8,9652	0,0000
TIEMPO*REPLIC A=3	0,00110802	0,0000912094	12,1481	0,0000

Coefficients

<i>REPLIC</i> <i>A</i>	<i>Intercept</i> <i>o</i>	<i>Pendiente</i>
1	0,0900328	0,000123674
2	0,0702951	0,000321488
3	0,122667	0,0012317

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1,11037	5	0,222074	214,42	0,0000
Residuo	0,139821	135	0,00103571		
Total (Corr.)	1,25019	140			

R-Cuadrada = 88,816 porciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 88,4018 porciento

Error estándar del est. = 0,0321825

Error medio absoluto = 0,0227218

Estadístico Durbin-Watson = 0,425515 (P=0,0000)

Autocorrelación residual de retardo 1 = 0,737625

ANOVA Adicional para Variables Según el Orden de Introducción

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
TIEMPO	0,201966	1	0,201966	203,37	0,0000
Interceptos	0,660224	2	0,330112	332,40	0,0000
Pendientes	0,214777	2	0,107388	108,13	0,0000
Modelo	1,07697	5			

El StatAdvisor

Esta tabla le permite evaluar la significancia estadística de los términos en el modelo. Debido a que el valor-P para las pendientes es menor que 0,01, existen diferencias estadísticas entre las pendientes para los distintos valores de Réplica con un nivel de confianza del 99%. Dado el valor-P para los interceptos es menor que 0,01, existen diferencias estadísticamente significativas entre los interceptos para los diferentes valores de Réplica con un nivel de confianza del 99%.

Comparación de Líneas de Regresión para Pérdida de carga vs Tiempo para Q de 0,2 L/s.

Variable dependiente: Pérdida de Carga

Variable independiente: Tiempo (min)

Códigos de Nivel: Réplica

Número de casos completos: 58

Número de líneas de regresión: 3

Análisis de Regresión Múltiple

		<i>Error</i>	<i>Estadístic</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	0,0	0,00401167	0,0	1,0000
TIEMPO	0,0	0,000023456 5	0,0	1,0000
REPLICA=2	- 0,00698529	0,00585263	-1,19353	0,2381
REPLICA=3	- 0,00811688	0,00546257	-1,48591	0,1433
TIEMPO*REPLIC A=2	0,00026960 8	0,000036316 3	7,42388	0,0000
TIEMPO*REPLIC A=3	0,00021833 2	0,000030072 8	7,26012	0,0000

Coefficients

<i>REPLIC</i> <i>A</i>	<i>Intercepto</i>	<i>Pendiente</i>
1	0,0	0,0
2	- 0,0069852 9	0,00026960 8
3	- 0,0081168 8	0,00021833 2

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,027279	5	0,00545579	77,32	0,0000
Residuo	0,00366932	52	0,0000705638		
Total (Corr.)	0,0309483	57			

R-Cuadrada = 88,1437 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 87,0037 por ciento

Error estándar del est. = 0,00840023

Error medio absoluto = 0,00527259

Estadístico Durbin-Watson = 0,692072 (P=0,0000)

Autocorrelación residual de retardo 1 = 0,627512

ANOVA Adicional para Variables Según el Orden de Introducción

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
TIEMPO	0,0153178	1	0,0153178	146,11	0,0000
Interceptos	0,000687384	1	0,000687384	6,56	0,0149
Pendientes	0,000165228	1	0,000165228	1,58	0,2176
Modelo	0,0161704	3			

El StatAdvisor

Esta tabla le permite evaluar la significancia estadística de los términos en el modelo. Dado que el valor-P para las pendientes es mayor que 0,1, no existen diferencias estadísticas entre las pendientes para los distintos valores de REPLICA con un nivel de confianza del 90% o mayor. Puede forzar que se consideren pendientes iguales marcando la casilla correspondiente en el cuadro de diálogo de Opciones de Análisis. Dado el valor-P para los interceptos es menor que 0,05, existen diferencias estadísticamente significativas entre los interceptos para los diferentes valores de REPLICA con un nivel de confianza del 95%.

ANEXO 2

ANOVA Simple, Turbiedad por Réplica

Variable dependiente: Turbiedad para caudal de 0,4 L/s

Factor: Réplica

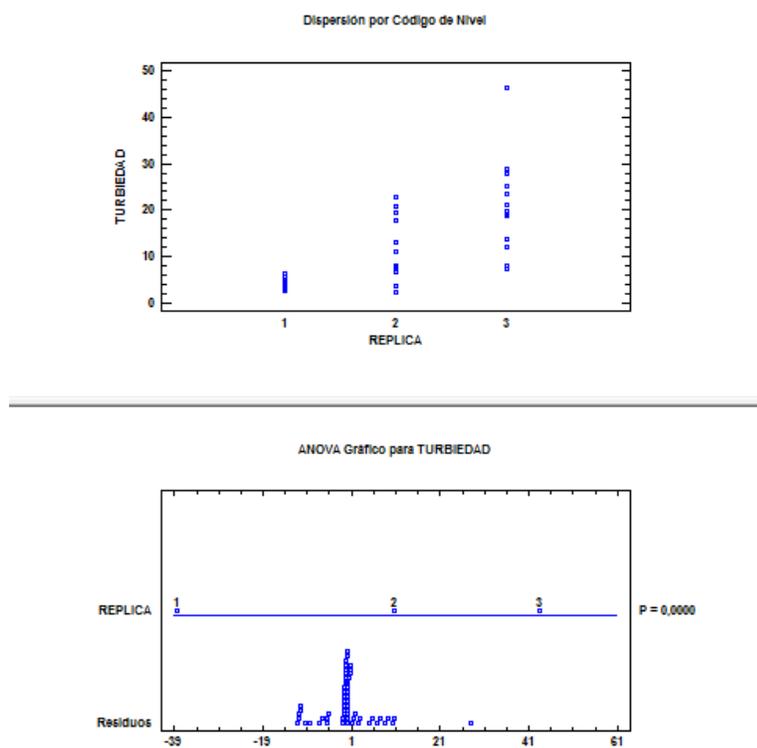
Número de observaciones: 57

Número de niveles: 3

El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Turbiedad. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Turbiedad para los 3 diferentes niveles de Réplica. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Tabla ANOVA para Turbiedad por réplica



<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2328,09	2	1164,05	28,38	0,0000
Intra grupos	2215,04	54	41,0193		
Total (Corr.)	4543,14	56			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Turbiedad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 28,378, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Turbiedad entre un nivel de Réplica y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

ANOVA Simple, Turbiedad por Réplica

Variable dependiente: Turbiedad para el caudal de 0,3 L/s

Factor: Réplica

Número de observaciones: 80

Número de niveles: 3

El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Turbiedad. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Turbiedad para los 3 diferentes niveles de Réplica. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

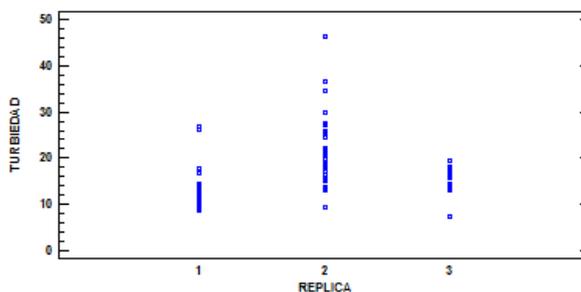
Tabla ANOVA para Turbiedad por Réplica

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1049,91	2	524,957	15,46	0,0000
Intra grupos	2614,32	77	33,9522		
Total (Corr.)	3664,23	79			

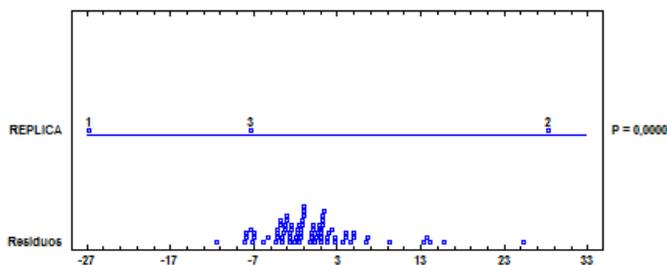
El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Turbiedad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 15,4617, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Turbiedad entre un nivel de Réplica y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Dispersión por Código de Nivel



ANOVA Gráfico para TURBIEDAD



ANOVA Simple, Turbiedad por réplica para el caudal de 0,2 L/s

Variable dependiente: Caudal de 0,2 L/s

Factor: Réplica

Número de observaciones: 57

Número de niveles: 3

El StatAdvisor

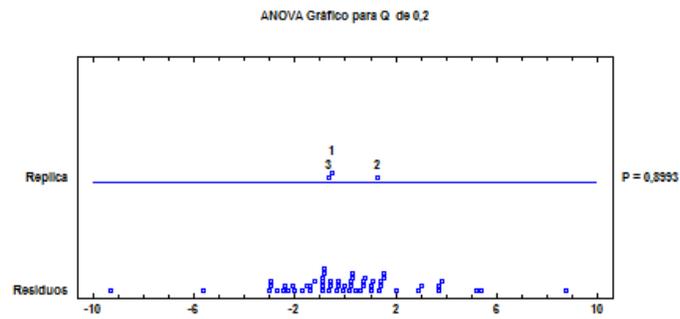
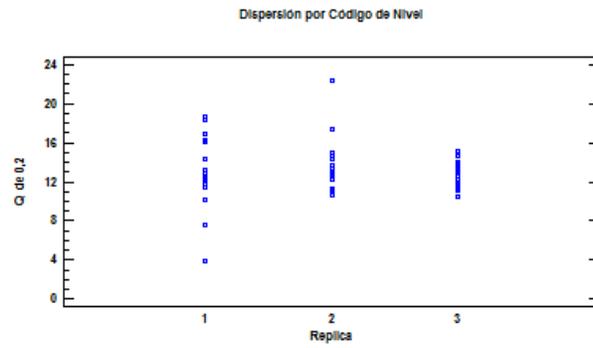
Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Turbiedad Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Turbiedad para los 3 diferentes niveles de Réplica. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Tabla ANOVA para Turbiedad por Replica

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,5957	2	0,79785	0,11	0,8993
Intra grupos	405,193	54	7,50358		
Total (Corr.)	406,789	56			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Turbiedad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,106329, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Q de 0,2 entre un nivel de Réplica y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.



ANOVA Simple, Turbiedad por Réplica

Variable dependiente: Turbiedad para el caudal de 0,1 L/s

Factor: Réplica

Número de observaciones: 57

Número de niveles: 3

El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Turbiedad. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Turbiedad para los 3 diferentes niveles de Réplica. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Tabla ANOVA para Turbiedad por Réplica

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	170,731	2	85,3654	20,77	0,0000
Intra grupos	221,992	54	4,11097		
Total (Corr.)	392,723	56			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Turbiedad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 20,7653, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Turbiedad entre un nivel de Réplica y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

