

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LOS FILTROS DE DOBLE VELA
CERAMICA IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, IMPLEMENTADOS POR
LA GOBERNACION DE NARIÑO, EN EL MARCO DEL PLAN
DEPARTAMENTAL DE AGUA PAP-PDA, EN LA VEREDA EL MOTILON,
CORREGIMIENTO EL ENCANO, MUNICIPIO DE PASTO.**



Universidad
del Cauca

NUBIA YOLADIZ DIAZ DELGADO.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA.
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYAN
2017**

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LOS FILTROS DE DOBLE VELA
CERAMICA IMPREGNADOS CON PLATA COLOIDAL, IMPLEMENTADOS POR
LA GOBERNACION DE NARIÑO, EN EL MARCO DEL PLAN
DEPARTAMENTAL DE AGUA PAP-PDA, EN LA VEREDA EL MOTILON,
CORREGIMIENTO EL ENCANO, MUNICIPIO DE PASTO.**



Universidad
del Cauca

NUBIA YOLADIZ DIAZ DELGADO.

Trabajo de grado en la modalidad de Práctica profesional Empresarial para optar
al Título de Ingeniera Ambiental

Ing. María Elena Castro Caicedo.
Directora

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA.
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYAN
2017**

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma de jurado

Popayán, 30 agosto de 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Nelly y Giraldo, por ser mi apoyo incondicional durante toda mi formación, a mi hermana Dalila por acompañarme y levantarme los ánimos cuando lo necesitaba, a Julián por brindarme su ayuda, a mis familiares y amigos que de alguna manera contribuyeron en este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Cauca porque me permitió hacer de este sueño una realidad, a la Gobernación de Nariño especialmente al Plan Departamental de Agua PDA-PAP por darme la oportunidad de realizar este trabajo, a mis maestros por todas sus enseñanzas.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3. ANTECEDENTES.....	12
3.2 CONDICIONES ESPECIALES PARA LA EVALUACION DE LA TECNOLOGIA	12
4. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
5. METODOLOGIA.....	15
6. ZONA DE ESTUDIO.....	17
6.1 LOCALIZACION	17
7. MARCO TEORICO	18
7.1 GENERALIDADES.....	18
7.2 FILTROS DE VELAS CERAMICAS.....	20
7.2.1 Accesorios de los filtros.....	21
7.2.2 Factores que contribuyen a la eficiencia del filtro	23
7.2.3 Operación y Mantenimiento	26
8. RESULTADOS	27
8.1 ASPECTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	27
8.2 ESTADO DE LOS DISPOSITIVOS DE FILTRACION CERAMICA	35
8.2.1 Estrategia para garantizar el funcionamiento de los dispositivos...38	38
8.3 EFICIENCIA DE LOS DISPOSITIVOS DE DOBLE VELA.....	38
8.3.1 Relación entre el uso de pretratamiento y los resultados de parámetros de calidad de agua.....	50
9. CONCLUSIONES	52
10. RECOMENDACIONES.....	54
11. BIBLIOGRAFIA	56
ANEXOS.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Métodos de análisis para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	13
Tabla 2: Cantidad de agua requerida para hidratación	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la vereda El Motilón	14
Figura 2: Esquema del filtro de vela.....	17
Figura 3: Fotografía de flotadores	18
Figura 4: Fotografía de los grifos	19
Figura 5: Esquema de velas cerámicas	20
Figura 6: Uso del filtro	25
Figura 7: Utilización de pretratamiento.....	26
Figura 8: Ubicación adecuada del filtro	27
Figura 9: Asistencia a talleres	28
Figura 10: Consumo diario de agua tratada	31
Figura 11: Problemas presentados en los filtros	33
Figura 12: Resultados de Coliformes Totales primer muestreo	36
Figura 13: Resultados de Coliformes Totales segundo muestreo	37
Figura 14: Resultados de Escherihia Coli primer muestreo	39
Figura 15: Resultados de Escherichia Coli segundo muestreo	40
Figura 16: Resultados de Color Aparente primer muestreo	41
Figura 17: Resultados de Color Aparente segundo muestreo	42
Figura 18: Resultados de pH primer muestreo	43
Figura 19: Resultados de pH segundo muestreo	44
Figura 20: Resultados de turbiedad primer muestreo	45
Figura 21: Resultados de turbiedad segundo muestreo	46

1. INTRODUCCION

Según la Organización Mundial de la Salud OMS, en todo el mundo aproximadamente 1.800 millones de personas consumen agua contaminada por heces¹, exponiéndose a enfermedades como la diarrea, la disentería, el cólera, la fiebre tifoidea, poliomielitis entre otras. Específicamente la diarrea provoca 502.000 muertes al año lo que evidencia las graves consecuencias de esta práctica². La calidad del agua para consumo se ve afectada por varios factores, entre los cuales cabe mencionar deficiencias en la operación, mantenimiento y continuidad de los servicios, el incorrecto funcionamiento de las plantas de tratamiento y la precariedad de las redes de distribución en instalaciones domiciliarias³, muchas veces debido a las desigualdades socioculturales y económicas tanto en las zonas rurales como en las urbanas, donde la informalidad, ilegalidad o pobreza de las comunidades influyen en la escasez de agua potable⁴. A pesar de todos los esfuerzos políticos y de los avances tecnológicos de los últimos años, en Colombia existen grupos vulnerables principalmente ubicados en las zonas rurales donde se ve afectada la calidad de vida de la población debido a las deficiencias de los servicios básicos de saneamiento ambiental. Como una opción viable para mejorar la calidad del agua de estas poblaciones, se proponen las tecnologías de tratamiento del agua a nivel de la vivienda⁵, como son los filtros cerámicos impregnados con plata coloidal, debido a su bajo costo (aproximadamente 50.000 COP), fácil implementación, operación y mantenimiento ajustándose a las necesidades de potabilización de agua y a las posibilidades

¹ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Agua. Nota Descriptiva N° 391. Junio de 2015. p.2

² *Ibíd.*, p. 1

³ PEREZ, A.; TORRES, P. & CRUZ, C. Planes de seguridad. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia. *En*: Ingeniería e Investigación. Vol. 29, N°3 (2009), p.1

⁴ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, *Op. Cit.*, p.2

⁵ PÉREZ, A., DÍAZ, J., & GONZÁLEZ, G. Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano. *En*: Ingenium. Vol. 8, N° 22 (2014). p.1. ISSN: 0124-7492.

económicas de las comunidades más necesitadas⁶ como es el caso de los habitantes de la vereda El Motilón, la cual está ubicada en el corregimiento de El Encano del Municipio de Pasto, a 27 km de la ciudad capital San Juan de Pasto, en el departamento de Nariño a una altura de 2.760 m.s.n.m. Este documento contiene los resultados de la evaluación de la eficiencia de los filtros de doble vela cerámica impregnados con plata coloidal, implementados en dicha comunidad por el Plan Departamental de Agua de Nariño. PAP-PDA.

⁶ LERMA ARIAS, Daniel Alberto. Filtros cerámicos, una alternativa segura. Pereira, 2012. Tesis de grado de maestría. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales. Maestría en Ecotecnología. p.1

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La vereda el Motilón y en general todo el sector de la laguna de La Cocha se ha visto afectado por la actividad antropogénica. La disminución de la cobertura vegetal, la transformación del paisaje y la alteración del caudal de los afluentes que pertenecen a esta zona, son algunas de las consecuencias que se evidencian en este sector, las cuales junto con el deterioro del suelo afectan directamente los ecosistemas y el sostenimiento de los asentamientos humanos. Entre las principales acciones antrópicas que generan los cambios bruscos en el suelo están la tala del bosque para la extracción de carbón y la deforestación para pastizales, dando como resultado deslizamientos de tierra los cuales impactan en las diferentes estructuras del sistema de abastecimiento de agua de vereda el Motilón, tales como la bocatoma y la líneas de conducción afectando la continuidad del suministro de agua y las características fisicoquímicas y microbiológicas de este recurso. Adicionalmente a esta situación, la vereda El Motilón cuenta con sistemas de abastecimiento de tipo artesanal construidos por la misma comunidad sin ningún tipo de estudios técnicos o diseños hidráulicos⁷, que garanticen la calidad del agua para consumo.

Para el mejoramiento de la calidad del agua para el consumo humano, se implementó en la comunidad, la tecnología no convencional de filtros de doble vela cerámica impregnados con plata coloidal, y con el objetivo de conocer la eficiencia de los dispositivos, se realizó la evaluación mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua cruda y tratada por los filtros y se relacionó dichos resultados con las prácticas de uso, mantenimiento y operación del filtro.

⁷ TORRES, Luz Nathalia y NARVAEZ, Nelson. Alternativas para la gestión integral del recurso hídrico que contribuyan a mejorar la calidad del agua para el consumo humano en la vereda El Motilón Zona Centro. San Juan de Pasto. 2015. p. 132

3. ANTECEDENTES.

3.2 CONDICIONES ESPECIALES PARA LA EVALUACION DE LA TECNOLOGIA

Con el fin de reconocer las distintas problemáticas socio-ambientales y dar alternativas de solución a dichos problemas la Gobernación de Nariño (PPA-PDA) junto con el Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana establecieron el convenio N° 1588- 13, por el cual se desarrolló el proyecto de investigación **“Alternativas para la gestión integral del recurso hídrico que contribuyan a mejorar la calidad del agua para consumo humano en la vereda motilón zona centro”**, donde después de realizar un diagnóstico de los componentes ambientales, sociales y tecnológicos y su incidencia en la calidad del agua para consumo humano, se formuló como alternativa de solución el uso de filtros de vela cerámicos en la comunidad de El Motilón. A continuación se describen algunos aspectos que fueron determinantes para llevar a cabo la evaluación de la tecnología:

- La vereda del Motilón posee una población de 222 habitantes, distribuidos en 61 viviendas, donde en cada una de ellas fue implementado un dispositivo de filtración.
- Para realizar la evaluación de los filtros se contaba con los resultados del primer muestreo de agua, realizado en la bocatoma y en 29 filtros evaluados, aproximadamente a los tres meses de carrera de filtración del dispositivo, quedando pendiente el tratamiento de los resultados y un segundo muestreo de calidad de agua.
- El segundo muestreo se realizó a los ocho meses después de instalado el filtro, con la intención de hacerlo en la bocatoma y en 29 viviendas, donde se llevó a cabo el primer muestreo, pero debido a que 8 filtros de estos, presentaban inconvenientes tales como ruptura en las velas, daños en los accesorios o el

dueño de casa no estaba disponible en el momento de la visita, solo se pudo darle continuidad al muestreo de calidad de agua a 21 filtros y a la bocatoma.

- El tamaño de la muestra y la cantidad de muestreo obedecieron a los recursos destinados para esta actividad, en el proyecto de investigación **“alternativas para la gestión integral del recurso hídrico que contribuyan a mejorar la calidad del agua para consumo humano en la vereda motilón zona centro”**, sin embargo la selección de los filtros muestreados fue aleatoria

4. OBJETIVOS.

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de los dispositivos de filtración de vela cerámica, implementados en la vereda El Motilón, corregimiento de El Encano, municipio de Pasto.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer el estado actual de los dispositivos de filtración cerámica, implementados en la Vereda El Motilón.
- Evaluar la eficiencia de los dispositivos de doble vela cerámica impregnados en plata coloidal, con base en los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y tratada y socializar la información en la comunidad.

5. METODOLOGIA.

Para dar cumplimiento a los objetivos presentados en la propuesta de pasantía, “Evaluación de la eficiencia de los filtros de doble vela cerámica impregnados con plata coloidal, implementados por la Gobernación de Nariño, a través del Plan Departamental de Agua PAP-PDA, en la vereda El Motilón, corregimiento El Encano, Municipio de Pasto”, se llevaron a cabo las siguientes actividades: visitas técnicas, muestreo de calidad de agua, aplicación de listas de chequeo, actualización del sistema de Monitoreo y análisis de los resultados e investigación bibliográfica con el fin de identificar los principales inconvenientes presentados en la tecnología y su relación con la operación y mantenimiento de los dispositivos. Para lograr el objetivo principal planteado se desarrolló la siguiente metodología, ligada a cada uno de los objetivos específicos con una serie de actividades. A continuación se muestra por objetivo, las actividades realizadas para alcanzar el propósito general del trabajo.

Objetivo 1: Establecer el estado de los dispositivos de filtración cerámica, implementados en la Vereda El Motilón, se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión bibliográfica donde se mostraban distintos resultados sobre el funcionamiento de los filtros de vela, así como también las dificultades presentadas a lo largo de la vida útil de los dispositivos
- Se realizaron cuatro visitas técnicas con el fin de verificar el estado de los filtros, durante un lapso de tiempo de aproximadamente 6 meses, para esto procedió a visitar 21 casas de la vereda El Motilón donde el filtro fue implementado, seguidamente se observó las condiciones en las cuales se encontraba el dispositivo de filtración y se aplicó una lista de chequeo (ANEXO 1) con el fin de evaluar varios factores, los cuales sirvieron para determinar los principales problemas presentados en los filtros como la colmatación de las velas, velas quebradas, filtración lenta, grifos dañados, además facilitar el análisis de

ciertas prácticas tales como el uso de pretratamiento, la ubicación adecuada, frecuencia de llenado, frecuencia de lavado y usos del agua filtrada.

- Se Cambiaron las velas dañadas, grifos o accesorios a los dispositivos de filtración que así lo requerían con el fin de garantizar el funcionamiento

Objetivo 2: Evaluar la eficiencia de los dispositivos de doble vela cerámica impregnados en plata coloidal, con base en los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y tratada y socializar la información en la comunidad. Para el cumplimiento de este objetivo, se realizaron las siguientes actividades:

- Se actualizó el Sistema para Monitoreo de la adopción social de la tecnología con los resultados del primer muestreo de calidad de agua.
- Se concertó con la comunidad El Motilón la fecha en la cual se iba a realizar el segundo muestro de agua.
- Se realizó el segundo muestreo de calidad de agua en la bocatoma y en 21 filtros implementados, con la ayuda de una persona oriunda de la región como guía, se llevó a cabo este trabajo de campo, con el fin de medir los indicadores previamente establecidos en la fase de Seguimiento y Apropiación de la Tecnología.
- Se enviaron las muestras de agua al laboratorio del Instituto Departamental de Salud de Nariño donde se midieron los parámetros indicados en la Tabla 1.

Tabla 1: Métodos de análisis para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

ANALISIS	PARAMETRO	METODO	UNIDADES
FISICOQUIMICO	Color aparente	Fotométrico	UPC
	pH	Potenciómetro	Unidades de pH
	Turbidez	Turbidímetro	NTU
MICROBIOLOGICO	Coliformes totales	Número más probable	NMP/100ml
	Escherichia coli	Número más probable	NMP/100ml

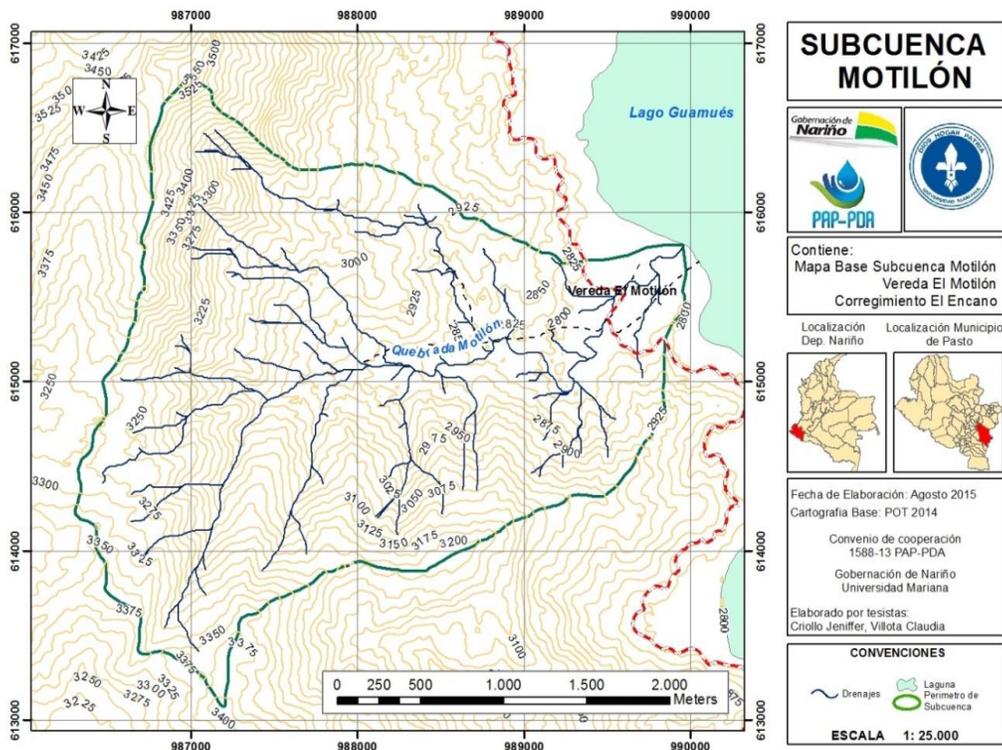
Fuente: Autor

6. ZONA DE ESTUDIO

6.1 LOCALIZACION

La vereda El Motilón está ubicada en el corregimiento de El Encano del Municipio de Pasto, a 27 km de la ciudad capital San Juan de Pasto, en el Departamento de Nariño a una altura de 2 760 m.s.n.m. (Fig. 1)

Figura 1: Ubicación geográfica de la vereda El Motilón



Fuente: TORRES y NARVAEZ. Alternativas para la gestión integral del recurso hídrico que contribuyan a mejorar la calidad del agua para el consumo humano en la vereda El Motilón Zona Centro.

7. MARCO TEORICO

7.1 GENERALIDADES

Un problema para la salud pública es evidentemente el consumo de agua contaminada. Con respecto a este tema se han estudiado distintos métodos que disminuyan la contaminación del agua como por ejemplo los sistemas de filtración cerámica los cuales son una forma común de tratamiento doméstico del agua en muchas partes del mundo, estos presentan la ventaja de fácil fabricación, utilización y economía. Existen varios tipos de filtros cerámicos que pueden ser fabricados industrialmente o manufacturados localmente. En la actualidad se encuentran disponibles en el mercado los filtros producidos industrialmente en las marcas Katadyn, Stephani, Pozzani y Doulton, y localmente los producidos en África y Camboya, entre otros.

Entre los filtros caseros más conocidos están, filtro de cubeta (BF), bioarena (BSF), bioarena modificado (MBSF), poroso impregnado con plata coloidal (SIPP), filtros de membrana (FM), los filtros de vela cerámica (CCF):

- **Filtro de cubeta (BF):** Este sistema consiste en dos baldes de 25 litros cada uno. El primer balde tiene agujeros en la parte inferior y contiene en su interior un filtro conformado por una capa de 2 cm de grava de tamaño de 5-7 mm y una capa de 5 cm de arena fina (0,3 mm) por medio del cual se transporta el agua hacia el segundo balde que sirve como recolector del agua filtrada, esta unidad posee un grifo en la parte inferior con el objetivo de facilitar el acceso al líquido⁸
- **Filtro biológico de arena (BSF):** Tienen una capacidad de almacenamiento de 25 litros de agua, con diferentes capas de materiales. La

⁸ MWABI, J.; ADEYEMO, F.; MAHLANGU, T.; MAMBA, B.; BROUCKAERT, B. ; SWARTZ, C.; OFFRINGA, G.; MPENYANA-MONYATSI, L.; & MOMBA, M. Household water treatment systems: A solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of Southern Africa. *En: Physics and chemistry of the Earth*. 2011.p 1123

primera capa de la parte inferior está constituida por 5 cm de grava con un tamaño de partícula de 7,5 mm, seguido por una segunda capa de 5 cm de arena (tamaño de partícula 0,95 mm). Una tercera capa está compuesta de zeolita con un espesor de 2,5 cm y la última contiene arena muy fina de 0,3 mm (espesor 2,5 cm). Se ha determinado que la zeolita tiene una alta eficiencia en eliminación de químicos y bacterias indicadoras en agua residuales.⁹

- **Filtro de bioarena modificado (MBSF):** se diferencia del filtro biológico de arena porque este contiene una capa de arena con óxido de hierro, el cual contribuye con una adhesión bacteriana posiblemente debido a mecanismos como fuerzas de hidratación, interacciones hidrofobias, puentes macromoleculares, rugosidad de la superficie y fuerzas de Van der Waals¹⁰.
- **Filtro de depósito poroso impregnado con plata (SIPP):** El filtro SIPP está hecho de arcilla color marrón, impregnado con nitrato de plata. Tiene la capacidad de filtrar 3,5 litros por hora, el nitrato de plata funciona como agente desinfectante evitando la proliferación de microbios en el interior del filtro.¹¹
- **Filtros de membrana (FM) (lifestraw family):** Es un purificador microbiológico instantáneo, con tecnología de membrana de ultrafiltración (0,2" micras), tiene una vida útil de 18.000 a 20.000 litros de agua, con una tasa de filtración de 8,8 litros por hora, no necesita energía eléctrica para funcionar¹².

⁹ IBARRA, Nubia. Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural Colombiano. 2016. Tesis de grado. Universidad Abierta y a Distancia. p. 29

¹⁰ AHAMMED, Mansoor y DAVRA, Komal. Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. En: Desalination 276 (2011) 287–293.

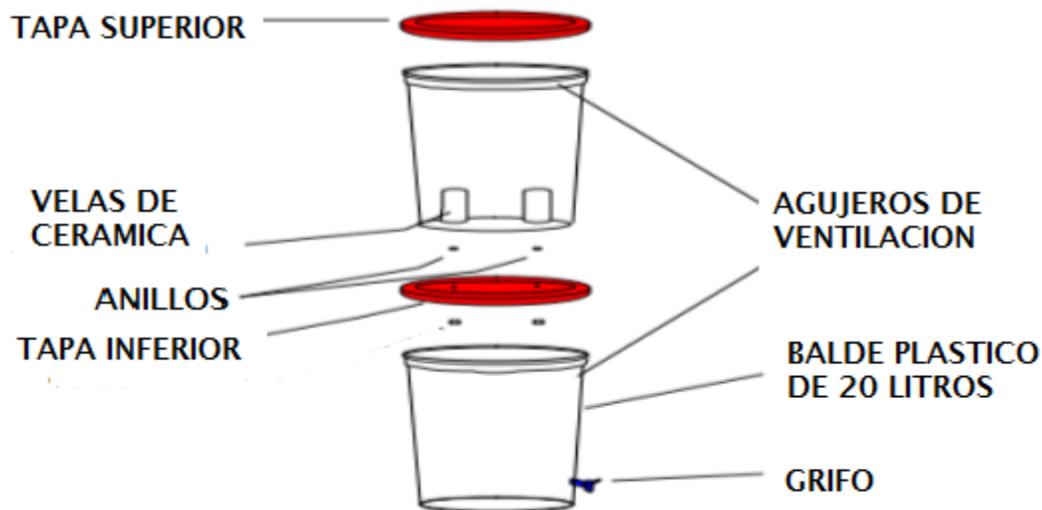
¹¹ IBARRA. Op. cit. p. 32

¹² Lifestraw: Hilo de la vida. [En línea]. Filtro Familiar. [consultado 01 de Agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://lifestraw.com/products/lifestraw-family/>

7.2 FILTROS DE VELAS CERÁMICAS (Ccf)

Este filtro consiste en dos baldes de 20 litros con tapa, se pone un balde sobre la tapa del segundo, se hacen dos perforaciones en el fondo del primero y la tapa del segundo, de tal manera que coincidan perfectamente; se instalan las velas cerámicas de 5, 7 o 9 pulgadas, después se procede a perforar un costado del primer balde para la instalación de la llave¹³. Es importante mencionar que pueden existir distintas modificaciones de este filtro, por ejemplo, el número de velas puede variar entre 1 o 4, las velas pueden contener o no plata coloidal, se puede adicionar un prefiltro de arena que contribuye con la remoción de turbiedad y solidos suspendidos, etc. Los filtros implementados por la Gobernación de Nariño en la vereda El Motilón poseen dos velas, las cuales están impregnadas con plata coloidal. (Fig. 2).

Figura 2: Esquema del filtro de vela.



Fuente: GUEVARA y ROJAS. Filtros de mesa. 2000

¹³ AVILA, Yeison y PLAZA, Juan Sebastián de,. Comparación y diseño de acueducto con el método tradicional y modelos digitales en el Resguardo Nazaret de la comunidad tikuna Amazonas. En: tekhné. Volumen 6 numero 2 p.42

7.2.1 Accesorios de los filtros

- **Flotadores:** Al igual que un tanque de agua, los flotadores impiden las fugas de agua almacenada. En el caso de los filtros, poseen doble función, ya que también doblan la capacidad de almacenamiento, dejando lleno tanto el balde superior y el balde inferior del filtro, como se ve en la figura 3.

Figura 3: Fotografía de flotadores



Fuente: Cerámica Stefani.

Los Grifos: Proporcionan un flujo del agua, son fabricados siguiendo un patrón universal y son compatibles con la mayoría de los modelos de filtros, soportes y reservorios del mercado. (Fig. 4)

Figura 4: Fotografía de los grifos.



Fuente: Cerámica Stefani. Grifos clic

Velas filtrantes: Las velas utilizadas en este proyecto son de la marca Stefani las cuales poseen revestimiento de plata coloidal aplicado en la parte interna de la vela, junto con el carbón activado , trabajando para filtrar y reducir olores, sabores y cloro, además de reducir la presencia de bacterias en el agua. La capa de plata coloidal aplicada internamente penetra por los poros de la vela, preservando su propiedad esterilizante. Todo esto se lleva a cabo en las siguientes etapas, el agua entra en contacto con el material cerámico microporoso, donde partículas del tamaño de 0,5-1,0 micra son retenidas, luego la plata coloidal esteriliza el agua y por último el carbón activado reduce los olores, sabores y cantidad cloro presentes en el agua garantizando una alta eficiencia. (Fig. 5)

Figura 5: Esquema de las velas cerámicas



Fuente: Cerámica Stefani. Velas Cerámica Esterilizante

7.2.2 Factores que contribuyen a la eficiencia del filtro. Existen diferentes factores que afectan la eficiencia del filtro, como por ejemplo¹⁴ las propiedades de la vela cerámica tales como la porosidad y espesor y área de superficial de filtración; aditivos como carbón activado y la plata; u otros factores externos como la calidad del agua a filtrar y la altura del agua por encima de la vela.

- **Porosidad:** este factor afecta directamente el rendimiento del filtro ya que la porosidad permite que el agua fluya a través de este. Los filtros con poros más grandes no son tan eficaces en la eliminación de la turbidez o la remoción

¹⁴ FRANZ Amber. A Performance study of Ceramic Candle filters in Kenia Including Test For Coliphage Removal. Master of engineering in civil and environmental engineering. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. Department of Civil and Environmental Engineering. 2005. p. 30

biológica de una muestra de agua, sin embargo el caudal filtrado es mayor debido a que hay más espacio para que el agua fluya, contrario a los filtros con poros pequeños, donde hay mayor disminución de la turbidez y de contaminación microbiológica, reduciendo de igual manera la tasa de flujo por el filtro. El tamaño de los poros también es importante para determinar el nivel de purificación alcanzado en el agua, la porosidad de los filtros cerámicos de agua oscila entre 0,1 a 10 micras¹⁵.

- **Espesor y área superficial de filtración:** el espesor del filtro afecta el rendimiento ya que para velas finas el caudal de filtración es mayor porque el agua fluye más rápido a través de la pared, sin embargo estos no son tan eficaces al momento de remover turbiedad y carga microbiológica como lo son los filtros gruesos, los cuales tienen mayor oportunidad de atrapar partículas. El área superficial del filtro se relaciona proporcionalmente con la velocidad de filtración influyendo de manera directa con el rendimiento del dispositivo. Para aumentar la velocidad del flujo es recomendable incorporar más de una vela cerámica en el dispositivo¹⁶.
- **Carbón activado:** GAC – (Granular Activated Carbón), un producto de origen vegetal obtenido a partir de la cáscara de coco y utilizado mundialmente en sistemas de purificación de agua, pues reduce olores, sabores y el contenido de cloro presentes en ella. El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente, a través de un proceso de carbonización, para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. El carbón activado es un adsorbente muy versátil ya que el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de tecnología actual y futura. Los carbones activados comerciales son preparados a partir de materiales precursores con un alto contenido en carbono, especialmente, materiales orgánicos como,

¹⁵ *Ibíd.*, p. 30

¹⁶ *Ibíd.*, p. 30

madera, huesos, cascara de semillas de frutos, como también, carbón mineral, breas, turba y coque.¹⁷

- **Plata coloidal:** Muchos filtros de agua poseen plata suelta, plata coloidal, o nitrato de plata en el interior o exterior. La plata tiene propiedades bactericidas siendo utilizada a lo largo de la historia para mantener la limpieza del agua, actúa por sobre la membrana de la célula, haciendo que se desintegre. Además, las bacterias no desarrollan resistencia a la plata, como sucede con los antibióticos, debido a esto la plata se ha convertido en un aditivo cada vez más popular en los filtros de agua.¹⁸
- **Calidad del agua a filtrar:** La calidad del agua es otro factor que afecta el caudal de filtración a través de la vela cerámica, cuando la turbiedad y el contenido orgánico en el agua aumenta, el volumen de agua filtrado en un determinado tiempo disminuye. El agua contaminada tiende a obstruir el filtro, porque se hace necesario realizar frecuentemente la limpieza, para aguas turbias se recomienda utilizar pre-filtración como coagulación o sedimentación con el fin de eliminar partículas grandes y aumentar la velocidad de flujo¹⁹.
- **Altura del agua en el filtro:** También se conoce como cabeza hidráulica o presión del fluido, afecta el rendimiento del filtro ya que entre mayor es la altura mayor es la presión sobre la vela cerámica y por lo tanto mayor es el flujo a través de los poros en un determinado tiempo. El nivel del agua disminuye y con él la velocidad de filtrado, es por esto que se recomienda mantener un nivel alto en el agua del balde superior.²⁰

¹⁷ LUNA, D.; GONZALES, A.; GORDON, M. & MARTIN, N. Obtención de carbón activado a partir de la cascara de coco. *En*: Contactos 64.2007. p.39.

¹⁸ FRANZ, Op. cit. p. 31.

¹⁹ FRANZ, Op. cit. p. 31.

²⁰ FRANZ, Op. cit. p. 30.

7.2.3. Operación Y Mantenimiento. Pérez Vidal *et al.*²¹ realizó el seguimiento del desempeño para dos sistemas de filtración de velas (filtro con una vela, filtro de dos velas) con variables como tasa de filtración, turbiedad, E coli, pH, SDT, conductividad y color aparente; de igual manera Amber Franz²² toma como indicadores para determinar la eficiencia de distintas marcas de velas, la remoción de la turbiedad, tasa de flujo, remoción de coliformes y remoción de virus. Al igual que Mwabi *et al.*²³, en su investigación para cuatro tipos de dispositivos de filtración incluido los filtros de vela, analizó el caudal filtrado, la remoción del magnesio, calcio, hierro, fosfatos, nitratos, flúor, arsénico, clorofila además de la remoción de turbidez, y de bacterias como E.coli, V.cholerae, S. typhimurium y S. dystenteriae. Los parámetros de calidad de agua analizados en este trabajo son comunes con distintos estudios en diferentes lugares. Adicionalmente la fábrica Stefani²⁴ (marca de las velas utilizadas en la investigación), en su página web presenta posibles problemas que puedan presentarse en el uso de los filtros y distintas recomendaciones para disminuir dichos inconvenientes.

²¹ PÉREZ, A., DÍAZ, J., & GONZÁLEZ, G. Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano. En: Ingenium. Vol. 8, Nº 22 (2014). p.15. ISSN: 0124-7492.

²² FRANZ, Op. cit. p. 2.

²³ MWABI, J.; ADEYEMO, F.; MAHLANGU, T.; MAMBA, B.; BROUCKAERT, B. ; SWARTZ, C.; OFFRINGA, G.; MPENYANA-MONYATSI, L.; & MOMBA, M. Household water teartment systems: A solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of Southerm Africa. En: Physics and chemistry of the Earth. 2011.p 1120.

²⁴ STEFANI CHILE. [En línea]. Preguntas frecuentes. [consultado 14 de agosto de 2017]. Disponible en internet: <https://www.stefanichile.com/preguntas-frecuentes>.

8. RESULTADOS

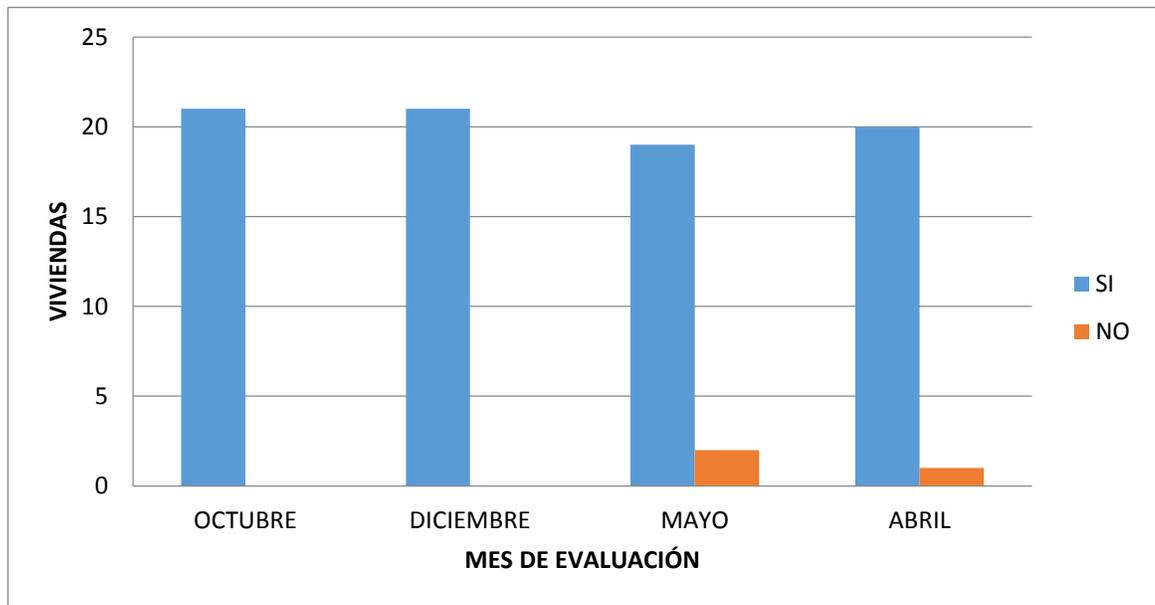
8.1 ASPECTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En el trabajo desarrollado en El Motilón se utilizó indicadores de seguimiento cuantitativos y de observación cualitativa que permiten identificar cambios en el tiempo y realizar comparaciones de manera objetiva, conociendo así el avance o problemáticas en la adopción social. A continuación se describe brevemente los resultados del trabajo encontrados en las cuatro listas de chequeo aplicadas en los meses de octubre, diciembre, abril y mayo.

- **Uso del filtro:** El agua se convierte en un vehículo de transmisión de enfermedades como: cólera, tifoidea, paratifoidea, hepatitis, disentería amebiana y viral, entre otras²⁵ es por esta razón que se debe tratar toda el agua necesaria para las actividades domésticas, el uso adecuado de filtro permite remover las partículas en suspensión y los microorganismos perjudiciales que estén contenidos en esta, en la figura 6 se encuentran los resultados obtenidos en las cuatro listas de chequeo, sobre el uso del filtro en las distintas viviendas.

²⁵ ROJAS, Ricardo y GUEVARA, Sixto. Filtros de mesa. Lima. 2000. p.1

Figura 6: Uso del filtro.

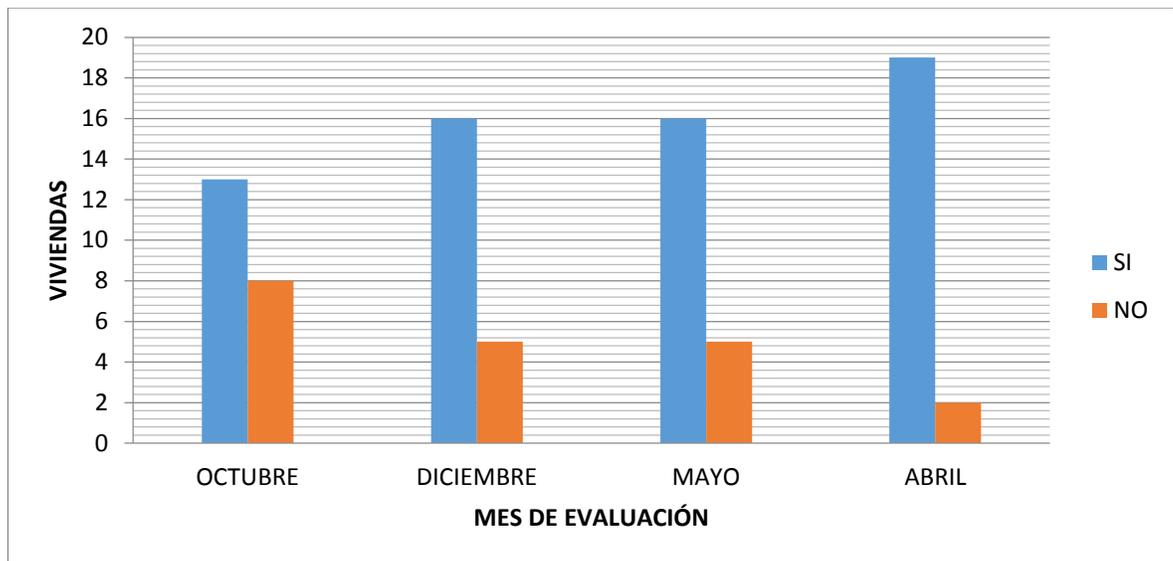


Fuente: Autor

Para los meses de octubre y diciembre se observa que en todas las viviendas encuestadas se usa el filtro, la razón de estos resultados puede ser que para este tiempo la carrera de filtración del dispositivo era corta, un mes y tres meses respectivamente, por lo que evidentemente no existían inconvenientes en las velas, ni en los accesorios de los filtros, siendo aún eficientes al momento de filtrar el agua. Para los meses de abril y mayo se observa que un porcentaje pequeño de los filtros evaluados no estaba siendo utilizado, esto se debe a que algunos presentaron distintos problemas, situación esperada debido a que el tiempo de uso de los mismos se había prolongado, llegando casi al final de la vida útil de las velas. Las posibles consecuencias negativas se pueden manifestar en la salud ya que generalmente, las aguas naturales contienen numerosos gérmenes, algunos de los cuales pueden ser patógenos, por lo tanto es necesario contar con algún tipo de tratamiento para potabilizar el agua.

- Utilización de pretratamiento:** Unas de las recomendaciones para el buen funcionamiento del filtro de vela de ceramica es la utilización de un dispositivo de pretratamiento, el cual consiste en un recipiente donde se deja el agua cruda por un par de horas con el objetivo de dar inicio al proceso de sedimentación, donde se reduce la turbiedad del agua y disminuye los materiales en suspension como la arena, arcilla y otros como virus y bacterias, disminuyendo asi la carga microbiana. Los resultados encontrados en las distintas listas de chequeo con respecto a la uso de pretratamiento en las diferentes viviendas se presentan en la Figura 7.

Figura 7: Utilización de pretratamiento



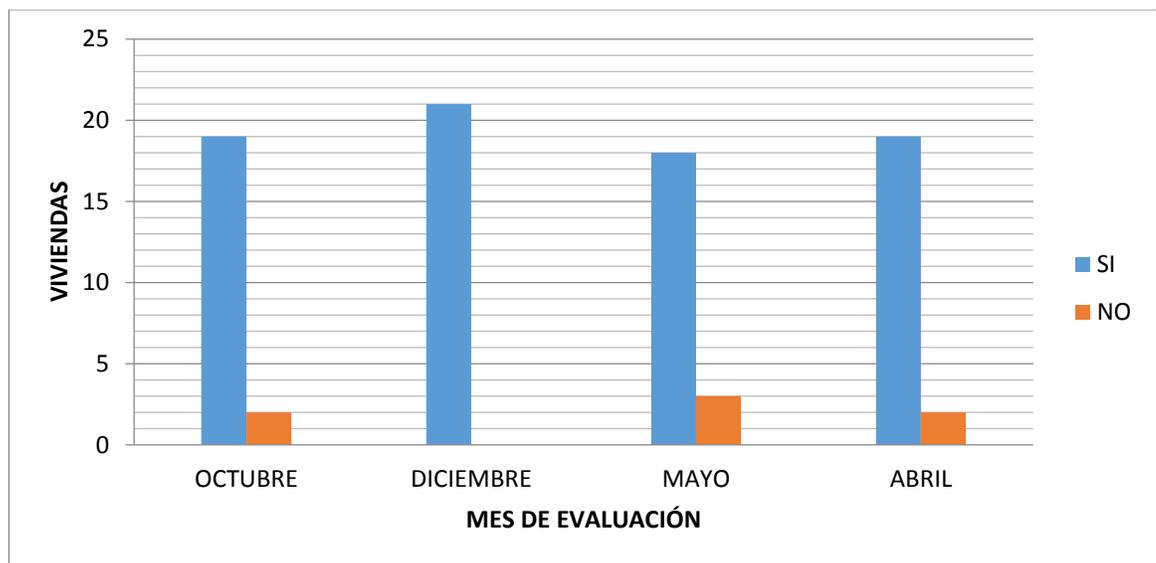
Fuente: Autor

Se observa que existe la tendencia a usar pretratamiento, es decir que se creó un cambio en las practicas de la comunidad de la vereda El Motilon con respecto a este indicador, ya que en la primera lista de chequeo realizada en el mes de octubre, donde la adopción de la tecnología por parte de la población era temprana, se observa el mayor número de personas que no llevan a cabo esta práctica, exactamente el 38% de los filtros evaluados; para los resultados posteriores, esta cifra fue disminuyendo notablemente pasando por el 23% en diciembre y abril; y llegando a un valor minimo de 9,5% en los resultados del mes

de mayo, cabe destacar que este factor es muy importante en la conservación del filtro, ya que al reducir la turbiedad, los sólidos suspendidos y la carga microbiana del agua, evita la colmatación temprana de las velas, aumentando su vida útil.

- **Ubicación adecuada:** La ubicación del filtro es un factor muy importante en la calidad del agua tratada, debido a que se puede contaminar muy fácilmente si el espacio es el inadecuado, esto se debe a que en el aire, agua o suelo existen microorganismos que contribuyen a la contaminación, por esta razón el filtro debe colocarse en el interior de la casa, preferiblemente en la cocina o comedor y sobre una mesa o una banca. El grifo debe quedar libre para facilitar el retiro del agua²⁶. En la Figura 8 se encuentran los resultados de la ubicación adecuada de los filtros en las diferentes viviendas de la comunidad El motilón.

Figura 8: Ubicación adecuada del filtro



Fuente: Autor

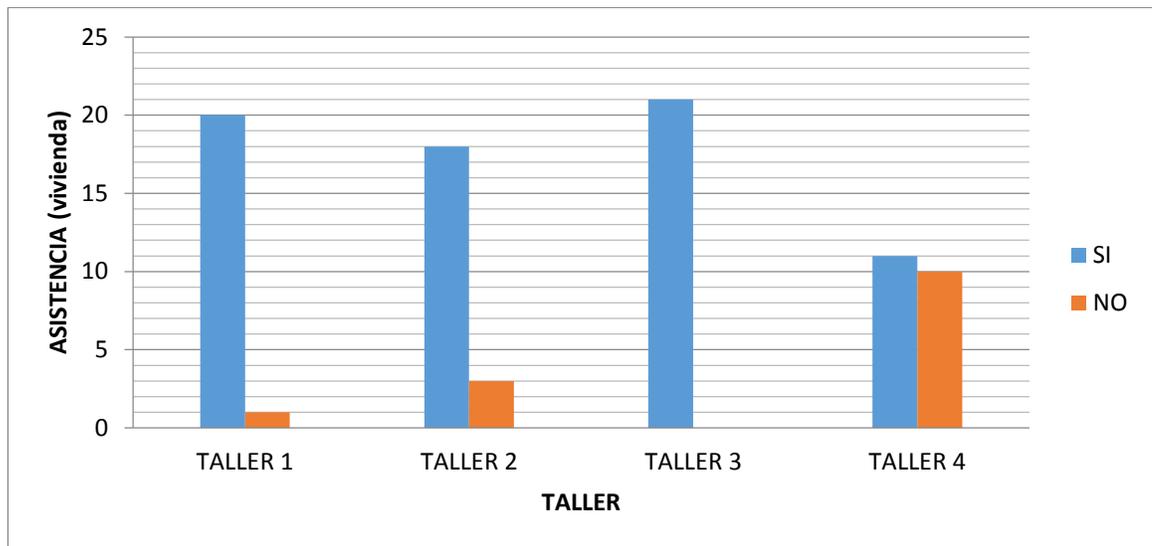
Aunque en los resultados de los meses de octubre, abril y mayo existe un pequeño porcentaje de mala ubicación del filtro, 9,5%, 14,28% y 9,5%

²⁶ UNATSABAR. Filtro de mesa con velas de cerámica y prefiltro de arena. Guía de construcción, operación y mantenimiento. Lima. 2000. p. 8

respectivamente, se observa que en todas las listas de chequeo la mayoría de los filtros están ubicados adecuadamente, siguiendo las recomendaciones que eviten la contaminación externa del agua filtrada, esta situación indica una buena práctica en la operación y mantenimiento de los dispositivos, así como también contribuye en los buenos hábitos de higiene y cuidado de la salud.

- **Asistencia a talleres:** Los talleres son una herramienta muy importante ya que por medio de estos se promueve y mejora la comunicación entre las diferentes personas y el equipo de trabajo, se profundiza en la formación de bases conceptuales sobre la importancia del consumo de agua potable, el armado, operación y mantenimiento del filtro y se planifica para el cambio y asignación de responsabilidades y tareas, de igual manera contribuyen a la apropiación adecuada de la tecnología por parte de la comunidad, en la Figura 9 se presentan los resultados obtenidos en la comunidad de Motilón con respecto a la asistencia a los diferentes talleres dictados por el equipo de la Gobernación de Nariño, sobre:
TALLER 1: Implementación de los filtros,
TALLER 2: Fomento, participación y construcción de capacidades,
TALLER 3: Aplicación de instrumentos de evaluación
TALLER 4: Evaluación del proceso

Figura 9: Asistencia a talleres



Fuente: Autor

Se observa que la asistencia al TALLER 1: Implementación de los filtros, fue del 95,2% de la muestra evaluada, este taller tuvo como objetivo la presentación de equipo de trabajo, la entrega de la tecnología y su respectiva capacitación en el armado y desarmado, así como la creación de un compromiso de colaboración por parte de la Gobernación de Nariño con la comunidad del Motilón, entre los resultados de la asistencia a este evento están la confianza generada entre la población y equipo de trabajo, así como el contacto directo de la comunidad con el filtro y la experiencia en el manejo del mismo.

En el TALLER 2: Fomento, participación y construcción de capacidades, la asistencia fue del 85,7% de los evaluados, el objetivo de este taller, fue formar bases conceptuales sobre la importancia del consumo de agua potable; la operación y mantenimiento del filtro e identificación de los posibles problemas con el dispositivo; los temas tratados se pueden relacionar con los resultados positivos, encontrados en el uso de pretratamiento y con la ubicación adecuada del filtro, ya que estos hacen parte de las buenas prácticas de operación y mantenimiento.

En el TALLER 3: aplicación de instrumentos de medición, el 100% de los evaluados asistió, éste tuvo como objetivo concertar las actividades, frecuencias y responsabilidades para el seguimiento de la implementación de la tecnología.

En el TALLER 4: Evaluación del proceso, el 52,4 % de la muestra asistieron al evento, siendo este el de menor audiencia, en este taller se mostraron los resultados obtenidos de los muestreos de calidad de agua, se observa un desinterés por conocer la evaluación de los filtros, que seguramente se debe a los problemas presentados a este tiempo en los dispositivos.

- **Consumo diario de agua tratada:** El agua doméstica se puede utilizar para solventar distintas necesidades como por ejemplo agua para beber, cocinar, higiene y otros usos domésticos incluidos los productivos. La cantidad de agua disponible contribuye a la salud, la higiene y la calidad de vida, sin embargo es la calidad lo que determina que el agua sea potable. La utilización de agua potable puede variar dependiendo del trabajo manual que se realice, las condiciones del clima y la cantidad de agua presente en los alimentos consumidos. Además la necesidad de agua varía de hombres, mujeres y niños, incluso hay diferencia en el agua utilizada entre una mujer embarazada con una en periodo de lactancia²⁷ en la tabla Nº 2 se muestran los valores estimados de la cantidad de agua requerida para hidratación²⁸

²⁷ RAYNER Justine. Current Practices in Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Water Treatment. Tesis degree of Master of Science of Loughborough University 2009. p.2.

²⁸ HOWARD Guy y BARTRAM Jaimie. Domestic Water Quantity, Service Level and Health.p 7. [Consultado 08 de Agosto de 2017]. Disponible en internet : http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf

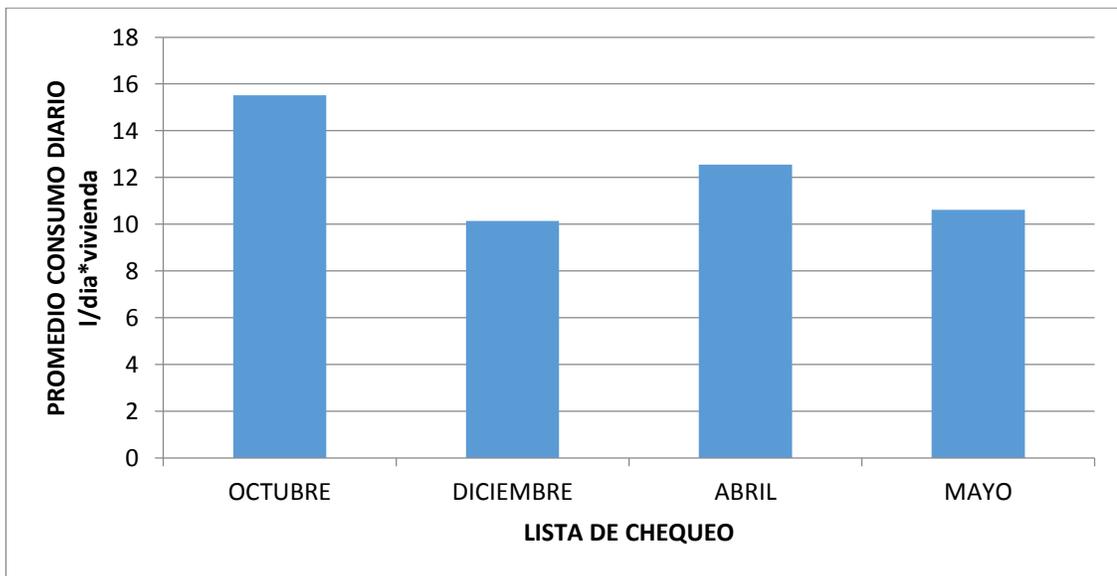
Tabla 2: Cantidad de agua requerida para hidratación

	Volumen (litro/día)		
	Condiciones Normales	Labores manuales a alta temperatura	Embarazo /lactancia
Mujeres	2,2	4,5	4,8 (embarazo) 5,5 (lactancia)
Hombres	2,9	4,5	
Niños	1,0	4,5	

Fuente: HOWARD y BARTRAM. Domestic Water Quantity, Service Level and Health.

En la figura 10 se observa el promedio del consumo de agua filtrada por la comunidad de la vereda El Motilón en los diferentes meses en los que se llevaron a cabo las listas de chequeo

Figura 10: Consumo diario de agua tratada



Fuente: Autor

En los resultados obtenidos se encuentra que el promedio de consumo diario de agua por vivienda (4 habitantes/vivienda) fue mayor en el mes de octubre, momento para cual los dispositivos de filtración tenían un tiempo de uso de aproximadamente un mes, siendo la tecnología atractiva y relativamente nueva por lo cual no se habían presentado daños, se observa que los valores de consumo diario disminuyeron para las siguientes listas de chequeo, lo que es entendible debido a que a medida que pasa el tiempo, la gente empieza a filtrar solo el agua que necesita, además ya en los últimos meses la tecnología empieza a presentar algunos problemas como disminución en la tasa de filtración, colmatación en las velas, velas partidas, etc., lo que pudo contribuir a estos resultados. Según las listas de chequeo el agua filtrada era utilizada para la preparación de alimentos, lavado de alimentos, higiene personal y bebidas.

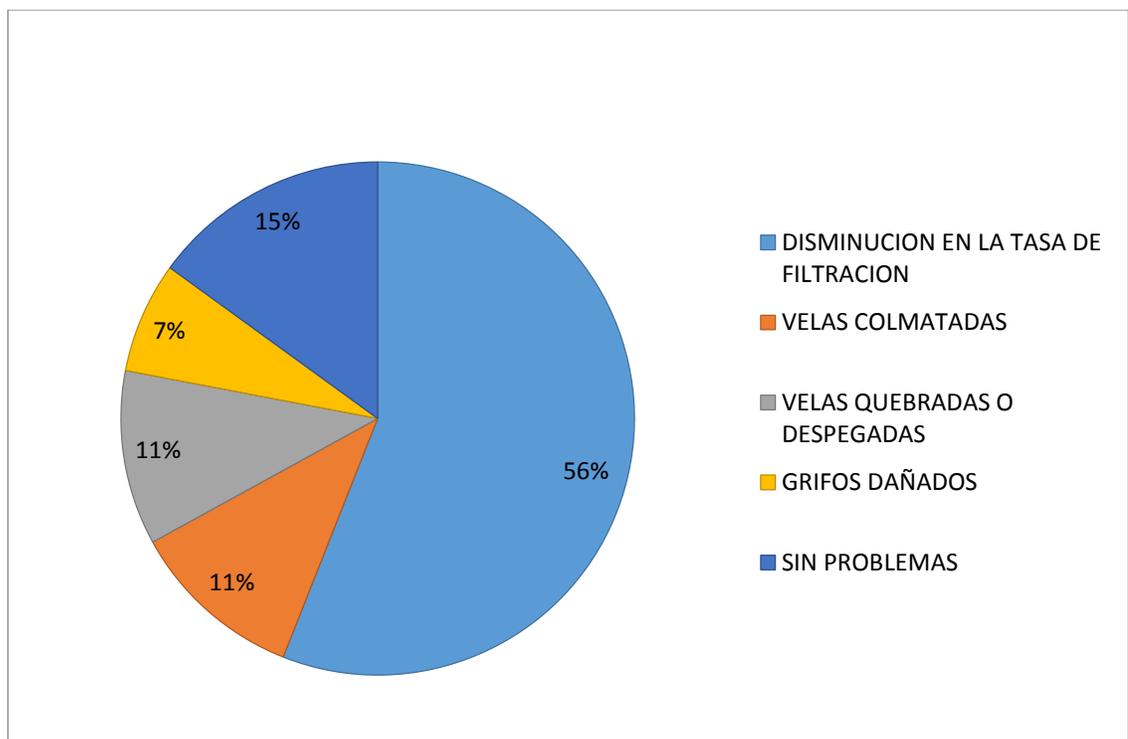
8.2 ESTADO DE LOS DISPOSITIVOS DE FILTRACION CERAMICA

Para determinar el estado de los filtros se tuvo en cuenta problemas causados por factores tanto de operación y mantenimiento del filtro, así como también las debilidades estructurales del mismo, a continuación se describen brevemente

- **Colmatación de velas y acumulación de lodos en la cámara superior:** En lugares soleados es usual que se forme una película verde sobre las velas y en los lugares donde el agua tiene muchos minerales se formará una película café, también es usual que se forme una película traslucida en las paredes del primer balde, el exceso de turbiedad contribuyen a la colmatación temprana de las velas ya que el agua fluye por medio de estas deteniendo en sus poros los sólidos suspendidos, las bacterias y todos los materiales de tamaño mayor a la porosidad del filtro, por esta razón se debe hacer un lavado del filtro, evitando usar esponjas metálicas y plásticas, o algún otro abrasivo para lavar las velas, simplemente se lo hace con agua filtrada. Las velas tienden a obstruirse haciendo más lento el proceso de filtrado hasta que finalmente dejan de funcionar, en este punto se deben cambiar.

- **Velas quebradas o dañadas:** para el mantenimiento del sistema se recomienda que las velas permanezcan húmedas con el objetivo de evitar que la cerámica se fraccione o se generen poros que afecten la eficacia del filtro. Otro aspecto importante es la vulnerabilidad al momento de instalar las velas al ajustar la tuerca plástica con el dispositivo plástico inferior se puede romper, si se aplica mucha fuerza²⁹, en la Figura 11 se muestran los resultados obtenidos de los problemas presentados durante aproximadamente 6 meses de uso de los filtros de vela.

Figura 11: Problemas presentados en los filtros



Fuente: Autor.

Se puede observar que el 56% de los dispositivos evaluados presenta una disminución en la tasa de filtración, el motivo de estos resultados es que al

²⁹ PÉREZ, A., DÍAZ, J., & GONZÁLEZ, G. Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano. *En*: Ingenium. Vol. 8, Nº 22 (2014). p.18. ISSN: 0124-7492.

momento de hacer la revisión los filtros tenían un uso aproximado de 6 meses, tiempo para el cual su vida útil estaba finalizando, adicionalmente el agua utilizada por los habitantes de la comunidad El Motilón no recibe ningún tipo de tratamiento para reducir contaminantes lo que influye directamente en la caudal de filtración; el 11 % de los filtros presentan colmatación temprana en sus velas lo cual se debe a los sólidos suspendidos presentes en el agua, para evitar este tipo de problemas se recomienda el uso de pretratamiento y el lavado adecuado del filtro, ya que según la marca Stefani³⁰ la vida útil de las velas puede llegar hasta ocho meses, siempre y cuando se tengan en cuenta buenas prácticas de mantenimiento y operación del filtro. La necesidad de desarmar el filtro para realizar el lavado de los accesorios, aumenta el riesgo de que al momento de instalar las velas, estas se quiebren o se despeguen ya que el material en que está fabricado su soporte es de plástico, siendo este vulnerable a la fuerza que se puede aplicar por parte del manipulador, de acuerdo con lo anterior se encontró que el 11% de los filtros presenta velas quebradas o despegadas. A pesar de que en menor cantidad, también se encuentra un porcentaje del 7% de grifos dañados, estos accesorios pueden presentar fragilidad al momento de manipular el dispositivo ya que se pueden despejar del balde inferior, causando que el agua filtrada se derrame. Hwang³¹ también encontró que alrededor del 15% de los filtros se rompieron durante el período de estudio de seis meses, dejando al descubierto un fallo en el diseño; de igual manera Brown³² también fue testigo durante su estudio de una tasa de fracaso de 32% debido a la rotura de las velas utilizadas en su investigación. El 15% de los filtros, no presentan ningún problema, situación que se debe al buen manejo y cuidados del dispositivo y al uso de pretratamiento.

³⁰ECONATURAQUA: filtros y purificadores. [en línea].Preguntas frecuentes. [consultado 14 de agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://www.econaturaqua.com/preguntas-frecuentes/preguntas-generales>

³¹HWANG, R. E. Y. Six month field monitoring of point of use ceramic water filter by using H₂S paper strip Most Probable Number Method in San Francisco Libre, Nicaragua. Rebeca Eun Young Hwang, MIT, 2003

³²BROWN, J. Evaluation of Point-of-Use Microfiltration for Drinking Water Treatment in Rural Bolivia. University of Cambridge, 2003.

8.2.1 Estrategia para garantizar el funcionamiento de los dispositivos: se creó un comité para la sostenibilidad del proyecto, con la comunidad de El motilón con el fin de implementar “El Banco de Repuestos” el cual tiene el objetivo de garantizar el acceso a las velas o grifos cuando se necesiten cambiar, ya sea porque se colmatan o por que se quiebran, esta actividad se legalizó mediante el Acta de Entrega de Banco de Repuestos en donde se establecieron los compromisos de la Gobernación de Nariño y el comité. El comité se conformó por 6 habitantes de la vereda El Motilón, las cuales tienen como característica común su actitud de liderazgo y sus buenas prácticas en la operación y mantenimiento del filtro. La buena administración del Banco de Repuestos asegura el capital semilla para la adquisición de nuevas velas y grifos, garantizando la sostenibilidad del proyecto.

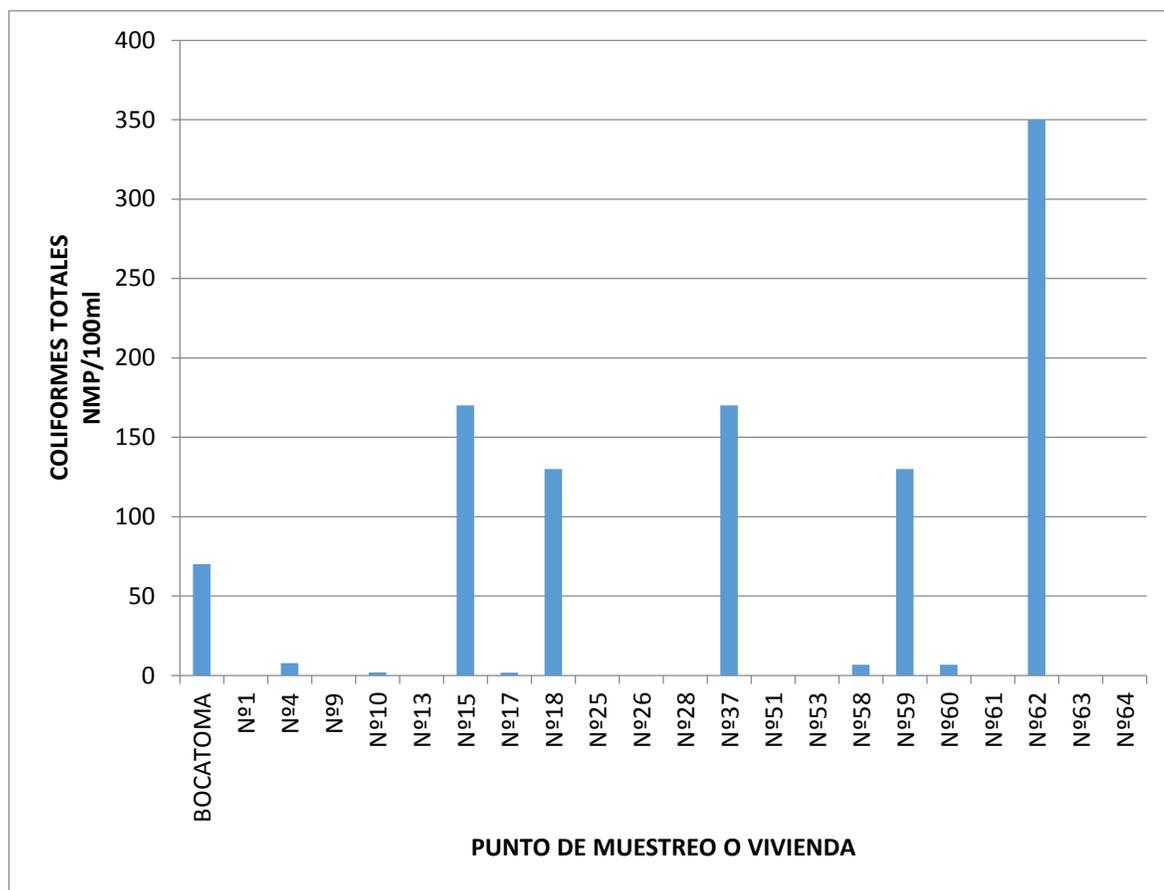
8.3. EFICIENCIA DE LOS DISPOSITIVOS DE DOBLE VELA

Determinar la eficiencia de los filtros de vela cerámica en el tratamiento del agua cruda, con respecto a diferentes parámetros de calidad de agua, permite establecer el cumplimiento de la normatividad colombiana, específicamente lo establecido en la Resolución 2115 de 2007 donde se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano. A continuación se presentan los resultados obtenidos de los distintos parámetros de calidad de agua en el primer y segundo muestreo de agua.

- **Coliformes Totales:** Los coliformes totales son microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, no forman esporas, tienen forma de varilla y se han utilizado como indicadores de la contaminación de agua, ya que son fácilmente detectables. Sin embargo debido a que tiene la capacidad de sobrevivir y multiplicarse en las agua naturales, su eficacia como indicadores de contaminación fecal se ve comprometida, por lo que no existe una relación directa

entre la presencia de patógenos y la presencia de coliformes totales³³. Los coliformes totales pueden ser utilizados para evaluar los métodos de tratamiento ya que su presencia en el agua filtrada o desinfectada indica un tratamiento inadecuado, en la Figura 12 se encuentran los resultados obtenidos con respecto a este parámetro en el primer muestreo y en la Figura 13 del segundo muestreo de agua en 21 filtros de vela cerámica (tratada) y de la bocatoma (cruda).

Figura 12: Resultados de Coliformes Totales primer muestreo



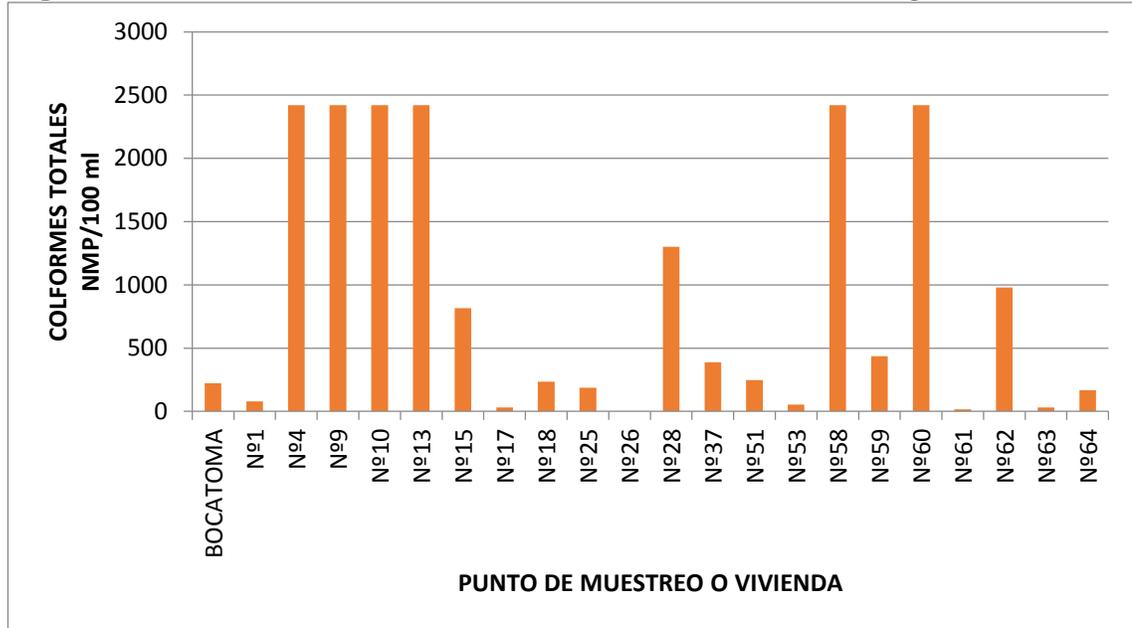
Fuente: Autor

³³ BORCHARDT, M. A.; BERTZ, P. D.; SPENCER, S. K.; BATTIGELLI, D. A. *Incidence of Enteric Viruses in Groundwater from Household Wells in Wisconsin*. Applied and Environmental Biology. 2003, 69(2): 1172-1180.

Según la resolución 2115 de 2007, para el parámetro de coliformes totales el límite establecido es AUSENCIA en el agua potable, de acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que para el muestreo número 1 de calidad de agua el 47,6% de la muestra no cumple con la norma, de esto el 23,8% sobrepasa el valor de 70 NMP/100 ml encontrado en la bocatoma (agua cruda) y 23,8% está por debajo de este. La media de los resultados obtenidos para este muestreo es de 47,5 NMP/ 100 ml, representando el 32,2% de remoción de coliformes totales con respecto al agua cruda, situación que no es satisfactoria debido a que los filtros a este tiempo tienen una carrera de filtración relativamente corta, lo que sugiere una contaminación debido a la mala manipulación y al incorrecto almacenamiento del agua, ya que la correcta utilización de los filtros impregnados con plata podría eliminar el 100% de las bacterias indicadoras, sin embargo debido al receptáculo y a la contaminación por almacenamiento inadecuado del agua, solo un bajo porcentaje de los filtros domésticos remueve coliformes totales³⁴. Adicionalmente se encuentra que la desviación estándar para estos datos es de 91,9 NMP/100ml, lo que indica que existen tres muestras cuyos resultados tienen un valor muy alto, dos de 170 y una de 350 NMP/100ml.

³⁴LANTAGNE, D. Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter. Alethia Environmental, 2001.p.71 .

Figura 13: Resultados de Coliformes Totales segundo muestreo.



Fuente: Autor.

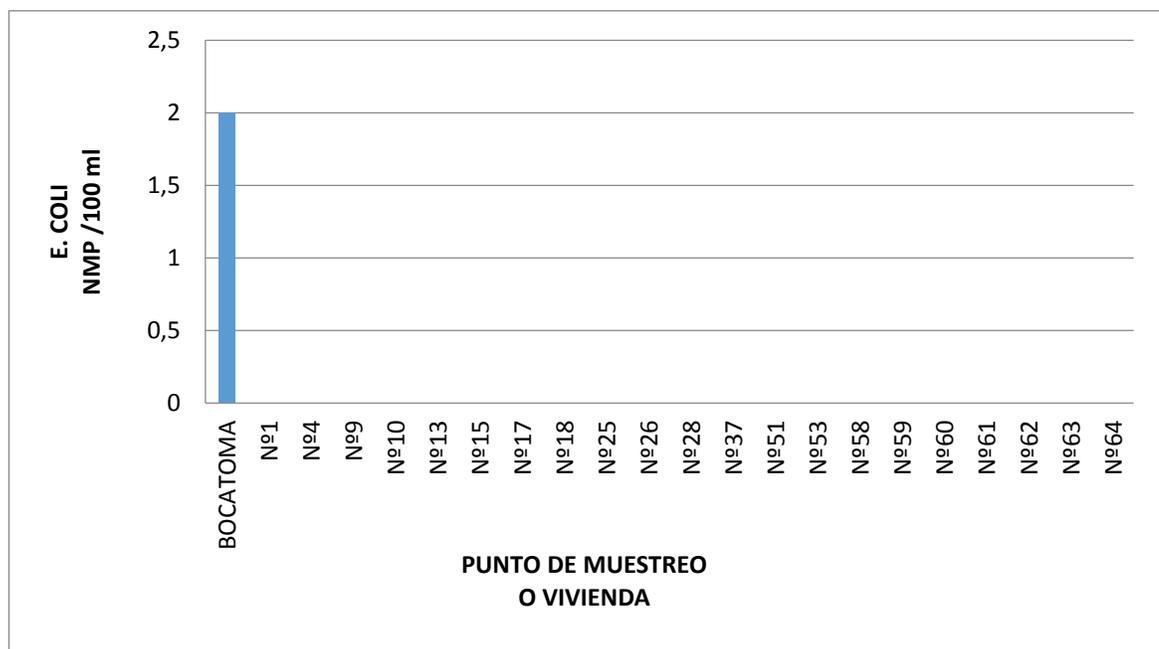
En el muestreo número 2, se encuentra que solo una muestra de 21, cumple con la normatividad vigente. El valor de la media para este caso es de 927 NMP/100 ml, resultado que está por encima de 223 NMP/100ml del agua cruda, lo indica un fallo de la tecnología para la remoción de estos microorganismos, además de contaminación adicional del agua filtrada, esta situación puede darse al inadecuado almacenamiento del agua y a que para el momento que se realizó el segundo muestreo, las velas tenían aproximadamente 8 meses de carrera de filtración, llegando al final de su vida útil, Sagara³⁵ en su estudio encontró que los coliformes totales no son retirados por los filtros con plata coloidal y Low³⁶ llegó a la conclusión de que esta sustancia no tenía efecto notable en la remoción de coliformes y que para eliminar el 100% de la bacterias, se sugiere el uso de un proceso de desinfección tal como la cloración o desinfección solar, además de la filtración.

³⁵ SAGARA, J. Study of Filtration for Point-of-Use Drinking Water in Nepal. Junko Sagara, MIT, 2000. p. 80

³⁶ LOW, C. S. Appropriate Microbial Indicator Tests for Drinking Water in Developing Countries and Assessment of Ceramic Water Filters. Chian Siong Low, MIT, 2002.p.121

- Escherichia coli:** De acuerdo con la Organización Mundial³⁷ de la Salud, la E. coli es el indicador más adecuado para determinar la contaminación por heces, ya que la E. coli es de origen fecal y está presente en altas concentraciones (10^9 ufc/gramo de heces). Al igual que otros coliformes, la E.coli puede ser más sensible a tratamientos y desinfección que otros patógenos, lo que indica que su ausencia en aguas tratadas no necesariamente revela la ausencia de otros patógenos como los Streptococos y Enterococos. A continuación se presenta la Figura 14 y la Figura 15 donde se encuentran los resultados obtenidos en el primer y segundo muestreo de calidad de agua con respecto a este parámetro microbiológico

Figura 14: Resultados de Escherihia Coli primer muestreo



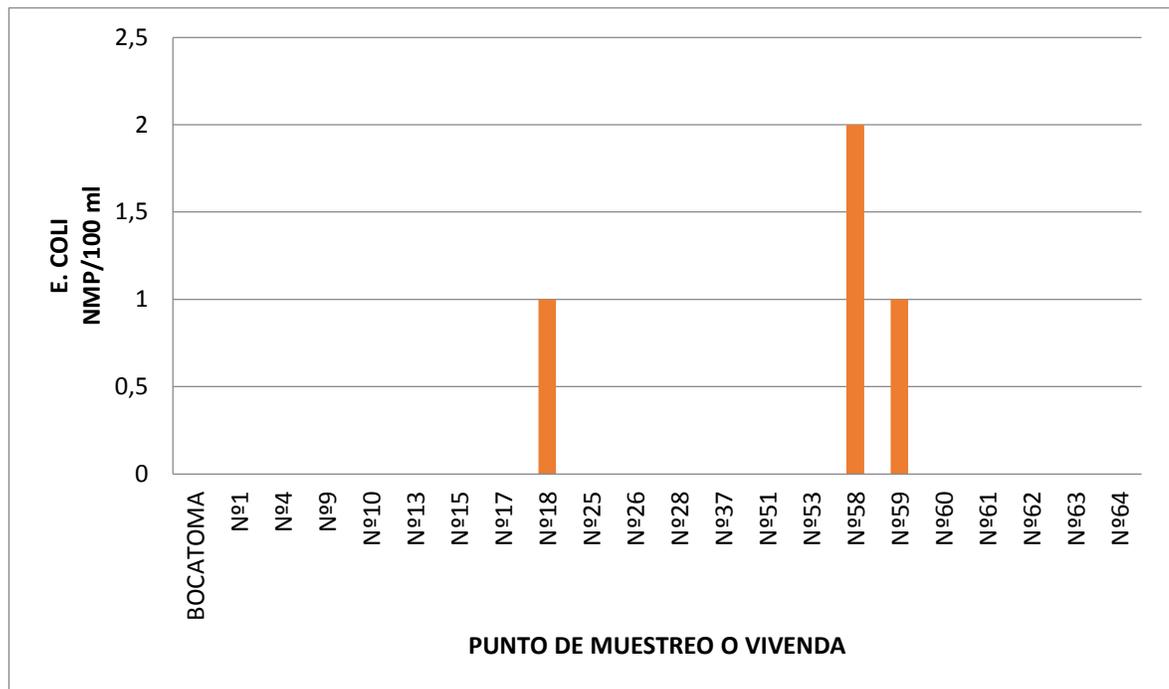
Fuente: Autor

En los resultados obtenidos para el primer muestreo se encontró 2 NMP/100ml de E.coli en la bocatoma, sin embargo en las 21 muestras de agua filtrada no existe presencia de E.coli, lo que indica una eficiencia de remoción del 100% de estos microorganismos por parte de los filtros, cumpliendo de esta manera con los

³⁷ ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. Hojas de información micribiologica.p.232

límites establecidos por la resolución 2115 de 2007, estos resultados se pueden dar debido a que para el tiempo del primer muestreo de calidad de agua los filtros tenían una carrera de filtración relativamente corta, lo que contribuye al buen tratamiento del agua. Pérez Vidal et al.³⁸ en su trabajo encontró una remoción del 100% de E.coli en el filtro de doble vela, cuyo valor de E.coli en agua sin filtrar fue de 3.9×10^5 UFC/100ml.

Figura 15: Resultados de Escherichia Coli segundo muestreo



Fuente: Autor

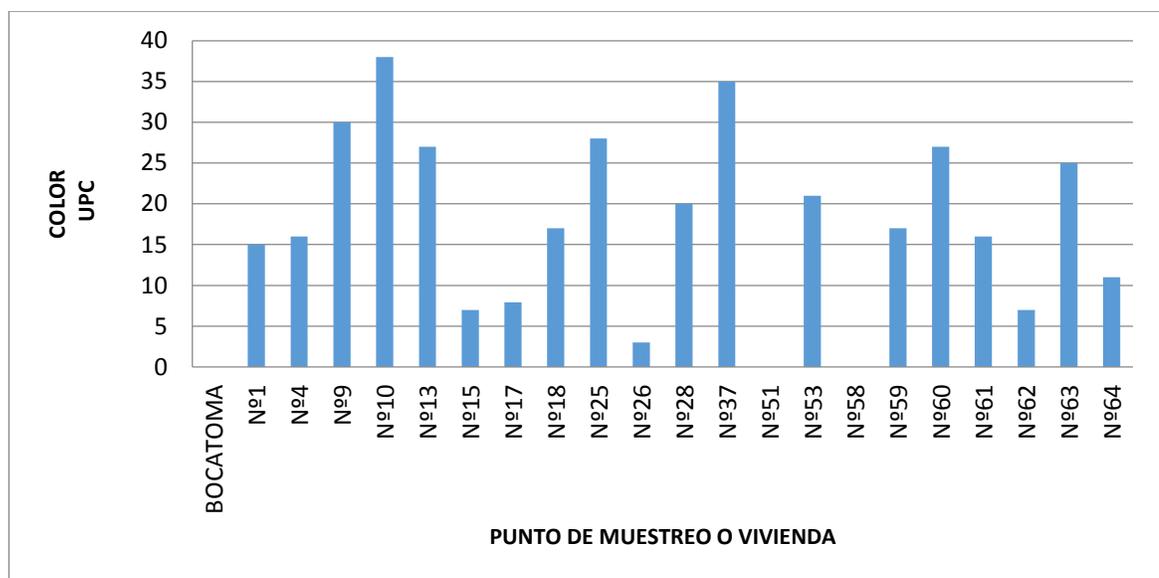
En el muestreo número 2, no existe presencia de E.coli en la muestra de agua de la bocatoma, pero se encontró que el 14,3% de las muestras de agua filtrada presentan valores de 1 y 2 NMP/100 ml de E.coli, incumpliendo con la normatividad vigente para agua potable, por lo que se concluye una contaminación del agua filtrada en el punto de uso, por la inadecuada reserva del agua filtrada.

³⁸ PEREZ VIDAL, Andrea; DIAZ GOMES, Jaime y GONZALES ROJAS, Ginna Paola. Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano. En: ingenium. Vol. 8 N° 22 (2014). p.16.

Danielle Lantagne³⁹ en su estudio, encontró una remoción de 100% de bacterias indicadoras incluida la E.coli, con el correcto uso del filtro, sin embargo, debido al receptáculo y contaminación almacenamiento inadecuado de agua, la eliminación de E.coli fue del 53%.

- **Color aparente:** El color aparente engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla, en las Figura 16 y Figura 17 se presentan los resultados de color aparente obtenidos en el 1° y 2° muestreo de agua cruda y tratada por los filtros de vela cerámica.

Figura 16: Resultados de color aparente primer muestreo.

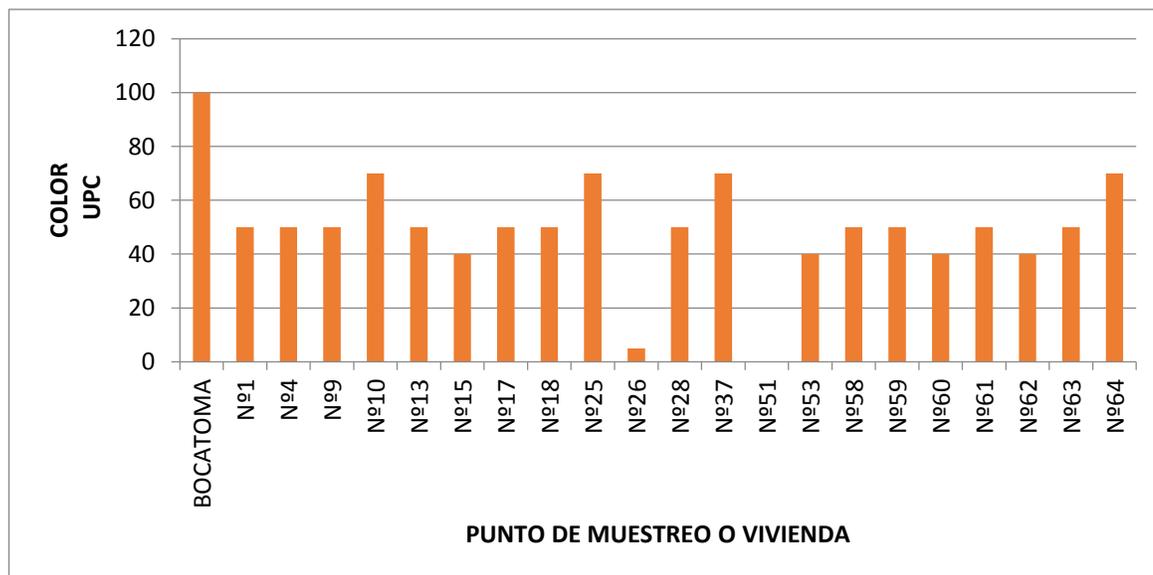


Fuente: Autor

³⁹ LANTAGNE, D. Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter. Alethia Environmental, 2001. Citado por FRANZ Amber. A Performance study of Ceramic Candle filters in Kenia Including Test For Coliphage Removal. Master of engineering in civil and environmental engineering. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. Department of Civil and Environmental Engineering. 2005. p. 32.

En el muestreo número 1 se obtuvo que para el 90,5% de las muestras, existe un aumento en el color con respecto al valor encontrado en la bocatoma (0 UPC), a pesar de esto, el 38% de mismas, tienen valores inferiores o iguales al límite establecido en la normatividad vigente (15 UPC), esta situación sugiere una contaminación en el punto de uso debido al inadecuado manejo del filtro y almacenamiento del agua, ya sea por materia orgánica en descomposición o por otra sustancia que adicione color, ya que al momento de hacer el primer muestreo, la tecnología tenía una carrera de filtración relativamente corta, por lo que se espera una buena eficiencia en la remoción de este indicador. El valor promedio para este parámetro es 17,51 UPC y la desviación estándar es 11,04 UPC, lo que indica que existen tres muestras cuyos valores oscilan entre 30 y 38 UPC que representan datos muy grandes con respecto a los demás resultados.

Figura 17: Resultados de Color Aparente del segundo muestreo



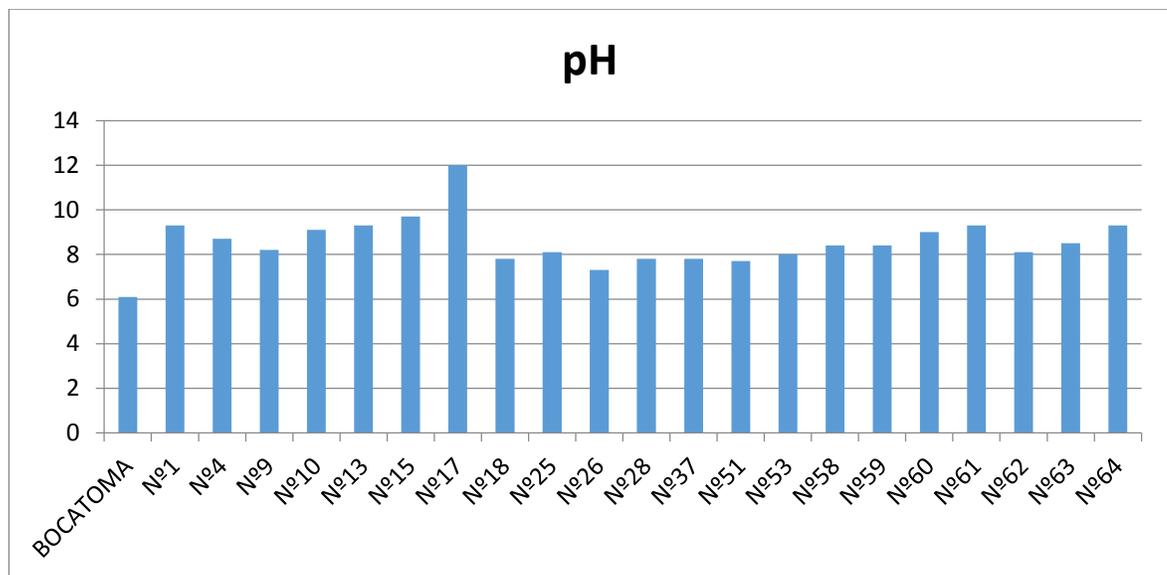
Fuente: Autor

En el muestreo número 2 se encontró que el 90,5% de las muestras poseen valores de color aparente por encima de lo establecido en la Resolución 2115/07 para agua potable, el valor medio es de 47,4 UPC, resultado que es inferior al encontrado en la bocatoma (100 UPC), esta situación evidencia el inadecuado

manejo de la tecnología y respectivo almacenamiento del agua, ya que suponiendo que la mayoría de los filtros no remuevan el color como aparentemente se encontró en el primer muestreo, los resultados lógicos y esperados para este muestreo serían valores iguales o superiores al del agua cruda que para este caso es de 100 UPC, sin embargo se encuentran todos los datos inferiores a este, por lo que se concluye la mala utilización del dispositivo.

- **pH:** El aumento en el pH con respecto al valor inicial, puede ser por el desprendimiento del material básico de la cerámica⁴⁰ situación semejante a lo encontrado en este trabajo, en la Figura 18 y en la Figura 19 están los valores de pH encontrados en el primer y segundo muestreo respectivamente.

Figura 18: Resultados de pH de primer muestreo.



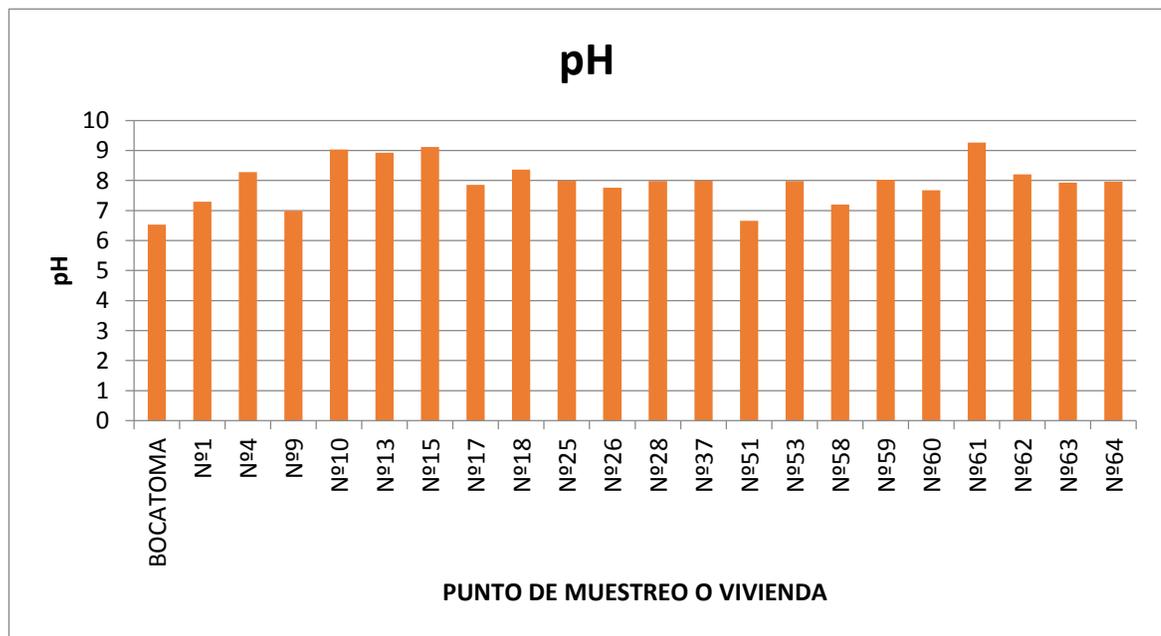
Fuente: Autor

En la Figura 18 se observa que el 66,7% de las muestras cumple con la normatividad colombiana para agua potable cuyos valores de pH deben oscilar

⁴⁰ LERMA ARIAS, Daniel Alberto. Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura. Pereira, 2012. Tesis de grado de maestría. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales. Maestría en Ecotecnología. p. 40

entre 6,5 y 9,0; adicionalmente se tiene un aumento de pH en todas las muestras, con respecto al encontrado en la bocatoma (6,1), siendo el promedio para este muestreo 8,7 unidades de pH y cuya desviación estándar es 1.0, lo que muestra que los datos no son tan dispersos, encontrando como valor más alto 12 unidades de pH.

Figura 19: Resultados de pH del segundo muestreo.



Fuente: Autor

Se puede observar que al igual que el anterior muestreo también hay un aumento en los valores de pH en todas las muestras con respecto a la bocatoma (6,5); el promedio para este parámetro es de 8, y la desviación estándar es 0,67, lo que indica una baja dispersión en los resultados obtenidos, teniendo como valor más alejado 9,3; el 85,7% de las muestras cumplen con el rango permisible para este indicador, establecido en la Resolución 2115/07.

Los promedios del primer y segundo muestreo son 8,7 y 8 respectivamente, siendo este un rango apropiado, distante de valores ácidos evita la lixiviación hacia la fase líquida de la plata presente en las velas cerámicas⁴¹.

Turbiedad: La eliminación eficiente de la turbiedad depende de varios factores como el espesor y área superficial de las velas, la porosidad y la calidad a continuación se presenta la Figura 20 y la Figura 21 donde se encuentran los resultados de turbiedad obtenidos en el primer y segundo muestreo respectivamente.

Figura 20: Resultados de turbiedad del primer muestreo.



Fuente: Autor.

En la Figura 20 se observa que en el 90,5% de las muestras tienen valores de turbiedad por encima del encontrado en la bocatoma (0,24), lo que indica una adición para este parámetro en el punto de uso, a pesar de esto, todos los

⁴¹ PEREZ VIDAL, Andrea; DIAZ GOMES, Jaime y GONZALES ROJAS, Ginna Paola. Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano. En: ingenium. Vol. 8 N° 22 (2014). p.17.

resultados están por debajo del límite permisible para turbiedad (2 NTU) establecido en la Resolución 2115/07, siendo el valor promedio 0,43 NTU con una desviación estándar de 0,3 NTU, lo cual indica una dispersión en los resultados baja.

Figura 21: Resultados de turbiedad del segundo muestreo.



Fuente: Autor.

En el muestreo 2, se observa que el valor de turbiedad encontrado en la bocatoma es de 4,02 NTU, existiendo solo un valor de 4,14 NTU en las muestras evaluadas que lo sobrepasa, situación esperada ya que al momento de hacer el muestreo se presenció residuos en el recipiente contenedor, por lo que se concluye que en este caso el resultado obtenido se debe a la contaminación en del agua almacenada. El promedio para este muestreo es de 1,2 NTU, lo que indica una remoción del 70,2% con respecto al agua cruda. El 85,7% de los resultados están por debajo de 2 NTU, cumpliendo de esta manera con lo establecido en la Resolución 2115/07.

Joe Brown⁴² en su estudio en campo distribuyó el dispositivo de filtración en 25 familias y utilizó un filtro con condiciones similares al de este trabajo pero cuyas velas filtrantes fueron de marca Ceradyn, las cuales también estaban impregnadas con plata coloidal, en su investigación encontró resultados de turbiedad similares a los niveles basales (27,6 NTU). En el estudio llevado a cabo por Amber Franz,⁴³ se encontró que las velas de la marca Stefani aportaban un porcentaje de remoción de turbiedad del 98,8%, para un valor inicial que oscilaba entre 15 NTU – 31 NTU de una fuente agua diluida del río Nairobi.

Al comparar las dos investigaciones se puede observar resultados muy diferentes, por lo que se evidencia que en condiciones de laboratorio la eficiencia de remoción, es mucho mayor que la encontrada en campo para este parámetro, ya que en este último caso distintos factores de operación y mantenimiento del filtro pueden influir en la eficiencia del mismo.

8.3.1. Relación entre el uso de pretratamiento y los resultados de parámetros de calidad de agua. Al confrontar mediante el modelo matemático de correlación lineal los resultados de mantenimiento y operación del filtro obtenidos en las listas de chequeo versus los resultados de calidad de agua encontrados en los muestreos (ANEXO 2), se determina que los factores tales como el uso de pretratamiento, la ubicación adecuada, la asistencia a los talleres y el consumo diario de agua no influyen directa e individualmente en los parámetros de calidad de agua como turbiedad, pH, coliformes totales, E. coli y color aparente, sin embargo es muy importante llevar a cabo buenas prácticas de mantenimiento ya que en caso contrario se puede afectar los filtros y la calidad del agua tratada, por ejemplo el pretratamiento evita la colmatación temprana de las velas; la ubicación adecuada del dispositivo y su buen manejo son factores importantes para que el agua tratada no se contamine por residuos de la cocina así como también

⁴² BROWN, J. Evaluation of Point-of-Use Microfiltration for Drinking Water Treatment in Rural Bolivia. University of Cambridge, 2003.

⁴³ FRANZ, Op. cit. p. 52.

contabilizar el consumo diario ayuda a determinar el tiempo de vida útil de las velas y el momento prudente para realizar el cambio.

9. CONCLUSIONES

- La tecnología de filtros de vela cerámica impregnadas con plata coloidal, es tecnología débil en cuanto a estructura se refiere, ya que se encontró que al momento de desarmar y armar el filtro, las velas se quiebran o se despegan con facilidad en la parte de la base, debido al material poco resistente del cual están fabricadas.
- Después de aproximadamente seis meses de uso, los filtros de vela cerámica presentaron principalmente disminución en la tasa de filtración, colmatación de las velas y velas quebradas, situación que se esperaba ya que el agua suministrada a la comunidad de la vereda El Motilón no recibe ningún tipo de tratamiento y por lo tanto acarrea varios contaminantes que afectan directamente la vida útil de las velas.
- Existió un aumento en los resultados de calidad de agua de segundo muestreo, en los parámetros tales como Coliformes Totales, E.coli, color y turbiedad, situación que puede ser por la mala manipulación del agua filtrada al momento de utilizarla y reservarla, así como el tiempo de operación del filtro, ya que para el muestreo 1 y muestreo 2 tenían un tiempo aproximado de tres y ocho meses respectivamente
- El incremento de pH fue evidente en los muestreos de calidad de agua esto probablemente se debe al desprendimiento del material cerámico y por lo tanto a la basicidad del agua tratada
- La correlación lineal entre los indicadores de operación y mantenimiento y los parámetros de calidad de agua indica una muy baja dependencia, lo que quiere decir que aspectos como pretratamiento, ubicación adecuada, asistencia a talleres y consumo promedio diario no influyen directamente en los resultados microbiológicos y fisicoquímicos obtenidos en los muestreos de agua
- En los resultados obtenidos en los muestreos de calidad de agua se encontró que muchas de las muestras de agua tratada no cumplen con la

resolución 2115/ 07 con respecto a coliformes totales y que la situación empeoro visiblemente en el muestreo número 2 , ya en la mayoría hubo presencia de este microorganismo

- La mayoría de los filtros presentaron problemas de filtración lenta debido a que al momento de hacer el análisis, los dispositivos llevaban una vida útil de aproximadamente 6 meses.

10. RECOMENDACIONES.

Para garantizar el buen funcionamiento de los dispositivos de filtración es necesario tener en cuenta una serie de recomendaciones las cuales incluyen buenas prácticas de operación y mantenimiento de los filtros, a continuación se describe cada una de ellas.

- Con la utilización de un recipiente donde se lleva a cabo una sedimentación previa, se reduce notablemente la turbiedad del agua, así como también la disminución de materiales en suspensión y microorganismos como virus y bacterias, esto a su vez evita la colmatación temprana de las velas y alarga la vida útil del filtro
- Ubicar el filtro lejos de los residuos sólidos, por encima del piso, con el grifo libre evita la contaminación del mismo, por bacterias y microorganismos presentes en el ambiente cercano, por lo tanto es muy importante tener en cuenta que el lugar donde se localice el filtro sea adecuado.
- Se recomienda que las velas permanezcan húmedas con el objetivo de evitar que la cerámica no se fraccione o se generen poros que afecten la eficacia del filtro.
- En caso de realizar un cambio en los accesorios del filtro, especialmente con las velas no se debe aplicar mucha fuerza al ajustar la tuerca plástica con el dispositivo plástico inferior ya se puede romper debido a que son muy propensas a partirse o despejarse del asiento.
- Se debe evitar que el filtro este expuesto a la luz directa del sol, ya que esto favorece la proliferación de algas y por lo tanto genera manchas verdes tanto en los recipientes como en los accesorios del filtro.
- Es necesario realizar un lavado constante del dispositivo, los recipientes se pueden lavar con esponja y jabón, mientras que para las velas se debe evitar el uso de jabón, detergente o desinfectante y su lavado se debe hacer con un cepillo

de cerdas suaves, de manera delicada con el fin de evitar que la remoción del material cerámico.

- Según la marca Stefani la vida útil de las velas puede ser hasta 8 meses dependiendo del buen manejo del filtro, sin embargo es necesario estar pendiente de que no exista colmatación en las velas, ni la presencia de residuos en el agua tratada, en tal caso se debe realizar un cambio de estas por unas nuevas, con el fin de garantizar un buen flujo de agua y sobretodo de buena calidad.
- Al momento del almacenamiento del agua tratada es necesario usar un recipiente limpio, para evitar que el agua se contamine, así como también se debe consumir en el menor tiempo posible, ya que los largos periodos de almacenamiento favorecen la proliferación de microorganismos.
- Se recomienda el uso de un método de desinfección para el agua filtrada, con el fin de garantizar la eliminación de microorganismos que puedan afectar la salud de la comunidad

11. BIBLIOGRAFIA

AHAMMED, Mansoor y DAVRA, Komal. Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. *Desalination* 276 (2011) 287–293.2011

AVILA, Yeison y PLAZA, Juan Sebastián de,. Comparación y diseño de acueducto con el método tradicional y modelos digitales en el Resguardo Nazaret de la comunidad Tikuna Amazonas. En: *tekhne*. Vol. 6 N° 2.

BORCHARDT, M. A.; BERTZ, P. D.; SPENCER, S. K.; BATTIGELLI, D. A. Incidence of Enteric Viruses in Groundwater from Household Wells in Wisconsin. *Applied and Environmental Biology*. 2003, 69(2): 1172-1180.

BROWN, J. Evaluation of Point-of-Use Microfiltration for Drinking Water Treatment in Rural Bolivia. University of Cambridge, 2003.

CERÁMICA STEFANI. [En Línea]. Flotadores [Consultado 01 de Agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://www.ceramicastefani.com.br/espanhol/acessorio-stefani/acessorio/6/flotador>.

CERÁMICA STEFANI. [En Línea]. Grifos clic [Consultado 01 de Agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://www.ceramicastefani.com.br/espanhol/acessorio-stefani/acessorio/5/grifos-clic>

CERÁMICA STEFANI. [En Línea]. Velas Cerámica Esterilizante [Consultado 01 de Agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://www.ceramicastefani.com.br/espanhol/acessorio-stefani/acessorio/3/vela-ceramica-esterilizante>

COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007.

ECONATURAQUA: filtros y purificadores. [En línea]. Preguntas frecuentes. [Consultado 14 de agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://www.econaturaqua.com/preguntas-frecuentes/preguntas-generales>

FRANZ Amber. A Performance study of Ceramic Candle filters in Kenia Including Test For Coliphage Removal. Master of engineering in civil and environmental engineering. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. Department of Civil and Environmental Engineering. 2005

GUEVARA, Sixto y ROJAS, Ricardo. Filtros de Mesa. Lima. 2000.

HOWARD Guy y BARTRAM Jaimie. Domestic Water Quantity, Service Level and Health.p 7. [Consultado 08 de Agosto de 2017]. Disponible en internet: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf

HWANG, R. E. Y. Six month field monitoring of point of use ceramic water filter by using H₂S pape strip Most Probable Number Method in San Francisco Libre, Nicaragua. Rebeca Eun Young Hwang, MIT, 2003

IBARRA, Nubia. Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural Colombiano. Tesis de grado. Universidad Abierta y a Distancia. 2016.

LANTAGNE, D. Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter. Alethia Environmental, 2001.

LERMA ARIAS, Daniel Alberto. Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura. Pereira, 2012. Tesis de grado de maestría. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales. Maestría en Ecotecnología.

LIFESTRAW: Hilo de la vida. [En línea]. Filtro Familiar. [Consultado 01 de Agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://lifestraw.com/products/lifestraw-family>

LUNA, D.; GONZALES, A.; GORDON, M. & MARTIN, N. Obtención de carbón activado a partir de la cascara de coco. En: Contactos 64.2007.

LOW, C. S. Appropriate Microbial Indicator Tests for Drinking Water in Developing Countries and Assessment of Ceramic Water Filters. Chian Siong Low, MIT, 2002.

MWABI, J.; ADEYEMO, F.; MAHLANGU, T.; MAMBA, B.; BROUCKAERT, B. ; SWARTZ, C.; OFFRINGA, G.; MPENYANA-MONYATSI, L.; & MOMBA, M. Household water teartment systems: A solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of Southerm Africa. En: Physics and chemistry of the Earth. 2011. p 1120-1128

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Agua. Nota Descriptiva N° 391. Junio de 2015.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Hojas de información microbiológica.

PEREZ VIDAL, Andrea; DIAZ GOMES, Jaime y GONZALES ROJAS, Ginna Paola. Estudio comparativo de dos sistemas de filtración casera para el tratamiento de agua para consumo humano. En: ingenium. Vol. 8 N° 22 (2014).

PEREZ VIDAL, Andrea, TORRES LOZADA, Patricia y CRUZ VELEZ Camilo Hernán. Planes de seguridad. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia. En: Ingenium. Vol.8, Nº 22 (2014). ISSN: 0124-7492.

RAYNER Justine. Current Practices in Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Water Treatment. Tesis degree of Master of Science of Loughborough University 2009.

ROJAS, Ricardo y GUEVARA, Sixto. Filtros de mesa. Lima. 2000.

SAGARA, J. Study of Filtration for Point-of-Use Drinking Water in Nepal. Junko Sagara, MIT, 2000.

STEFANI CHILE. [En línea]. Preguntas frecuentes. [Consultado 14 de agosto de 2017]. Disponible en internet: <https://www.stefanichile.com/preguntas-frecuentes>

TORRES, Luz Nathalia y NARVAEZ, Nelson. Alternativas para la gestión integral del recurso hídrico que contribuyan a mejorar la calidad del agua para el consumo humano en la vereda El Motilón Zona Centro. San Juan de Pasto. 2015.

UNATSABAR. Filtro de mesa con velas de cerámica y prefiltro de arena. Guía de construcción, operación y mantenimiento. Lima. 2000.

ANEXO 1

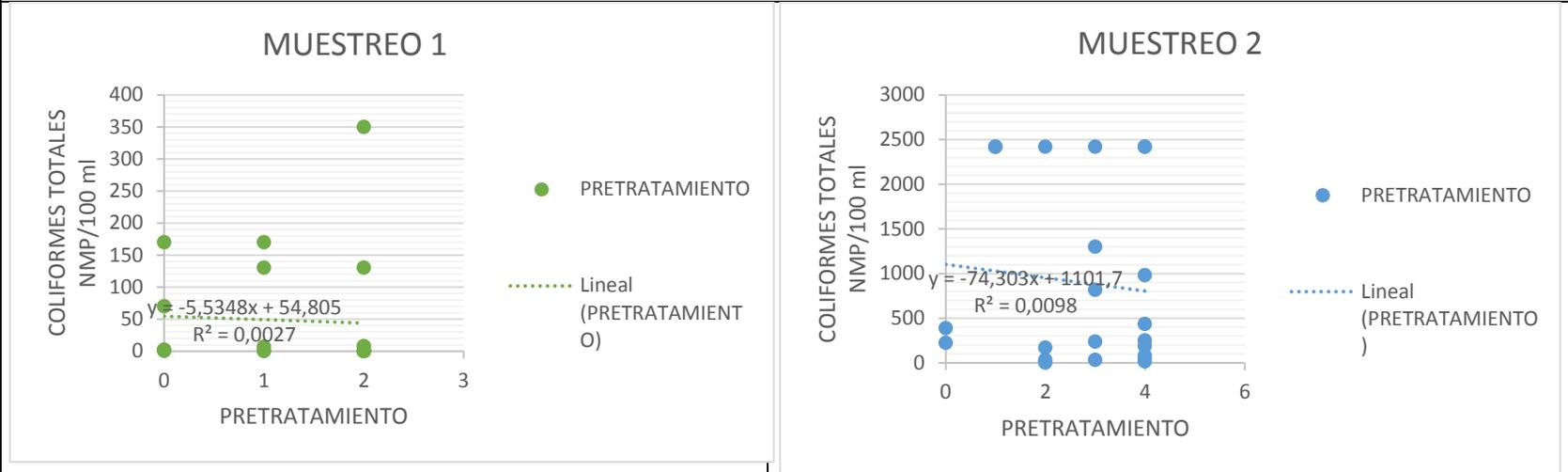
**PROYECTO: Alternativas Para La Gestión Integral Del Recurso Hídrico
Que Contribuyan A Mejorar La Calidad Del Agua Para Consumo
Humano En La Vereda El Motilón.**

LISTA DE CHEQUEO

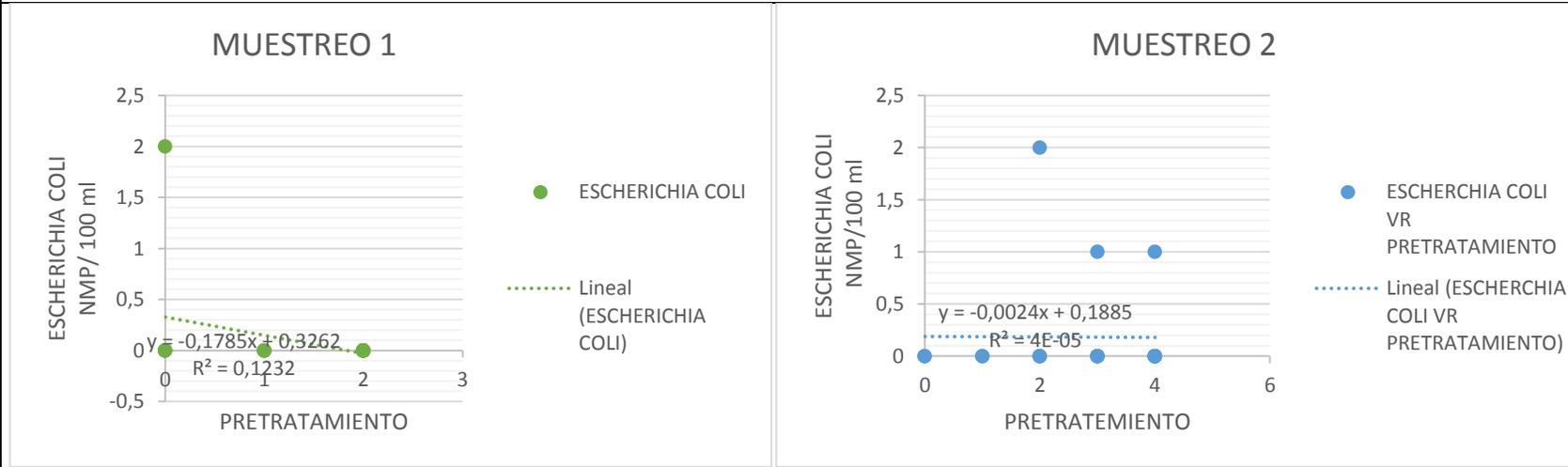
Beneficiario: _____		Numero de vivienda: _____			
Sector _____					
Referencia del predio : _____					
2.	¿Cuenta con el acta de entrega del dispositivo?	SI	NO		
3.	Uso tanque de pre-tratamiento	SI	NO		
4.	Sitio adecuado para la ubicación del filtro	SI	NO		
5.	Filtro en uso	SI	NO		
6.	El filtro presenta colmatación de velas y acumulación de lodos en la cámara superior	SI	NO		
7.	Cuenta con la herramienta para el mantenimiento del filtro	SI	NO		
8.	Frecuencia de llenado del filtro	Diario	2 veces /día	Semanal	
		2 veces/semana	otro	Cual _____	
9.	Frecuencia de lavado del filtro	Diario	Semanal	Quincenal	otro
		Cual: _____			
10.	Usos del agua filtrada	Bebidas	Lavado de alimentos	Preparación de alimentos	
		Higiene personal	Otro	Cual _____	

ANEXO 2

COLIFORMES VR PRETRATAMIENTO

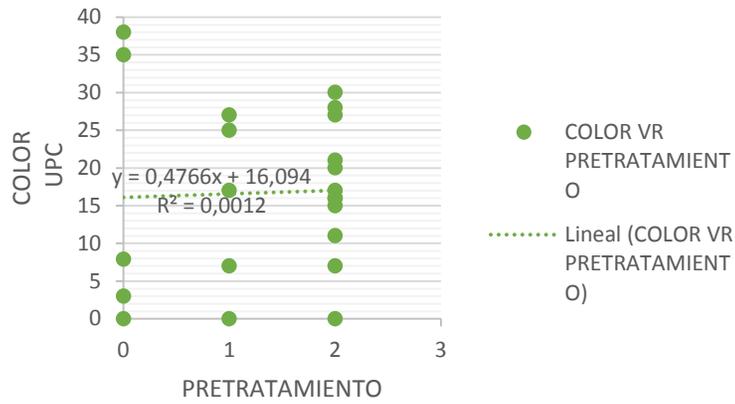


E.COLI VR PRETRATAMIENTO

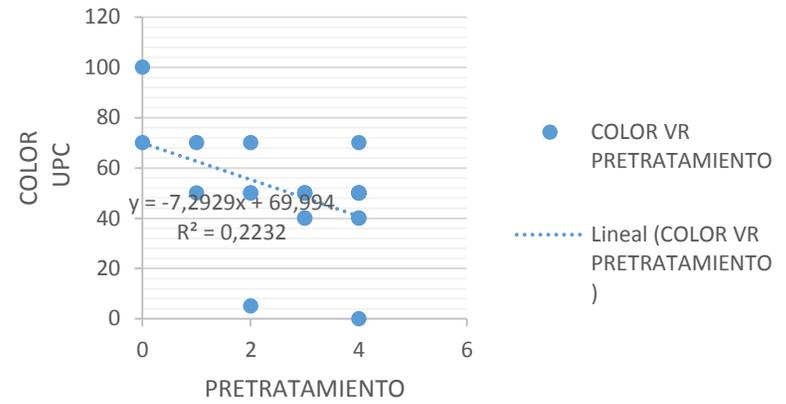


COLOR VR PRETRATAMIENTO

MUESTREO 1

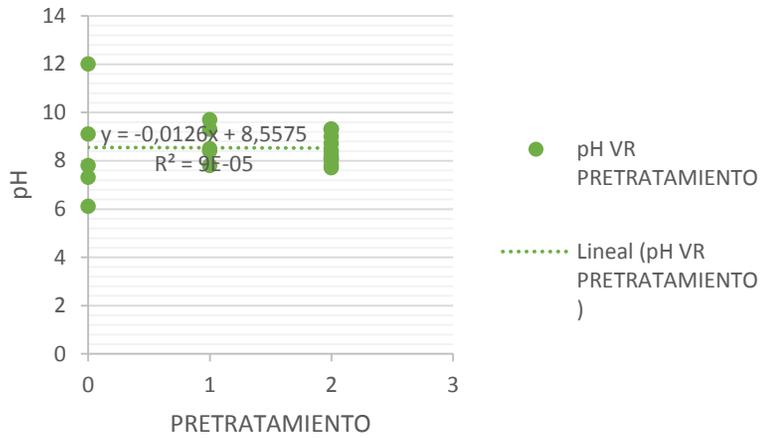


MUESTREO 2

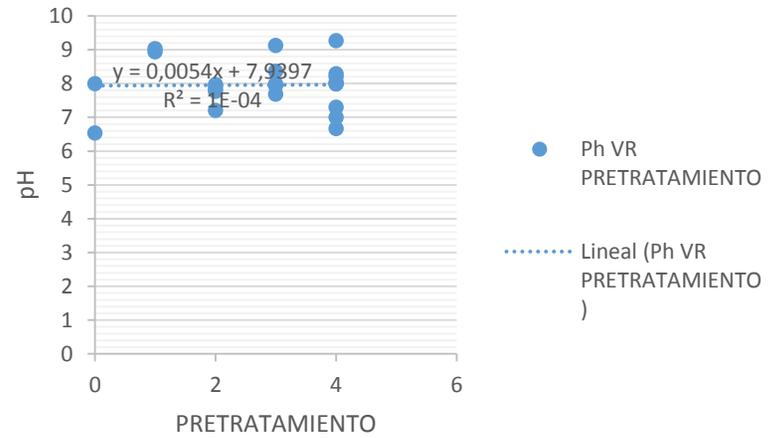


pH VR PRETRATAMIENTO

MUESTREO 1

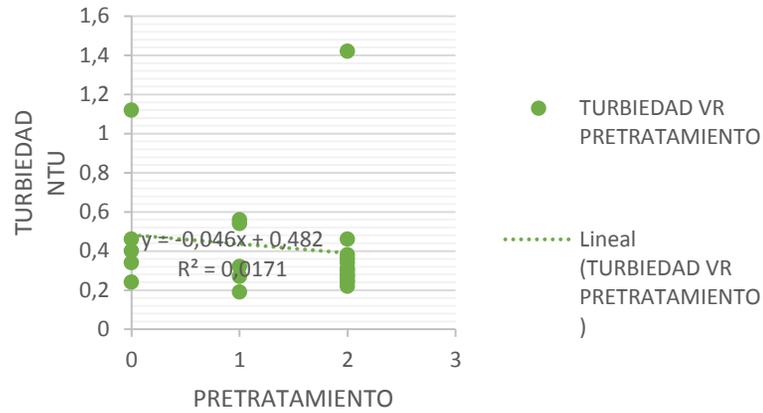


MUESTREO 2

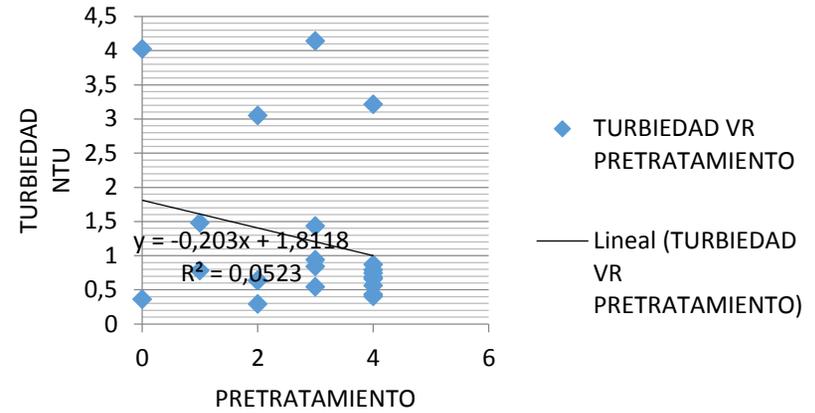


TURBIEDAD VR PRETRATAMIENTO

MUESTREO 1

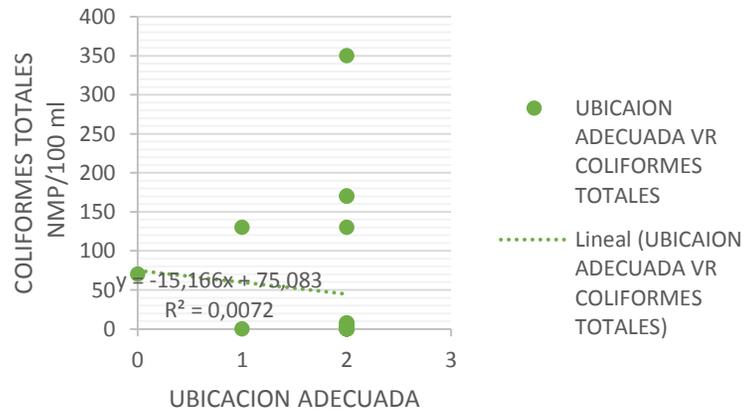


MUESTREO 2

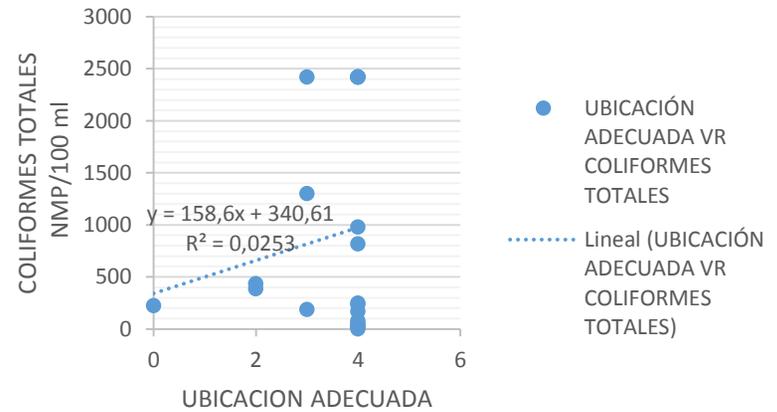


UBICACIÓN ADECUADA VR COLIFORMES TOTALES

MUESTREO 1

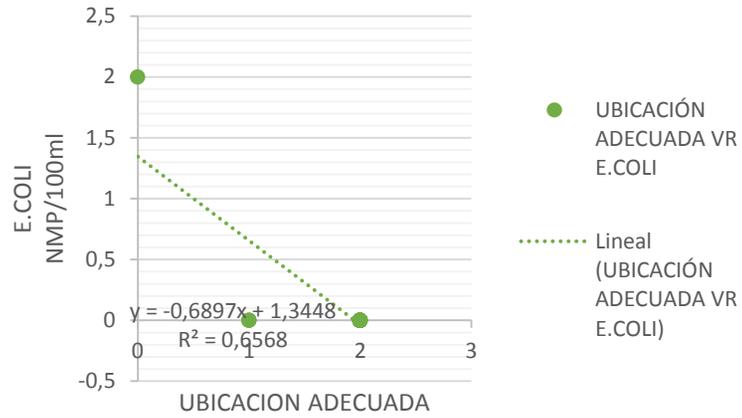


MUESTREO 2

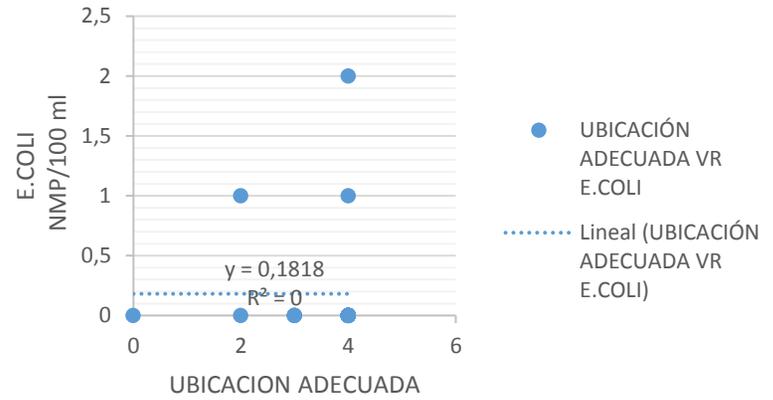


UBICACIÓN ADECUADA VR E.COLI

MUESTREO 1

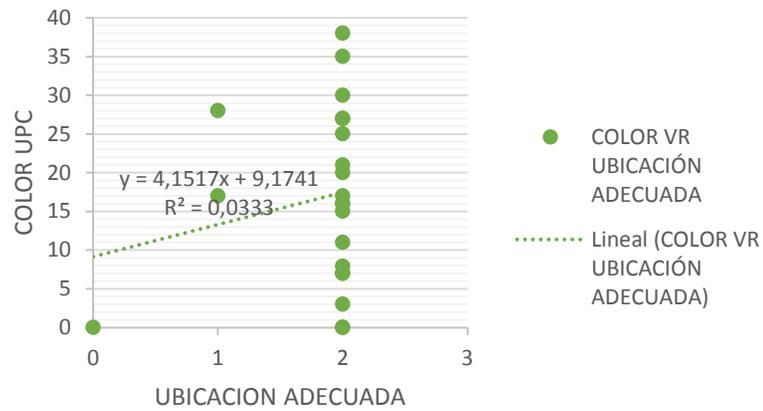


MUESTREO 2

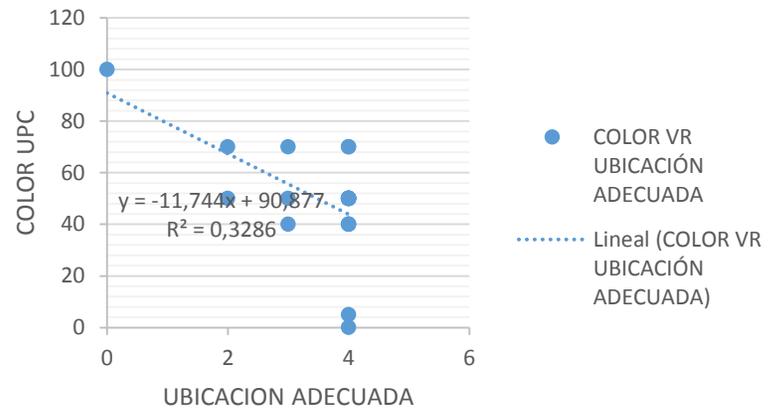


UBICACIÓN ADECUADA VR COLOR

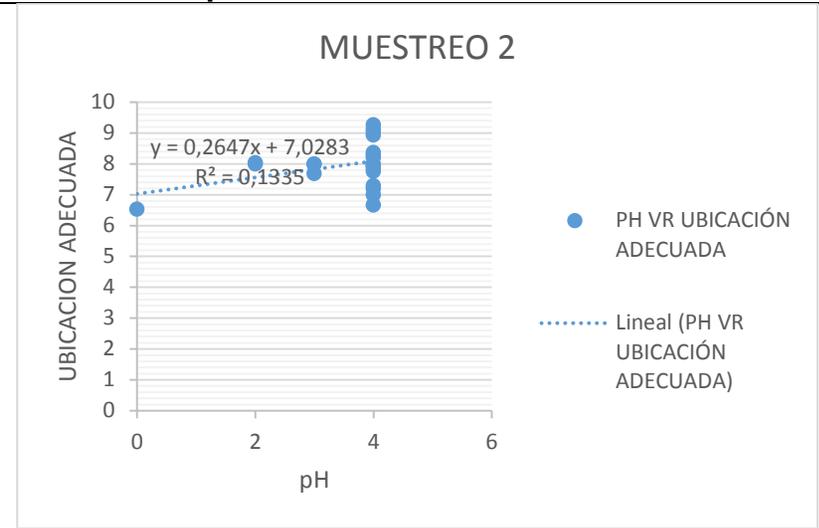
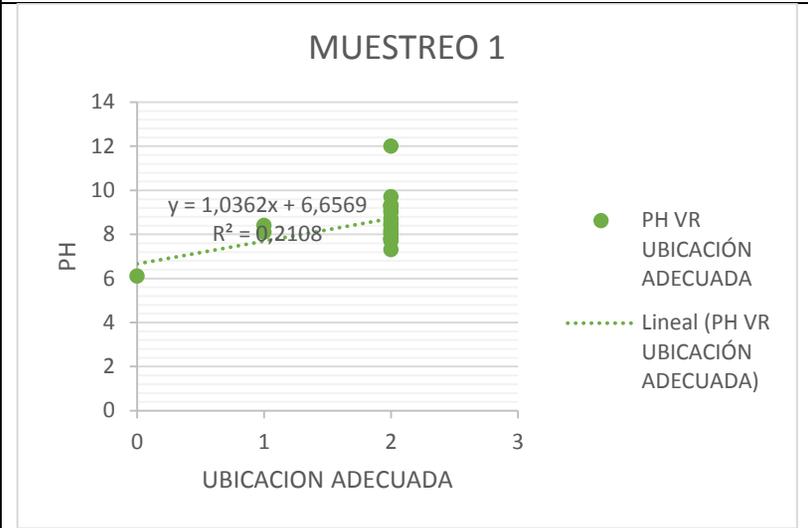
MUESTREO 1



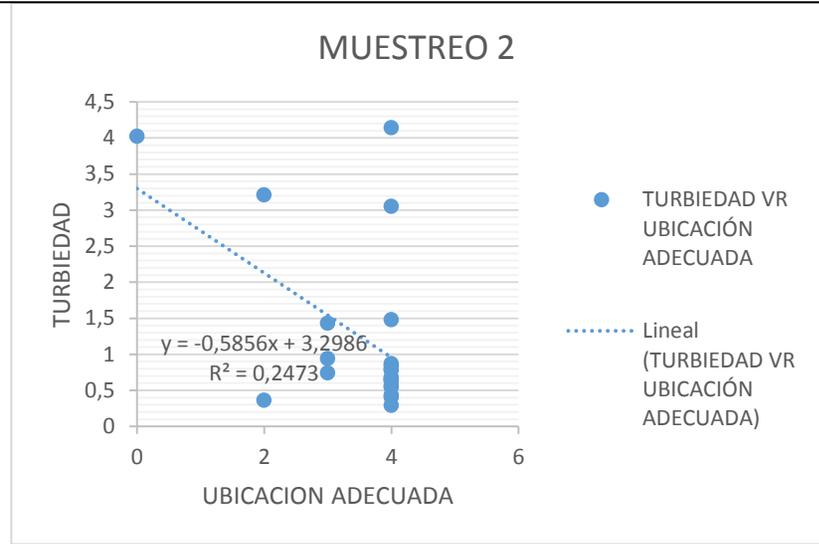
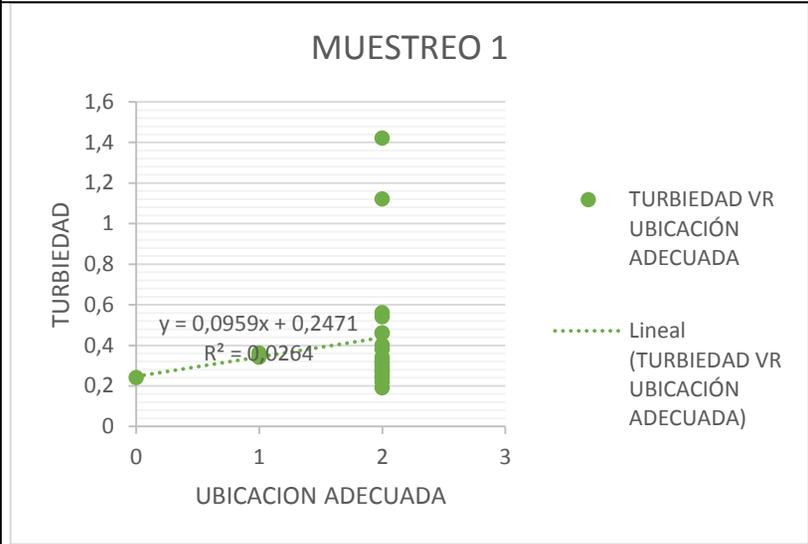
MUESTREO 2



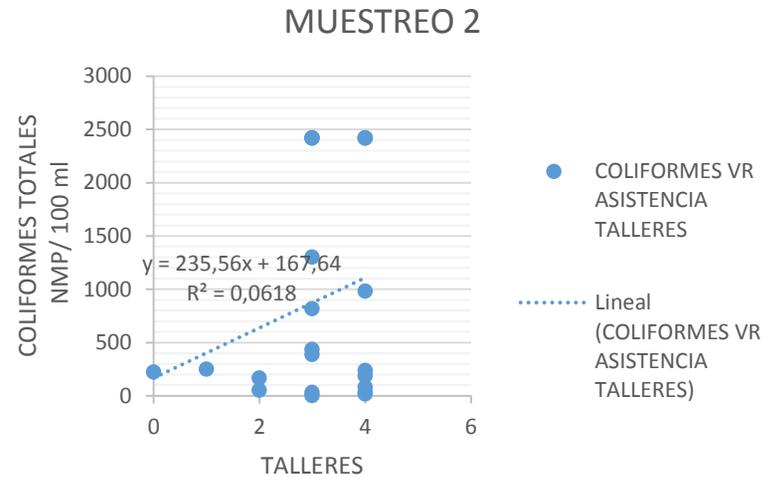
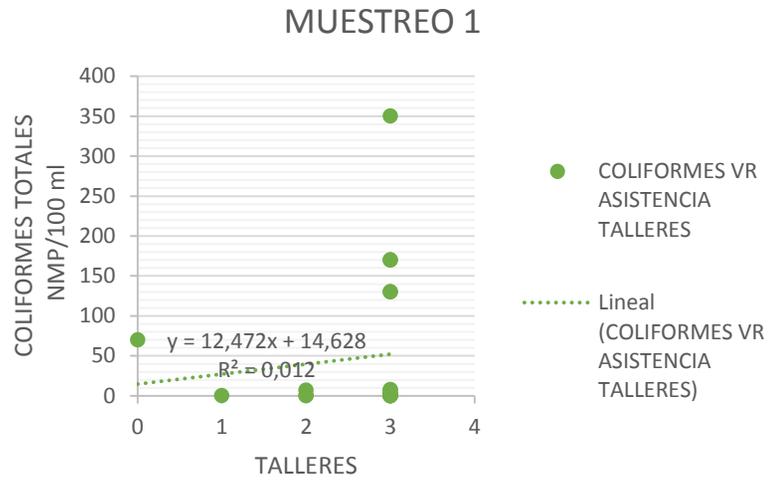
UBICACIÓN ADECUADA VR pH



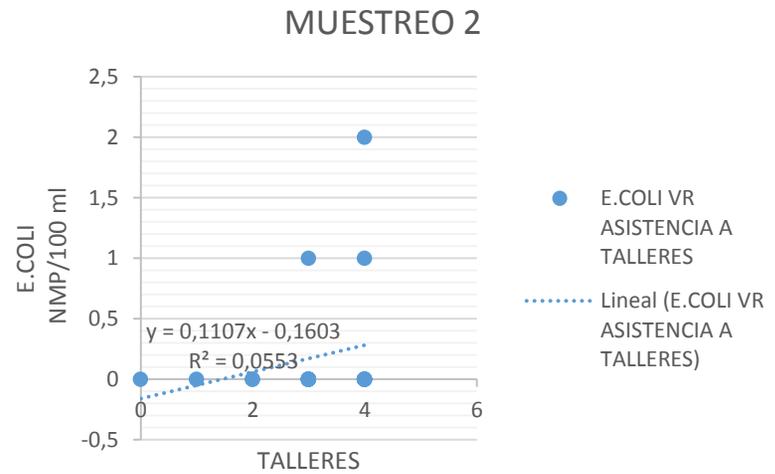
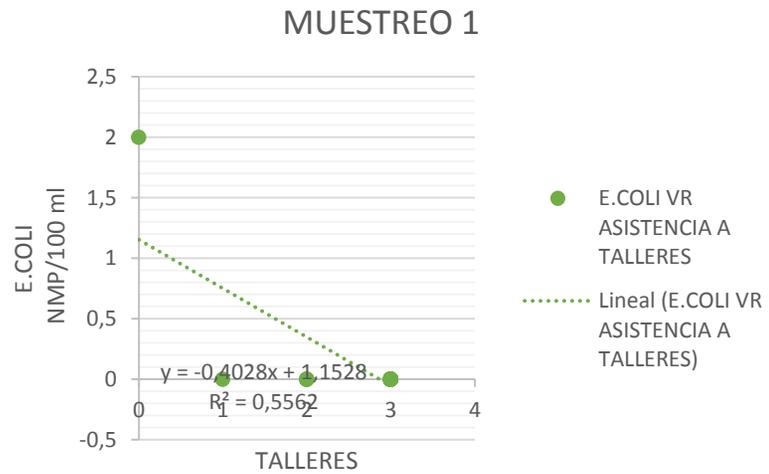
UBICACIÓN ADECUADA VR TURBIEDAD



ASISTENCIA A TALLERES VR COLIFORMES TOTALES

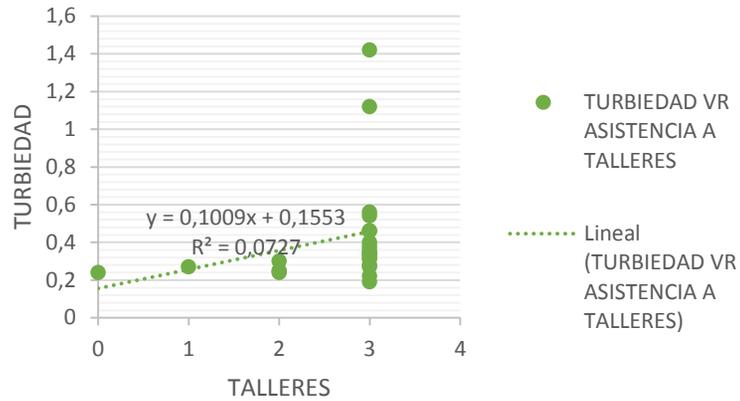


ASISTENCIA A TALLERES VR E.COLI

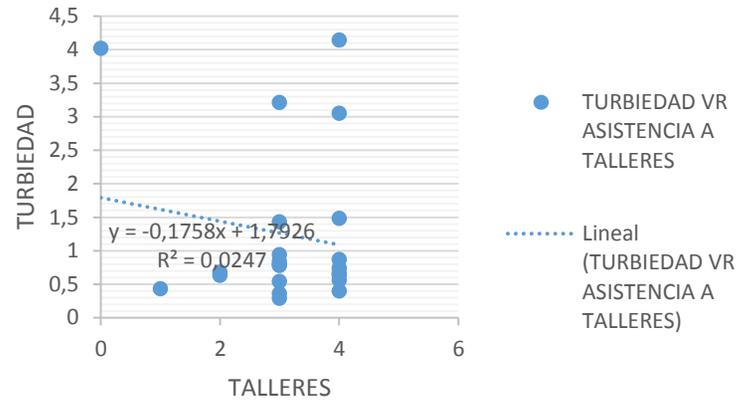


ASISTENCIA A TALLERES VR TURBIEDAD

MUESTREO 1

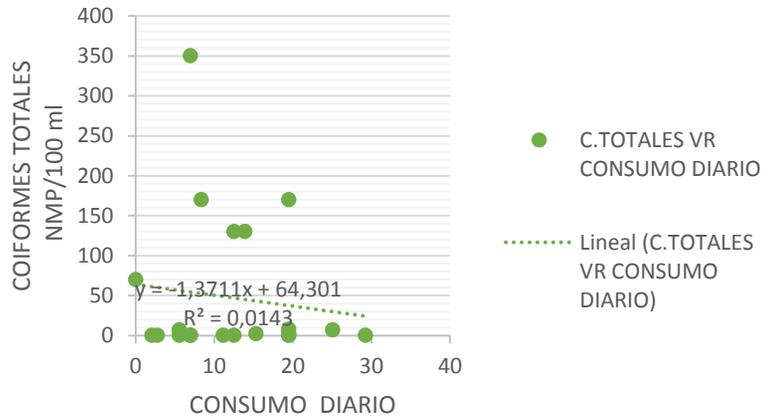


MUESTREO 2

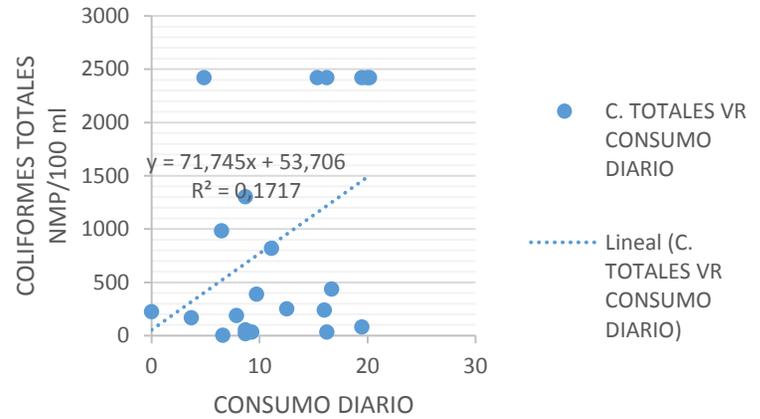


CONSUMO DIARIO VR COLIFORMES TOTALES

MUESTREO 1

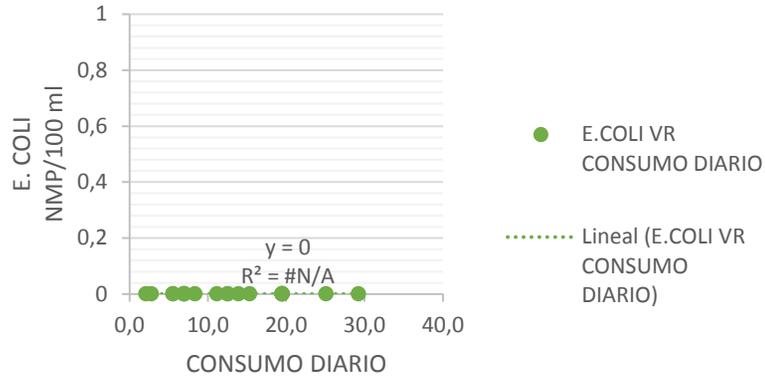


MUESTREO 2

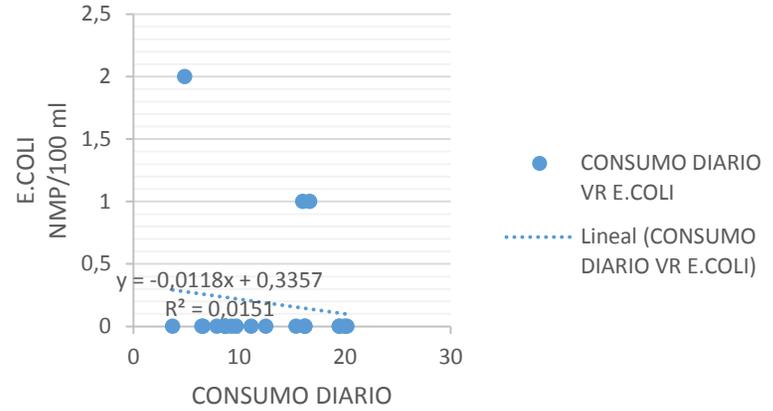


CONSUMO DIARIO VR E.COLI

MUESTREO 1

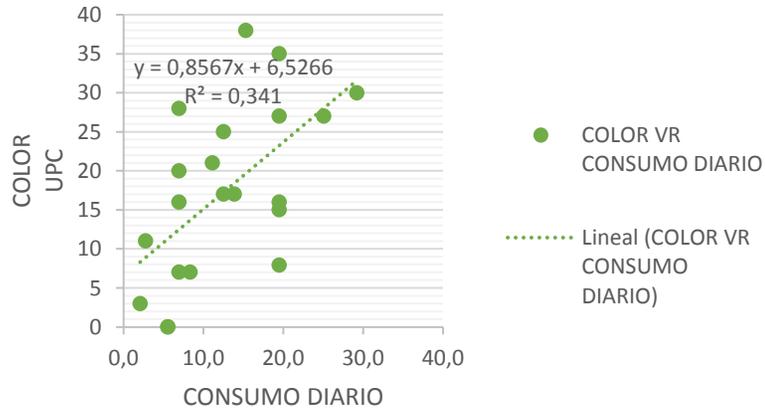


MUESTREO 2

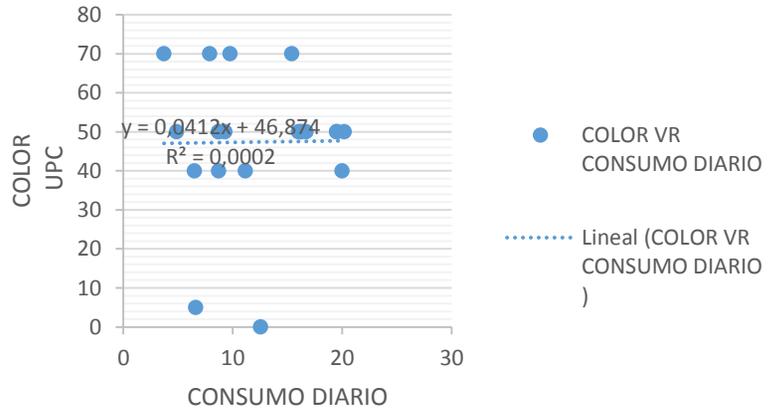


CONSUMO DIARIO VR COLOR

MUESTREO 1

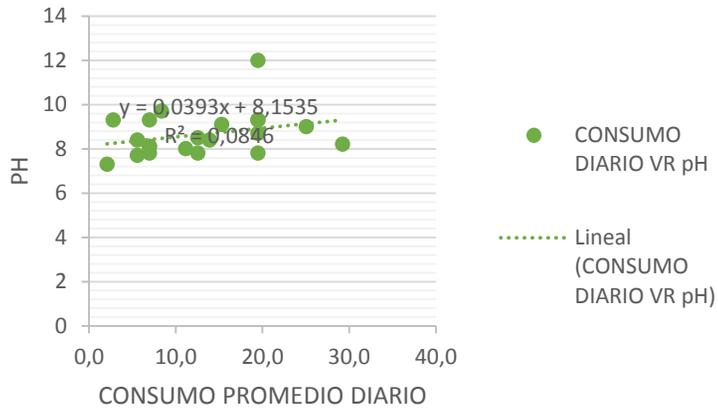


MUESTREO 2

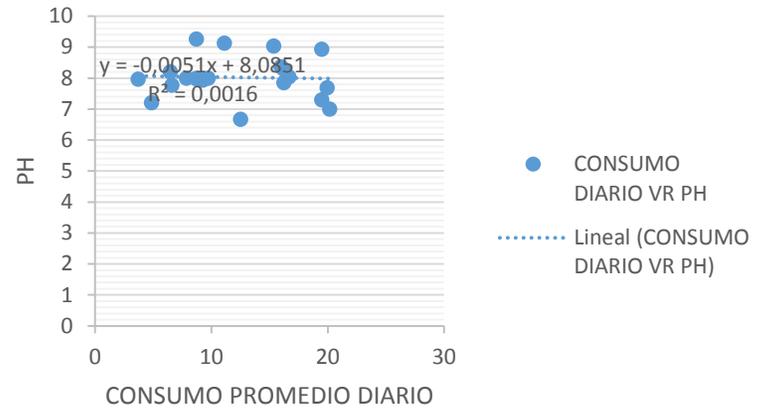


CONSUMO DIARIO VR pH

MUESTREO 1

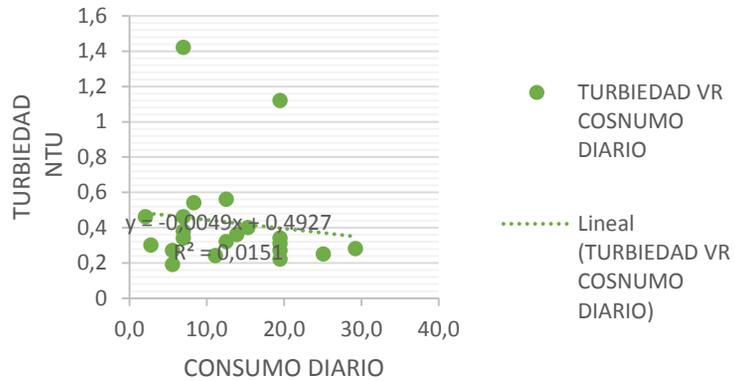


MUESTREO 2



CONSUMO DIARIO VR TURBIEDAD

MUESTREO 1



MUESTREO 2

