



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DISEÑO DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUAS PARA CONSUMO EN
LA COMUNIDAD LAS BALSAS (PARROQUIA SAN GREGORIO – CANTÓN
MUISNE)**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

Ing. Cristina Elizabeth Almeida Naranjo

Autor

Rene Sebastián Arboleda Tulcanaza

Año

2015

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Cristina Elizabeth Almeida Naranjo

Ingeniera Química

CI: 172023155-2

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Rene Sebastián Arboleda Tulcanaza

CI: 172171013-3

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por permitirme llegar hasta este momento, a mis padres Marcela y René por su Apoyo incondicional, a mi Tefa por ser fuerza y no dejarme caer en los momentos más difíciles, a la Ing. Cristina Almeida por su guía y su tiempo y a Toreto que ha sido un apoyo enorme en todo este proceso.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi madre por ser mi apoyo económico y espiritual, a mi padre por ser la mi fuente de confianza, a mi Tefa por ser mi fuerza y por ayudarme a creer en mí mismo, a mi hijo Martin por ser lo más hermoso que tengo mi motivación de seguir, a mi hermano David por ser el ángel de la familia y a todos quienes me apoyaron en este proceso.

RESUMEN

Ecuador es un país en el cual el uso de fuentes alternativas de agua no convencionales se produce de manera frecuente, especialmente en zonas o poblados alejados de fuentes de agua segura.

El presente trabajo de titulación se encontró encaminado a desarrollar y medir la efectividad de remoción de contaminantes de un biofiltro de agua para la comunidad Las Balsas de la Parroquia San Gregorio del Cantón Muisne, con la finalidad de obtener agua de calidad para los pobladores. El diseño se realizó analizando las mejores alternativas para la remoción de contaminantes del agua cruda, para de esta manera cumplir con valores máximos permisibles establecidos en normas de calidad del agua.

La recolección de muestras de agua se realizó en dos ocasiones, en la primera se tomó muestras de agua cruda del río Canuto y en la segunda el agua ya tratada por el sistema implementado en la comunidad. Adicionalmente se comparó el sistema de la comunidad con tres tipos de sistemas con el mismo principio pero con dos variantes: la primera fue la altura del lecho filtrante y la segunda el tiempo de retención del agua en el sistema.

Los resultados obtenidos en los parámetros físicos y químicos de calidad del agua cumplieron con los límites máximos permisibles de la norma INEN 1108 de agua potable, haciendo que los sistemas utilizados sean óptimos para lograr un tratamiento adecuado. Sin embargo los resultados obtenidos en el parámetro microbiológico de coliformes fecales no cumplieron con la norma, razón por la cual se recomienda complementar el tratamiento con cloración.

Con la elaboración de este proyecto se concluye que la implementación y uso de filtros de bio-arena son adecuados para reducir contaminantes orgánicos inorgánicos y biológicos de manera significativa, para ofrecer a personas de bajos recursos, agua de calidad.

ABSTRACT

Ecuador is a country where the use of alternative sources of non-conventional water occurs frequently, especially in areas or villages far away from sources of safe water.

The present study is meant to develop and measure the effectiveness of removing contaminants from a water filter for Las Balsas community, located in the parish of San Gregorio, Muisne; under controlled conditions in order to obtain data on pollutant removal and then identification of the best alternatives for appropriate treatment to comply with the maximum permissible values established by the national laws.

The data collection was performed on two occasions where samples of both raw water was taken untreated, such as water and treated water by the implanted in the community system further the community system with 3 types of similar systems but compared two variants: the first variant was the height of the filter bed and the second was the retention time of the water in the system.

The results obtained are placed within the maximum permissible limits of the reference standard INEN 1108, making the systems used are adequate for proper treatment, however there was a case in which it was not possible to comply, in the case of the microbiological parameter fecal coliform so it is necessary to supplement the treatment with chlorination to completely eliminate this parameter.

With the development of this project, it has been concluded that the implementation and use of bio-sand filters are suitable for reducing biological organic and inorganic contaminants significantly, in addition to providing the users grade water thus improving the quality of life for the people.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	DESARROLLO DEL TEMA	3
	CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	3
	1.1. Planteamiento del Problema.....	3
	1.2. Hipótesis de Investigación	4
	1.3. Alcance.....	4
	1.4. Justificación	4
	1.5. Objetivos	7
	1.5.1. Objetivo General	7
	1.5.2. Objetivos Específicos	7
	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
	2.1. Glosario	8
	2.2. Descripción del proyecto	8
	2.3. Situación actual del Ecuador	9
	2.4. Contaminación de agua en ríos de comunidades rurales .	10
	2.4.1. Análisis físicos, químicos y biológicos del agua de la zona	11
	2.4.2. Principales agentes contaminantes	11
	2.5. Tipos de tratamiento de aguas	12
	2.6. Uso de filtros para potabilizar agua en comunidades rurales	14
	2.6.1. Vialidad de aplicación del proyecto.....	15
	2.6.2. Proyectos aplicados en zonas similares.....	16
	2.7. Normativa nacional legal aplicable.....	16
	2.7.1. Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua ..	17
	2.7.2. Norma NTE INEN 1108: Agua Potable. Requisitos	17
	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	23

3.1.	Caracterización del área de estudio	23
3.1.1.	Localización.....	23
3.2.	Reconocimiento de la zona de influencia.....	24
3.2.1.	Área de influencia directa.....	24
3.2.2.	Área de influencia indirecta	24
3.3.	Selección de zonas para la toma de muestra.....	25
3.4.	Metodología utilizada para la toma y conservación de muestras.....	26
3.4.1.	Metodología para toma y conservación de muestras.....	26
3.4.2.	Transporte y etiquetado de las muestras	27
3.5.	Metodología de medición de parámetros físicos, químicos y biológicos	28
3.5.1.	Parámetros físicos.....	28
3.5.1.1.	Turbiedad.....	28
3.5.1.2.	Temperatura.....	28
3.5.1.3.	Olor y Sabor	28
3.5.1.4.	Color	29
3.5.1.5.	Potencial hidrógeno (pH)	29
3.5.2.	Parámetros químicos y biológicos.....	29
3.5.2.1.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	29
3.5.2.2.	Parámetros químicos inorgánicos	30
3.5.3.	Parámetros biológicos.....	30
3.6.	Metodología para diseño y operación del filtro	30
3.6.1.	Elección de arena filtrante.....	31
3.6.2.	Elección de grava fina y grava gruesa	32
3.6.3.	Contenedor y tubería.....	32
3.6.4.	Preparación de materiales	33
3.6.4.1.	Tamizado de arena filtrante.....	33
3.6.4.2.	Lavado de arena filtrante	34
3.6.4.3.	Lavado de grava fina y grava gruesa	34
3.6.4.4.	Construcción de la tubería.....	34
3.6.5.	Operación y funcionamiento del filtro	35

3.6.6. Diseño experimental	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y SUS ANÁLISIS	41
4.1. Concentración de contaminantes físicos-químicos en el río Canuto	41
4.1.1. Análisis físicos	41
4.1.2. Análisis químicos inorgánicos.....	43
4.1.3. Análisis microbiológicos.....	45
4.1.4. Análisis de Resultados.....	46
4.1.5. Análisis en matriz de combinación	61
CAPÍTULO V: ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO	79
6.1. Costo	79
6.2. Horas/Hombre	81
6.3. Beneficio.....	82
III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
Conclusiones	83
Recomendaciones	84
REFERENCIAS	86
ANEXOS	90

I. INTRODUCCIÓN

La “Declaración sobre la Calidad del Agua”, elaborada por la Organización de las Naciones Unidas – ONU (2010), indica que el agua dulce de calidad es fundamental para la supervivencia de todos los organismos vivos, el correcto funcionamiento de los ecosistemas, las comunidades y las economías. Sin embargo, según Castillo (2008, p. 19), la calidad del agua en el mundo es cada vez más vulnerada por actividades como el incremento de la población humana y la expansión de las actividades industriales y agrícolas.

Día a día, se disgregan millones de toneladas de aguas residuales no tratadas de forma inadecuada; de igual manera se vierten desechos de tipo industrial y agrícola a los cuerpos de agua en todo el mundo (UNESCO, 2014). De acuerdo a datos difundidos por la ONU (2010), cada año, ríos, deltas y lagos reciben grandes cantidades de contaminación “equivalente al peso de toda la población mundial (de cerca de 7.000 millones de personas)”; por lo que cada año muere parte de la población por causa de la ingesta de agua no apta para el consumo.

La falta de agua potable y saneamiento ocupa el tercer lugar en la lista de amenazas más graves para la salud de las personas que habitan en los países menos desarrollados. Esta causa tan solo se ubica después de la mala nutrición y las relaciones sexuales sin protección (Organización Mundial de la Salud – OMS, 2012).

Es así que la contaminación de las fuentes hídricas alrededor del mundo es cada vez mayor, conteniendo grandes cargas contaminantes que afectan tanto a la salud de las personas que no tienen acceso a agua de calidad, como a los ecosistemas que se desarrollan en torno a las fuentes hídricas.

La OMS, en su informe de “Guías para la Calidad del Agua Potable” (2006) indica que la mejora del acceso al agua potable puede aportar beneficios para la salud de sus consumidores; para ello es preciso realizar esfuerzos por lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible. Por lo que es de vital importancia proporcionar a las personas un suministro de agua de calidad

e inocuo para de esta manera garantizar el desarrollo humano, evitando enfermedades y cambios ambientales en zonas con aguas contaminadas.

Por lo antes mencionado, el diseño y evaluación de sistemas de tratamientos de aguas es vital para conseguir el objetivo antes mencionado. Para esto, es importante buscar alternativas de bajo costo de inversión, operación y mantenimiento (Comisión Nacional del Agua, 2013); principalmente, en pequeñas comunidades.

Es así que los diseños o mejora de sistemas de filtración y/o tratamiento de aguas crudas es una de las técnicas más aplicables para conseguir parámetros adecuados para el consumo, precautelando la salud de las personas y el equilibrio de los ecosistemas.

II. DESARROLLO DEL TEMA

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del Problema

En la provincia de Esmeraldas, cantón Muisne, se encuentra ubicada la parroquia de San Gregorio la misma que cuenta con 5915 habitantes (SIISE, 2010), mismos que se encuentran distribuidos en comunidades entre las cuales se encuentra la comunidad de “Las Balsas”, en esta comunidad habitan alrededor de 80 personas (GAD Parroquia San Gregorio, 2012). En el cantón San Gregorio se puede evidenciar que el 99.8% de la población no cuenta con servicios básicos, apenas el 1.6% recibe agua segura y el 1.4% recibe agua entubada por red pública (SIISE, 2010).

Según la información obtenida concluye que existe un déficit en la distribución de agua potable en la parroquia San Gregorio y obtener este recurso para las comunidades que aquí se asientan resulta ser un problema, por ejemplo en “Las Balsas” al no tener un sistema vial adecuado, es complicado tener acceso a agua potable por tanquero o alguna fuente externa a la comunidad.

Como resultado de la falta de servicio de agua potable, los pobladores de la comunidad se ven en la necesidad de adquirir este recurso del río más cercano a la comunidad.

Con el presente trabajo de titulación se verificará que mediante el uso de filtros para agua cruda se puede mejorar la calidad de la misma haciendo que esta cumpla con parámetros de agua potable y que sea apta para el consumo humano en la comunidad de “Las Balsas” del cantón Muisne.

1.2. Hipótesis de Investigación

El agua disponible en la comunidad “Las Balsas” (parroquia San Gregorio, cantón Muisne) no es apta para el consumo humano, por lo que se hace necesaria la implementación del tratamiento propuesto para obtener agua de calidad y con ello, contribuir al desarrollo de esta comunidad.

1.3. Alcance

Diseñar un sistema de filtración de agua cruda disponible en la comunidad “Las Balsas” ubicada en la parroquia San Gregorio, cantón Muisne a escala piloto con el propósito de proporcionar agua de calidad para el consumo de los habitantes de esta zona rural; y, con ello obtener datos de eficiencia y porcentajes de remoción efectiva de los agentes contaminantes, previamente identificados el caracterización de esta agua cruda, que logren los filtros a ser instalados. Además de determinar sí el agua resultante del proceso de filtración propuesto es apta para el consumo humano, en base a un análisis comparativo realizado con los parámetros estipulados por las normas de calidad de agua nacionales.

La concentración de contaminantes ha sido estudiada mediante la elaboración de muestreos de agua recolectada antes y después del tratamiento en la planta piloto para su caracterización y, de esta manera establecer si el diseño es factible para su posterior implementación en la comunidad.

1.4. Justificación

En función de la información recopilada por el Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador, para el año 2010 en el Ecuador la cobertura de distribución de agua entubada por red pública alcanzó el 72% a nivel nacional,

Para el año 2010 en el Ecuador la cobertura de distribución de agua entubada por red pública alcanza el 72% por lo que es necesario establecer medidas para implementar sistemas de potabilización de agua para todos los lugares en donde la distribución de agua segura y de calidad sea difícil. En el Ecuador el 37.23% de territorio es rural (SIISE, 2010), haciendo que la accesibilidad a agua potable para habitantes de estas zonas sea difícil, especialmente en comunidades alejadas en donde la carencia de vías de acceso y transporte limitan en gran medida la posibilidad de obtener este recurso para estos habitantes.

El siguiente trabajo de investigación es de importancia debido a que en el Ecuador el 21.86% de la población carece de accesibilidad de agua por red pública (INEC, 2010), todas estas personas obtienen este recurso por otros medios ya sean tanqueros, pozos, vertientes o ríos y otras formas, la mayoría de estas personas se encuentran asentadas en pequeñas comunidades que por diferentes factores no pueden obtener agua de calidad, lo cual sugiere que se tomen medidas para que la calidad del agua de consumo sea óptima y de esta manera se eviten enfermedades y posibles daños a ecosistemas relacionados con fuentes hídricas.

En referencia al número de personas con acceso a agua segura, el Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador - SIISE (2010), indica que la parroquia rural de San Gregorio presenta los valores resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Personas con acceso a agua segura en función al desglose territorial.

Provincia - Cantón - Parroquia	Porcentaje (n/N) *100	N° de personas n	Población Total N
Esmeraldas	58,7	313.364	533.670
Muisne	29,0	8.265	28.473
Bolívar	0,0	0	1.039
Daule	31,5	678	2.153
Galera	24,2	419	1.733
Muisne	37,8	3.356	8.880
Quingue	25,3	145	574
Salima	37,2	415	1.117
San Francisco	8,0	225	2.809
San Gregorio	1,6	97	5.914
San José de Chamanga	68,9	2.930	4.254

Tomado de: SIISE e INEC, 2010.

A) Se detalla el número de personas con acceso a agua segura de la provincia de Esmeraldas, cantones y parroquias.

Como se puede observar en la Tabla 1, la parroquia San Gregorio, en donde se asienta la comunidad rural Las Balsas; únicamente 97 personas tienen acceso a agua segura, de un total poblacional igual a 5.914 personas que habitan en dicho lugar. Esto significa que tan solo el 1.6% de la población que vive en esta parroquia tiene acceso a agua de calidad.

El impacto de este trabajo de titulación es de importancia relevante ya que en el Ecuador existen pequeñas comunidades que no cuentan con servicios básicos, y con la implementación de este tipo de tratamiento para obtener agua de consumo se podría lograr un importante desarrollo para estas comunidades.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de filtración para potabilizar el agua proveniente del río Canuto, de manera que sea apta para el consumo de los pobladores de la comunidad “Las Balsas”, parroquia San Gregorio del cantón Muisne.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización física, química y biológica del agua de consumo de la comunidad Las Balsas.
- Construir un filtro con medio de soporte adecuado para el tratamiento del agua cruda.
- Cuantificar los parámetros de remoción efectiva de agentes contaminantes con el sistema de tratamiento utilizado, contrastando con los resultados que el agua de consumo tiene actualmente.
- Analizar el análisis costo - beneficio del sistema propuesto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Glosario

- **Agua cruda:** agua proveniente de un cuerpo de agua natural la cual no ha recibido ningún tipo de tratamiento.
- **DBO:** demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro el cual es capaz de cuantificar la cantidad de materia que es degradada por medios biológicos que se encuentran en la muestra de agua a ser analizada.
- **DQO:** demanda química de oxígeno es un parámetro el cual es capaz de cuantificar la cantidad de materia que es degradada por medios químicos que se encuentran en la muestra de agua a ser analizado.
- **Biofilm:** biopelícula se conforma por uno o varios microorganismos los cuales se encuentran asociados a una superficie la misma que puede ser orgánica o inorgánica.
- **Grava:** piedras de tamaño pequeño resultantes de la fragmentación de rocas de gran tamaño.
- **Filtración:** proceso físico por el cual partículas de gran tamaño son removidas de cuerpos de agua.

2.2. Descripción del proyecto

El proyecto denominado “Diseño del sistema de filtración de aguas para consumo en la comunidad Las Balsas “Parroquia San Gregorio – Cantón Muisne” se refiere al diseño, medición e implementación de un sistema de filtración adecuado de agua cruda, con la finalidad de que esta tenga las características del agua potable según la norma INEN 1108 (Calidad de agua Potable).

El diseño ha sido realizado según el modelo propuesto por la Fundación Ecuatoriana de Tecnologías Apropriadas (FEDETA), el mismo que ha tomado el

modelo de proyectos similares ya implementados en otros países que han resultado tener una remoción efectiva de contaminantes del agua cruda.

La comunidad “Las Balsas” es una comunidad que no tiene acceso de agua potable, por lo que los habitantes deben utilizar el cuerpo de agua más cercano en este caso del río “Canuto”, un río secundario que provee a esta comunidad agua y alimentos como peces y crustáceos.

Se escogió la comunidad de “Las Balsas” para realizar el proyecto ya que tiene relaciones con FEDETA pues la fundación ya realizó un proyecto de obtención de luz eléctrica a partir de paneles solares.

Se planificó introducir alrededor de 12 filtros en las casas de los habitantes para que la comunidad se provea de agua de calidad. El diseño del filtro se fundamenta en modelos ya utilizados, denominado “filtros de bio-arena”, los mismos que utilizan arena obtenida de roca como medio de soporte de microorganismos encargados de degradar agentes contaminantes presentes en el agua cruda que es filtrada.

Después de haber diseñado el filtro se implementará en la comunidad Las Balsas para posteriormente realizar las mediciones de los contaminantes de acuerdo a la norma INEN 1108.

2.3. Situación actual del Ecuador

En el Ecuador el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos - INEC (2010), indica que el 21.86% de la población de Ecuador no recibe agua por tubería. La provisión de agua en el Ecuador se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tipo de provisión de agua en el Ecuador.

Tipo de Provisión	Población (%)
Red pública de Agua	67,49
Carros Repartidores	5,97
Ríos y Vertientes	12,15
Pozo	12,49
Otra Fuente	1,89

Tomado de: SIISE e INEC, 2010.

A) en la Tabla 2 se observa que aproximadamente el 30% de los ecuatorianos no tienen acceso a la red pública de distribución de agua potable y obtienen este recurso de otras fuentes, las mismas que podrían contener contaminantes perjudiciales para su salud.

2.4. Contaminación de agua en ríos de comunidades rurales

La principal problemática de las comunidades rurales del Ecuador es la calidad de agua por la falta de sistemas de tratamiento ya que no existen recursos necesarios sea por la carencia de vías de acceso o la falta de presupuesto por parte de los gobiernos seccionales, razón por la cual, los comuneros no pueden adquirir agua entubada, agua embotellada u otras fuentes de agua potable y ocasiona que se obtenga este recurso de ríos o pozos de agua.

La contaminación de ríos o aguas subterráneas depende mucho de las actividades que se llevan a cabo en la zona de influencia o río arriba, tanto por

las actividades de otros centros poblados o por zonas industriales dedicadas a la agricultura, explotación y procesamiento de hidrocarburos o productos mineros (Da Ros G., 1995, p. 26).

2.4.1. Análisis físicos, químicos y biológicos del agua de la zona

Se realizó dos visitas en las comunidad “Las Balsas”, la primera con la finalidad de reconocer el área y seleccionar los puntos de muestreo del agua cruda, y la segunda para tomar las muestras de los filtros ya instalados y medir la efectividad de remoción de contaminantes.

En ninguna de las actividades realizadas en la zona se utilizan plaguicidas, detergentes, solventes o derivados del petróleo. Además, el Canuto es un río por el cual no se puede navegar, por lo que el paso de lanchas, botes o balsas es imposible, razón por la que para esta muestra se descartó el análisis de contaminantes derivados de estas sustancias debido a que en la zona de estudio la actividad de mayor impacto es la extracción de madera y la siembra artesanal de alimentos.

Para determinar la presencia de sustancias inorgánicas se realizó un análisis cualitativo de la muestra utilizando marchas de separación analítica, las mismas se encuentran mencionadas en la norma INEN 1108.

2.4.2. Principales agentes contaminantes

Para poder analizar los principales agentes contaminantes primero se debe realizar un análisis de las principales actividades que se realizan en la zona de influencia. Este análisis se determina de acuerdo a las actividades económicas que se desarrollen en las comunidades, para este caso en particular las actividades llevadas a cabo en la comunidad de “Las Balsas”, como se mencionó en el apartado anterior, son la explotación de madera y el cultivos de

hortalizas y verduras, las dos actividades se realizan de manera artesanal, es decir que no se utilizan métodos industriales ni tampoco se aplican técnicas invasivas para el ambiente.

Según los análisis realizados al agua cruda los principales agentes contaminantes en el río Canuto son microorganismos (coliformes fecales y totales), debido a que la comunidad no cuenta con alcantarillado y los habitantes eliminan sus residuos orgánicos y corporales en dicha fuente. Esto sin duda genera en la zona un grado de contaminación biológica considerable.

Los coliformes son bacilos que pueden ser aerobios o anaerobios, existen varios tipos de bacilos que se consideran dentro de este grupo como coliformes totales y coliformes fecales.

Los coliformes totales son bacilos que se encuentran en el intestino del hombre y de animales aunque también se pueden encontrar en cuerpos de agua, suelo y en algunas plantas. Los coliformes totales se diferencian de los coliformes fecales porque estos últimos provienen de las heces fecales.

2.5. Tipos de tratamiento de aguas

Existen varios tipos de tratamientos para potabilizar el agua y se podrían clasificar de la manera siguiente: de acuerdo a los agentes que se desean remover del cuerpo de agua, parámetros de calidad del agua a los cuales se desea llegar y por último el grado de tratamiento que se le quiera dar al agua.

En base a lo antes mencionado se señalan los procesos unitarios para potabilizar agua en función de sus componentes:

Tabla 3: Tipo de operación unitaria según los agentes que se deseen remover del cuerpo de agua

Contaminante	Tipo de operación unitaria
Sólido grueso	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación, floculación, decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia orgánica	Adsorción con carbon activado
Patógenos	Desinfección
Metales	Precipitación por oxidación
Sólidos disueltos	Osmosis inversa

Adaptado de: American Water Works Association, 2002.

Así mismo para el agua superficial que es considerada para el consumo humano se toman en cuenta los parámetros de calidad y por lo tanto se consideran tres tipos de tratamientos:

Tratamiento A: Tratamiento físico simple y desinfección.

Tratamiento B: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.

Tratamiento C: Tratamiento físico y químico intensivo, adsorción y desinfección.

Estos tipos de tratamiento se realizarán en función de la calidad inicial que el agua superficial para consumo se encuentre y se debe tomar muy en cuenta el grado de tratamiento que se le quiera dar al agua, las operaciones antes mencionadas se pueden combinar de acuerdo a la necesidad que se requiera. (American Water Works Association, 2007).

2.6. Uso de filtros para potabilizar agua en comunidades rurales

En el Ecuador las zonas rurales alcanzan un 37.23% (SIISE, 2010), muchas de estas se encuentran en lugares alejados de centros poblados en donde la obtención de agua potable es difícil debido a la falta de vías de acceso y la carencia de transporte, por lo que habitantes de estas comunidades no consiguen obtener agua potable siendo necesario proponer alternativas para conseguir agua de calidad.

Según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos – INEC (2010), el 12.15% de la población obtiene agua de ríos y vertientes, esta situación es común en comunidades pequeñas por lo que se han desarrollado diferentes técnicas para poder obtener un recurso de calidad. Se han utilizado métodos variados, pero sin duda uno de los más utilizados en esta zona es la implementación de filtros ya que su construcción y mantenimiento es sencillo, no representa un alto costo y los materiales utilizados en estos sistemas son fáciles de encontrar. Estos sistemas son eficientes siempre y cuando su operación sea adecuada.

Como se mencionó anteriormente en la comunidad de Las Balsas se usó un filtro de bio-arena. La arena empleada en la construcción del biofiltro no es arena de río o de mar, sino arena de roca molida de 0,005mm de diámetro (diámetros menores se consideran como arcillas) para mantener la pureza de la arena. Estos filtros también conocidos como filtros lentos, donde el agua destinada a filtrarse atraviesa la arena creándose condiciones apropiadas para que se generen microorganismos los mismos que son capaces de consumir varios compuestos del agua como impurezas orgánicas, bacterias patógenas y compuestos nitrogenados; estos microorganismos se desarrollan principalmente en la superficie de la capa de arena, incluso hasta una profundidad de 2 o 3 cm formándose de esta manera un biofilm.

A más de colocar arena en el filtro, también se han colocado otros elementos como grava o material rocoso en dos medidas, la grava gruesa de un diámetro de 3 a 5 cm y grava fina de 1 y 3 cm de diámetro. La finalidad de la grava es

eliminar contaminantes provenientes de materia orgánica, esto es posible debido a que en los poros de las rocas que están en contacto con el agua se desarrollan microorganismos como protozoarios, bacterias, algas filamentosas y diatomeas, capaces de degradar contaminantes derivados de la materia orgánica. De esta forma se combinan estos métodos para poder obtener una mayor capacidad de remoción de contaminantes.

Finalmente, en la base del filtro se coloca un tubo de una pulgada con perforaciones para evitar que las partículas de grava o roca no se filtren y obstaculicen el paso del agua filtrada a la salida.

2.6.1. Vialidad de aplicación del proyecto

La aplicación de filtros de bio-arena en comunidades rurales en donde el acceso es complicado y la obtención de agua libre de agentes contaminantes no sea posible, es una opción de fácil instalación y económicamente asequible, ya que están constituidos por materiales como grava, arena, materiales plásticos y tubería sencilla. Las dimensiones de los contenedores son de 60 cm de diámetro por 90 cm de alto, haciendo que todo el sistema de filtración no sea muy grande y se pueda implementar en las viviendas de la comunidad.

La comunidad Las Balsas está localizada aproximadamente a 13 kilómetros de otra comunidad llamada "Tigrillo", la misma que se encuentra a 18 kilómetros de la carretera Pedernales - Muisne, esta es la última comunidad con la cual se puede acceder en vehículo si las condiciones climáticas son apropiadas, después de este lugar existen dos formas para llegar a las Balsas, la primera es caminando, y la segunda es alquilando burros de los comuneros; debido a que el material organizado y preparado fue calculado para diez filtros fue necesario alquilar doce burros para poder llevar todo el material.

Después de un viaje de tres horas y media aproximadamente desde Tigrillo se procedió a instalar los primeros filtros.

Es así que implementar filtros de bio-arena en comunidades rurales, en donde la obtención de agua apta para el consumo no es posible, es una opción viable, económica y que no representa gastos de instalación y el costo de mantenimiento es manejable.

2.6.2. Proyectos aplicados en zonas similares

El filtro de bio-arena no es nuevo debido a que su aplicación se remonta al siglo XVIII, en varios países especialmente en los países en vías de desarrollo como Nicaragua, El Salvador, Costa Rica y en nuestro país este tipo de proyectos ya se han aplicado, un ejemplo es el proyecto denominado “Agua Pura para Todos”, sector Rural y Urbano Marginal con el patrocinio de La república del Ecuador a través de su Plan emergente de acceso al agua pura, Agrogestión y la Organización Panamericana de la Salud que se aplicó por medio de la Secretaría de Pueblos en zonas marginales del Ecuador, el mismo se llevó a cabo en el año 2010 obteniendo resultados exitosos logrando eliminar el “90% de coliformes fecales, 99,9% de protozoarios y helmintos, entre el 50% y el 90% de compuestos tóxicos orgánicos e inorgánicos, 67% de hierro y de manganeso y la mayoría de los sedimentos suspendidos” (Ortiz F., 2010, p.3).

2.7. Normativa nacional legal aplicable

En el Ecuador la entidad responsable de cuidar, preservar y garantizar la calidad del agua es la Secretaria Nacional de Agua (SENAGUA), la misma que emitió la Ley de Aguas, la cual es mandatoria para todo el territorio ecuatoriano.

2.7.1. Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua

Quito (Pichincha).- El miércoles 06 de agosto de 2014, la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua entró en vigencia una vez que fue promulgada en el Registro Oficial No. 305.

En el texto, la nueva Ley del Estado garantiza el derecho humano al agua como el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura, entre otros aspectos.

También prohíbe toda clase de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente, por tanto, no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral, o empresa privada nacional o extranjera. Se gestión será exclusivamente pública o comunitaria.

En el texto, también se indica que no se reconoce ninguna forma de apropiación o de posesión individual o colectiva sobre el agua, cualquiera sea su estado, y se dispone su redistribución de manera equitativa, con lo que se combate de manera efectiva el acaparamiento en pocas manos (Secretaría Nacional del Agua del Ecuador, s.f.).

2.7.2. Norma NTE INEN 1108: Agua Potable. Requisitos

El Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN), en su norma publicada NTE INEN 1108, habla acerca de todos los requisitos que debe cumplir el agua para ser considerada como potable, la norma aplica a sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros, sin embargo para la aplicación de este proyecto se consideran los mismos parámetros aplicables, es decir que de acuerdo al análisis de la zona de influencia y de acuerdo a las actividades realizadas tanto en Las Balsas

como en comunidades vecinas se realizará el análisis de los contaminantes que se puedan presentar en el agua de la zona.

Los parámetros a ser analizados según la norma NTE INEN 1108 son los siguientes:

- **Características Físicas:** entre las características físicas e debe analizar especialmente turbidez, con la finalidad de determinan la cantidad de partículas en suspensión de la muestra de agua, color y olor no son objetables en la muestra.
- **Contaminantes Inorgánicos:** se realiza el análisis de los compuestos inorgánicos, su procedencia es muy diversa ya que son el resultado de procesos industriales, agrícolas, domésticos e incluso de interacciones químicas en los suelos como erosión o descomposición de otros contaminantes, es difícil determinar su origen y su contaminación sobre las aguas es muy diversa.

Así tenemos los siguientes contaminantes a ser analizados:

Tabla 4. Parámetros físicos e inorgánicos.

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual ^{**}	mg/l	0,3 a 1,5 ^{††}
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α ^{**}	Bq/l	0,1
Radiación total β ^{***}	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

^{††} Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.
^{**} Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁸Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu
^{***} Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra

Tomado de: (INEN, s.f.) <http://www.la.esource.org>

- Contaminantes Orgánicos:** Los contaminantes orgánicos se producen principalmente en procesos industriales en donde se utiliza como materia prima el petróleo o carbón y sus derivados, en el agua cruda de Las Balsas no se realiza el análisis de hidrocarburos poli cíclicos aromáticos (HAPS) debido a que en la zona no se realizan actividades relacionadas con la combustión de petróleo o consumo de carbón, tampoco se utilizan medios de transporte motorizados por lo que no es posible la contaminación con HAPS.

Tabla 5. Sustancias orgánicas.

Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP		
Benzo [a]pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Ntrilotriacético	mg/l	0,2

Tomado de: (INEN, s.f.) <http://www.la.esource.org>

- **Plaguicidas:** en la comunidad se realizan actividades agrícolas, pero se las hace de manera artesanal a pequeña escala, únicamente para consumo propio o para intercambio con otros productos alimenticios en comunidades vecinas, en esta actividad no se utilizan plaguicidas debido a que no es necesario el control de plagas, además la adquisición de productos para el control de plagas es limitada debido al costo económico que representa por lo que es innecesario el análisis de plaguicidas en el agua.
- **Residuos de Desinfectantes:** en Las Balsas no se aplican técnicas de desinfección o limpieza que incurran en el uso de compuestos clorados o derivados del cloro, no se considera la monoclaramina un parámetro a ser analizado, la única práctica de desinfección utilizada en la comunidad es la de hervir los alimentos al momento de cocinarlos.

Tabla 6. Plaguicidas y residuos de desinfectantes.

Plaguicidas		
	UNIDAD	Límite máximo permitido
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropano	mg/l	0,02
Dimetcato	mg/l	0,006
Endrín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002

Residuos de desinfectantes		
	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monoclaramina,	mg/l	3

Tomado de: (INEN, s.f.) <http://www.la.esource.org>

- **Cianotoxinas:** las cianotoxinas son consideradas las toxinas más importantes de los cuerpos de agua, y la microcistina LR, una hepatotoxina de toxicidad muy elevada es la más frecuentemente si se encuentra la eutrofización de los ambientes acuáticos (Perez, Soraci y Tapia, 2008, p. 48).

En Las Balsas la toma de agua se la realiza de un cuerpo de agua en movimiento (río Canuto), por lo que es difícil que se genere un proceso de eutrofización de las aguas. Para que exista eutrofización deben existir abundantes nutrientes inorgánicos (nitrógeno y fósforo), y según análisis cualitativo por marcha analítica de separación realizado en el agua no existe presencia de compuestos inorgánicos, por lo que se asume que no hay presencia de cianotoxinas.

Por observación se puede determinar que no existe un proceso de eutrofización debido a que no hay gran cantidad de algas.

Tabla 7. Cianotoxinas.

Cianotoxinas		
	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

Tomado de: (INEN, s.f.) <http://www.la.esource.org>.

- **Contaminantes Microbiológicos:** se realiza el análisis de coliformes fecales, presencia de E. Coli. debido a que en la comunidad las personas suelen bañarse en el río debido a la falta de duchas y no poseen un sistema de alcantarillado por lo que sus necesidades la realizan en letrinas o baños con tubería direccionados al río, no se realizó en análisis de giardia y cryptosporidium debido a exigencia de la norma de la muestra debe ser de 100 litros.

Tabla 8. Requisitos microbiológicos.

Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales ⁽¹⁾ : - Tubos múltiples NMP/100 ml ó - Filtración por membrana UFC/ 100 ml	< 1,1 [*] < 1 ^{**}
<i>Cryptosporidium</i> , número de coquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros	Ausencia
[*] < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo ^{**} < 1 significa que no se observan colonias ⁽¹⁾ ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

Tomado de: (INEN, s.f.) <http://www.la.esource.org>

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Caracterización del área de estudio

3.1.1. Localización

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en la comunidad Las Balsas, perteneciente a la provincia de Esmeraldas, cantón Muisne, parroquia San Gregorio; ubicada aproximadamente a 30 kilómetros del centro urbano de la ciudad de Muisne (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia “San Gregorio”; s.f.).



Figura 1. Ubicación geográfica Comunidad “Las Balsas”, parroquia San Gregorio.

Tomado de: GAD Parroquial San Gregorio, 2014.

3.2. Reconocimiento de la zona de influencia

La comunidad de Las Balsas ocupa un área de 9500 m² aproximadamente; se localiza dentro de la reserva Mache-Chindul; es la comunidad más alejada dentro de la parroquia de San Gregorio. La comunidad más cercana a Las Balsas es Balzalito la misma que se encuentra a 24 kilómetros de distancia río abajo.

Para poder identificar la zona de influencia en la comunidad Las Balsas es necesario realizar un análisis de las actividades como son la siembra de cacao y hortalizas de manera artesanal, las mismas que se realizan tanto en las comunidades cercanas como dentro de la comunidad (área de influencia indirecta y directa, respectivamente), y como estas actividades generan impactos tanto en los componentes bióticos y abióticos del río Canuto.

En la comunidad viven 21 familias con un total de 70 personas (Gobierno Autónomo de San Gregorio, 2012).

3.2.1. Área de influencia directa

Para definir el área de influencia directa se tomó en cuenta las actividades realizadas en el cauce del río Canuto dentro de la comunidad, como el aseo de las personas y el uso del agua para lavar ropa y utensilios de cocina. Estas acciones se realizan en una zona alejada de la toma de agua para consumo, por lo que se consideró que estas actividades no causan un impacto significativo en la misma.

3.2.2. Área de influencia indirecta

Se considera como influencia indirecta a las actividades de explotación de leña y siembra de cacao, para que los habitantes de la comunidad puedan explotar

madera se adentran en el bosque aproximadamente 9 km, esta actividad no se considera de riesgo para el río Canuto debido a que el nivel de explotación de madera es artesanal. Además, dentro y fuera de la zona de influencia directa se cultiva cacao de forma orgánica, por lo que no se utilizan pesticidas o fertilizantes que pudieran alterar la calidad del agua del río.

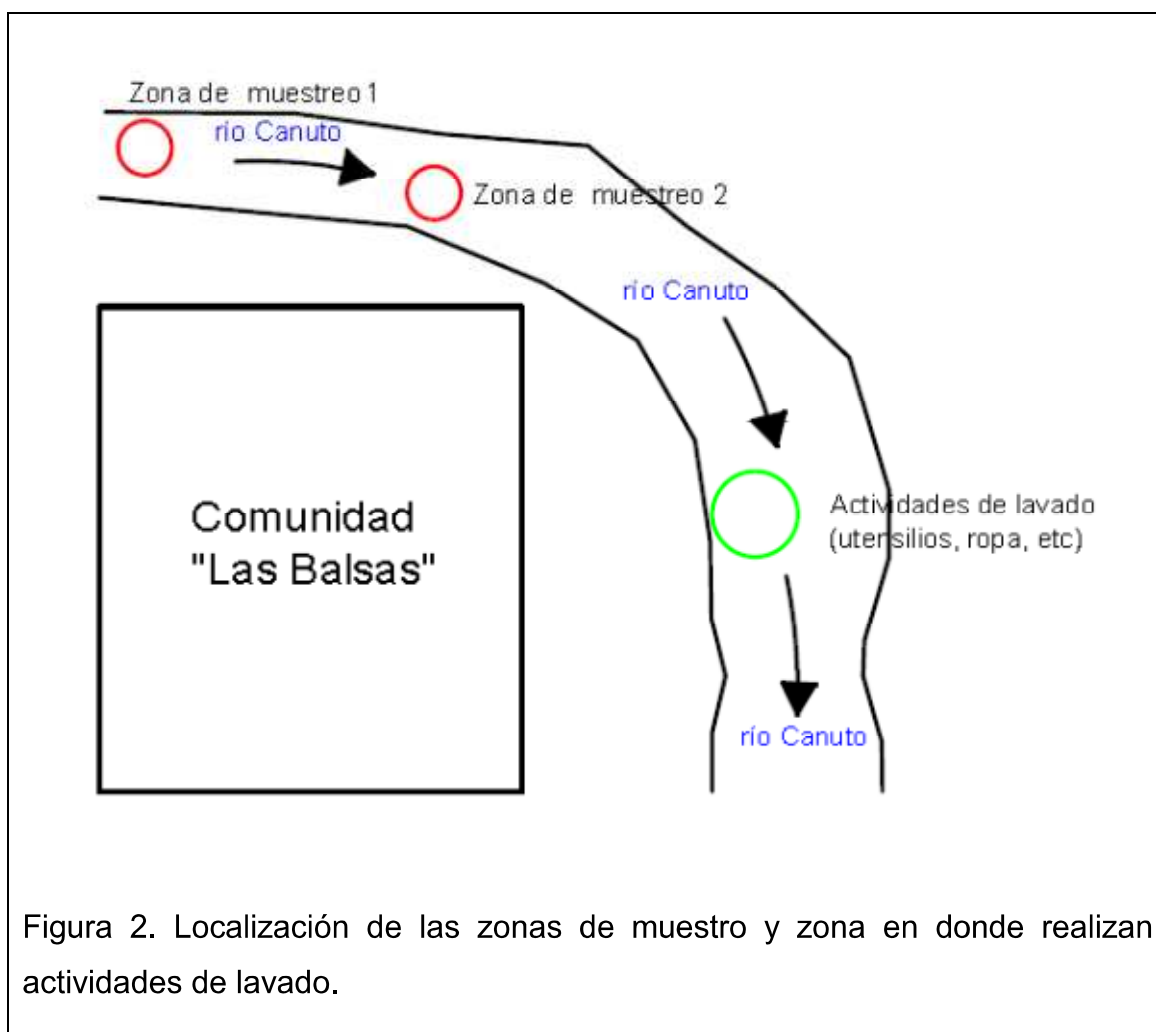


Figura 2. Localización de las zonas de muestreo y zona en donde realizan actividades de lavado.

3.3. Selección de zonas para la toma de muestra

Después que se realizó un recorrido por la comunidad se identificó dos puntos principales para la toma de muestras ubicados en la zona donde la comunidad recoge agua para consumo y de esta manera obtener datos reales del agua

que ingieren los habitantes de la comunidad que permitan el diseño adecuado del biofiltro.

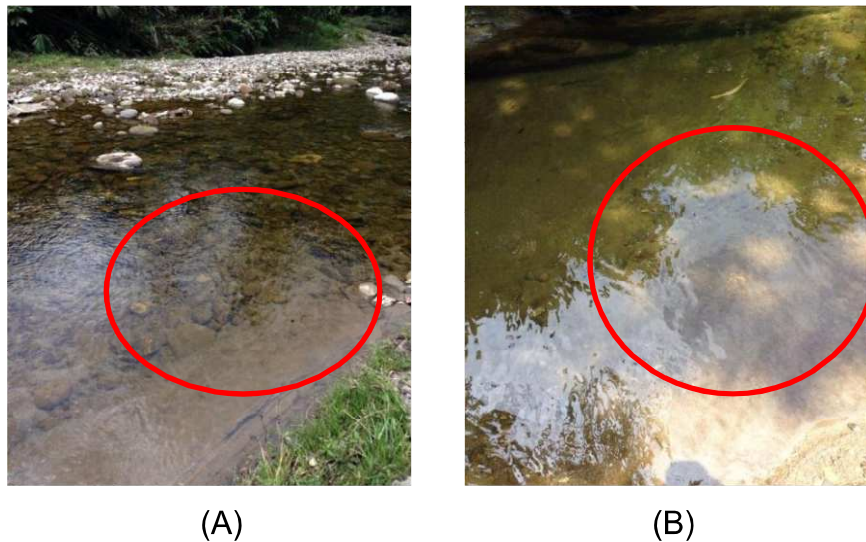


Figura 3. Zonas para la toma de muestras.

A) tanto la fotografía (A) como la fotografía (B) son los puntos donde los habitantes de la comunidad recogen el agua para su consumo, por esta razón estas son las dos zonas escogidas para realizar la toma de muestras.

3.4. Metodología utilizada para la toma y conservación de muestras

Para realizar los análisis químicos y biológicos in situ se utilizó la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:98 referente al muestreo, manejo y conservación de muestras en la calidad del agua, para de esta manera conseguir una muestra representativa que conserve sus propiedades físicas, químicas y biológicas hasta realizar el análisis en laboratorio.

3.4.1. Metodología para toma y conservación de muestras

Para la toma de muestras se realizó el procedimiento según el literal 4.3. (llenado de recipientes) de la norma INEN 2169, la misma que indica que para

muestras en donde se realicen análisis químicos y físicos se debe llenar totalmente el envase sin dejar espacios de aire al interior para evitar interacción de la fase gaseosa y agitación en el transporte. Para parámetros microbiológicos el envase no se llenó completamente de tal modo que exista una capa de aire en el interior del envase, para que al momento de realizar el análisis no exista contaminación accidental de la muestra. La toma de muestra se realizó en envase de polipropileno debido a que este material es resistente a la esterilización a temperaturas cercanas a 175^o C según indica la norma INEN 2169 en el punto 4.2.3.

Se utilizó como alternativa la refrigeración y el congelamiento de las muestras según el capítulo 4.4 de la norma INEN 2169 que recomienda se mantengan estas condiciones para transporte de las muestras, exceptuando las muestras para el análisis microbiológico.

La toma de muestra para análisis de DBO y DQO se realizó en envases de color ámbar.

3.4.2. Transporte y etiquetado de las muestras

Ya que se utilizó el método de refrigeración de las muestras fue necesario transportar las muestras en una caja térmica de espuma flex de tal manera que permita que las muestras se mantengan en temperaturas no mayores a 5°C y evite que las muestras tengan contacto con la luz solar, el etiquetado se lo realizó con marcador permanente en cada uno de los envases tomado en cuenta fecha, hora y zona en la que se recolecto la muestra.

3.5. Metodología de medición de parámetros físicos, químicos y biológicos

3.5.1. Parámetros físicos

3.5.1.1. Turbiedad

Para determinar la turbiedad se utilizó un turbidímetro marca LaMotte, modelo 2020we/wi con un rango de entre 0-4000 NTU/FNU y con un rango de error de ± 0.05 NTU, este turbidímetro utiliza la norma EPA 180.1 estándar, para poder realizar la medición se calibró el equipo con la solución estándar, se colocó la muestra aprox. 5 ml. en la celda y finalmente se realizó la lectura de los datos obtenidos, cabe mencionar que para este parámetro se realizó dos réplicas para obtener datos con mayor certeza.

3.5.1.2. Temperatura

Se determinó la temperatura con un termómetro digital previamente calibrado a temperatura ambiente, el termómetro posee un rango de error de ± 0.05 °C, para medir la temperatura se tomó 20 ml de muestra del agua del río Canuto y se realizó la medición in situ.

3.5.1.3. Olor y Sabor

Estos parámetros son objetables, aunque se encuentran mencionados en la norma INEN 1108 no se menciona un rango para medir estas características, sin embargo según la apreciación del investigador, el olor y el sabor del agua son muy parecidos a los del agua que se consume en la ciudad de Quito.

3.5.1.4. Color

Para analizar el color se utilizó el método que compara el color que produce 1 mg/L de platino en forma cloroplatinado con la muestra. Este análisis se lo realizó en un laboratorio calificado por la Organización de Acreditación Ecuatoriana (OAE).

3.5.1.5. Potencial hidrógeno (pH)

Para medir el pH de la muestra se usó un pH-metro digital marca Global Instruments con un rango de 1 a 14 y un margen de error de ± 0.5 . Para medir el pH se obtuvo 20 ml de muestra del agua del río Canuto, se realizó la medición in situ y finalmente se registró la lectura, se tomaron dos mediciones de cada punto para obtener datos más acertados.

3.5.2. Parámetros químicos y biológicos

3.5.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se realizó el análisis de DBO₅ en botellas OxiTop las mismas que usan los métodos DIN EN 1899-1 medición de DBO por dilución, método oficial de la EPA. Para lo cual se tomó 3000 ml. De muestra del cuerpo de agua, luego se transportó la muestra hasta el laboratorio de la UDLA, después se lavaron las botellas OxiTop y se introdujeron los agitadores en las botellas, luego de lo cual se colocó 432ml de muestra en las botellas OxiTop y se colocaron dos pellets de hidróxido de sodio, después se calibraron las botellas OxiTop y se introdujo las botellas en la estufa por 5 días a 34°C y finalmente se registraron las mediciones diarias.

3.5.2.2. Parámetros químicos inorgánicos

Según la norma INEN 1108 se deben analizar los parámetros inorgánicos indicados en la Tabla 2 del Capítulo 1, para poder determinar presencia de estos contaminantes se usó el análisis cualitativo por marcha analítica de separación tal como lo indica Vogel (1991, pp. 29-35), y puede determinar la presencia del contaminante hasta en un rango de 0.001 mg/L. para analizar los parámetros se tomó 5 ml de muestra, luego se añadió 5 gotas de reactivo específico para cada contaminante y por tratarse de un método cualitativo se observó la presencia o ausencia de precipitado.

3.5.3. Parámetros biológicos

Se realizó el análisis de coliformes totales y E. Coli, con placas 3M petrifilm las mismas que utilizan el método AOAC-RI certificado No. 030601, el mismo que es avalado como un método oficial de análisis para el recuento de E. Coli y Coliformes.

Para la cuantificación de coliformes se colocó el petrifilm en la estufa a 35°C por 24 horas y para el recuento de E. Coli se colocó el petrifilm en la estufa por 48 horas a 35°C.

Los análisis de Giardia y Cryptosporidium no se realizaron debido a que la norma exige ausencia de estos microorganismos en una muestra de 100 litros lo cual es imposible para el análisis por la dificultad de transportar tal cantidad de agua para ser analizada.

3.6. Metodología para diseño y operación del filtro

El filtro principalmente se compone de arena molida de roca con la finalidad de que la arena no contenga contaminantes biológicos, grava de dos granulometrías diferentes las cuales realizan la función de sostén de la arena, un contenedor con forma de cono truncado de 90 cm de altura y de 30 cm de

diámetro mayor y 23 cm de diámetro menor, un metro de tubería de PVC, tres codos para tubería, dos topes de tubería, un difusor de agua y una tapa para el filtro, todos estos elementos cumplen con funciones específicas para el correcto funcionamiento del filtro.

Para que los microorganismos de la arena filtrante se desarrollen hasta la fase estacionaria deben recibir nutrientes de una fuente de agua, para esto el filtro de arena siempre debe estar lleno de agua. El nivel del agua estará por encima del lecho filtrante y puede ser de 4 a 6 cm, pero la altura ideal es de 5 cm, y la profundidad es la suficiente para que exista una difusión de aire adecuada. (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology – CAWST, 2009, p. 7).

3.6.1. Elección de arena filtrante

Se realizaron varias pruebas de arena de diez canteras diferentes con la finalidad de escoger la arena con la menor cantidad de arcilla, se separaron los diferentes tipos de arena en el laboratorio y se procedió a pasar la arena por los diferentes tamices según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Tamizado en los diferentes tipos de arena.

Muestra	Tipos de Tamiz					
	Peso seco de arena (gr)	Tamiz No. 8 (gr)	Tamiz No. 16 (gr)	Tamiz No. 35 (gr)	Tamiz No. 50 (gr)	Tamiz No. 200 (gr)
Edimpa gruesa	115.7	54.5	17.1	13.2	7.5	12.1
Edimpa Fina	121.2	6.7	15.4	28.6	20.3	30.7
Fucusuco III mediana	117.6	61.1	17.5	16.6	6.2	6.6
Edimpa Super gruesa	122.4	0.7	51.8	33.4	11.5	11.3
Marin	101.3	2	12	26.9	22.7	31.3
Santo Domingo	106.5	7.4	5.2	16.4	31.8	43.4
Fucusuco III gris	115.5	12.5	23.4	26.8	13.5	22.6
Marin polvo	111.6	31.4	21.7	25.7	12.3	15.5
Fucusuco III rosada	114.6	15.6	18.9	26.7	15.7	23.5

A) Todo aquel material que logre pasar el tamiz No. 200 (0.075mm) es desechado debido a que se considera arcilla. b. Se pasa la arena seca por los 5 tamices y se pesa después de cada tamizado con la finalidad de identificar la granulometría y la distribución de la arena filtrante.

3.6.2. Elección de grava fina y grava gruesa

La grava también se consideró como material filtrante, este producto fue el resultado de la disgregación de roca con la finalidad de que en las porosidades de la grava fina y gruesa se asienten los microorganismos que se generan en el lecho de arena, se escogió la grava de dos medidas diferentes, la primera de granulometría menor a 12 mm y mayor a 6 mm a la cual se denomina grava gruesa, y la segunda granulometría menor a 6mm y mayor a 0.7mm a la que se denomina grava fina.







3.6.3. Contenedor y tubería

El contenedor principal es de plástico, de 95 cm de altura y 30 cm de diámetro en la parte superior y un diámetro de 23 cm en la base, posee un caudal de aproximadamente 0.4 litros por minuto, la tubería es de PVC de ¼" de diámetro interno y de 3/8" de diámetro externo, se necesita por cada filtro aproximadamente un metro de tubo PVC y tres codos plásticos para tubería los mismos que se unen en tres puntos con la ayuda de teflón, en la parte superior del contenedor es necesario la implementación de una tapa con la finalidad de evitar que alguna partícula, insecto o animal contamine el sistema.

En la parte superior del contenedor se colocó un difusor (lavacaras perforadas) con la finalidad de que el choque del agua con la arena sea mínimo y no deforme la estructura de la misma.

Los materiales, sus cantidades y medidas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 10. Descripción de materiales para la construcción del filtro.

No.	Material	Descripción	Medidas	Fotografía
1	Tapa del contenedor	Plástico rígido	30 cm de diámetro	
2	Difusor	Lavacara de plástico perforado	30 cm de diámetro	
3	Tubería	Tubería de PVC	1 metro de tubería de PVC de 1/4" de diámetro interno y de 3/8" de diámetro externo	
4	Codos de tubería	3 codos de tubería de PVC	Codos para tubería de 3/8" de diámetro externo	
5	Topes para tubería	2 topes para tubería	2 topes para tubería de 3/8" de diámetro externo	
6	Teflón	Teflón blanco para sellar tubería	1 metro de teflón aprox.	

3.6.4. Preparación de materiales

3.6.4.1. Tamizado de arena filtrante

Para eliminar la arcilla de la arena se procedió a tamizarla previamente escogida con un tamiz No. 200 (0.075 mm), este tamiz es lo suficientemente pequeño para separar todas aquellas partículas que se pueden considerar

como arcilla, debido a que el comportamiento de este material en contacto con el agua dificulta su infiltración en el sistema.

3.6.4.2. Lavado de arena filtrante

El lavado es muy importante debido a que en este proceso se eliminan aquellas partículas que no se pudieron separar en el proceso de tamizado, se lavó varias veces debido a que las partículas inferiores a 0.075 mm se pueden acumular y tapan la salida del agua filtrada. Posteriormente, se colocó sobre sacos de yute dejándola secar al sol, este proceso es importante especialmente si se sospecha que la arena pueda estar biológicamente contaminada ya que la radiación solar UV ayudará a la desinfección de la arena. (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology – CAWST, 2009, p. 26). La arena seca se empaquetó en sacos de yute y se conservó bajo techo hasta colocarla en los filtros, todo este proceso se lo realizó en las instalaciones de la UDLA.

3.6.4.3. Lavado de grava fina y grava gruesa

Este proceso es importante ya que al ser un material derivado de roca puede tener algún tipo de contaminación, que con el lavado se elimina. El proceso es similar al lavado de la arena, después de lavada tanto la grava fina como la gruesa se debe secar al sol y empaquetar y mantener el material en un lugar seco y fresco hasta ser utilizado.

3.6.4.4. Construcción de la tubería

Se realizó una abertura en la parte inferior del contenedor la misma que fue conectada con la tubería, para que la unión sea hermética se colocó dos topes

plásticos dentro y fuera de la abertura. Posteriormente a los topos se coloca un tubo de 15 cm y a este se emparejó un codo. Al codo se conectó la tubería de 70 cm de longitud, al final de esta se conectó un nuevo codo y a este 10 cm de tubería, finalmente se coloca un codo al final de la tubería, tal como se muestra en la Figura 4:

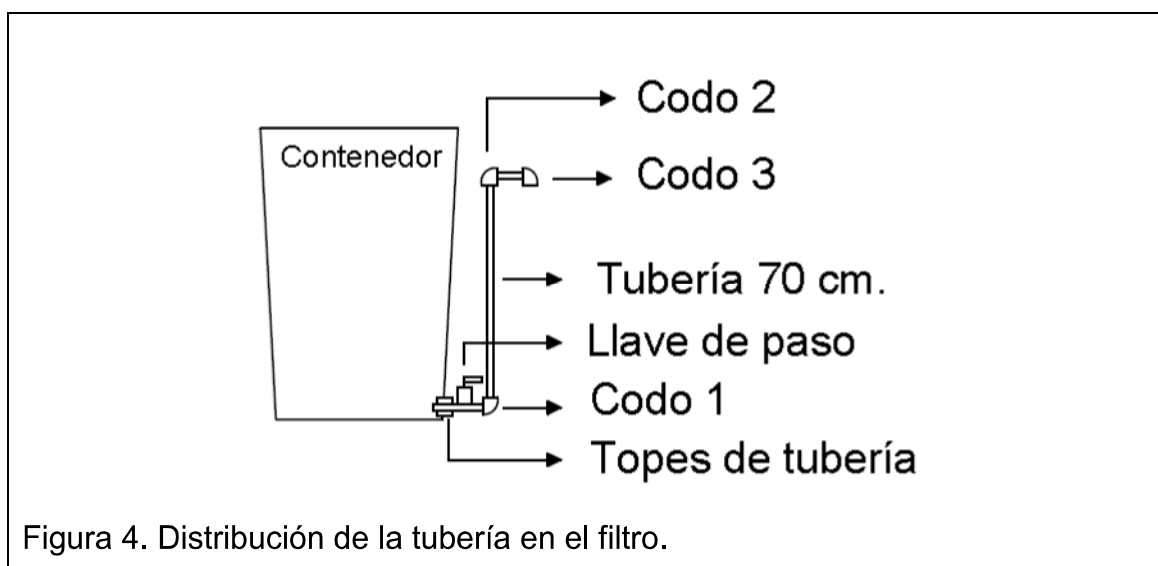


Figura 4. Distribución de la tubería en el filtro.

Para garantizar que no existan fugas en cada conexión de los tubos se utilizó teflón o pegamento para tubería.

3.6.5. Operación y funcionamiento del filtro

El biofiltro es un filtro lento debido a que el agua a ser tratada debe pasar por una capa de arena que se considera el lecho filtrante debido a que aquí es en donde los microorganismos se desarrollan para poder degradar los contaminantes, una vez que el agua entra en el sistema debe atravesar el arena filtrante para de ahí continuar con la grava fina y grava gruesa respectivamente, el principal funcionamiento de la grava fina y gruesa es la de brindar soporte a la arena para que en cada descarga de agua el arena no se filtre por la tubería de salida y de esta manera que tapone la salida de agua, el filtro siempre debe estar con agua siendo así que el nivel del agua debe estar

5cm por encima de la capa de arena, este proceso es manual por lo que el control se lo debe hacer cada vez que se coloque el agua en el filtro, esto ayuda a que los microorganismos no mueran y se sigan desarrollando para que puedan asimilar los nutrientes que en este caso son los contaminantes, la capa de arena no se debe deformar por esa razón se usa un difusor de agua que permite que el agua entre al sistema por goteo y de esta manera la arena no reciba el golpe de agua directo, finalmente se coloca una tapa para evitar que el sistema sea contaminado por insectos o animales. El filtro es vertical por lo que atraviesa el filtro de arena con la fuerza de la gravedad y por esta razón la salida del agua tratada se encuentra en la parte inferior del filtro en donde se coloca una llave de paso para evitar fugas de agua, tal como se muestra en la figura 5.

El filtro es versátil debido a que se lo puede trasladar de acuerdo a la necesidad de las personas, no es un filtro estático lo cual facilita en gran medida su uso, pero siempre se debe tomar en cuenta que al momento de trasladar el filtro la arena filtrante no sufra deformaciones ya que podría afectar el desarrollo microbiológico y por lo mismo se podría afectar la eficiencia del filtro haciendo que este degrade menos contaminantes.

El filtro tiene aproximadamente una vida útil dependiendo del uso de alrededor de 6 meses (CAWST, 2009), este proceso de saturación ocurre principalmente debido a que las porosidades de la arena se llenan por completo y el agua ya no es filtrada, esto ocasiona que los microorganismos mueran debido a la falta de alimento y que el agua de salida ya no cumple con las condiciones deseadas, un indicador de que esto está pasando es el caudal de salida, la salida de agua va a ser mucho menor a lo que era en un principio, esto es un indicador de que la arena en el filtro debe ser removida y remplazada.

Para poder verificar la eficiencia del filtro se consideró dos variables dependientes, el tiempo de retención del agua en el filtro y la altura de la capa de arena filtrante en el sistema. Las alturas de la capa de arena fueron 70, 60 y 50 cm y los tiempos de retención analizados: 48, 72 y 96 horas. La capa de

grava fina y gruesa se mantiene en 5 cm cada una, obteniendo tres filtros como se muestra en la Figura 5:

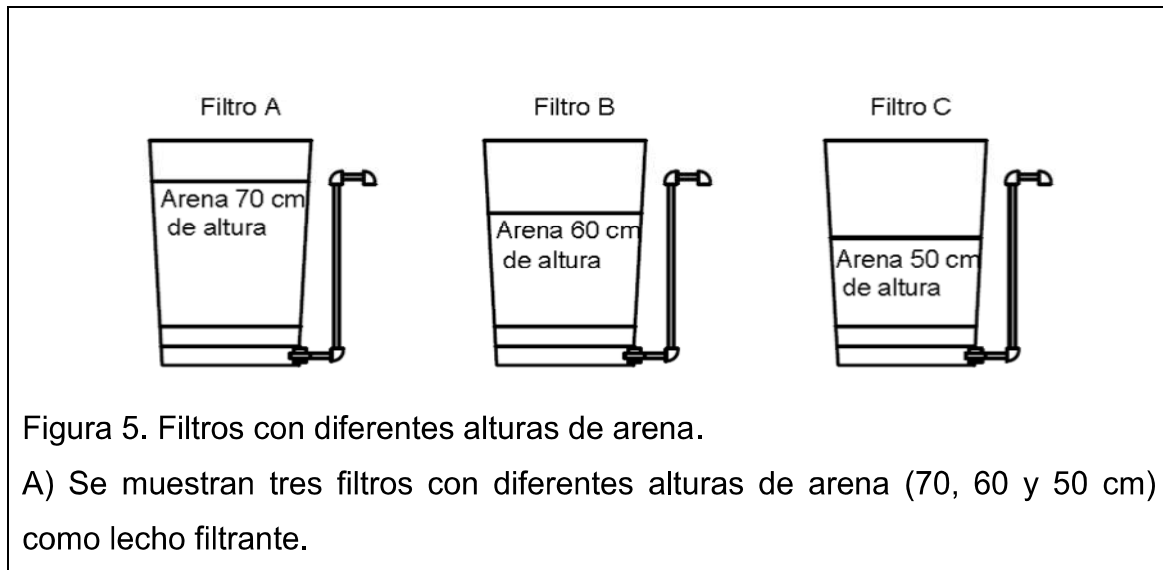


Figura 5. Filtros con diferentes alturas de arena.

A) Se muestran tres filtros con diferentes alturas de arena (70, 60 y 50 cm) como lecho filtrante.

La finalidad de colocar diferentes alturas de arena en los filtros es la de alcanzar un caudal de salida óptimo de 0.4 L/min (CAWST, 2009, p.27) y una remoción de agentes contaminantes.

Los 3 filtros se instalaron en una casa con la finalidad de que las condiciones sean similares, se utilizó agua de la zona de estudio para que los resultados fueran lo mayormente cercanos a la realidad, los 3 filtros tuvieron un tiempo de maduración de 30 días para que los microorganismos puedan llegar a la etapa de equilibrio y obtener de esta manera mayor remoción de agentes contaminantes, se llenaron los 3 filtros hasta 5 cm por encima del lecho filtrante y después del tiempo de maduración se empezó a tomar el tiempo para poder recoger las muestras, la primera muestra a las 48 horas, la segunda muestra a las 72 horas y la tercera muestra a las 96 horas, cabe mencionar que las muestras fueron tomadas de los 3 filtros al mismo momento y fueron enviadas a un laboratorio certificado para los respectivos análisis.

Los parámetros analizados fueron: sólidos totales (Standard Methods 2540 B), plomo (Standard Methods 3030 B), níquel (Standard Methods 3030 B), bario (Standard Methods 3030 B), cadmio (Standard Methods 3030 B) y cromo

(Standard Methods 3030 B). El análisis se realizó en un laboratorio calificado según norma la ISO/IEC 17025:2005 y certificado por el OAE.

Para poder determinar el caudal de salida de agua se utilizará la ecuación (1)

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

Q= caudal.

V= volumen (para medir el volumen se utilizó un recipiente graduado de 1 litro de capacidad, probeta).

t = tiempo (para medir el tiempo se utilizó un cronómetro).

Para determinar del tiempo de retención es importante conocer que el tiempo óptimo para utilizar el filtro es entre 1 y 48 horas ya que este intervalo permite que los microorganismos consuman los contaminantes que se encuentran en el agua (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology – CAWST, 2009, p. 7).

Se utilizaron tres tiempos de retención en el filtro: 48, 72 y 96 horas con la finalidad de determinar qué tiempo de retención es el más adecuado en función de la remoción de agentes contaminantes.

Tanto para las alturas del lecho filtrante como para los tiempos de retención se establecieron variables que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 11: Análisis de parámetros con tres alturas del lecho filtrante y tres tiempos de retención

Altura del lecho filtrante réplica tiempo de retención: horas									
Altura (cm)	Caudal (L/min)	Sólidos Totales (mg/l)	DBO5 prom .	Plomo (mg/l)	Niquel (mg/l)	Bario (mg/l)	Cadmio (mg/l)	Cromo (mg/l)	Coliformes Fecales (filtración por membrana)
70 cm	X1	Y1	Z1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
60 cm	X2	Y2	Z2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
50 cm	X3	Y3	Z3	A3	B3	C3	D3	E3	F3

A) En función de la altura del lecho filtrante (arena) y el tiempo de retención del agua a filtrar se determinarían caudales así como también cantidades de remoción de contaminantes con la finalidad de determinar que altura del lecho filtrante es necesaria para obtener un caudal y una remoción de contaminantes adecuados.

Para el análisis de cada parámetro se realizó dos réplicas por cada parámetro a analizar, con la finalidad de obtener mayor cantidad de datos que garanticen la confiabilidad de la investigación.

3.6.6. Diseño experimental

Para el presente análisis se ha elaborado un diseño factorial, 3^2 con el fin de estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas (Gutiérrez y De La Vara Salazar, 2008, p. 128), dado que se cuenta con el mismo interés sobre todos los factores de estudio considerados en esta investigación.

Al proponer un diseño factorial 3^2 , se han considerado 9 tratamientos posibles en función de las variables de estudio escogidas: altura del lecho filtrante (A) y tiempo de retención (B); de manera, que se tienen 2 factores, cada uno con 3 niveles.

Para cumplir con el análisis del diseño empleado, se han planteado dos hipótesis a comprobar:

Ho: Efecto interacción de los factores A y B sobre las variables de respuesta = 0

HA: Efecto interacción de los factores A y B sobre las variables de respuesta \neq 0

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y SUS ANÁLISIS

4.1. Concentración de contaminantes físicos-químicos en el río Canuto

4.1.1. Análisis físicos

La primera visita se realizó para identificar el área de influencia, reconocer las actividades principales de la comunidad y tomar las primeras muestras para el análisis del agua del río Canuto con la finalidad de conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua; después de haber analizado las primeras muestras se obtuvo los siguientes resultados:

Como se puede observar en la Figura 7, la medida de color en la primera muestra tomada en comparación con el límite máximo permisible establecido en la norma INEN 1108 Agua Potable. Requisitos, es la misma llegando al valor de 15 unidades de color aparente según análisis en el laboratorio, además el valor de turbidez para el agua aún no tratada de Las Balsas es de 3.56 NTU, CON UN 28,8% por debajo del límite máximo permisible establecido en la norma INEN 1108, que es un valor máximo de 5 NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2014), el agua para consumo humano no debe superar las 5 NTU de turbidez, y tendrá un nivel óptimo por debajo de 1 NTU; lo que sustenta que los resultados obtenidos en el análisis son adecuados para que el agua pueda ser de consumo humano.

El filtro debe pasar por un proceso de “maduración” que puede durar hasta 30 días (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology – CAWST, 2009, p. 58), en este tiempo los microorganismos crecen y se multiplican hasta llegar a un punto de equilibrio, después de este tiempo si los microorganismos no consumen su “alimento” que en este caso son las sustancias contaminantes del agua, empiezan a morir, el crecimiento bacteriano se muestra en la siguiente figura:

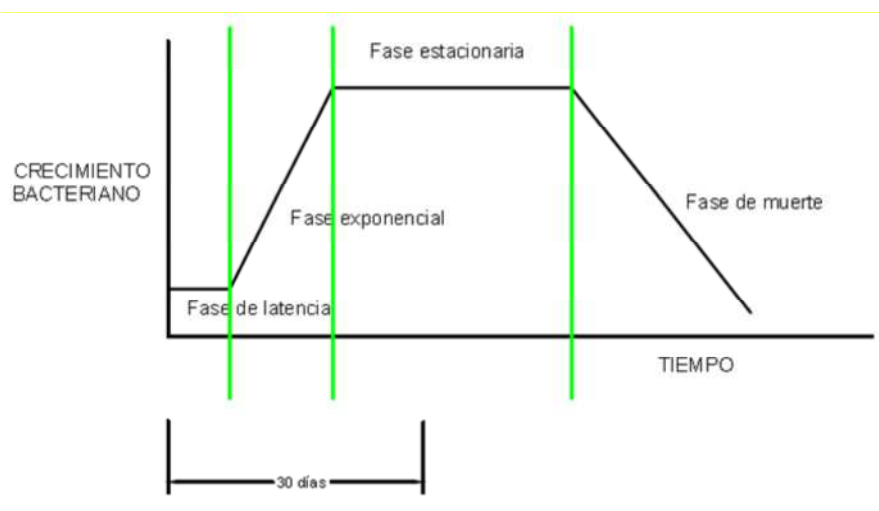


Figura 6. Crecimiento bacteriano para filtro de bioarena.

Adaptado de: (Prescott, Harley y Klein, 2004 p. 3)

A) el crecimiento bacteriano para los filtros de arena hasta llegar a una fase estacionaria adecuada dura alrededor de 30 días, por lo que en este tiempo el filtro no se utiliza.

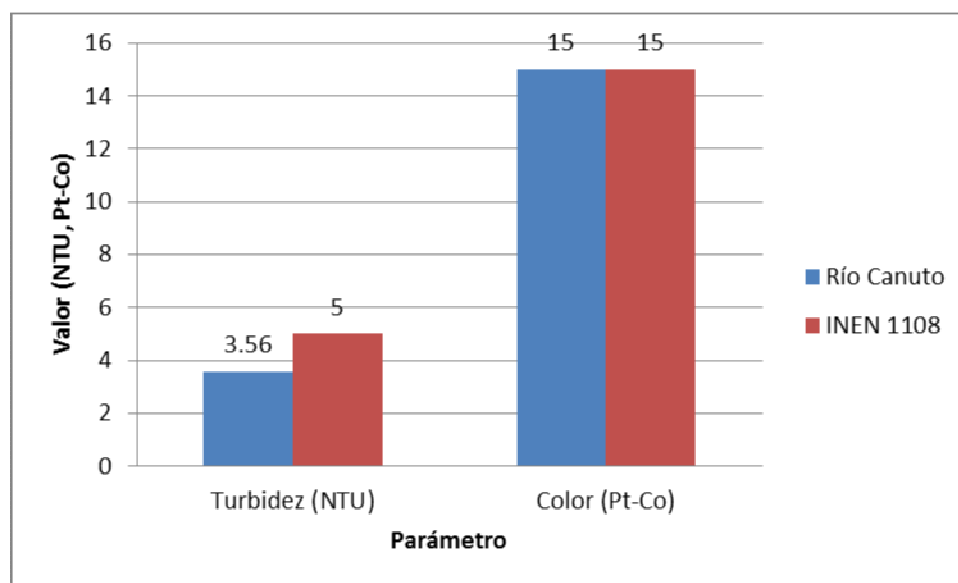


Figura 7: Comparación de los parámetros de turbidez y color entre muestra del río Canuto y norma NTE INEN 1108 Agua Potable.

4.1.2. Análisis químicos inorgánicos

Como resultado al análisis cualitativo por marcha analítica de separación de las muestras tomadas en la primera visita a Las Balsas se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 12 este análisis se realizó en el Laboratorio de Química Analítica de la Escuela Politécnica Nacional con la ayuda de la Ing. Cristina Almeida y la colaboración de personal docente de la Institución, cabe mencionar que el límite de detección es de 10^{-6} mg/l, parámetro suficiente para establecer si existe o no presencia del contaminante, de este método aplicado se obtuvieron los siguientes resultados:

Como se puede observar en la Tabla 12 no existe ningún compuesto químico inorgánico en el agua del río Canuto o su concentración es inferior a 10^{-6} mg/l, por lo que se cumple con la norma INEN 1108. Como lo indica Vogel (1991, pp. 29-35), toda reacción de reconocimiento de un elemento o compuesto utilizando reactivos específicos da origen a un cambio perceptible (cambio de color, formación de vapores o precipitados) en presencia de dicha

sustancia en concentraciones iguales o superiores a 10^{-6} mg/l, en ausencia de la sustancia no se producirá ningún cambio. Esto último fue lo que sucedió con las muestras de agua y esto es por la ausencia de los contaminantes debido a que como se mencionó anteriormente, en la zona no se cuenta con aporte de contaminantes al agua por parte de industrias o actividades propias de la comunidad o comunidades cercanas.

Tabla 12. Resultados de primera visita, análisis químico – inorgánicos.

ANÁLISIS QUÍMICOS INORGÁNICOS		
PARÁMETRO	COMPUESTO DE REACCIÓN	RESULTADO
Mercurio +1	Ácido Clorhídrico HCl	Sin Presencia
*Plata		
Plomo		
Mercurio +2	Sulfuro de Amonio S(NH ₄) ₂	Sin Presencia
*Bismuto		
Cobre		
Cadmio		
Arsénico		
Antimonio		
Plomo		
Niquel	Hidróxido de Sodio Na(OH)	Sin Presencia
*Zinc		
*Cobalto		
*Hierro		
Manganeso		
*Magnesio		
*Aluminio		
Cromo +3 +6		
*Estroncio	Carbonato de Sodio Na ₂ CO ₃	Sin Presencia
Bario		
*Calcio		
*Litio		
Cianuros	Nitrato de Plata AgNO ₃	Sin Presencia
*Cloruros		
Fluoruros		

*Compuestos no indicados en la norma INEN 1108 Agua Potable.

4.1.3. Análisis microbiológicos

Los resultados del análisis microbiológico empleando el método AOAC-RI certificado No. 030601, se muestran en la Figura 8:

Las figuras (A) y (B) corresponden al análisis de Coliformes Fecales, como se puede observar existen colonias que se han formado en las placas 3M Petrifilm.

Las figuras (C) y (D) corresponden al análisis de E. Coli, se observa que también existen colonias formadas en las placas petrifilm.

Como se puede observar en la figura existe presencia tanto de coliformes fecales como de E.Coli.

El recuento de Coliformes en la figura (A) es de 34 colonias, mientras que en la figura (B) el recuento es de 19 colonias; así mismo para la figura (C) el recuento de E. Coli llega a 9 colonias, mientras que en la figura (D) el recuento es de apenas 3 colonias,

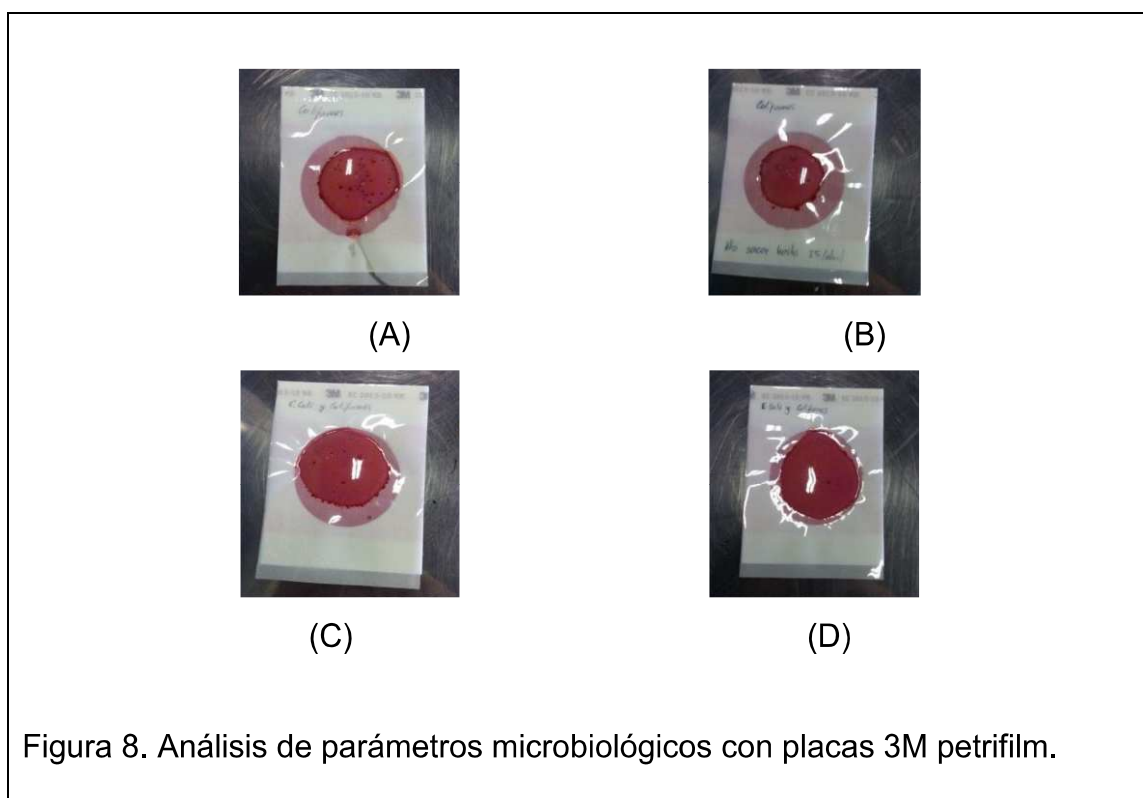


Figura 8. Análisis de parámetros microbiológicos con placas 3M petrifilm.

4.1.4. Análisis de Resultados

La segunda visita se la realizó un mes después de que los filtros propuestos por FEDETA se instalaron en la comunidad. En esta visita se tomaron varias muestras de agua ya tratada, esta vez se realizaron los análisis en el laboratorio Labsu calificado por la OAE según norma ISO/IEC 17025:2005.

Las muestras de la primera visita muestran que la mayoría de parámetros se encuentran dentro de los límites de la norma INEN 1108 según los análisis cualitativos de marcha analítica, y con la finalidad de obtener datos cuantitativos se analizarán los siguientes parámetros en laboratorio: caudal, sólidos totales, DBO₅, plomo, níquel, bario, cadmio, cromo y parámetros microbiológicos, y de esta manera identificar de manera cuantitativa cual es la remoción de cada parámetro a analizar.

Se realizó el estudio de los compuestos inorgánicos debido a que en los primeros análisis cualitativos por marcha analítica de separación no existió presencia o su concentración fue tan baja que no se pudo determinar mediante esta técnica. A pesar de que no se puede establecer un porcentaje de remoción de los contaminantes por lo mencionado anteriormente, sí se puede realizar una comparación en la remoción de contaminantes en cada uno de los filtros.

El caudal indica el tiempo de residencia necesario para que el agua permanezca el tiempo necesario en el filtro para que los microorganismos degraden los agentes contaminantes, por lo que se realizó el cálculo de caudal ya que como CAWST (2009, p. 27) indica el caudal óptimo es de 0.4 l/min.

A continuación se muestran las concentraciones de los nueve parámetros analizados en los tiempos de retención de 48, 72 y 96 horas y con las alturas de los lechos filtrantes los mismos que corresponden a 70, 60 y 50 cm de altura del lecho.

Como se puede observar en la Figura 8, el filtro con 70 cm de altura de lecho filtrante y con tiempo de retención de 96 horas es el que menos concentración

en mg/l de plomo contiene, llegando a una concentración entre 9 y 85% de eficiencia en remoción plomo en comparación de la norma, una concentración muy por debajo de las mediciones de los otros filtros. En comparación con el límite máximo permisible para el plomo según la norma INEN 1108 se muestra un valor de 0.01mg/l, en este caso todos los filtros cumplen con la norma, pero esto debido a que en las muestra tomadas inicialmente del agua sin filtrar del río Canuto no existió presencia de este contaminante por el método de marcha analítica de separación lo cual indica que la presencia de este contaminante es muy escaso, según como la Organización Mundial de la Salud-OMS (2009), lo indica, el plomo resulta ser un contaminante importante en sistemas acuáticos por lo que concentraciones del contaminante mayores a 0.05 mg/l puede causar daños irreparables a la salud de las personas, es por esto que el plomo es un factor importante a ser analizado en cuerpos de agua debido al alto riesgo que representa.

La baja presencia de este compuesto en el agua sugiere que hay contaminación de este compuesto de manera muy mínima en la zona de estudio, el aporte más significativo de este tipo de compuestos en río se da por la contaminación de industrias metalúrgicas (Solórzano, 2008) por lo que se presume que en el área de influencia no existe industrias que generen este tipo de aportes.

Además en el sistema se produce dos fenómenos importantes que son filtración y degradación (R. Brunet, C. Reina, t. Bretcha, J. Om; 2012), el primero debido a que al ser la arena un material con diámetro variable, las partículas de plomo quedan atrapadas en los espacios entre la arena o lecho filtrante, el segundo fenómeno es debido a la degradación que los microorganismos generan a los componentes contaminantes que existen en el agua, y si se dan las condiciones apropiadas los microorganismos degradan los compuestos.

En el caso del plomo se puede indicar que el proceso que se llevó dentro del filtro es el de filtración debido a que el plomo es un metal pesado difícil de

degradar debido a su estructura, en este caso los microorganismos lo que hacen es bioacumular este tipo de compuestos.

La arena es un material considerado como no adsorbente ya que presenta mínima adsorción (R. Vidal, P Serrano, C. Orosco; 2000), en realidad las partículas quedan retenidas entre sus porosidades haciendo que el sistema logre adsorber iones metálicos suspendidas en el agua.

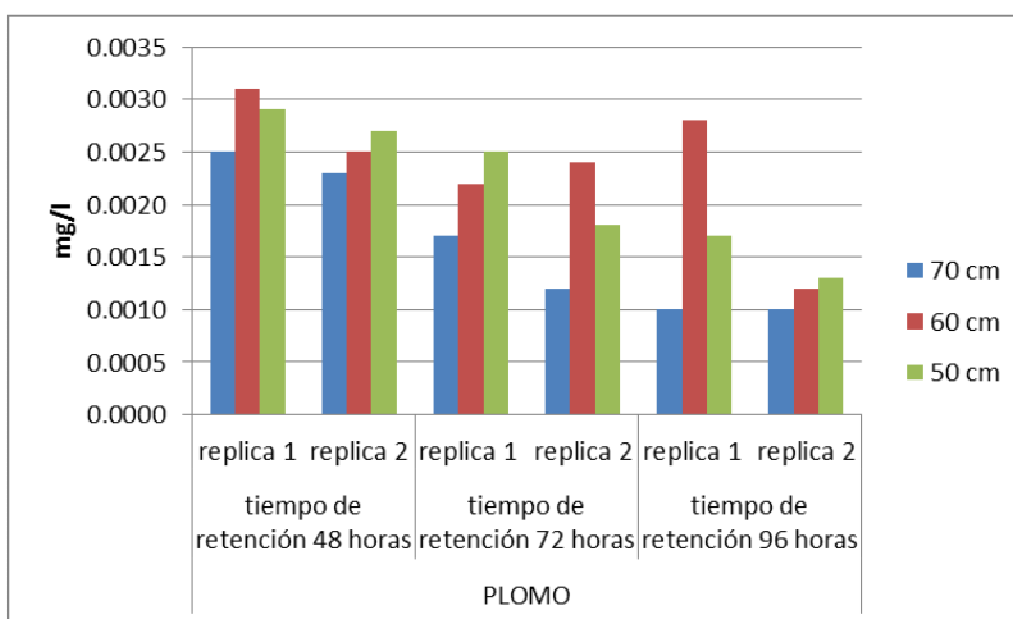


Figura 9. Comparación de concentración de plomo entre los tres filtros con diferentes alturas del lecho filtrante y tres tiempos de retención, medido en mg/L.

Se puede observar en la Figura 10 que las menores concentraciones de níquel se encuentran en el filtro con tiempo de retención de 96 horas y con una altura del lecho filtrante de 70 cm obteniendo un valor de 0.001 mg/l de concentración de níquel, la norma INEN 1108 establece para este compuesto una concentración máxima permitida de 0.07 mg/l por lo que se cumple con la normativa establecida.

Se puede observar que los valores en las réplicas 1 y 2 del filtro con tiempo de retención de 96 horas son los valores más altos en la concentración para el filtro con altura del lecho filtrante de 50 cm, según Thomas L. (2003) indica que los biofiltros puede experimentar fallos o carencia de efectividad en bioacumulación de contaminantes debido a una carencia del desarrollo microbiológico, es por esta razón que puede ocurrir mayor bioacumulación de níquel en el filtro con tiempo de retención de 72 horas ya que probablemente el desarrollo microbiológico es mayor que en el filtro con tiempo de retención de 96 horas y de esta forma tener mayor capacidad para bioacumular el níquel, el proceso llevado a cabo en el filtro para el caso del níquel es el de sintetización según lo indicado por CAWST (2009), sin embargo el desarrollo microbiano se ve afectado por algún motivo no controlado en el sistema haciendo que la asimilación sea menor en el filtro con 96 horas horas de retención.

Es esencial que el filtro tenga un desarrollo microbiano óptimo para la descomposición de contaminantes ya que se puede presentar lo ocurrido en la Figura 9. Que en el mayor tiempo de retención la degradación del contaminante sea menor, esto puede afectar de manera considerable la efectividad del filtro y para determinar la causa en este caso específico se debería realizar un estudio más minucioso para determinar la causa.

En el filtro de 50 cm de altura del lecho filtrante con 96 horas de tiempo de retención pudo haber experimentado un proceso de saturación del filtro según lo indicado por L. Donoso (2006), debido a que el níquel es un compuesto suspendido en el agua el lecho de arena y grava retiene las partículas por adsorción haciendo que se taponen los poros conformados en el lecho y haciendo que el compuesto no sea retenido por la arena.

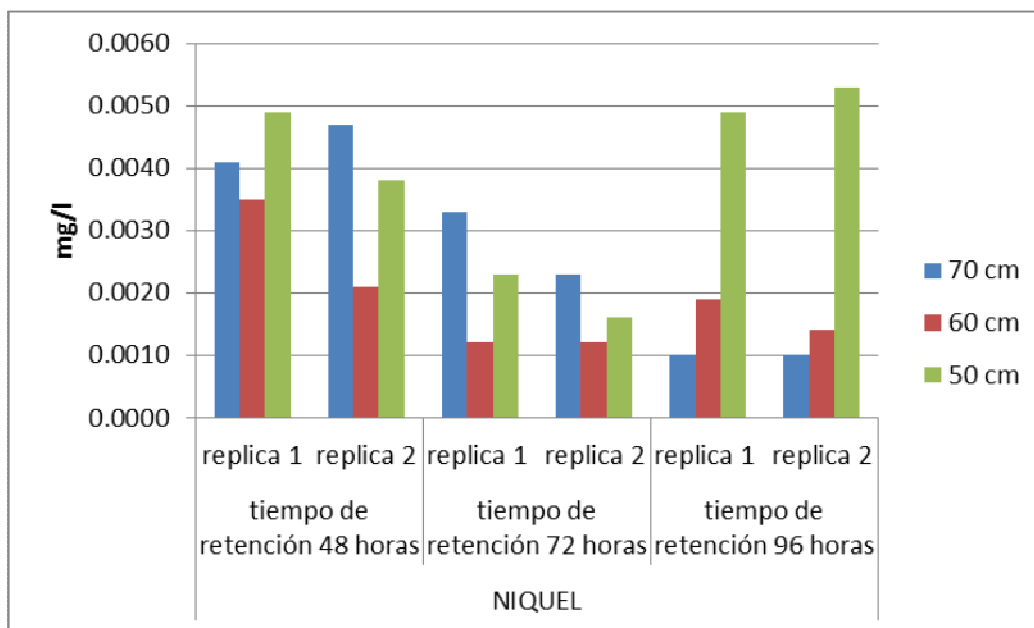


Figura 10. Comparación de concentración de níquel entre los tres filtros con diferentes alturas del lecho filtrante y tres tiempos de retención, medido en mg/l.

En la Figura 11 se puede observar que el filtro con tiempo de retención de 96 horas y con 60 cm de lecho filtrante es el que menor concentración de bario obteniendo 0.0012 mg/l de este compuesto, de manera general se observa que mientras más tiempo de retención el agua tiene en el filtro menor es la concentración del contaminante; la norma establece una concentración máxima de bario del 0.7 mg/l, por lo que todos los filtros cumplen con la norma para este parámetro analizado.

Como lo indica CAWST (2009), los filtros de bioarena son capaces de degradar compuestos inorgánicos, dependiendo el parámetro incluso en su totalidad, tal es el caso del bario que ha podido ser degradado hasta obtener un valor de 0.0012 mg/l lo cual ratifica lo indicado por CAWST.

En este caso se genera la descontaminación de bario de manera óptima debido a que se ratifica lo indicado en la teoría que indica que a mayor tiempo de retención el grado de descontaminación será mayor.

En este caso en particular se puede observar que los filtros con un lecho de 50 cm son los que menos porcentajes de bario han tenido, esto se puede deber como lo indica D. Sánchez, (2010), la cantidad de remoción de agentes contaminantes en el sistema se debe tanto mayormente a la maduración del biofilm que degrada los contaminantes, pero para que la maduración del biofilm sea óptima el lecho debe ser suficiente de acuerdo a la cantidad de sustancias que se deban asimilar; Es así que debido a que el lecho filtrante tiene 50 cm de altura quiere decir que también presenta una maduración del filtro menor que los otros dos filtros con mayor altura, por lo que se supone que la población microbiana en el filtro de 50 cm no llegó a la etapa de maduración adecuada para poder asimilar el bario en mayores cantidades.

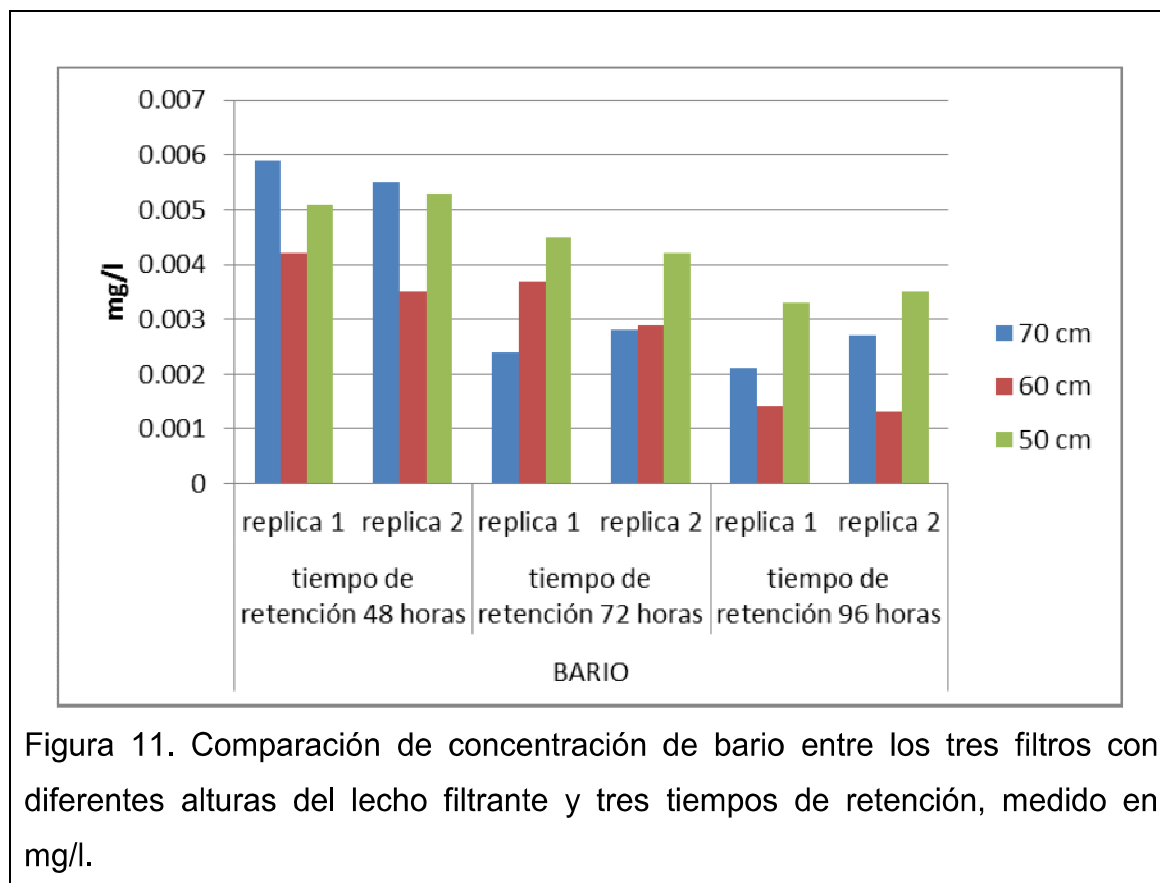


Figura 11. Comparación de concentración de bario entre los tres filtros con diferentes alturas del lecho filtrante y tres tiempos de retención, medido en mg/l.

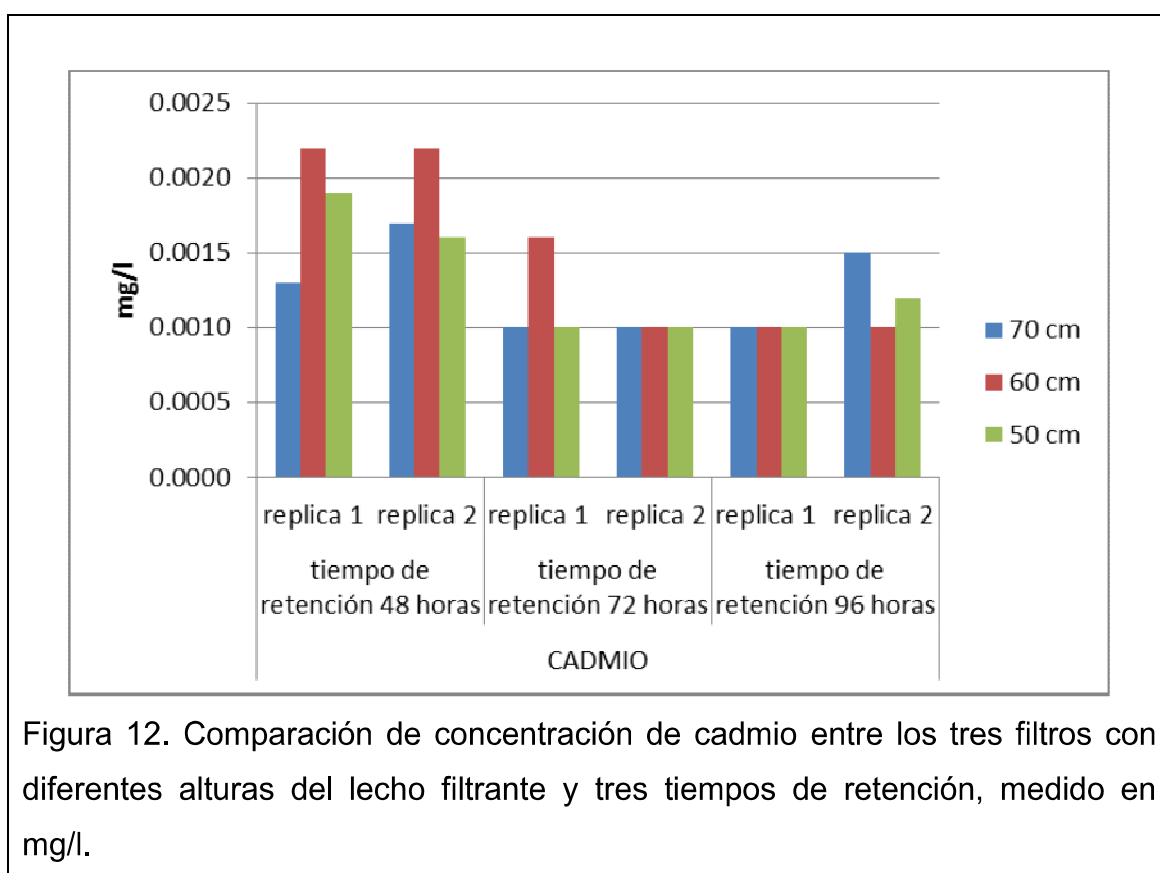
Según lo expresado en la Figura 12 se identifica que el filtro con tiempo de retención de 72 horas y el filtro con tiempo de retención de 96 horas poseen valores similares de cadmio (0.001 mg/l), la norma establece una concentración máxima para cadmio establecida en 0.003 mg/l por lo que todos los filtros cumplen con la norma establecida.

Según lo indicado en la Figura 40, el cadmio ha obtenido valores incluso por debajo de 0.001 mg/l. según como lo indica CAWST (2009), el cadmio al ser un compuesto inorgánico es degradado por los microorganismos del sistema haciendo que este contaminante se reduzca de manera importante, también se puede observar que mientras el tiempo de retención es mayor la reducción de cadmio es mayor, esto ratifica lo indicado por CAWST que indica que en el sistema del filtro de bioarena el tiempo de retención óptimo es entre 1-48 horas, pero si se mantiene más tiempo de retención de agua en el sistema la reducción de contaminantes será mayor.

Para este caso se puede observar que no existen valores menores a 0.001 mg/l debido a que ya no es posible identificar cantidades menores de presencia de cadmio por el método utilizado, sin embargo se puede observar que en el filtro con tiempo de retención de 96 horas los valores son mayores a los expresados en el filtro con 72 horas de tiempo de retención de 96 horas, eso se puede dar debido a que existen sustancias que no son asimiladas fácilmente por los microorganismos y que pueden quedarse suspendidas en el sistema según lo indica M. Garzón y L. Mercedes (2011), pero también se puede observar que en los filtros con menor tiempo de retención la degradación ha sido mejor que en el filtro con 96 horas de tiempo de retención, esto se debe a que la arena al no ser considerado un material adsorbente adecuado (L. Sánchez, J. Latorre, G. Galvis; 2012) entonces el material se pueda filtrar por las porosidades de la arena y finalmente salir del sistema, esto es poco probable pero se da debido a que la arena al poseer distintos tamaños de partículas posee diferentes diámetros y porosidades lo que convierte a la arena en un excelente medio de filtración, pero su poco poder de adsorción hace que muchas de las veces las partículas disueltas en el agua se logren filtra hasta la

salida del filtro haciendo que no se haya logrado la reducción de contaminantes esperados especialmente en agua muy contaminadas.

Según los resultados de la Figura 11. Lo que pudo haber pasado fue lo precisamente señalado anteriormente, partículas de cadmio logramos atravesar el sistema sin quedar atrapadas en el lecho de filtración lo que hace que exista valores más elevados de cadmio en el filtro de 70 cm con 96 horas de tiempo de retención.



La Figura 13 muestra como en el filtro de 96 horas de tiempo de retención de agua y con las tres alturas, se obtiene un valor de 0.001mg/l de cromo siendo el más eficiente en la reducción de este contaminante el filtro de 70 cm comparado con los otros dos filtros, la norma para cromo establece un máximo permisible de 0.05 mg/l por lo que los tres filtros analizados cumplen con el parámetro establecido en la norma, este parámetro cumple con lo indicado por CAWST (2009), ya que mientras el tiempo de retención de agua en el filtro es mayor la reducción del contaminante es mayor.

En el caso del cromo se puede observar que la concentración de la sustancia ha ido disminuyendo conforme el tiempo de retención aumenta lo cual confirma por una parte lo indicado por CAWST (2009) y lo indicado por W. Weber (1979) que ratifica el hecho de que cuando un filtro lento de arena se encuentra en una etapa madura hablando del crecimiento bacteriano y con uso regular se puede obtener una tendencia a la disminución de concentración de contaminantes mientras el tiempo en el filtro sea mayor, y que según la contaminación del agua a tratar se debe determinar el tiempo de retención óptimo.

En el caso del cromo se puede evidenciar que el proceso que se produce en cuanto a la bioacumulación del cromo es indicada por CAWST y por W. Weber debido a que el tiempo de retención de 96 horas que fue el filtro con mayor tiempo de retención presenta las menores cantidades de concentración de cromo lo que da a pensar que el sistema se encuentra en las condiciones adecuadas y que la población microbiana se encuentra en equilibrio experimentando un proceso de maduración.

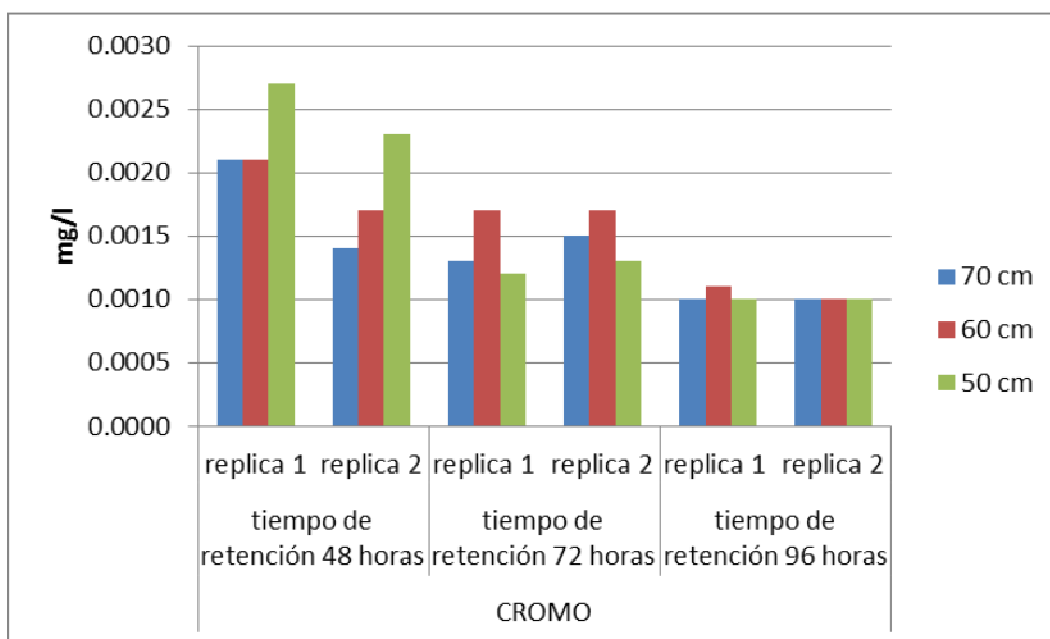


Figura 13. Comparación de concentración de cromo entre los tres filtros con diferentes alturas del lecho filtrante y tres tiempos de retención, medido en mg/l.

La Figura 14 muestra la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en los tres filtros, como se puede observar la concentración de DBO disminuye conforme el tiempo de retención es mayor, sin embargo se observa que el filtro con 72 horas de tiempo de retención presenta los menores valores de DBO, no existe definido un valor en la norma para DBO sin embargo es un buen indicador para conocer la cantidad de materia que se ha degradado por medio biológicos, en general se obtiene valores entre 1 y 4 mg/l, obteniendo alrededor de un 50% de remoción, los cuales son valores mínimos de DBO indicando que la contaminación en el agua del río es mínima.

CAWST (2009), indica que el crecimiento bacteriano se da según exista la disponibilidad de alimento, en este caso de contaminantes, por lo que el DBO_5 baja de acuerdo al crecimiento bacteriano existente por la disponibilidad de alimento en el sistema.

Para la demanda bioquímica de oxígeno se debe tomar en cuenta que no se trata de un agente contaminante específico sino de la cantidad de materia que ha sido degradada por medios biológicos, es así que tanto en el primer filtro con 48 horas de tiempo de retención y en el filtro con 96 horas de tiempo de retención existen valores entre 4 3 mg/l, lo cual es indicador de que la población bacteriana ha sido grande debido a que ha existido un consumo grande de material contaminante, especialmente en el filtro de 48 horas, esto debido a que los microorganismos asimilan más rápidamente las sustancias en las primeras horas, según lo indican (Prescott, Harley y Klein, 2004), la situación para el filtro con 96 horas es diferente debido a que en este caso los microorganismos ya tienen un grado de maduración adecuado (W. Weber 1979) y la asimilación de sustancias contaminantes aumenta hasta llegar a un equilibrio.

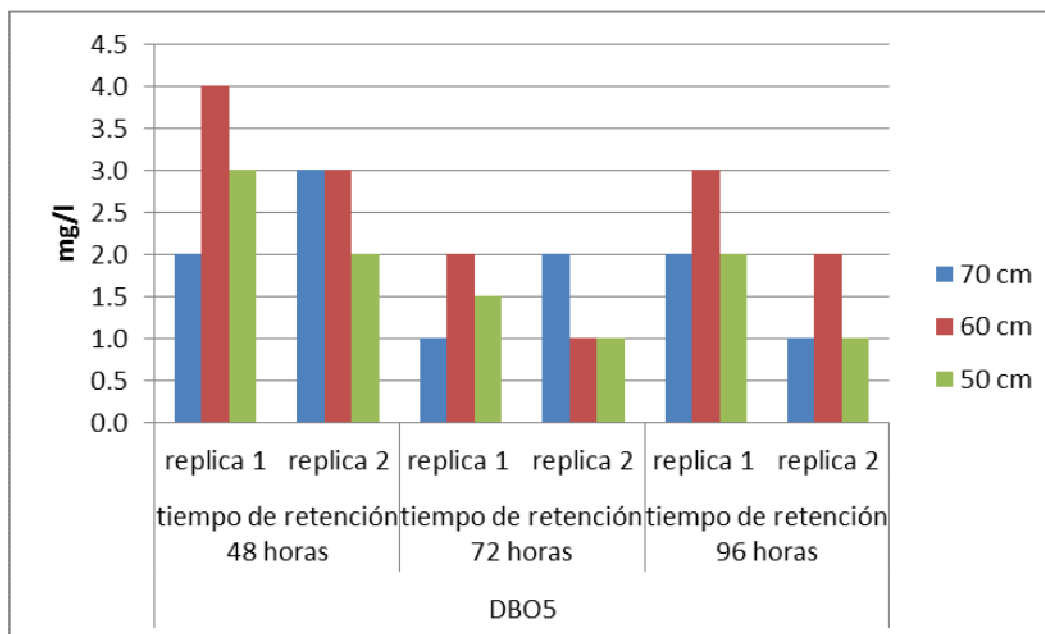


Figura 14. Comparación de concentración de DBO5 entre los tres filtros con diferentes alturas del lecho filtrante y tres tiempos de retención, medido en mg/l.

Se puede evidenciar en la Figura 15 que el filtro con 96 horas de tiempo de retención en sus tres alturas del lecho filtrante mantiene una presencia de una colonia por cada 100 ml de agua, este parámetro en especial es importante debido a que es el único que no cumple la norma, la misma que establece que no debe existir colonias de coliformes fecales, siendo así que se debe definir un tratamiento adicional para poder eliminar del sistema este contaminante biológico, los coliformes fecales son degradados por los microorganismos teniendo aproximadamente un 99% de remoción (CAWST 2009), lo que ratifica los resultados, pero en el sistema no se observó una reducción tan importante, obteniendo un 83,3% de remoción de coliformes fecales lo que sugiere que se debe mantener más tiempo de retención el agua en el sistema para alcanzar los niveles de reducción deseados.

Los filtros de bioarena son capaces de degradar casi en su totalidad los coliformes fecales, debido a la asimilación de estos agentes patógenos por los microorganismos desarrollados en el sistema L. Galbán (2009) esto hace que el filtro sea una excelente opción para remover este tipo de contaminantes, sin embargo se debe tomar muy en cuenta que la capacidad de los filtros es limitada, es decir que no se puede utilizar este tipo de sistemas de tratamiento de aguas en agua con cargas contaminantes muy grandes ya que la saturación del filtro se daría en un poco período de tiempo, sin embargo como se observa en la figura para aguas con cargas contaminantes no muy grandes el sistema para eliminar coliformes fecales es una opción muy adecuada.

Los cambios o variaciones que se podrían dar en el sistema principalmente serían problemas de que el filtro no se encuentre en la etapa de maduración microbiológica ya que esto haría que la asimilación de este contaminante sea más lento, por eso es importante ser muy cuidadoso con el filtro especialmente en los periodos iniciales en donde los microorganismos se adaptan y logran un desarrollo adecuado.

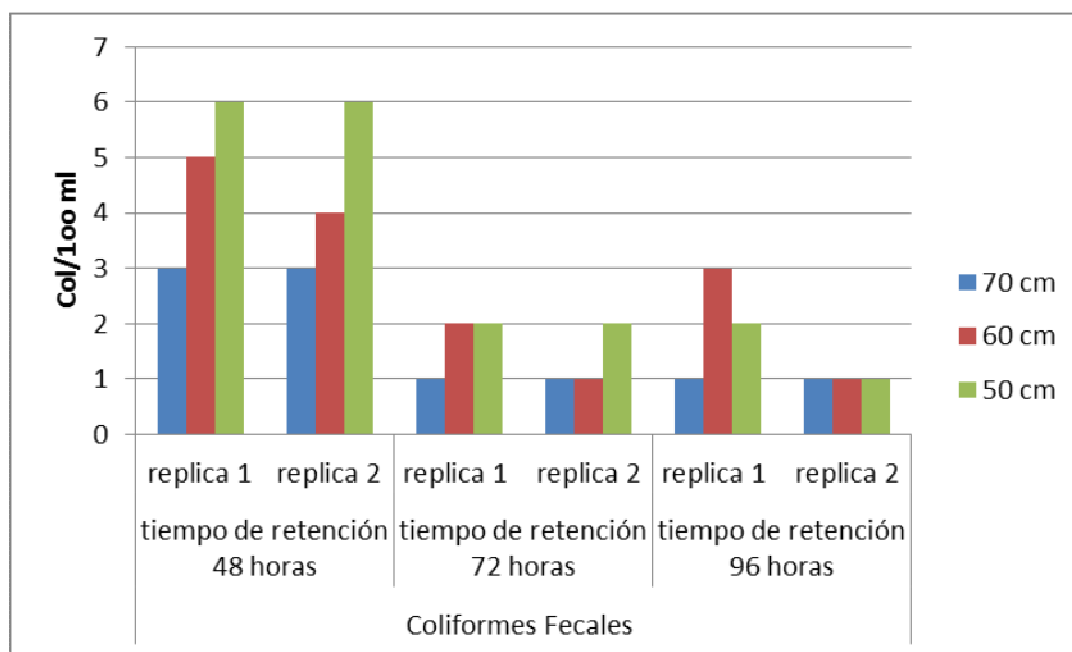


Figura 15. Comparación de presencia de coliformes fecales entre los 3 filtros con diferentes alturas del lecho filtrante y 3 tiempos de retención, medido en colonias/ 100 ml.

4.1.5. Análisis en matriz de combinación

Para poder realizar el siguiente análisis se ha definido un diseño factorial de 3^2 debido a que se tiene dos factores de estudio los cuales son altura del lecho filtrante (A) y el tiempo de retención del agua en el filtro (B), estos dos factores de estudio se han realizado en tres niveles los cuales son las alturas del lecho filtrante (70, 60 y 50 cm).

Este diseño experimental nos deja los siguientes resultados:

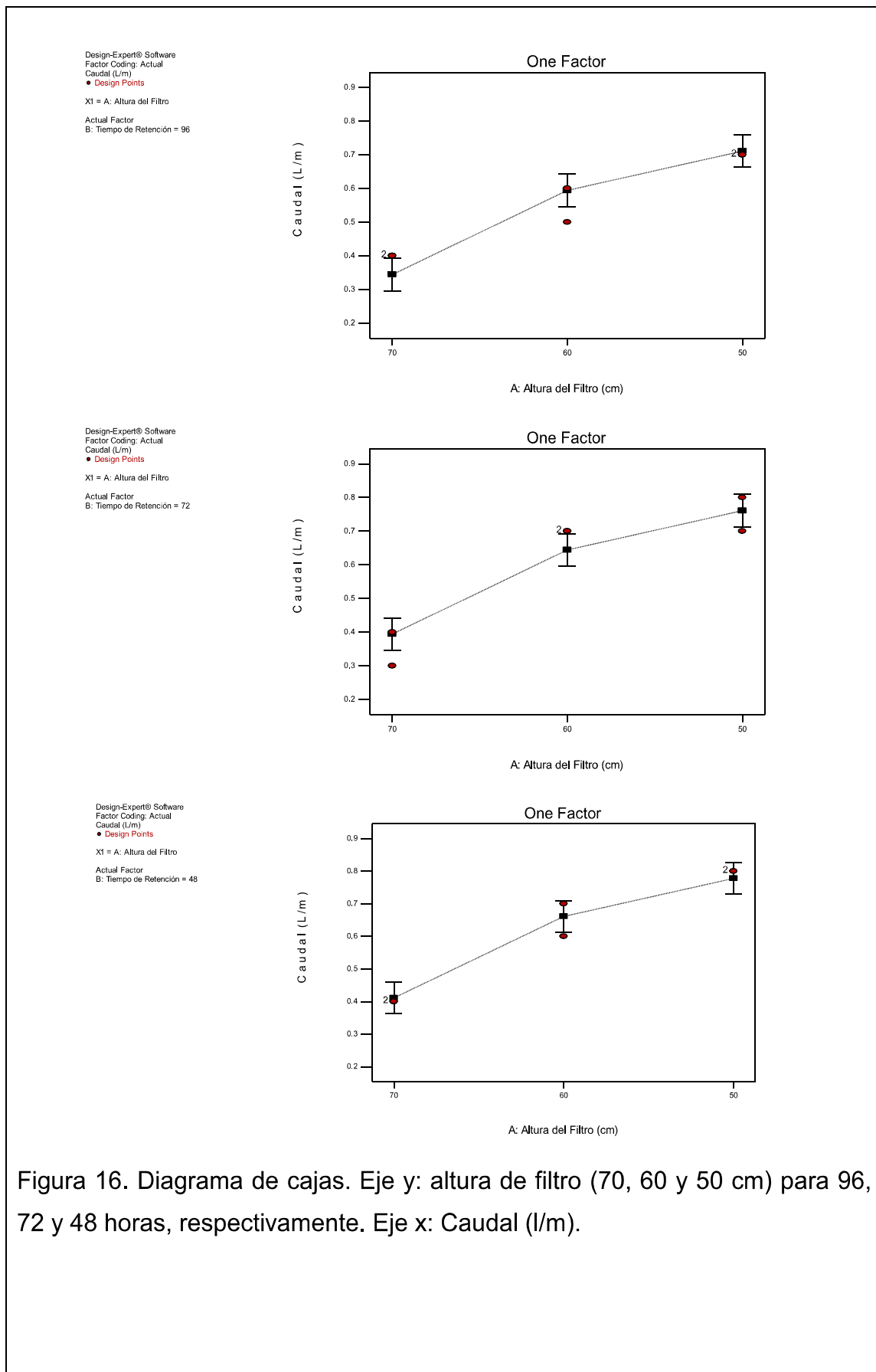
- **Caudal:**

Tabla 13. ANOVA para diseño factorial 3^2 , altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Caudal.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	0.44	4	0.11	30.95	< 0.0001	Significativo
A-Altura del Filtro	0.42	2	0.21	59.84	< 0.0001	
B-Tiempo de Retención	0.014	2	7.222E-003	2.05	0.1711	
Error	0.042	12	3.519E-003			
Total	0.48	17				

En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro y el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción del caudal óptimo para la obtención de agua de calidad para consumo.

Asimismo, en la Figura 16 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 cm, siendo esta la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz.



- **Sólidos Totales:**

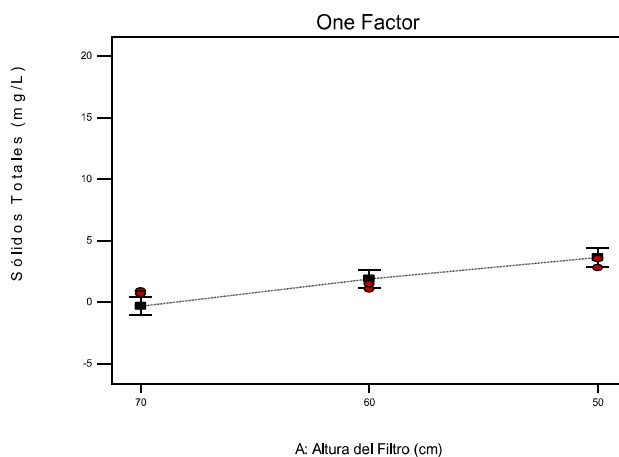
Tabla 14. ANOVA para diseño factorial 3^2 , altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Sólidos Totales.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	693.82	4	173.46	199.40	< 0.0001	Significativo
A-Altura del Filtro	47.26	2	23.63	27.17	< 0.0001	
B-Tiempo de Retención	646.56	2	323.28	371.63	< 0.0001	
Error	10.44	12	0.87			
Total	704.90	17				

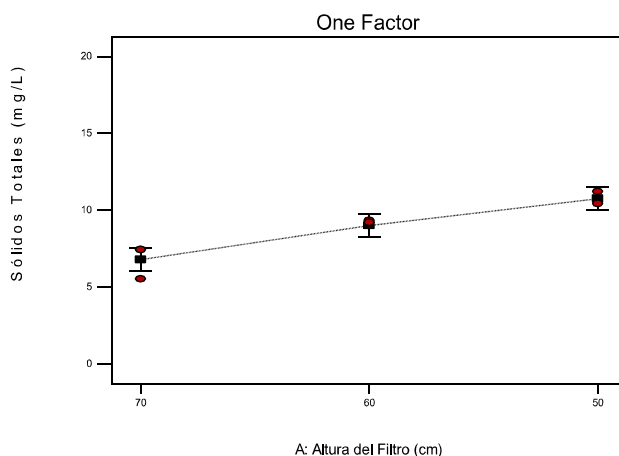
En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de sólidos totales para la obtención de agua de calidad para consumo para esta comunidad.

Asimismo, en la figura 17 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 cm, siendo está la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Sólidos Totales (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 96



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Sólidos Totales (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 72



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Sólidos Totales (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 48

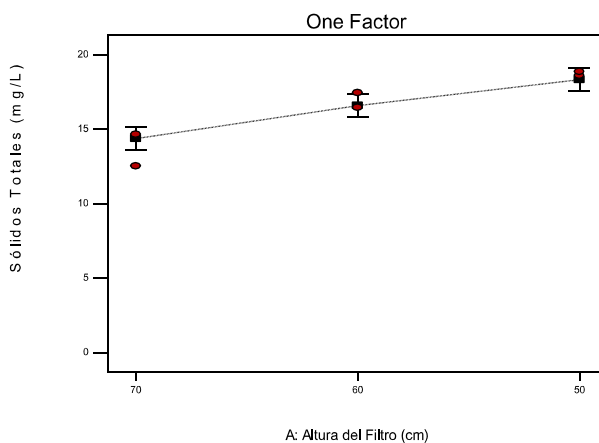


Figura 17. Diagrama de cajas. Eje y: altura de filtro (70, 60 y 50 cm) para 96, 72 y 48 horas, respectivamente. Eje x: Sólidos Totales (mg/L).

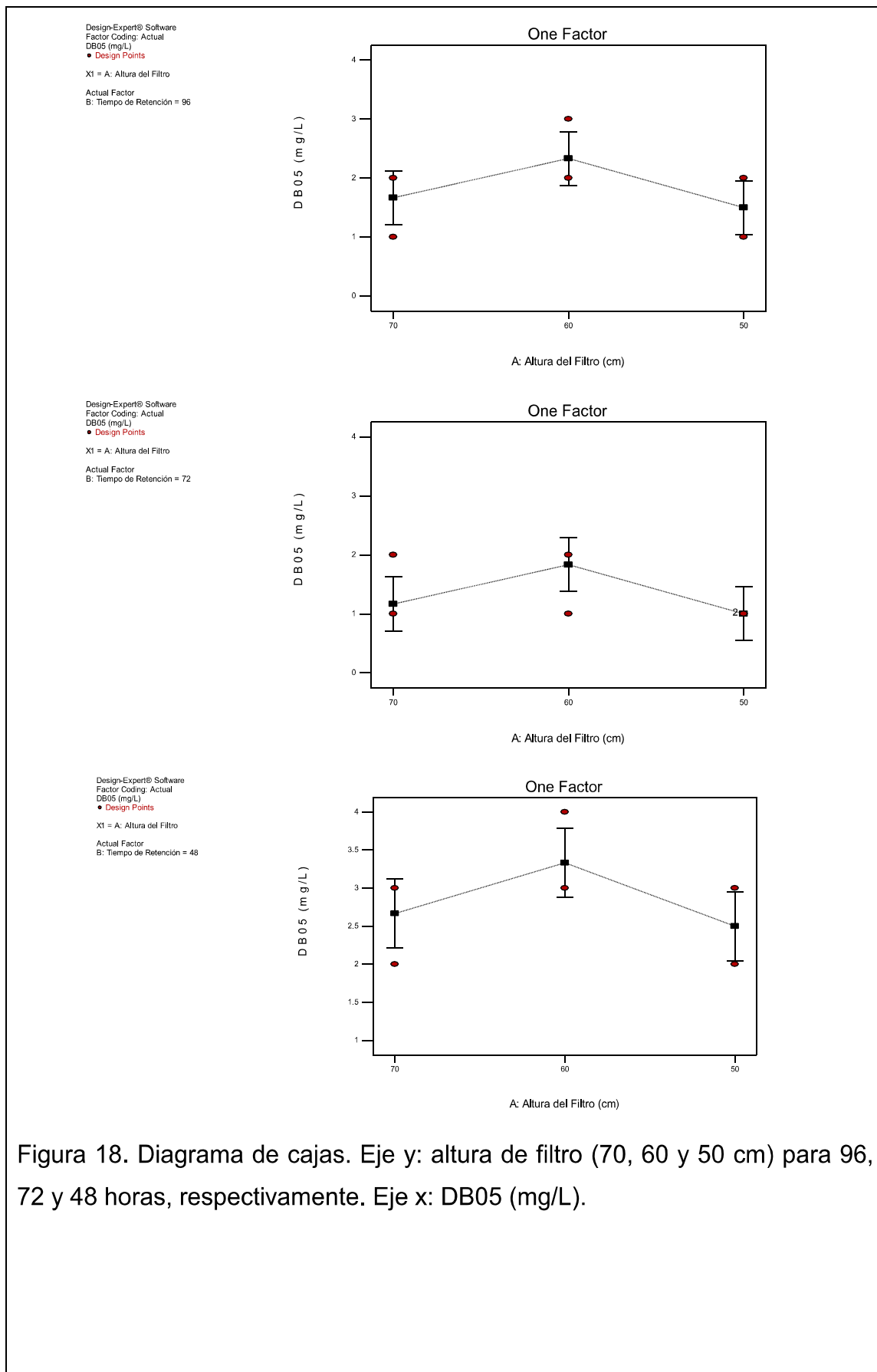
- **DBO₅:**

Tabla 15. ANOVA para diseño factorial 3², altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta DBO₅.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	9.33	4	2.33	7.41	0.0030	Significativo
A-Altura del Filtro	2.33	2	1.17	3.71	0.0558	
B-Tiempo de Retención	7.00	2	3.50	11.12	0.0019	
Error	3.78	12	0.31			
Total	14.00	17				

En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de DBO₅ para la obtención de agua de calidad para consumo para esta comunidad.

Asimismo, en la figura 18 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 centímetros, siendo está la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.



- **Plomo:**

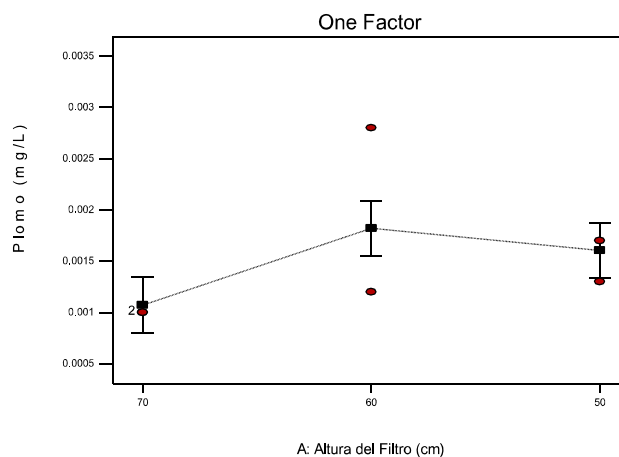
Tabla 16. ANOVA para diseño factorial 3², altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Plomo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	5.926E-006	4	1.481E-006	13.37	0.0002	Significativo
A-Altura del Filtro	1.788E-006	2	8.939E-007	8.07	0.0060	
B-Tiempo de Retención	4.138E-006	2	2.069E-006	18.67	0.0002	
Error	1.330E-006	12	1.108E-007			
Total	8.144E-006	17				

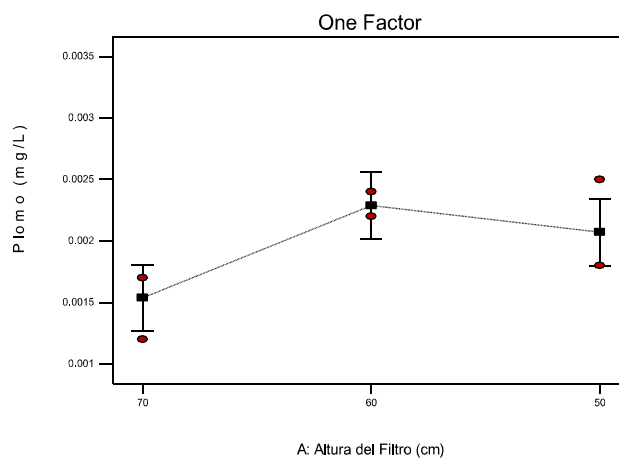
En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de plomo para la obtención de agua de calidad para consumo de esta comunidad.

Asimismo, en la figura 19 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 centímetros, siendo está la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Plomo (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 96



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Plomo (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 72



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Plomo (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 48

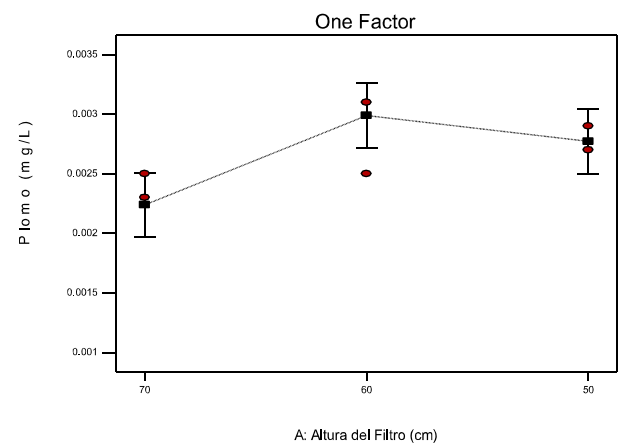


Figura 19. Diagrama de cajas. Eje y: altura de filtro (70, 60 y 50 cm) para 96, 72 y 48 horas, respectivamente. Eje x: Plomo (mg/L).

- **Níquel:**

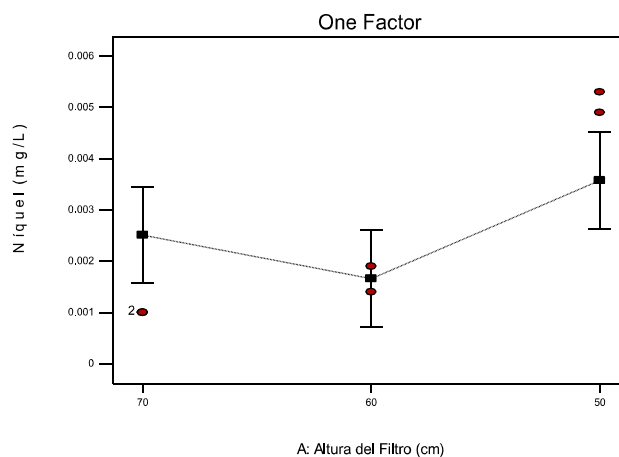
Tabla 17. ANOVA para diseño factorial 3², altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Níquel.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	2.197E-005	4	5.491E-006	4.07	0.0260	Significativo
A-Altura del Filtro	1.107E-005	2	5.534E-006	4.10	0.0439	
B-Tiempo de Retención	1.090E-005	2	5.449E-006	4.04	0.0455	
Error	1.618E-005	12	1.349E-006			
Total	3.891E-005	17				

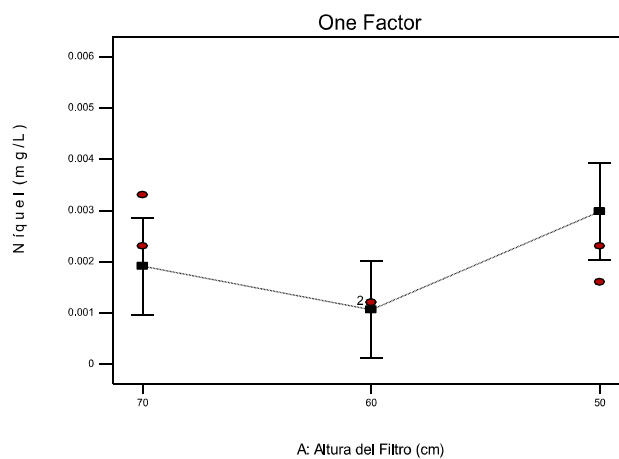
En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de níquel para la obtención de agua de calidad para consumo de esta comunidad.

Asimismo, en la figura 20 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 centímetros, siendo está la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Níquel (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 96



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Níquel (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 72



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Níquel (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 48

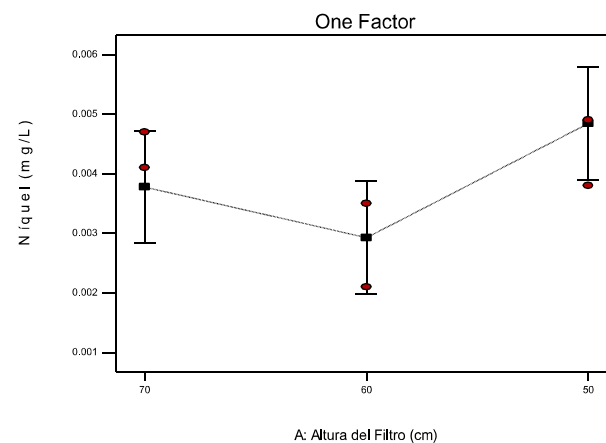


Figura 20. Diagrama de cajas. Eje y: altura de filtro (70, 60 y 50 cm) para 96, 72 y 48 horas, respectivamente. Eje x: Níquel (mg/L).

- **Bario:**

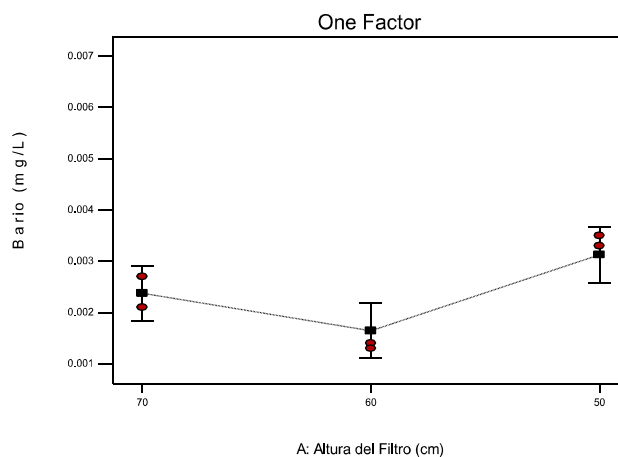
Tabla 18. ANOVA para diseño factorial 3², altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Bario.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	2.607E-005	4	6.518E-006	14.71	0.0001	Significativo
A-Altura del Filtro	6.601E-006	2	3.301E-006	7.45	0.0079	
B-Tiempo de Retención	1.947E-005	2	9.736E-006	21.96	< 0.0001	
Error	5.319E-006	12	4.432E-007			
Total	3.144E-005	17				

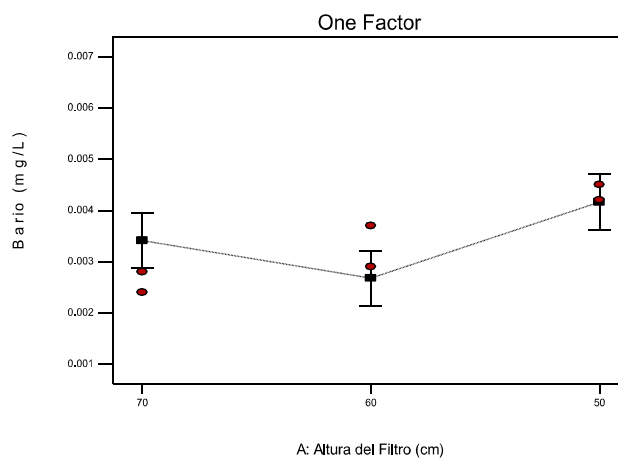
En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de bario para la obtención de agua de calidad para consumo para esta comunidad.

Asimismo, en la figura 21 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 centímetros, siendo está la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Bario (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 96



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Bario (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 72



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Bario (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 48

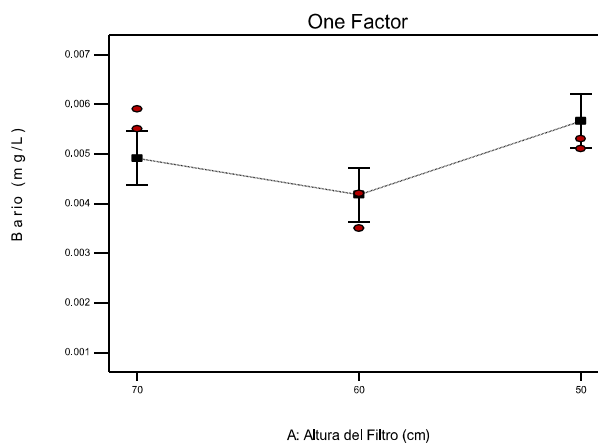


Figura 21. Diagrama de cajas. Eje y: altura de filtro (70, 60 y 50 cm) para 96, 72 y 48 horas, respectivamente. Eje x: Bario (mg/L).

- **Cadmio:**

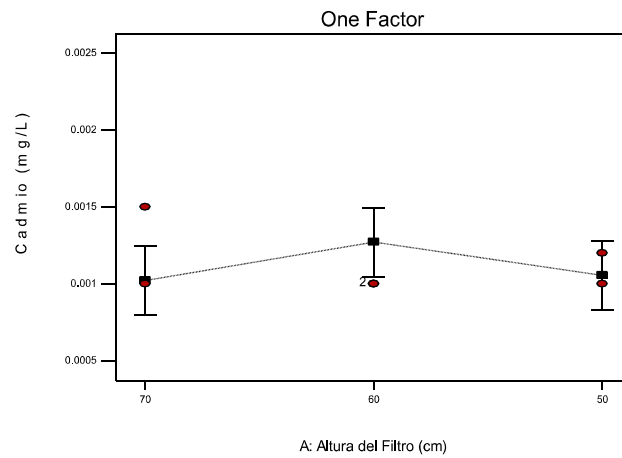
Tabla 19. ANOVA para diseño factorial 3², altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Cadmio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	2.229E-006	4	5.572E-007	7.32	0.0032	Significativo
A-Altura del Filtro	2.211E-007	2	1.106E-007	1.45	0.2723	
B-Tiempo de Retención	2.008E-006	2	1.004E-006	13.19	0.0009	
Error	9.133E-007	12	7.611E-008			
Total	3.144E-006	17				

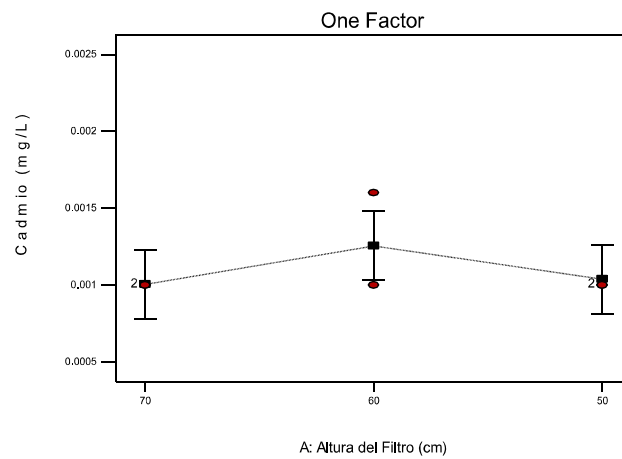
En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de cadmio para la obtención de agua de calidad para consumo de esta comunidad.

Asimismo, en la figura 22 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 cm, siendo está la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Cadmio (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 96



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Cadmio (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 72



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Cadmio (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 48

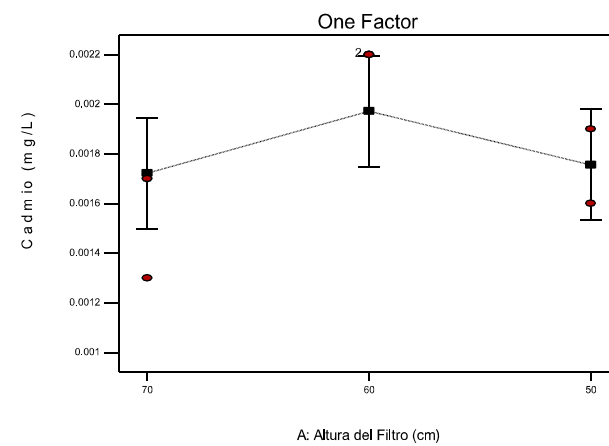


Figura 22. Diagrama de cajas. Eje y: altura de filtro (70, 60 y 50 cm) para 96, 72 y 48 horas, respectivamente. Eje x: Cadmio (mg/L).

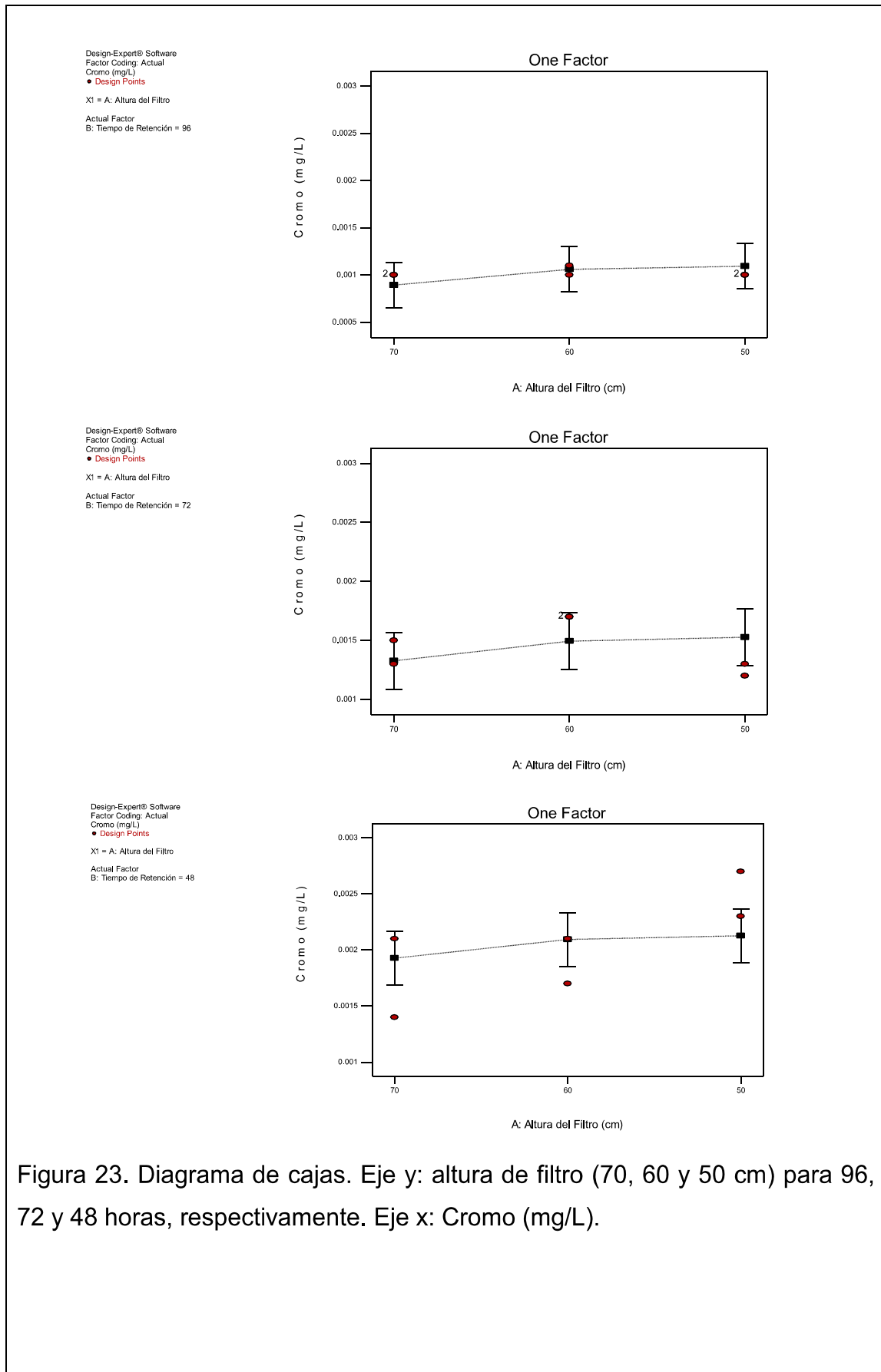
- **Cromo:**

Tabla 20. ANOVA para diseño factorial 3², altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Cromo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	3.369E-006	4	8.422E-007	9.66	0.0010	Significativo
A-Altura del Filtro	1.378E-007	2	6.889E-008	0.79	0.4762	
B-Tiempo de Retención	3.231E-006	2	1.616E-006	18.52	0.0002	
Error	1.047E-006	12	8.722E-008			
Total	4.509E-006	17				

En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05, lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de cromo para la obtención de agua de calidad para consumo para esta comunidad.

Asimismo, en la figura 23 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 centímetros, siendo está la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.



- **Coliformes Fecales:**

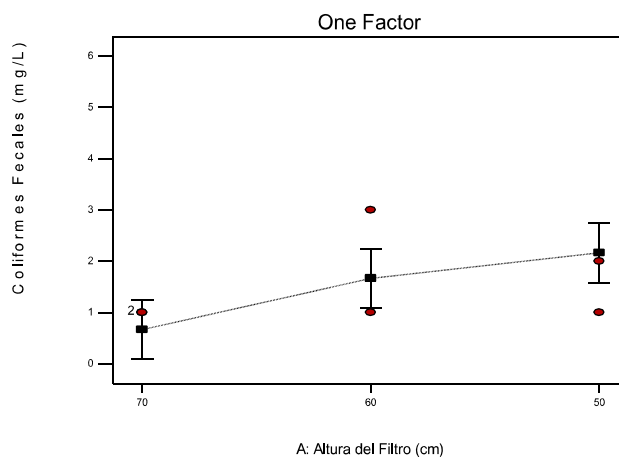
Tabla 21. ANOVA para diseño factorial 3^2 , altura de filtro y tiempo de retención de la variable de respuesta Coliformes Fecales.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Modelo	43.00	4	10.75	21.11	< 0.0001	Significativo
A-Altura del Filtro	7.00	2	3.50	6.87	0.0103	
B-Tiempo de Retención	36.00	2	18.00	35.35	< 0.0001	
Error	6.11	12	0.51			
Total	50.50	17				

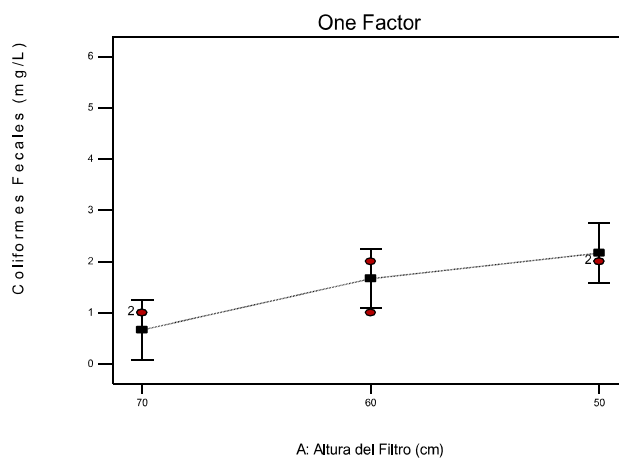
En este caso se rechaza la hipótesis nula, al ser el p – valor > 0.05 , lo que nos indica que la interacción entre la altura del filtro como el tiempo de retención tienen efecto significativo en la reducción de la concentración de coliformes fecales para la obtención de agua de calidad para consumo para esta comunidad.

Asimismo, en la figura 24 se puede observar los resultados obtenidos al analizar la variable de respuesta caudal. Es sencillo apreciar que la interacción de ambos factores de estudio tiene mejores resultados en un tiempo de retención de 96 horas y a una altura de filtro igual a 70 centímetros, siendo esta la combinación ideal para obtener un tratamiento eficaz, y por ende la reducción de este parámetro de control.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Coliformes Fecales (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 96



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Coliformes Fecales (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 72



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Coliformes Fecales (mg/L)
 ● Design Points
 X1 = A: Altura del Filtro
 Actual Factor
 B: Tiempo de Retención = 48

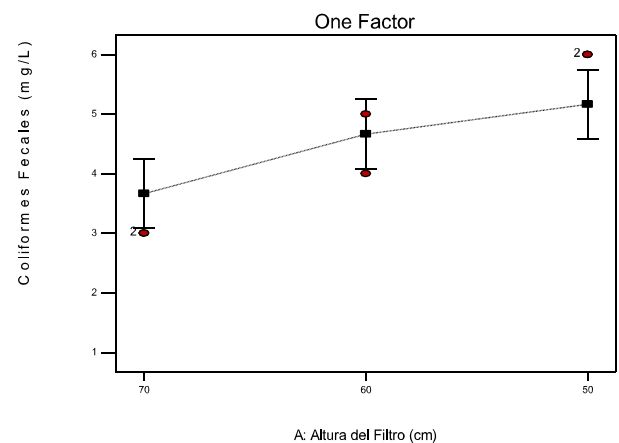


Figura 24. Diagrama de cajas. Eje y: altura de filtro (70, 60 y 50 cm) para 96, 72 y 48 horas, respectivamente. Eje x: Sólidos Totales (mg/L).







CAPÍTULO V: ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

A continuación, se presenta un análisis del costo que representa el construir y adaptar los filtros así como una comparación con el beneficio que ofrece la implementación de los filtros de bioarena en comunidades rurales.

6.1. Costo

Para el análisis del costo se ha tomado en cuenta principalmente lo que conlleva el adquirir los materiales para la construcción del filtro, además de un análisis de las horas/hombre necesario para la construcción del filtro.

Tabla 22. Análisis de costo del filtro según materiales utilizados

Ítem	Material	Descripción	Costo	Fotografía
1	Tapa del contenedor	Plástico rígido	4 USD	
2	Difusor	Lavacara de plástico perforado	5 USD	
3	Tubería	Tubería de PVC	9 USD	
4	Codos de tubería	3 codos de tubería de PVC	1.50 C/U 4.50 USD	
5	Topes para tubería	2 topes para tubería	3.50 C/U 7 USD	
6	Tanque	Tanque de plástico	23 USD	

7	Llave de paso	Llave de paso tubería de 3/8"	2,80 USD	
8	Arena	Arena molida 9 kg. Aprox.	3-5 USD x filtro	
9	Transporte	Transporte variable	Costo dependiendo la distancia 15 USD aprox. X filtro	
10	Mantenimiento	Mantenimiento cada 6 meses aprox.	12 SD	

a) En la Tabla 22 se puede observar el costo económico aproximado de un filtro de bioarena utilizando materiales de ferretería.

Como se puede observar en la Tabla 24 la construcción del filtro incluido transporte y mantenimiento tiene un costo aproximado de \$ 87.30 dólares, cabe mencionar que los costos son referenciales y que pueden variar dependiendo del lugar en donde se adquieran los materiales.

Tabla 23. Sumatoria de precios aproximados de materiales del filtro

Item	Precio Unitario
1	\$ 4.00
2	\$ 5.00
3	\$ 9.00
4	\$ 4.50
5	\$ 7.00
6	\$ 23.00
7	\$ 2.80
8	\$ 5.00
9	\$ 15.00
10	\$ 12.00
TOTAL	\$ 87.30

6.2. Horas/Hombre

A continuación se detalla un análisis de horas/hombre utilizadas para la construcción del filtro desde el inicio.

Tabla 24. Análisis horas/Hombre para la construcción del filtro

Nro.	Actividad	Tiempo empleado
1	Filtración de arena	30 minutos
2	Lavado de arena	30 minutos
3	Instalación de tubería	2:30 horas
4	Preparación de anexos (difusor, tapa)	1 hora
5	Colocación de materiales en el filtro	25 minutos
TOTAL		4:55 horas

Nota explicativa: el análisis de hora hombre se considera que todos los materiales ya se obtuvieron con anterioridad y que el trabajo lo realiza una sola persona.

6.3. Beneficio

Sin duda alguna el filtro de bioarena es un sistema de tratamiento de agua económicamente accesible para personas de bajos recursos y que brinda beneficios importantes como la prevención de enfermedades, tiene un impacto ambiental positivo al representar un sistema de tratamiento que promueve que las personas cuiden el recurso utilizado. Al ser un filtro con necesidad de mantenimiento periódico puede generar empleo para un especialista de la comunidad que se puede capacitar en el tema, teniendo un impacto socio económico importante para esa familia.

Es un filtro que no genera descargas, no genera residuos o desechos tóxicos, no usa combustible y no es una fuente fija lo que significa que se puede movilizar de acuerdo a las necesidades de las personas que utilizan el filtro.

Los componentes del filtro son de plástico, un material resistente, lo cual garantizará que el filtro tenga un tiempo de vida útil prolongado.

Finalmente, el filtro mejora la calidad de vida de las personas al hacer que los usuarios obtengan un recurso de calidad esencial para vivir, limpio y seguro para el consumo humano y animal.

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Una vez utilizados los tres filtros y después de analizar las cantidades de remoción de agentes contaminantes se puede concluir que mientras el tiempo de retención en el filtro es mayor la degradación de agentes contaminantes disminuye significativamente, dependiendo del agente contaminante desde un 50% hasta un 87%.
- Las muestras iniciales del agua del río Canuto no presentan muestras de tener altos de niveles de contaminación de compuestos inorgánicos lo que es un indicador de que no existe aportes significativos de este tipo de contaminantes en la zona ya sea por actividades antrópicas o aportes naturales.
- Los análisis de coliformes fecales iniciales (primer muestreo) tuvieron valores alrededor de entre 6 y 8 colonias/100ml. Lo cual es un valor que claramente supera a la norma INEN 1108 la misma que designa un valor menor a 1 colonia/100ml. Este valor supera la norma debido a que en la comunidad no se cuenta con red de alcantarillado por lo que los desechos como heces fecales, o residuos animales y descargas domésticas pueden infiltrarse al río haciendo que se contamine el cuerpo de agua; El filtro ha logrado eliminar en gran parte los coliformes fecales pero aun así no es suficiente para cumplir con la normativa debido a que los análisis en el filtro con 96 horas de tiempo de retención y con una altura del lecho filtrante de 70 cm se logró obtener un valor de 1 colonia/100ml.
- Se logró comprobar que los filtros son capaces de disminuir la cantidad de sólidos totales del sistema en casi un 90%, logrando que el agua tenga características adecuadas para el consumo humano y animal.
- Se pudo comprobar que la demanda bioquímica de oxígeno disminuye en un 50% debido a que los microorganismos degradan los

componentes disueltos en el agua lo cual disminuye el grado de contaminación del agua tratada.

- Se concluye que la utilización de filtros de bioarena es una opción adecuada para mejorar las condiciones del agua especialmente en comunidades rurales las cuales no obtengan una provisión de agua de manera adecuada y que el obtener agua con condiciones para el consumo humano sea difícil o costoso.
- Para finalizar se concluye que, el agua tratada en los filtros de bioarena experimenta reducción de sustancias contaminantes sean estas biológicas, orgánicas o inorgánicas haciendo que el agua tratada tenga características que pueden ser aprovechables de diversas maneras por los habitantes de la comunidad.

Recomendaciones

- El filtro sin duda es una opción adecuada para que sea implementada en zonas alejadas donde el acceso al agua sea difícil y no existan tratamientos de agua para el consumo de los pobladores, sin embargo se recomienda que exista un proceso de cloración del agua ya tratada en este tipo de tratamiento, con la finalidad de eliminar los contaminantes biológicos como los coliformes fecales debido a que su completa eliminación toma tiempo en el filtro y esto puede convertirse en un inconveniente para el usuario.
- Los estudios realizados en base a los filtros de arena sugieren que es una opción eficiente, de bajo costo y de fácil mantenimiento para el tratamiento de aguas, por lo que se recomienda que se replique este tipo de proyectos en zonas vulnerables donde la obtención de agua de calidad sea un problema para las personas y de esta manera puedan obtener una solución para la obtención de un recurso inocuo.
- A pesar de que existen varios documentos referenciales acerca de los filtros de bioarena se recomienda que para el diseño del filtro primero se realice un estudio de las características en donde el proyecto se quiera

implementar, con la finalidad de identificar los factores o contaminantes con más presencia y de esta manera se podría diseñar un filtro con materiales diferentes o combinados para obtener mayor cantidades de remoción de contaminantes.

- Se recomienda realizar un mantenimiento adecuado a la arena resultante de los mantenimientos, se puede dejar secar al sol la arena antes desecharse con la finalidad de esterilizar la arena de posibles agentes patógenos.

REFERENCIAS

- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades-ATSDR. (2009). ToxsFAQs en Español. Recuperado el 20 de julio de 2014 de <https://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- American Water Works Association. (2007). Tipos de Tratamientos para agua potable. Recuperado el 26 de enero de 2015 de https://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.html.
- Castillo, E. (2008). La protección del Agua Dulce, un recurso necesario para la vida. La Habana: Unión Nacional De Juristas.
- Centre for Affordable Water and Sanitation Technology-CAWST. (2009). Manual para el filtro de Bioarena Diseño, Construcción, Instalación Operación y Mantenimiento. Alberta: CAWST.
- Comisión Nacional del Agua-CONAGUA. (2013). Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizadas en Japón. México D.F.: SEMARNAT.
- Fundación Ecuatoriana de Tecnología Apropiada.FEDETA. (2013). Propuesta del proyecto Agua potable para la comunidad Las Balsas, Cantón Muisne. Quito: FEDETA.
- Gobierno Autónomo Descentralizado GAD Parroquia San Gregorio. (2012). Historia de la parroquia. Recuperado el 6 de junio de 2014 de <https://www.gadsangregorio.gob.ec/index.php/>.
- Gutiérrez H., De la Vara Salazar, R. (2008). Análisis y Diseño de Experimentos. México D.F.: Mc. Graw Hill.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN. (2011). Norma INEN 1108:2010 Agua potable. Requisitos. Recuperado el 17 de abril de 2014 de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1108.2011.pdf>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN. (1998). Norma INEN 2169:98 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. Recuperado el 29 de abril de 2014 de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2169.1998.pdf>
- Brunet R., Reina C., Bretcha T., Om J. (2012). Comparación de los procesos de adsorción y biodegradación en filtros de carbón activado y arena aplicados a la potabilización del agua. Recuperado el 5 de febrero de 2015 de <https://www.dialnet.unirioja.es/servlet/>.
- Galbán L. (2009). El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. Cuba: Universidad de Oriente.
- Garzón M., Mercedes L. (2011). Diseño de una guía para la elaboración de filtros lentos de potabilización de agua. Bogotá-Colombia: Universidad Libre.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-INEC. (2010). Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador: fascículo nacional. Quito: INEC.
- Organización de las Naciones Unidas-ONU. (2010). Declaración sobre la calidad *del agua "UN Water"*. Recuperado el 9 de mayo de 2014 de https://www.unwater.org/downloads/unw_wwd_statement1.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO. (2006). El agua, una responsabilidad compartida: 2º informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Programa Mundial de evaluación de los recursos Hídricos.
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (2012). Día mundial del agua. Recuperado el 14 de mayo de 2014 de <https://www.who.int/>.

- Organización Panamericana de la Salud-OPS. (2008). Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldes y alcaldesas de municipios rurales y pequeñas comunidades. CEPIS/OPS
- Perez, D.S., Soraci, A.L. y Tapia M.O. (2008). Cyanobacteria and cyanotoxins: Role of microcystyna on human and animal health and their detection in water samples. Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Prescott L. M., Harley J. P. y Klein D. A. (2004). Microbiología, quinta edición. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Rise E.W., Baird R.V., Eaton D.C. y Clesceri. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation.
- Sanchez L., Latorre J., Galvis G. (2012). Periodo de maduración: efecto de la limpieza de la biomembrana en un filtro lento de arena. Cali-Colombia: Investigación y Desarrollo de Agua Potable, Saneamiento Básico y conservación del Recurso Hídrico.
- Schelesinger, S. (2013). FEDETA, comunidad Las Balsas. (A. Sebastián, Entrevistador).
- Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador-SIISE. (2010). Agua entubada por red pública. Recuperado el 10 de diciembre de 2014 de https://www.siise.gob.ec/Indicadores_Prioritarios/index.html.
- Vogel A.L. (1991). Química analítica cualitativa de Arthur I. Vogel. Editor: Kapelusz.
- Vidal R., Serrano P., Orosco C. (2000). Biodegradabilidad de la materia orgánica natural del agua y efecto del ozono. España: Universidad Politécnica de Valencia.

Weber W. (1979). Dinámica de Procesos, Reacciones y Reactores.
Recuperado el 5 de febrero d 2015 de <https://books.google.es/books>.

ANEXOS

1. Fotografías



Fotografías de la comunidad de Las Balsas y animales de carga, único medio de transporte de llegada y salida a la comunidad.



Fotografías del Río Canuto, comunidad Las Balsas

**(A)****(B)****(C)**

(A): filtro instalado y funcionando de una vivienda de la comunidad Las Balsas

(B): Filtros preparados para ser colocados en las viviendas de la comunidad Las Balsas

(C): Saquillos de arena para los filtros de la comunidad Las Balsas

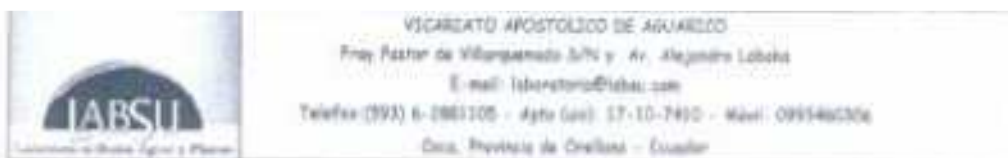


Recolección de muestras de agua en la comunidad LasBalsas de río Canuto y de los filtros instalados

2. Resultados de Exámenes de Laboratorio

Filtro A (tiempo de retención 48 horas).

Réplica 1, altura del lecho filtrante: 70 cm, tiempo de retención: 48 horas.



Informe de Ensayo: 95 364

Coca, 08 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris E9-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09 99935401

Ingreso de la muestra: 5 de septiembre 2014 15:35.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cont.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	a 25 °C	Método/ Norma	Incumbencia #/2
1	1	Sólidos Totales de Sólidos	FE LABSU-01	mg/L	1	ISO 482	+ 12%
2	1	Plomo	FE LABSU-24	mg/L	0.005	ISO 4038, 3111 B	+ 10%
3	1	Resaca	FE LABSU-06, 23	mg/L	0.005	ISO 4038, ISO 4039, 3111 B	+ 10%
4	1	Boro	FE LABSU-22	mg/L	0.005	ISO 4038, 3111 B	+ 10%
5	1	Cadmio	FE LABSU-06, 20	mg/L	0.005	ISO 4038, ISO 4039, 3111 B	+ 10%
6	1	Cromo total	FE LABSU-21	mg/L	0.005	ISO 4038, 3111 B	+ 10%
7	1	Cifras de Sólidos	FE LABSU-04	mg/L	1	ISO 482	+ 10%
8	1	Sólidos volátiles	FE LABSU-09	mg/L	1.17	ISO 482	+ 10%

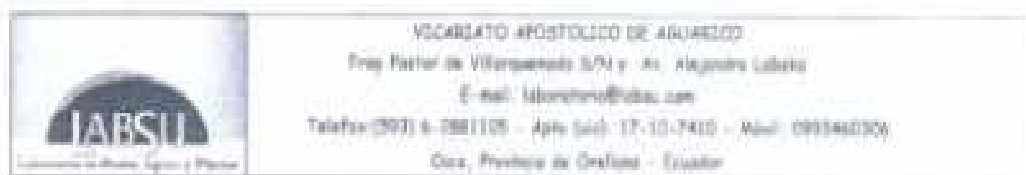
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 1, altura del lecho filtrante: 60 cm, tiempo de retención: 48 horas.



Informe de Ensayo: 05 365

Coca, 08 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Artoloda

Dirección: Quito, Shyris 19-38 y Búlgica, Edificio Shyris Century Plus 11 Oficina 11 A

Nro. Contacto: 09-99035403

Ingreso de la muestra: _____ 5 de septiembre 2014 15:20.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Análisis solicitado	Prescritos en el estándar específico LABSU	Unidades	± 0.1 %	Método/ Norma	Verificación N-0
1	1	Demanda biológica (DB5)	FD-LABSU-08	mg/L	4	ISO 15705	± 2%
2	1	Phosfo	FD-LABSU-28	mg/L	0.025	ISO 15705, 11118	± 2%
3	1	Nitrat	FD-LABSU-06, 21	mg/L	0.025	ISO 15705, ISO 15706, 11118	± 2%
4	1	Boro	FD-LABSU-23	mg/L	0.040	ISO 15706, 11118	± 2%
5	1	Cobro	FD-LABSU-16, 20	mg/L	0.057	ISO 15705, ISO 15706, 11118	± 2%
6	1	Cromo (total)	FD-LABSU-22	mg/L	0.025	ISO 15706, 11118	± 2%
7	2	Sólidos Totales	FD-LABSU-49	mg/L	5	ISO 15703	± 2%
8	1	Sólidos volátiles	FD-LABSU-50	mg/L	17.44	ISO 15704	± 2%

Informe realizado por:

Ing. Hamero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 1, altura del lecho filtrante: 50 cm, tiempo de retención: 48 horas.



Informe de Ensayo: 95 388

Coca, 08 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arzuola

Dirección: Quito, Shyris 19-38 y Méjica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99335401

Ingreso de la muestra: 5 de septiembre 2014 15:20

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Nro.	Cant.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	± 95%	Método/ Norma	Resultados End
1	1	Determinación de sólidos totales	FT-LABSU-06	mg/L	3	NAO-008	1.2%
2	1	Phosfo	FT-LABSU-20	mg/L	0.0010	NAO-004, 10118	1.2%
3	1	Nitrato	FT-LABSU-08_02	mg/L	0.0001	FT-30518, NAO-004, 10118	1.2%
4	1	Nitró	FT-LABSU-22	mg/L	0.001	NAO-004, 10118	1.2%
5	1	Cálcico	FT-LABSU-06_08	mg/L	0.001	FT-30518, NAO-004, 10118	1.2%
6	1	Cincobal	FT-LABSU-21	mg/L	0.001	NAO-004, 10118	1.2%
7	1	Cincofosfo	FT-LABSU-44	mg/100ml	6	NAO-010	1.2%
8	1	Sulfocobal	FT-LABSU-19	mg/L	0.1	NAO-014	1.2%

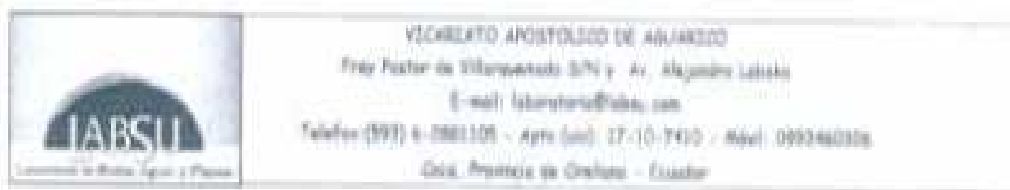
Informe realizado por:

Ing. Romero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 70 cm, tiempo de retención: 48 horas.



Informe de Ensayo: 25.367

Cóca, 09 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arbolada

Dirección: Quito, Shyris CP-38 y Bélgica, (Edificio Shyris Century Piso 11 Oficina 11 A)

Nro. Contacto: 09-99015401

Ingreso de la muestra 5 de septiembre 2014 15:00.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Nro.	Cod.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	± 0.05 %	Resultado/ Norma	Normalizado a 20
1	L	Demanda química de oxígeno	FE-LABU-08	mg/l	2	1000.000	1.00%
2	L	Ph	FE-LABU-24	mg/l	0.012	8.000000000	1.00%
3	L	Nitro	FE-LABU-06.25	mg/l	0.0017	374.0000000000000	1.00%
4	L	Nitro	FE-LABU-12	mg/l	0.0015	384.0000000000000	1.00%
5	L	Nitro	FE-LABU-08.20	mg/l	0.0017	374.0000000000000	1.00%
6	L	Conductividad	FE-LABU-03	mg/l	0.0014	384.0000000000000	1.00%
7	L	Sólidos Totales	FE-LABU-04	mg/l	2	384.0000000000000	1.00%
8	L	Sólidos Suspendidos	FE-LABU-05	mg/l	14.04	384.0000000000000	1.00%

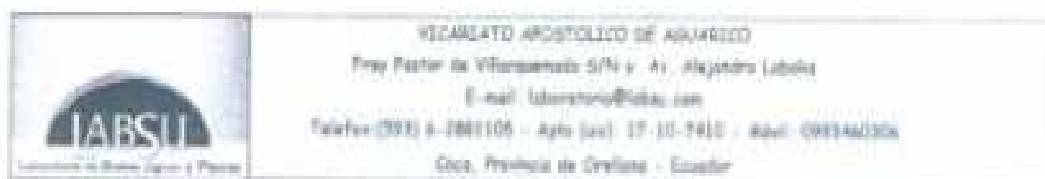
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 60 cm, tiempo de retención: 48 horas.



Informe de Ensayo: 95 368

Coca, 09 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris ES-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13-A.

Tel. Contacto: 09-9995401

Ingreso de la muestra:..... 5 de septiembre 2014 16:20.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Nº	Cant.	Análisis solicitado.	Procedimiento específico (Mét.)	Unidades	u.9904	Muestra/ Norma	Porcentaje R+D
1	1	Densidad aparente de agregado	PS-LABSU-01	mg/L	1	NA-1-000	1.0%
2	1	PH	PS-LABSU-04	mg/L	0.000	NA-2001.1111.0	1.0%
3	1	Titulad.	PS-LABSU-11	mg/L	0.001	NA-2001.1111.0	1.0%
4	1	Suero	PS-LABSU-22	mg/L	0.000	NA-2001.1111.0	1.0%
5	1	Cedros	PS-LABSU-16	mg/L	0.000	NA-2001.1111.0	1.0%
6	1	Conductividad	PS-LABSU-13	mg/L	0.007	NA-2001.1111.0	1.0%
7	1	Cloruros totales	PS-LABSU-44	mg/L	4	NA-2001.1111.0	1.0%
8	1	Sólidos totales	PS-LABSU-14	mg/L	10.0	NA-2001.1111.0	1.0%

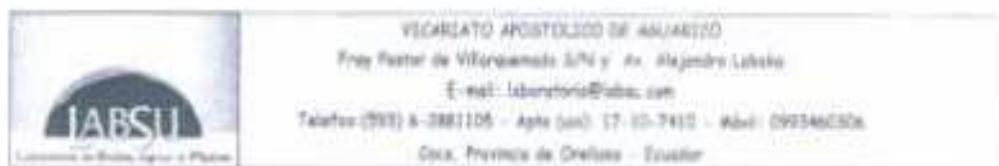
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 50 cm, tiempo de retención: 48 horas.



Informe de Ensayo: 95 369

Coca, 09 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris E9-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Plus 13 Oficina 13 A

Nro. Contactor: 09-99935401

Ingreso de la muestra..... 5 de septiembre 2014 16:25.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico (LABSU)	Unidades	±0.05%	Método/ Norma	Resultados (%)
1	1	Demanda biológica (Oxígeno demandado)	PS-LABSU-08	mg/L	2	ISO 1000	1.1%
2	1	Plomo	PS-LABSU-14	mg/L	0.001	SM 8210.6, ILLD	1.2%
3	1	Níquel	PS-LABSU-06, 13	mg/L	0.001	SM 8210.6, SM 8210.6, ILLD	1.2%
4	1	Selenio	PS-LABSU-12	mg/L	0.001	SM 8210.6, ILLD	1.2%
5	1	Cadmio	PS-LABSU-16, 20	mg/L	0.001	SM 8210.6, SM 8210.6, ILLD	1.2%
6	1	Cromo total	PS-LABSU-11	mg/L	0.001	SM 8210.6, ILLD	1.2%
7	1	Cadmio total	PS-LABSU-09	mg/L	0.001	SM 8210.6	1.2%
8	1	Selenio total	PS-LABSU-07	mg/L	0.001	SM 8210.6	1.2%

Informe realizado por:

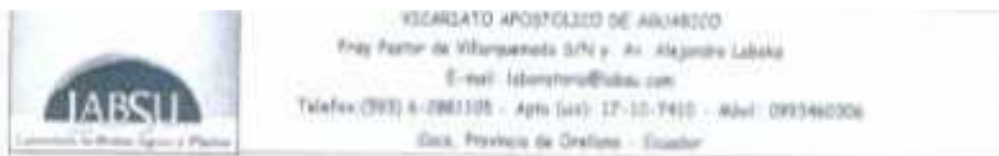
Ing. Romero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Filtro B (tiempo de retención 72 horas).

Réplica 1, altura del lecho filtrante: 70 cm, tiempo de retención: 72 horas.

**Informe de Ensayo: 95.324**

Coca, 12 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris EP-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra: 8 de septiembre 2014 17:00.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico (ABO)	Unidades	a 95-96	Método/ Norma	Incertidumbre (%)
1	1	Demanda bioquímica de oxígeno	P01 LABSU-05	mg/L	1	HACH 8000	+ 12%
2	1	Proceso	P02 LABSU-04	mg/L	0.0017	SM 8100 B, 8112 B	+ 11%
3	1	Nitros	P03 LABSU-06-20	mg/L	0.0001	SPA 2000 B, SPA 2000 C, 1111 B	+ 13%
4	1	Nitro	P04 LABSU-22	mg/L	0.0004	SM 8100 A, 1111 D	+ 23%
5	1	Cálcico	P11 LABSU-06-20	mg/L	+ 0.00	SPA 3201 B, SM 8100 B, 1111 B	+ 12%
6	1	Sodio (total)	P13 LABSU-21	mg/L	0.0013	SPA 3100 D, 1111 B	+ 21%
7	1	Cloruros Totales	P01 LABSU-04	Ca/100mg	1	SM 8100 D	+ 10%
8	1	Sólidos totales	P02 LABSU-05	mg/L	0.10	SM 2420 D	+ 17%

Informe realizado por:

Ing. Romero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 1, altura del lecho filtrante: 60 cm, tiempo de retención: 72 horas.



Informe de Ensayo: 95-375

Coca, 12 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris ES-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina ES A

Tel. Contacto: 09-99835401

Ingreso de la muestra: _____ a de septiembre 2014 17:10.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cod.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	a 20°C	Método/ Norma	Porcentaje Cr.2
1	1	Demanda biológica de oxígeno	PD-LABU-05	mg/L	2	5421-1002	± 1%
2	1	Phosfo	PD-LABU-34	mg/L	0.002	5421-2018, 5112 E	± 1%
3	1	Nitro	PD-LABU-05, 25	mg/L	0.002	5421-2018, 5421-2018, 5112 H	± 1%
4	1	Sodio	PD-LABU-22	mg/L	0.0007	5421-2018, 5112 D	± 1%
5	1	Calcio	PD-LABU-16, 20	mg/L	0.0020	5421-2018, 5421-2018, 5112 H	± 1%
6	1	Cromo total	PD-LABU-31	mg/L	0.0017	5421-2018, 5112 H	± 1%
7	1	Cloruros totales	PD-LABU-44	126/100 ml	2	5421-2018	± 1%
8	1	Sulfatos totales	PD-LABU-40	mg/L	4.31	5421-2018	± 1%

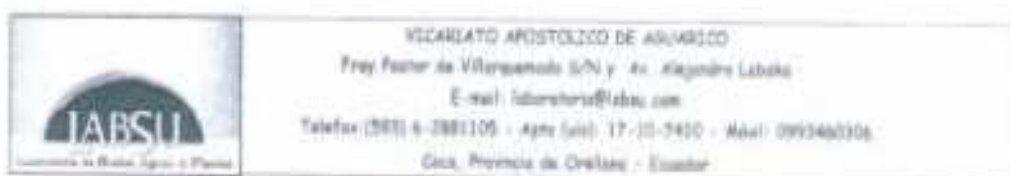
Informe realizado por:

Ing. Homero Veja W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 1, altura del lecho filtrante: 50 cm, tiempo de retención: 72 horas.



Informe de Ensayos: 95.376

Coca, 12 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris E9-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Tel. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra: 8 de septiembre 2014 17:30

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Aplicación	Procedimiento específico (LABSU)	Unidades	± 0.05%	Método/ Norma	Incidencias 4-2
1	1	Determinación de sólidos totales	PRE-LABSU-01	mg/L	1.1	ISO 4833	± 1%
2	1	Plata	PRE-LABSU-04	mg/L	0.001	ISO 4833, 31119	± 1%
3	1	Níquel	PRE-LABSU-06, 23	mg/L	0.001	ISO 4833, ISO 4833, 31119	± 1%
4	1	Mercurio	PRE-LABSU-21	mg/L	0.001	ISO 4833, 31119	± 1%
5	1	Cadmio	PRE-LABSU-16, 21	mg/L	± 0.001	ISO 4833, ISO 4833, 31119	± 1%
6	1	Cromo (total)	PRE-LABSU-21	mg/L	0.001	ISO 4833, 31119	± 1%
7	1	Sulfato (total)	PRE-LABSU-04	mg/100 ml	2	ISO 4833, 31119	± 1%
8	1	Sólidos totales	PRE-LABSU-01	mg/L	0.01	ISO 4833	± 1%

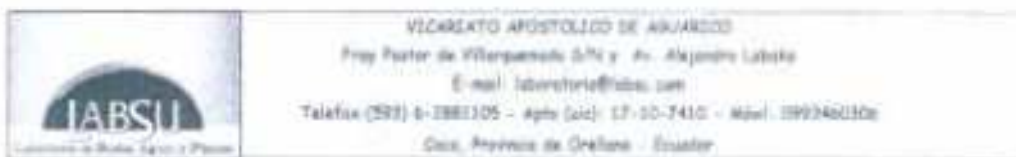
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 70 cm, tiempo de retención: 72 horas.



Informe de Ensayo: 95 377

Cuenca, 12 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris E9-38 y Néliga, Edificio Shyris Century Plus 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra..... 8 de septiembre 2014 18:00.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico (LABU)	Unidades	± Error	Método/ Norma	Resultados ± Error
1	1	Determinación bioquímica de oxígeno	PED-LABU-08	mg/l	± 2	4470-999	± 17%
2	1	Phosfo	PED-LABU-28	mg/l	± 0.012	SM 9005.0111-B	± 23%
3	1	Nitrato	PED-LABU-06_21	mg/l	± 0.021	FFA 9006.0111-B	± 25%
4	1	Nitro	PED-LABU-22	mg/l	± 0.028	SM 9006.0111-C	± 23%
5	1	Calcio	PED-LABU-06_20	mg/l	± 0.041	FFA 9006.0111-B	± 17%
6	1	Dureza total	PED-LABU-23	mg/l	± 0.025	SM 9006.0111-B	± 21%
7	1	Coliformes fecales	PED-LABU-04	UFC/100ml	± 1	SM 9002-C	± 20%
8	1	Sólidos totales	PED-LABU-05	mg/l	± 0.40	SM 9001-B	± 17%

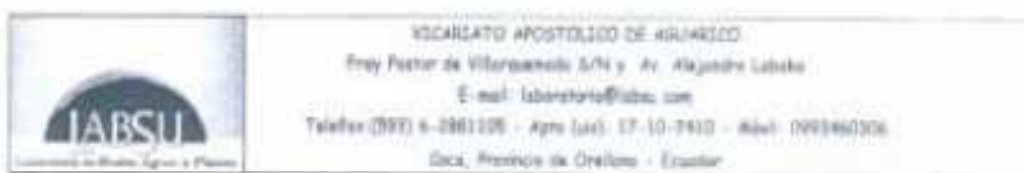
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 60 cm, tiempo de retención: 72 horas.



Informe de Ensayo: 95 378

Coca, 12 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastian Arboleda

Dirección: Quito, Shyris E9-3H y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99935403

Ingreso de la muestra 8 de septiembre 2014 18:10

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Núm.	Cant.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico IABSU	Unidades	±0.05%	Método/ Norma	Var. Relativa R=I
1	1	Densidad aparente de agua	PE1-IABSU-08	mg/l	1	ISO 15705	± 0.2%
2	1	pH	PE2-IABSU-09	mg/l	0.002	ISO 10545, 3111 B	± 0.2%
3	1	Nitrat	PE3-IABSU-06, 21	mg/l	0.002	ISO 10545, ISO 10545, 3111 B	± 0.2%
4	1	Nitró	PE4-IABSU-22	mg/l	0.002	ISO 10545, 3111 D	± 0.2%
5	1	Catión	PE5-IABSU-06, 20	mg/l	+ 0.001	ISO 10545, ISO 10545, 3111 D	± 0.2%
6	1	Cation total	PE6-IABSU-21	mg/l	0.002	ISO 10545, 3111 B	± 0.2%
7	1	Cófitenos Totales	PE7-IABSU-44	CM/100ml	1	ISO 10545 D	± 0.2%
8	1	Sólidos totales	PE8-IABSU-49	mg/l	0.2	ISO 15469	± 0.2%

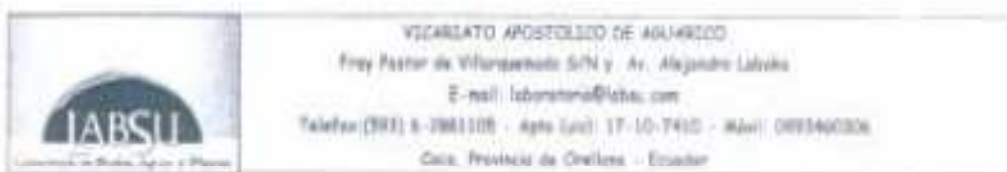
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 50 cm, tiempo de retención: 72 horas.



Informe de Ensayo: 95 379

Coca, 12 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris 19-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 05-99935401

Ingreso de la muestra: 8 de septiembre 2014 18:30.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	a 99.9%	Niveles/Norma	Porcentaje (%)
1	1	Demanda biológica de oxígeno	PS-LABSU-01	mg/l	1	NACH 8000	+10%
2	1	pH	PS-LABSU-06	mg/l	0.010	SM 300 B, 3111 B	+10%
3	1	Nitro	PS-LABSU-06, 21	mg/l	0.010	SM 300 B, SM 300 B, 3111 B	+10%
4	1	Sólido	PS-LABSU-12	mg/l	0.000	SM 300 B, 3111 B	+10%
5	1	Código	PS-LABSU-06, 20	mg/l	+0.00	SM 300 B, SM 300 B, 3111 B	+10%
6	1	Código (total)	PS-LABSU-21	mg/l	0.001	SM 300 B, 3111 B	+10%
7	1	Código fósforo	PS-LABSU-44	mg/300 ml	2	SM 4211 C	+10%
8	1	Sólido total	PS-LABSU-14	mg/l	11.21	SM 2400 B	+10%

Informe realizado por:

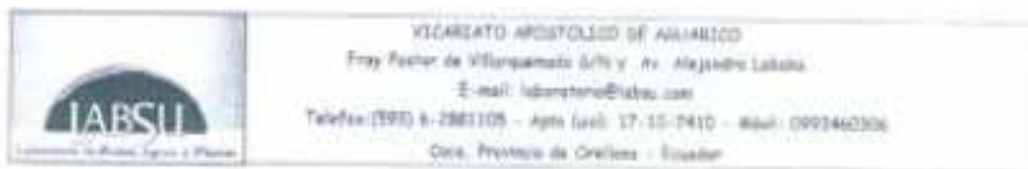
Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Filtro C (tiempo de retención 96 horas).

Réplica 1, altura del lecho filtrante: 70 cm, tiempo de retención: 96 horas.



Informe de Ensayo: 99-408

Coca, 15 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris 59-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Plus 15 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra: 10 de septiembre 2014 18:30.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Núm.	Cant.	Análisis solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	± 99-99	Método/ Norma	Incidencias 8-2
1	1	Determina bromatos de sodio	FEI-LABSU-05	mg/L	2	4414-000	± 12%
2	1	Hierro	FEI-LABSU-26	mg/L	>0.00	5M 500 6, 5111 B	± 12%
3	1	Níquel	FEI-LABSU-22	mg/L	>0.00	5PA 500 5, 5M 500 6, 5111 B	± 15%
4	1	Plomo	FEI-LABSU-22	mg/L	0.001	5M 500 6, 5111 B	± 15%
5	1	Cadmio	FEI-LABSU-26, 20	mg/L	>0.00	5PA 500 5, 5M 500 6, 5111 B	± 15%
6	1	Cromo total	FEI-LABSU-21	mg/L	>0.00	5M 500 6, 5111 B	± 15%
7	1	Cianuros totales	FEI-LABSU-44	Ca/100 ml	1	5M 5111 D	± 20%
8	1	Sulfatos totales	FEI-LABSU-06	mg/L	0.05	5M 2640 E	± 17%

Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 1, altura del lecho filtrante: 60 cm, tiempo de retención: 96 horas.



Informe de Ensayo: 95.407

Cota, 15 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyrin ES-38 y Bélgica, Edificio Shyrin Century Piso 13 Oficina 13.A

Tel. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra: 10 de septiembre 2014 17:20

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Análisis solicitado	Procedimiento específico (Mét.)	Unidades	± 0.5%	Método/ Norma	Incremento 0-2
1	1	Demanda bioquímica de oxígeno	Mét. LABSU-01	mg/L	0	HACH-8000	+ 0%
2	1	Peso	Mét. LABSU-24	mg/L	0.000	SM 8006, 3110 F	+ 0%
3	1	Nitro	Mét. LABSU-06, 23	mg/L	0.000	SM 8006, SM 8009, 3110 F	+ 0%
4	1	Boro	Mét. LABSU-21	mg/L	0.004	SM 8006, 3110 F	+ 0%
5	1	Cálcico	Mét. LABSU-05, 22	mg/L	+0.002	SM 8006, SM 8009, 3110 F	+ 0%
6	1	Carbonato	Mét. LABSU-21	mg/L	0.001	SM 8006, 3110 F	+ 0%
7	1	Catiónes Fecales	Mét. LABSU-46	DA/100ml	0	SM 8006, 3110 F	+ 0%
8	1	Sólidos totales	Mét. LABSU-08	mg/L	1.07	SM 8006	+ 0%

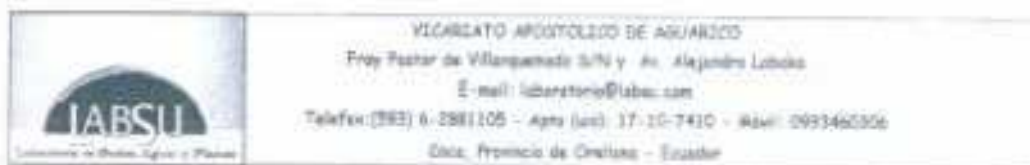
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 1, altura del lecho filtrante: 50 cm, tiempo de retención: 96 horas.



Informe de Ensayo: 95.408

Coca, 15 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris 11-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century, Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra: 10 de septiembre 2014 17:50.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Nro	Cant.	Análisis solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	+0/100	Método/ Norma	Resultados A-d
1	1	Demanda bioquímica de oxígeno	PEE-LABSU-01	mg/l	2	5400-1030	± 1%
2	1	Flora	PEE-LABSU-24	mg/l	20007	5400-1030, 5112-0	± 2%
3	1	Nitros	PEE-LABSU-06, 13	mg/l	20000	576-30213, 5400-1030, 5112-0	± 2%
4	1	Sólidos	PEE-LABSU-22	mg/l	20001	5400-1030, 5112-0	± 2%
5	1	Sólidos	PEE-LABSU-16, 20	mg/l	+0/00	576-30213, 5400-1030, 5112-0	± 2%
6	1	Dureza total	PEE-LABSU-21	mg/l	+0/00	5400-1030, 5112-0	± 2%
7	1	Coliformes Fecales	PEE-LABSU-04	UFC/100ml	2	5400-1030	± 2%
8	1	Sólidos totales	PEE-LABSU-09	mg/l	0.54	5400-1030	± 1%

Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 70 cm, tiempo de retención: 96 horas.



Informe de Ensayos: 95.015

Cota, 15 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris E9-38 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra: 10 de septiembre 2014 19:10.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Núm	Cód.	Análisis Solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	± 95% (L)	Método/ Norma	Incumbiendo hQ
1	1	Determina la capacidad de cationes	PEE-LABSU-08	mg/L	1	HACH-2000	1.2%
2	1	Fósforo	PEE-LABSU-14	mg/l	+0.001	DR 2000B, 3111 B	1.2%
3	1	Nitrato	PEE-LABSU-16, 21	mg/l	+0.001	SPA 3000 B, CAP 3000 B, 3111 B	1.2%
4	1	Boro	PEE-LABSU-23	mg/l	0.0017	SPA 3000 B, 3111 B	1.2%
5	2	Cátions	PEE-LABSU-26, 31	mg/l	0.0015	SPA 3000 B, CAP 3000 B, 3111 B	1.2%
6	1	Cromo (total)	PEE-LABSU-31	mg/l	+0.001	SPA 3000 B, 3111 B	1.2%
7	1	Catiónes Aniónes	PEE-LABSU-44	Cap (100 ml)	1	DR 2000 B	1.0%
8	1	Nitrato (total)	PEE-LABSU-49	mg/l	0.07	DR 2000 B	1.1%

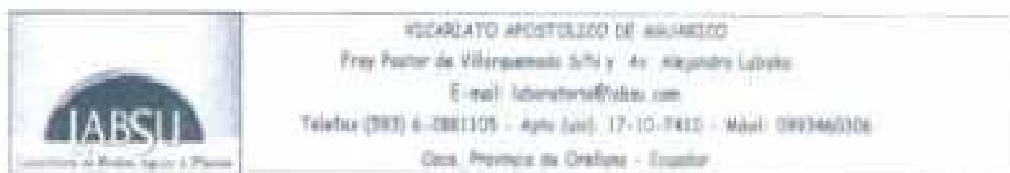
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 60 cm, tiempo de retención: 96 horas.



Informe de Análisis: 25-416

Coca, 15-Septiembre 2014

Atendido:

Sr. Sebastián Arboleda

Dirección: Quito, Shyris EP-58 y Bélgica, Edificio Shyris Century Prox 13 Oficina 13 A

Rio. Contacto: 09-99235401

Ingreso de la muestra: 10 de septiembre 2014 - 18:15.

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Análisis solicitado	Procedimiento específico LABSU	Unidades	± 99.9%	Método/ Norma	Identificación S.A.J
1	1	Densidad (aparente) (sólido)	PO-LABSU-08	mg/L	1	ISO 15707	1.27%
2	1	Cloro	PO-LABSU-14	mg/L	0.002	ISO 10319, 11110	1.27%
3	1	Alcali	PO-LABSU-16, 22	mg/L	0.004	ISO 10319, 1M 2010, 11110	1.27%
4	1	PH	PO-LABSU-21	mg/L	0.002	1M 2010, 11110	1.27%
5	1	Química	PO-LABSU-16, 22	mg/L	+0.001	ISO 10319, 1M 2010, 11110	1.27%
6	1	Química (total)	PO-LABSU-21	mg/L	+0.001	1M 2010, 11110	1.27%
7	1	Sólidos Totales	PO-LABSU-44	mg/L	1	1M 10220	1.27%
8	1	Sólidos totales	PO-LABSU-44	mg/L	1.47	1M 25010	1.27%

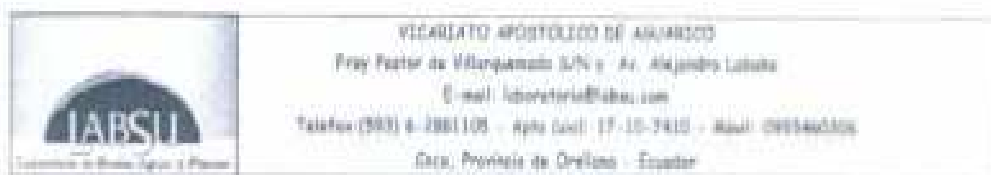
Informe realizado por:

Ing. Homero Vela W.

RESPONSABLE DE CALIDAD



Réplica 2, altura del lecho filtrante: 50 cm, tiempo de retención: 96 horas.



Informe de Ensayo: 95-417

Coca, 15 Septiembre 2014

Atención:

Sr. Sebastián Arbolada

Dirección: Quito, Shyris 19-18 y Bélgica, Edificio Shyris Century Piso 13 Oficina 13 A

Nro. Contacto: 09-99935401

Ingreso de la muestra: 10 de septiembre 2014 19:05

Resultados/ Parámetros y métodos/ Referencias:

Item	Cant.	Ámbito Intitulado	Procedimiento específico (NMI)	Unidades	g 99.9%	Método/ Norma	Normalización N.C.
1	1	Demanda biológica de oxígeno	FE-LABU-18	mg/l	1	FE-LABU	± 1%
2	1	Peso	FE-LABU-25	mg/g	0.001	FE-LABU S, 1011 S	± 0%
3	1	Alcali	FE-LABU-26, 27	mg/l	0.001	FE-LABU S, 1011 S, 1011 S	± 0%
4	1	Boro	FE-LABU-27	mg/l	0.001	FE-LABU S, 1011 S	± 0%
5	1	Catión	FE-LABU-36, 37	mg/l	0.001	FE-LABU S, 1011 S, 1011 S	± 0%
6	1	Cloro Total	FE-LABU-31	mg/l	± 0.001	FE-LABU S, 1011 S	± 0%
7	1	Coliformes Fecales	FE-LABU-44	Col/100ml	1	FE-LABU S	± 0%
8	1	Sólidos totales	FE-LABU-45	mg/l	2.5	FE-LABU S	± 0%

Informe realizado por:

Ing. Romero Veja W.

RESPONSABLE DE CALIDAD

