



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN CASEROS, FILTRO LENTO DE ARENA Y FILTRO CERÁMICO DE ARCILLA, PARA DEPURACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO, A FIN DE SER APLICADOS EN COMUNIDADES RURALES DE BAJOS RECURSOS ECONÓMICOS”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

FERNANDO XAVIER JARRIN PEREZ

PABLO ALEJANDRO RAMOS MARCIAL

GUAYAQUIL – ECUADOR

2009

AGRADECIMIENTO

Agradezco la participación de todos los que colaboraron:

Al Dr. Matamoros por ser el gran entusiasta de este proyecto, al Dr. Domínguez que estuvo presto a resolvernos todas las dudas, al Dr. Morante por el apoyo incondicional a la realización de esta idea, a todos los que nos dieron una mano

Se debe subrayar la importante tarea de...

MIS PADRES

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre, quien ha sido la fuente de inspiración, por quien lucho para ser mejor día a día.

Pablo Ramos Marcial

DEDICATORIA

Para aquel que me dijo que no podía venir,
y cuando le pregunté el por qué, yo solo
me respondí.

¡Va por ti!

Fernando Jarrín Pérez

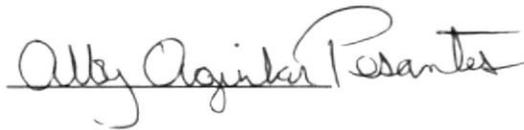
TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Gastón Proaño
SUBDECANO DE LA FICT



Dr. David Matamoros
DIRECTOR DE TESIS



Msc. Alby Aguilar
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fernando', written over a horizontal line.

Fernando Xavier Jarrín Pérez

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pablo Ramos', written over a horizontal line.

Pablo Alejandro Ramos Marcial



C.I.B.

RESUMEN

El agua para consumo humano ha sido definida en las *Guías para la calidad del agua potable* de la Organización Mundial de la Salud (OMS), como aquella *“adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”*. En esta definición está implícito que el uso del agua no debería presentar riesgo de enfermedades a los consumidores. De acuerdo con la UNESCO y la OMS (año 2001, Foro mundial del agua), el 80% de las enfermedades en los países en vía de desarrollo son de origen hídrico, lo cual evidencia la verdadera magnitud de la problemática al cual está sometido el hombre al consumir agua en sus diferentes condiciones.

En nuestro país, tenemos zonas que no cuentan con sistemas de potabilización de agua, en donde la gente se provee del líquido vital mediante pozos profundos de donde captan agua. El Ecuador es un país propenso a inundaciones, sobre todo bajo el efecto del Fenómeno del Niño. Durante estos eventos los pozos profundos se inundan,

tanto pozos de agua como pozos sépticos, produciendo una mezcla que paradójicamente, a pesar de estar anegados por el agua, no es posible disponer de ella para consumo humano.

La filtración es un proceso de purificación de agua muy antiguo y efectivo, en nuestro país tenemos como antecedente las piedras de filtrar que otrora se usaran en los hogares de nuestros abuelos. La finalidad de esta tesis, es evaluar dos sistemas de filtración, uno lento de arenas y otro cerámico, de fácil construcción y mantenimiento, pero sobre todo muy económicos, de capacidad suficiente que suministre agua segura a una pequeña familia que no disponga de una fuente fiable de captación de líquido vital.

En el Laboratorio de Medio Ambiente del Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales (ESPOL), se van a desarrollar los dos sistemas de filtración, los cuales van a ser evaluados a lo largo del tiempo, para analizar la capacidad de remoción de agentes contaminantes y patógenos con el fin de determinar la efectividad de los sistemas mencionados y su posible implementación como plan de contingencia en caso de inundaciones. Las actividades de investigación de este tópico son financiadas por el Proyecto Semilla Espol-Cicyt PEC 07-41.



INDICE GENERAL

RESUMEN	
INDICE GENERAL	
ABREVIATURAS	
INDICE DE GRAFICOS	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
INTRODUCCION	1
1. ASPECTOS GENERALES	2
1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del Problema	6
1.3. Justificación	7
1.4. Objetivos	10

1.4.1.Objetivo General	10
1.4.2.Objetivos Específicos	11
1.5. Alcance de la Investigación	11
1.6. Marco Legal	12
1.7. Área de Influencia	14
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	15
2.1. Recurso agua	15
2.1.1.Características del Agua	16
2.1.2.Clasificación del Agua	18
2.1.3.Disponibilidad de Agua Dulce en el Planeta	20
2.1.4.Distribución y Usos del Agua	21
2.2. Contaminación del Agua	23
2.2.1.Principales Contaminantes del Agua	25
2.2.2.Caracterización del Agua	26
2.2.2.1. Parámetros Físico-Químicos	26
2.2.2.2. Parámetros Biológicos	27
2.3. Filtración como Medio de Purificación del Agua	28
2.3.1.Antecedentes Históricos	29
2.3.2.Factores que Influyen en la Filtración	30

2.3.3. Materiales Filtrantes	32
2.3.4. Mecanismos Responsables de la Filtración	33
2.3.5. Modelos Matemáticos de la Filtración	38
2.3.6. Tipos de Filtros	39
2.3.6.1. Filtros Químicos	40
2.3.6.1.1. Rápidos con Lecho de un solo Material	40
2.3.6.1.2. Rápidos con Lecho Múltiple	41
2.3.6.1.3. Rápidos con Flujo Ascendente	42
2.3.6.1.4. De Flujo Mixto	42
2.3.6.2. Filtros Biológicos	43
2.3.6.2.1. Rápidos Biológicos	43
2.3.6.2.2. Lentos Convencionales	45
2.3.6.2.3. Prefiltros	46
2.3.7. Filtros no Convencionales	47
2.3.7.1. Filtros caseros de Arena	48
2.3.7.2. Filtros cerámicos de Arcilla	49
2.4. Definición del problema a ser evaluado	51
3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGIA DE ANALISIS	53
3.1. Diseño Experimental	53
3.1.1. Filtro de Arena	55

3.1.1.1.	Descripción de Unidad de Filtración	58
3.1.1.2.	Medio Filtrante	60
3.1.1.3.	Elaboración de Unidad de Filtración	65
3.1.1.4.	Descripción del Experimento	73
3.1.2.	Filtro Cerámico de Arcilla	75
3.1.2.1.	Descripción de Unidad de Filtración	76
3.1.2.2.	Materiales Constituyentes de los Filtros	78
3.1.2.3.	Elaboración de Unidad de Filtración	79
3.1.2.4.	Descripción del Experimento	83
3.2.	Metodología y Análisis	85
3.2.1.	Muestreo In Situ y de Laboratorio	86
3.2.1.1.	Ubicación de los Puntos de Muestreo	94
3.2.1.2.	Preservación de Muestras	99
3.2.2.	Análisis Físicos	100
3.2.3.	Análisis Químicos	103
3.2.4.	Análisis Bacteriológicos	104
4.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	106
4.1.	Caracterización de las fuentes de agua	106
4.1.1.	Fuente: Lago Espol.	107
4.1.2.	Fuente: Agua de Pozo	108

4.1.3.	Fuente: Agua de Manantial	109
4.1.4.	Fuente: Agua de Río	110
4.2.	Representación gráfica de la caracterización de las fuentes	111
4.3.	Resultados del proceso de Filtración	122
4.3.1.	Resultados de la Filtración Lenta de Arena	122
4.3.1.1.	Determinación de la Eficiencia del Proceso	131
4.3.2.	Resultados de la Filtración Lenta de Arena y Adición de Zeolita	132
4.3.2.1.	Determinación de la Eficiencia del Proceso	141
4.3.3.	Resultados de los Filtros Cerámicos de Arcilla	142
4.3.3.1.	Determinación de la Eficiencia del Proceso	145
4.4.	Discusión de los Resultados	146
5.	ANÁLISIS ECONOMICO DE SISTEMAS EVALUADOS	148
5.1.	Análisis de Costos	148
5.1.1.	Determinación del Costo de Construcción de un Filtro Casero de Arena	149
5.1.2.	Determinación del Costo de Construcción de un Filtro Cerámico de Arcilla	150
5.2.	Situación Económica del País	151
5.3.	Capacidad Adquisitiva en los Sitios de Muestreo	152

5.4. Análisis FODA para la fabricación para de unidades de filtración caseros	153
5.4.1. Planificación estratégica a partir de análisis FODA	153

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

6.2. Recomendaciones

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

FLA	Filtro lento de arena
FBA	Filtro biológico de arena
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez
UFC	Unidades formadoras de colonias
lph/m²	Litros por hora por metro cuadrado
mg/l	Miligramos por litro
CaCO₃	Carbonato de calcio

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4.1.- Concentración de Coliformes Fecales en las fuentes de agua.	111
Gráfico 4.2.- Concentración de E. Coli en las fuentes de agua.	112
Gráfico 4.3.- Concentración de Dureza en las fuentes de agua.	113
Gráfico 4.4.- Concentración de Magnesio en las fuentes de agua.	114
Gráfico 4.5.- Concentración de Calcio en las fuentes de agua.	115
Gráfico 4.6.- Concentración de Sodio en las fuentes de agua.	116
Gráfico 4.7.- Concentración de Cloruros en las fuentes de agua.	117
Gráfico 4.8.- Concentración de Nitritos en las fuentes de agua.	118
Gráfico 4.9.- Concentración de Nitratos en las fuentes de agua.	119
Gráfico 4.10.- Concentración de Alcalinidad en las fuentes de agua.	120
Gráfico 4.11.- Concentración de Turbidez en las fuentes de agua.	121

Gráfico 4.12.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	123
Gráfico 4.13.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	124
Gráfico 4.14.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	125
Gráfico 4.15.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	126
Gráfico 4.16.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	127
Gráfico 4.17.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	128
Gráfico 4.18.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	129
Gráfico 4.19.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	130

Gráfico 4.20.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	133
Gráfico 4.21.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	134
Gráfico 4.22.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	135
Gráfico 4.23.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	136
Gráfico 4.24.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	137
Gráfico 4.25.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	138
Gráfico 4.26.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	139

Gráfico 4.27.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC. 140

Gráfico 4.28.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración. 143

Gráfico 4.29.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración. 144

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Disponibilidad de agua dulce en el planeta	21
Figura 3.1.- Columnas de filtración en PVC para filtración lenta con arena	68
Figura 3.2.- Columnas de filtración en buretas para filtración lenta con arena	68
Figura 3.3.- Construcción de columnas de filtración dentro de buretas	73
Figura 3.4.- Componentes de un filtro cerámico	77
Figura 3.5.- Pesaje de materiales del filtro cerámico	81
Figura 3.6.- Mezcla de materiales	82
Figura 3.7.- Elaboración de los filtros de arcilla en tornos	83
Figura 3.8.- Lugar de recolección de agua de manantial	97
Figura 3.9.- Lugar de recolección de agua de pozo	98
Figura 3.10.- Lugar de recolección de agua de pozo	98
Figura 3.11.- Equipos del Laboratorio de Medio Ambiente de Espol	104

INDICE DE TABLAS

Tabla I.- Enfermedades asociadas con inundaciones según el tiempo de aparición.	6
Tabla II.- Distribución del cólera. Número de casos reportados por provincia en el periodo 1996-1998.	9
Tabla III.- Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.	13
Tabla IV.- Especies presentes en el agua	17
Tabla V.- Distribución del agua en nuestro planeta	23
Tabla VI.- Algunos modelos matemáticos de la filtración	38
Tabla VII.- Características de la arena para filtración	64
Tabla VIII.- Ubicación Geográfica de los puntos de muestreo en el sur de Manabí	97
Tabla IX.- Conservación de características inorgánicas en una muestra de agua	99
Tabla X.- Parámetros del agua del lago ESPOL	107
Tabla XI.- Parámetros del agua de Pozo	108

Tabla XII.- Parámetros del agua de Manantial	109
Tabla XIII.- Parámetros del agua de Río	110
Tabla XIV.- Concentración de Coliformes Fecales en las fuentes de agua.	111
Tabla XV.- Concentración de E. Coli en las fuentes de agua.	112
Tabla XVI.- Concentración de Dureza en las fuentes de agua.	113
Tabla XVII.- Concentración de Magnesio en las fuentes de agua.	114
Tabla XVIII.- Concentración de Calcio en las fuentes de agua.	115
Tabla XIX.- Concentración de Sodio en las fuentes de agua.	116
Tabla XX.- Concentración de Cloruros en las fuentes de agua.	117
Tabla XXI.- Concentración de Nitritos en las fuentes de agua.	118
Tabla XXII.- Concentración de Nitratos en las fuentes de agua.	119
Tabla XXIII.- Concentración de Alcalinidad en las fuentes de agua.	120
Tabla XXIV.- Concentración de Turbidez en las fuentes de agua.	121
Tabla XXV.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	123
Tabla XXVI.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	124

Tabla XXVII.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	125
Tabla XXVIII.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	126
Tabla XXIX.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	127
Tabla XXX.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	128
Tabla XXXI.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	129
Tabla XXXII.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	129
Tabla XXXIII.- Eficiencia de Remoción con el Filtro Lento de Arena.	130
Tabla XXXIV.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	131
Tabla XXXV.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	133
Tabla XXXVI.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	134

Tabla XXXVII.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	135
Tabla XXXVIII.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	136
Tabla XXXIX.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	137
Tabla XL.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	138
Tabla XLI.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.	139
Tabla XLII.- Eficiencia de Remoción con el Filtro Lento de Arena + Zeolita.	140
Tabla XLIII.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración.	141
Tabla XLIV.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración.	143
Tabla XLV.- Eficiencia de Remoción con el Filtro Cerámico de Arcilla	145
Tabla XLVI.- Análisis de precio unitario del filtro lento de arena	149
Tabla XLVII.- Análisis de precio unitario del filtro cerámico de arcilla.	150
Tabla XLVIII.- Análisis FODA para la elaboración de filtros caseros.	153



INTRODUCCION

La presente investigación evalúa la eficiencia de dos sistemas de filtración para depuración de agua, un filtro lento de arenas, y un filtro cerámico de arcilla, para analizar su posterior implementación en zonas rurales de escasos recursos económicos carentes de servicio de agua potable.

El objetivo principal es determinar el grado de remoción de carga contaminante obtenido por cada una de las unidades de filtración. Una de ellas es un filtro lento de arena, y la otra es un filtro cerámico de arcillas, ambos de aplicación casera, de fácil elaboración y mantenimiento, y sobre todo de muy bajo costo.

Para la filtración lenta con arena, se procedió a la fabricación de un set de columnas experimentales para realizar las pruebas de filtración y determinar la calidad del agua luego de recorrer una columna de material granular.

Para la filtración con arcilla, se contrató los servicios de un alfarero, para fabricar un set de filtros cerámicos. Los tesistas supervisaron el proceso de fabricación de los filtros y guiaron al alfarero en base a las especificaciones técnicas del caso.

Se procedió a medir parámetros físico-químicos y microbiológicos en muestras de agua antes y después del proceso de filtración, con la finalidad de analizar la variación en los parámetros de medición en el agua ya filtrada. Mediante el uso de un fotómetro y espectrofotómetro del Laboratorio de Medio Ambiente del Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales de la Espol se determinaron los parámetros físico-químicos del agua a tratar, además se contrataron los servicios de PROTAL (Programa de Tecnología en Alimentos de la Espol), para llevar a cabo las pruebas microbiológicas de las muestras de agua.

Como parte final de la investigación, se hará un análisis de precio unitario por sistema de filtración para determinar en base a la economía la factibilidad de producción y venta de los sistemas mencionados.



CAPITULO 1

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

La filtración es uno de los procesos de purificación del agua más antiguos usados por la humanidad. Los primeros filtros tuvieron carácter doméstico, y

consistían en piedras porosas colocadas sobre tinajas donde se recogía el agua filtrada. En los siglos XVIII y XIX, en Francia, se difundieron los filtros de esponja, paño, lana y otros materiales. A partir de 1856, aparecen los filtros a presión: "Fonvielle" y "Souchon". Los primeros contaban con lecho de esponjas marinas y piedra caliza, y los segundos estaban constituidos de lechos de paños.[1]

El principio básico de la filtración es la remoción de microorganismos y materia particulada. La ventaja de este proceso ante otras alternativas de desinfección se debe a que la filtración en ciertos casos no requiere el uso de algún tipo de químico para lograr la desinfección del agua, energía, ni mano de obra calificada que controle el proceso; lo que lo convierte en una alternativa muy económica para la desinfección del agua.[2]

La filtración lenta con arena es un proceso de desinfección muy simple y efectivo, puesto que purifica el agua del mismo modo en que lo hace la naturaleza cuando filtra el agua de la lluvia o escorrentías superficiales para recargar pozos subterráneos o acuíferos. En los filtros lentos, el agua pasa a través de una capa de arena que la purifica debido a una capa microbiológica que se forma de modo natural sobre la superficie. El Dr. David H. Manz, ex

profesor de ingeniería civil de la Universidad de Calgary, desarrolló en el año 1988 un filtro lento de arena, con aplicaciones caseras, con el fin de proveer de agua segura a comunidades en vías de desarrollo. Este filtro es utilizado en más de 50 países. Pruebas han mostrado que el filtro de Manz retira 100 por ciento del *Giardia lamblia*, 99,98 por ciento del *Cryptosporidium* y más de 90 por ciento del colibacilo E. (*Escherichia*)

Los filtros lentos de arena, si no cuentan con un pre-tratamiento del agua cruda (sedimentación y coagulación) suelen colmatarse rápidamente ante valores muy elevados de turbiedad, y con esto es necesaria una limpieza más frecuente. En países como el nuestro, la turbiedad del agua cruda puede verse incrementada por las épocas lluviosas que arrastran sedimentos y los depositan en las fuentes de abastecimientos.

Ante esta limitante de los filtros lentos de arena, una posible alternativa son los filtros cerámicos de arcilla, los cuales funcionan a semejanza de las piedras de filtrar usadas antaño. Estas se hicieron populares al remover de manera eficiente el alto contenido de sales e impurezas que ocasionaba enfermedades como la fiebre amarilla, fiebre bubónica o tifoidea que fueran la principal causa de defunción.

Los filtros cerámicos de arcilla son la solución más prometedora para tratamientos de agua a nivel casero en países en vías de desarrollo, sobre todo en zonas donde no se cuenta con una red de distribución de agua potable ni agua segura. Su uso ya ha sido implementado a gran escala en Cambodia con proyectos financiados por ONGs e instituciones gubernamentales con el apoyo de UNICEF.

Ingenieros británicos han desarrollado filtros de agua destinado a los países en vías de desarrollo que podrá ser fabricado por los artesanos locales, a partir de los materiales de cada región: sólo son necesarios arcilla, residuos de los cultivos y el calor de cualquier horno de alfarería. La fabricación del nuevo filtro es sencilla y da lugar a un colador microscópico que apresa las bacterias y virus dejando pasar el agua con una fiabilidad del 99,99%.⁽³⁾

En este contexto, el presente trabajo se ha desarrollado con la finalidad de evaluar estos sistemas de filtración de agua en sus aplicaciones a nivel casero, construidos con materiales propios del país, para determinar su eficiencia, costo y aplicabilidad a la realidad nacional como posible plan de contingencia en caso de graves inundaciones que deterioren la calidad de las fuentes de agua

1.2. Planteamiento del Problema

En el Ecuador existen poblaciones que carecen de un sistema tratamiento y distribución de agua potable. En estos sitios es muy común la excavación de pozos profundos para extraer agua subterránea para consumo humano y uso doméstico. Del mismo modo se excavan pozos sépticos para dar tratamiento a las aguas residuales propias de la actividad humana.

La calidad del agua de los pozos profundos se deteriora durante los meses lluviosos, sobre todo ante inundaciones, puesto que el arrastre de eses animales y humanas por las lluvias hacia los pozos, provoca la aparición de muchos de casos de enfermedades gastrointestinales producto de la ingesta de agua contaminada.

Tabla I. Enfermedades asociadas con inundaciones según el tiempo de aparición

Tiempo de aparición		
Menos de una semana	De una a tres semanas	Más de tres semanas

continua...

<p>Primeros dos días</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfermedad diarreica aguda 	<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedades diarreicas agudas por parásitos: <ul style="list-style-type: none"> - Giardiasis - Amibiasis • Enfermedades metaxénicas: <ul style="list-style-type: none"> - Malaria - Dengue • Leptospirosis 	<ul style="list-style-type: none"> • Hepatitis • Otro tipo de dermatitis: <ul style="list-style-type: none"> - Escabiosis
<p>De tres días en adelante</p> <ul style="list-style-type: none"> • Infección respiratoria aguda • Conjuntivitis • Dermatitis 		

Fuente: Benenson AS, editor. *Manual para el control de las enfermedades transmisibles*. Décimosexta edición, Washington DC: Organización Panamericana de la Salud, OPS/OMS; 2002

1.3. Justificación

La construcción anti técnica de pozos sépticos, puede derivar en la contaminación del agua de los pozos profundos cercanos, debido al

escurrimiento de aguas residuales a través de los estratos del suelo. De igual modo, durante las estaciones lluviosas, las escorrentías superficiales puede contaminar el agua de los pozos debido el arrastre de materia particulada como arcillas, limos, y heces de animales.

La peor situación para estas fuentes de captación de agua se produce ante eventos naturales de consecuencias desastrosas como por ejemplo, grandes inundaciones, las provocadas por el Fenómeno del Niño que anegan grandes zonas y sumergen bajo el agua todos los pozos existentes. Esto produce una mezcla de varios tipos de agua, que imposibilitó el consumo de agua segura, y que deriva en un aumento desmesurado de enfermedades gastrointestinales relacionadas a la ingesta de agua contaminada.

En la tabla II se presenta el número de casos de cólera registrados entre los años 1996 y 1998, donde se muestra un excesivo incremento de casos en el año 1998 cuando ocurriera el último fenómeno del niño

La zona norte costera litoral y central es la que registra mayor número de casos de cólera en el país, siendo Manabí quien lidera la lista con 1437 casos.

Tabla II. Distribución del cólera. Número de casos reportados por provincia en el periodo 1996-1998.

Provincia	AÑOS		
	1996	1997	1998
Zona norte costera litoral y central			
Esmeraldas	7	0	202
Manabí	0	0	1437
Guayas	113	17	1222
Los Ríos	129	3	37
Zona costera sur			
Cañar	0	0	21
Azuay	0	0	72
El Oro	0	0	353
Otras zonas afectadas			
Bolívar	8	0	33
Chimborazo	85	16	52
Cotopaxi	30	0	21
Imbabura	624	6	89
Loja	5	19	107
Pastaza	0	0	7
Pichincha	19	0	52
Sucumbíos	0	0	1
Tungurahua	11	4	8
Napo	10	0	0
Carchi	0	0	11
Galápagos	0	0	13
Zamora	19	0	0
Total	1060	65	3738

Fuente: Dirección Nacional de Epidemiología, Ministerio de Salud Pública. El Niño. Memoria Ecuador 1997-1998.

Ante esta problemática, se justifica plenamente investigar los sistemas de filtración de aplicación casera, que sean de fácil construcción,

implementación y económicos, para lograr una distribución masiva de los mismos ante problemas de inundaciones, a fin de asegurar el acceso a agua de buena calidad, que no deteriore la salud de los consumidores.

Los resultados obtenidos serán de gran utilidad para las comunidades rurales que son las más vulnerables ante las inundaciones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivos Generales

Evaluar la eficiencia de dos sistemas de filtración para depuración de agua, un filtro lento de arenas, y un filtro cerámico de arcilla, para analizar su posterior implementación en zonas rurales de escasos recursos económicos carentes de servicio de agua potable.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el grado de remoción de carga contaminante presente en el agua luego de pasar a través de un filtro lento de arena.
- Determinar el grado de remoción de carga contaminante presente en el agua luego de pasar a través de un filtro cerámico de arcilla.
- Comparar los potenciales de remoción entre un filtro lento de arena y un filtro cerámico de arcilla.
- Determinar el costo unitario de fabricación de unidades de filtración caseras, y determinar la factibilidad de implementación en base a una relación costo-tiempo de vida útil.

1.5. Alcance de la Investigación

El propósito del presente trabajo es replicar tecnologías de filtración, un filtro biológico de arena y un filtro cerámico de arcilla, ambos de aplicación casera y de eficiencia comprobada. Además evaluar su desempeño utilizando materiales disponibles en el país, así como el potencial de remoción de contaminantes de dichos dos sistemas de filtración caseros y analizar en base a costos la posible inclusión al mercado de los mismos.

1.6. Marco Legal

La Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluente: Recurso Agua, del Ministerio de Ambiente de la República del Ecuador, en el libro VI anexo 1, presenta los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional. La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

TABLA III. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Aluminio total	Al	mg/l	0.1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1.0
Arsénico (total)	As	mg/l	0.05
Bario	Ba	mg/l	1.0
Berilio	Be	mg/l	0.1
Boro (total)	B	mg/l	0.75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0.01
Cobalto	Co	mg/l	0.2
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.05
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Estaño	Sn	mg/l	2.0
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1.4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0.3
Litio	Li	mg/l	2.5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0.1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0.025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10.0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1.0
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente de la República del Ecuador.
www.ambiente.gov.ec

1.7. Área de influencia

Si bien el área del presente trabajo se limita a evaluar fuentes de agua en la zona sur de la provincia de Manabí, los resultados a obtenerse pueden ser aplicados a todos pueblos del país que comparten la misma realidad que la zona de estudio. Es decir carecen de un servicio de agua potable, y poseen fuentes de aprovisionamiento de agua propensas a contaminarse fácilmente durante fuertes estaciones lluviosas, o al completo deterioro de la calidad del agua ante un desastre natural.



CAPITULO 2

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Recurso Agua

El agua, es el recurso imprescindible para el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Desde un aspecto cuantitativo, es el componente más abundante

en la Tierra, ocupa un 70% de la superficie terrestre, y representa el 60% de un ser humano adulto promedio, y gran porcentaje de la materia viva de este planeta. De un modo cualitativo, podemos citar, que todas las especies vivas requieren del recurso agua para realizar sus funciones vitales. [4]

2.1.1. Características del Agua

El agua natural es el mayor disolvente que existe en la naturaleza. Por lo tanto contiene una gran cantidad de sustancias y especies químicas, por su gran capacidad reactiva y su potencial erosivo.

Las características del agua varía en función del tipo de agua (superficial, lluvia, hielo, marina, lacustre, subterránea), el terreno donde se encuentre, temperatura, presión y época del año. En el agua natural también se encuentran especies en suspensión, o estado coloidal, las cuales pueden ser de carácter inanimado (arenas, arcillas,

limos, macromoléculas orgánicas), o pueden poseer vida (algas, bacterias, virus).

Los gases más abundantes en el agua, son aquellos producidos por la disolución de gases atmosféricos, la propia actividad de los seres vivos, y la descomposición aerobia o anaerobia de los mismos. El agua natural también está compuesta por iones que provienen de la meteorización de los materiales de la corteza terrestre, del agua lluvia, y de los procesos de descomposición de los seres vivos.

La tabla IV muestra la naturaleza química y el estado disperso de las distintas sustancias que más frecuentemente están presentes en el agua.

Tabla IV. Especies presentes en el agua

Fuente	Suspensión	Dispersión coloidal	Solución
ATMOSFERA	Macropartículas orgánicas e inorgánicas	Partículas orgánicas e inorgánicas	Gases Iones disueltos: H_3O^+ , HCO^{-3} , SO_4^{-2} , ...

continúa...

LITOSFERA Minerales, rocas y suelo	Arenas Arcillas Sustancias húmicas	Sílice Sustancias húmicas	Aniones y Cationes de sales disueltas
BIOSFERA Seres vivos	Algas, otras plantas y animales acuáticos Bacterias	Macromoléculas orgánicas Virus	Moléculas orgánicas y especies inorgánicas provenientes de descomposición de materia orgánica

Fuente: Orozco C., *Contaminación Ambiental, Una Vista desde la Química*, Thomson, 2003.

2.1.2. Clasificación del Agua

Las aguas naturales se clasifican en diferentes tipos, con características específicas en cuanto a su composición. De modo breve podemos resumir:

- **Agua atmosférica**, que es la que se encuentra en las nubes en forma líquida, lleva disolución de los gases presentes en el aire, muy poco mineralizada, y con bajo contenido de sustancias orgánicas.

- **Agua superficial de escorrentía (fluviales)**, que depende de las características del terreno que atraviese, su composición varía en los diversos tramos de un río en función procesos de erosión y disolución.
- **Aguas lacustres y embalses**. En las que tienen profundidades mayores a los 8 metros, se produce una estratificación térmica. En las zonas superficiales se encuentran especies oxidadas como O_2 , CO_2 , SO_4^{2-} , NO_3^- , Fe (III), Mn (IV) , y en las zonas profundas se producen especies reducidas como CH_4 , H_2S , NH_3 , Fe(II), Mn(II)
- **Aguas subterráneas y edáficas**, importantes en los procesos de intercambio de iones con el suelo. El proceso de filtración producido por el terreno da como resultado agua carente de materia suspendida y color. La conductividad es elevada debido a la mineralización.

- **Aguas marinas**, que poseen una elevada salinidad, actúan como depósito de los restantes tipos de agua, el valor de pH es bastante constante, el oxígeno disuelto disminuye con la profundidad, la materia orgánica es más abundante en las zonas superficiales debido a la actividad del fitoplancton. [5]

2.1.3. Disponibilidad de Agua Dulce en el Planeta

De toda el agua disponible en la Tierra, aproximadamente el 2,5% es dulce, y buena parte de ella nos resulta inaccesible. Solamente el 0.7% es agua dulce, y de esta, el 0,001 es agua superficial.

Teniendo en cuenta que la cantidad de agua en el planeta es constante, esto implicaría que a medida que se contaminan las fuentes de agua, la disponibilidad de este recurso va a ser cada día menor.

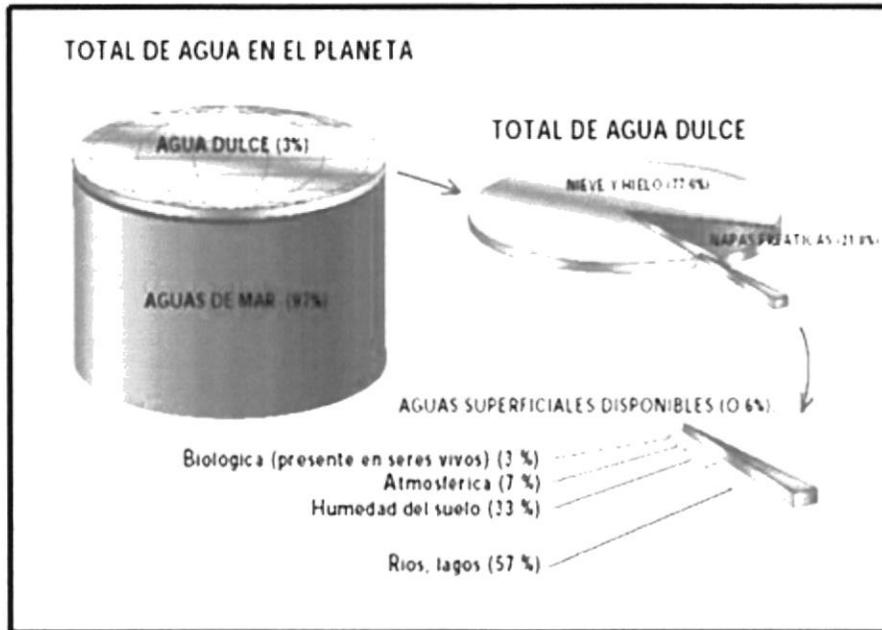


Gráfico2.1 Disponibilidad de agua dulce en el planeta

Fuente: www.consorcioiniverde.com/medioambiente/agua/agua3.asp

2.1.4. Distribución y Usos del Agua

Resulta muy importante tener en cuenta los diferentes usos del agua. Dependiendo de la disponibilidad de la misma, así como del uso que se le vaya a dar, se determina el tratamiento apropiado que sea necesario para su utilización.

Habitualmente el agua tiene los siguientes usos:

Usos consuntivos: Consumo de agua como tal.

- Urbano, doméstico o de abastecimiento
- Industrial
- Agropecuario

Otros usos:

- Generación de energía eléctrica
- Medio de vida acuático
- Recreativo y estético
- Navegación
- Otro: Extracción de áridos, medio ambientales. [6]

Tabla V. Distribución del agua en nuestro planeta

Compartimento	Volumen (10 ³ km ³)	Superficie (10 ³ km ²)	% del total
Océanos y mares	1321250	361600	97,2
Aguas continentales superficiales	230	1520	0,017
-- lagos de agua dulce	125	850	0,009
-- lagos de agua salada	104	700	0,008
--ríos	1,2		0,0001
Casquetes polares y glaciares	29176	17870	2,15
Agua subterránea	8400		0,62
--zona de aireación	67		0,005
--otras hasta 800 m de profundidad	4170		0,31
--bajo los 800 m	4170		0,31
Atmósfera	12,9	510250	0,001
Total (redondeado)	1360000		

Fuente: U.S. Geological Survey (1972). En Diccionario de la Naturaleza. BBV(1973)

2.2. Contaminación del Agua

Cada vez que se consume agua pura, esta es devuelta a la Tierra con un grado de contaminación. En un mundo cada día más industrializado, el consumo de agua y generación de residuos es cada vez mayor. Los residuos de la actividad humana son devueltos a los cuerpos de agua, para que en

estos se diluyan los contaminantes, y el agua tenga tiempo a recuperar sus propiedades iniciales. Cuando la carga contaminante es muy elevada, los cuerpos de agua se saturan y pierden la capacidad de diluir las cargas contaminantes, provocando un deterioro para del agua que contienen en detrimento de toda la vida que se desarrolla en el cuerpo de agua así como la de todos los que se benefician del mismo.

A continuación se cita textualmente dos definiciones de la contaminación del agua. Queda claro, por las fechas de dichas citas, que la contaminación del agua es un tema que preocupa a la población desde hace muchas décadas, y promete en un futuro ser un problema grave si no se toma medidas de remediación ambiental.

“La contaminación consiste en una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural” (Carta del Agua, Consejo de Europa, 1968)

“Un agua está contaminada cuando se ve alterada en su composición o estado, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo que quede menos apta para unos o todos los usos a que va destinada, para los que sería apta en su calidad natural”(C.E.E. de las Naciones Unidas, 1961)

2.2.1. Principales Contaminantes del Agua

Una de las clasificaciones que podemos encontrar de los contaminantes del agua, atiende a la naturaleza de los agente, ya sea esta física, química o biológica.

A continuación se lista la clasificación de los principales contaminantes del agua que atiende a la naturaleza física, química y biológica de los mismos.

a) Agente Físico: Calor

b) Compuestos químicos inorgánicos:

SALES: Aniones Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , S^{2-} , Br^- , ...

Cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , ...

ACIDOS Y BASES: H_2SO_4 , HNO_3 , HCl , NaOH , KOH , ...

ELEMENTOS TOXICOS

ELEMENTOS RADIOACTIVOS

GASES

ESPECIES MINERALES NO DISUELTAS

c) Compuestos Químicos Orgánicos:

HIDRATOS DE CARBONO, AMINOACIDOS, PROTEINAS.

ACEITES Y GRASAS

HIDROCARBUROS, principalmente derivados de petróleo

JABONES Y DETERGENTES

PESTICIDAS Y POLICLOROBIFENILOS (PCBs)

OTROS COMPUESTOS ORGANICOS: Fenoles, Trihalometanos (THMs), Hidrocarburos aromáticos policíclicos, (HAPs), Clorofenoles, Nitrosaminas, ...

d) Bionutrientes

COMPUESTOS NITROGENADOS: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , y organonitrogenados

COMPUESTOS FOSFORADOS: PO_4^{3-} , y organofosforados

e) Microorganismos

BACTERIAS, VIRUS, HONGOS, ALGAS. [7]

2.2.2. Caracterización del Agua

El agua se caracteriza en base a parámetros indicadores de contaminación o calidad, que se pueden clasificar de acuerdo a la naturaleza de la propiedad o especie que se determina.

2.2.2.1. Parámetros Físico-Químicos

Parámetros de carácter físico:

- Características organolépticas
- Turbidez y Materias en suspensión
- Temperatura
- Conductividad

Parámetros de carácter químico:

- Salinidad y Dureza
- pH: Acidez alcalinidad
- Oxígeno disuelto
- Medidores de materia orgánica: DBO, DQO
- Medidores de materia inorgánica: Cationes, Aniones, Metales

2.2.2.2. Parámetros Biológicos

ciclos típicos de filtrado van de 12 hasta 96 horas. Puesto que pasado cierto número de horas, el filtro de obstruye por las partículas presentes en el agua a tratar, es necesario aplicar un lavado al filtro, mediante la circulación de agua en sentido contrario a la filtración.

Un filtro rápido de lecho único, esencialmente es un tanque rectangular dentro del que se coloca un lecho de arena o antracita soportado por una capa de grava, todo esto sobre un adecuado sistema de drenaje.

2.3.6.1.2. Rápidos con Lecho Múltiple

En los filtros de lechos múltiples, se pueden realizar varias combinaciones de materiales, según sea la calidad del afluente a tratar. Es muy común la combinación de un lecho de carbón de antracita sobre

otro de arena, aunque también se puede hacer sistemas triples, de arena, antracita y granate, de igual manera soportados por una capa de grava con un adecuado sistema de drenaje.

2.3.6.1.3. Rápidos con Flujo Ascendente

Estos filtros consisten en una caja provista de un falso fondo, donde el agua entra por la parte de abajo y es recolectada en una canaleta superior. La granulometría decrece en el sentido del flujo.

2.3.6.1.4. De Flujo Mixto

Este filtro consiste en unidades conectadas en serie, ascendentes y descendentes. El filtro ascendente es un

filtro grueso, que sirve de pre-tratamiento para el agua antes de entrar al filtro descendente que es de un material más fino. [13]

2.3.6.2. Filtros Biológicos

En los filtros biológicos, o biofiltros, el medio granular recibe agua cruda con suficiente carga orgánica, la que forma una película biológica alrededor de los granos que sirve de alimento a microorganismos de distinto tipo que consumen materia orgánica biodegradable.

2.3.6.2.1. Rápidos Biológicos

Cualquiera sea el biofiltro, funciona bajo el mismo principio. Los microorganismos forman una biopelícula,

en la que bacterias heterotróficas y otras formas de vida superior consumen el carbono presente en el agua, subproducto de las algas, sustancias húmicas y otras estructuras orgánicas.

La concentración de biomasa en los filtros biológicos puede verse afectada según sean las circunstancias. El cloro y los desinfectantes la disminuyen debido a que dejan un efecto residual, la variabilidad de la materia orgánica en el afluente también, así como los largos periodos de descanso del filtro. El incremento en la temperatura, el alto contenido orgánico, el pH del agua, y algunas sustancias químicas como el ozono, contribuyen al contenido orgánico.

El crecimiento rápido de biomasa incrementa la tasa de pérdidas de carga, lo que produce carreras más lentas de filtración que se pueden alargar con medios granulares más gruesos o mayores velocidades de filtración. La acumulación excesiva de biomasa puede

producir efluentes de mala calidad, es necesario chequear los niveles de OD.

2.3.6.2.2. Lentos Convencionales

Los filtros lentos trabajan con cargas menores a los 12 m³/m²/día, pero estos filtros fueron desapareciendo a partir de la aparición de los filtros rápidos.

En países en vía de desarrollo aun se siguen empleando los filtros lentos o biológicos, ya que pueden presentar algunas ventajas sobre los rápidos, sobre todo cuando no hay la suficiente capacitación técnica para el mantenimiento de los filtros. Un filtro lento, básicamente consiste en un tanque rectangular o circular dentro del cual se coloca un lecho de arena fina de 0.9 a 1.2m, sobre otro de grava gruesa de entre 0.4 a 0.45m con un adecuado sistema de drenaje. El

medio fino produce que las carreras de filtración sean lentas.

2.3.6.2.3. Prefiltros

Los prefiltros son usados cuando el afluente no cumple los requerimientos necesarios para un proceso de filtración, es decir, un afluente con una cantidad excesiva de materia particulada que provocaría una colmatación muy acelerada del filtro, un mal funcionamiento del mismo, así como produciría un efluente de mala calidad.

Los prefiltros están constituidos por gravas o gravillas de diferentes tamaños que pueden ser colocadas por capas. Estos prefiltros pueden ser en flujo ascendente, dinámicos, o de flujo horizontal. Los prefiltros de flujo

descendente no han mostrado ventaja alguna sobre los anteriormente nombrados.

2.3.7. Filtros No Convencionales

Dentro de este grupo de filtros no convencionales, colocamos a aquellos que son diseñados a pequeña escala, dirigidos especialmente para zonas rurales, a fin de suplir las necesidades de pequeñas localidades, o para ser aplicados para el consumo de una familia.

El diseño de filtros no convencionales se basa sobre todo en la economía del sector, y de las materias primas disponibles en el sitio, su finalidad es asegurar un efluente de excelente calidad al menor costo posible. Este tipo de tecnologías de filtración ha sido aplicado desarrollado para personas de escaso recursos económicos donde las fuentes de agua segura son limitadas. Los filtros caseros han sido diseñados para suplir las necesidades de familias en pequeñas comunidades donde no se dispone de agua segura para el consumo

humano o la economía del sitio no permite traer el recurso desde otras fuentes de agua de calidad. El consumo de agua de mala calidad produce estragos en la salud de quienes la consumen, usualmente se producen enfermedades de tipo diarreico, por el consumo directo de agua, o por el uso de agua para la alimentación.

La finalidad de filtros caseros, es fabricar unidades de bajo costo, y de fácil operación y mantenimiento, que proporcionen al menos el caudal necesario de consumo de una familia para un día. Se han ensayado varias combinaciones y tecnologías, dependiendo de la materia prima en la zona.

2.3.7.1. Filtros Caseros de Arena

Esta es una alternativa económica para filtros caseros, se trata de un filtro biológico, de lecho único de arena, de un tamaño adecuado para que quepa en la cocina de una pequeña vivienda, pero con la capacidad suficiente para abastecer las necesidades diarias de agua de una familia.

La elaboración es muy sencilla, consta de un recipiente de 30 litros, dentro del cual se coloca un lecho de arena de alrededor de 40 o 50 cm, soportado sobre una capa de grava de 10cm sobre una tubería perforada que recoge el efluente. El filtro es de flujo ascendente, y la captación se la realiza en otro recipiente, puesto que este proceso requiere de cloración para la total desinfección.

El mantenimiento del filtro es muy sencillo, por su característica de filtro lento, solo se necesita remover 2 o 3 cm de la superficie de la arena, lavar ese material y colocarlo nuevamente, o en su defecto colocar arena limpia. Este proceso de limpieza se lo realiza cuando se incrementan las carreras de filtración, lo que indica un taponamiento del filtro.[15]

2.3.7.2. Filtros Cerámicos de Arcilla

Este filtro se basa en el uso de la alfarería para construir filtros de arcilla. Si bien la característica de la arcilla es ser impermeable, la adición de otros materiales, le otorga la porosidad necesaria para filtrar agua.

La producción de este tipo de filtros es muy sencilla, y ya ha sido aplicada en Centro América, África y Asia. Los diseños dependiendo de la región han variado muy poco, pero siempre manteniendo como base la alfarería, filtros a modo de vasija, colocadas dentro de recipientes plásticos donde se recoge el efluente luego de su paso por la superficie del filtro.

La porosidad en el filtro de arcilla se la consigue añadiendo a la mezcla arena, de modo que le da resistencia y porosidad al filtro. En estos casos, los filtros, una vez terminados, son recubiertos con una capa de plata coloidal que actúa como bactericida.

Otro modo de dar porosidad a los filtros de arcilla, es añadiendo materia orgánica (residuos de cultivos) a la mezcla de arcilla con la que se va a trabajar el filtro. Al ser llevado al horno, las altas temperaturas provocan desprendiendo CO₂ que forma burbujas que dejan un tamaño de poro tal, que permite el paso del agua, pero retiene bacterias y virus.

Estos filtro ya han sido probados obteniendo remociones de un 99.9% de virus y bacterias presentes en al agua a tratar. El tiempo de uso de uno filtro de arcilla cocida, es de alrededor de 6 meses, luego de un largo periodo de uso, el material puede ser reutilizado, resultando ser un producto muy económico. [16]

2.4. Definición del problema a ser evaluado

Existe una gran variedad de procesos de filtración, desde aquellos muy sencillos en diseño y operación, así como unidades muy complejas que

requieren un estudio minucioso de cada uno de sus procesos, y tienen costos muy elevados.

El presente proyecto se enfoca en proveer de agua segura a comunidades de escasos recursos, se busca producir unidades de filtración que sean muy económicas en su construcción y que no requieran un mantenimiento continuo a cargo de técnicos especializados.

En base a las necesidades anteriormente mencionadas, la presente investigación dispone a evaluar los filtros no convencionales, filtros caseros, que se desempeñen de excelente manera y sean accesibles a toda la población debido a su bajo precio y facilidad de construcción. Estos ya han sido elaborados y puestos en funcionamiento en otros países con excelentes resultados.

Entre los parámetros de carácter microbiológico podemos mencionar:

- Bacterias
- Virus
- Hongos
- Algas [8]

2.3. Filtración como Medio de Purificación del Agua

La filtración es un proceso físico unitario usado en la producción de agua potable, destinado a la remoción de materia particulada en el agua, tales como coloides orgánicos e inorgánicos, arcillas, limos, sólidos suspendidos, microorganismos (bacterias, virus, protozoarios, quistes).

El principio básico de la filtración es retener partículas y microorganismos que no hayan sido retenidos en los procesos de sedimentación y coagulación.

2.3.1. Antecedentes Históricos

Los primeros filtros tuvieron carácter doméstico, y consistían en piedras porosas colocadas sobre tinajas donde se recogía el agua filtrada. En los siglos XVIII y XIX, en Francia, se difundieron los filtros de esponja, paño, lana y otros materiales. A partir de 1856, aparecen los filtros a presión: “Fonvielle” y “Souchon”. Los primeros contaban con lecho de esponjas marinas y piedra caliza, y los segundos estaban constituidos de lechos de paños.

En 1829, en Inglaterra se construyó la primera planta de filtros lentos de arena. A medida que la demanda aumentaba, se estudió más a fondo el proceso de filtración, lo que dio como resultado dos escuelas distintas: Los que creían en la filtración ascendente y los que creían en la filtración descendente.

En Norteamérica se diseñaron los filtros rápidos, llamados “mecánicos” o “americanos” en contraposición a los “ingleses”. La gran innovación es la implementación del retrolavado para la limpieza

del filtro, lo que mejoraba la operación del sistema y permitía cargas superficiales considerablemente mayores a los filtros lentos. El primero de estos filtros fue construido en 1855 en la ciudad de Somerville.

En 1970, fabricantes europeos empezaron a diseminar los filtros llamados de capa profunda. [9]

2.3.2. Factores que Influyen en la Filtración

El rendimiento de un filtro depende de manera directa de las propiedades del material granular que lo constituye. Estas propiedades son: tamaño, forma, densidad y dureza; siendo de igual importancia la porosidad del lecho granular formado por los granos. El tamaño del grano tiene relación directa con el rendimiento de los filtros. La graduación del tamaño de un medio filtrante se determina a través de coeficiente de uniformidad (Cu) y el diámetro efectivo (E).

El coeficiente de uniformidad viene dado por la relación d_{60}/d_{10} , siendo d_{60} el tamaño de abertura del tamiz que deja pasar el 60% los granos. El diámetro efectivo viene dado por la abertura de tamiz que deja pasar el 10% de los granos.

$$Cu = \frac{\text{Abertura del tamiz que deja pasar el 60\% (mm)}}{\text{Abertura del tamiz que deja pasar el 10\% (mm)}}$$

La forma del grano afecta requerimientos de la filtración como el retrolavado, porosidad del lecho, pérdida de carga, y eficiencia de filtración. Para determinar el diámetro de partículas no redondeadas, se utiliza el concepto de diámetro equivalente (d_{eq}), que se define como el diámetro de una esfera de igual volumen que la partícula en consideración. Para determinar el diámetro de partículas no redondeadas, se utiliza el concepto de diámetro equivalente d_{eq} , que se define como el diámetro de una esfera de igual volumen que la partícula en consideración.

La dureza de los granos es una característica muy importante en la parte de retrolavado para limpieza de los filtros. El agua de

retrolavado ingresa al filtro en sentido contrario al de filtración con mayor presión y velocidad buscando desprender las partículas adheridas a los granos del lecho filtrante. Esta velocidad del flujo, hace que los granos choquen entre si. Por este motivo, los granos deben tener una dureza tal que no produzca su fraccionamiento asegurando de esta manera la durabilidad filtro.

La porosidad se expresa como la relación del volumen de vacíos al volumen total del lecho filtrante, está relacionada directamente por la esfericidad de los granos; los materiales angulosos tienen producen mayor porosidad en comparación con los redondeados. En materiales granulares con bajo coeficiente de uniformidad, granos más pequeños se introducen en los vacios que forman los de mayor tamaño, lo que reduce la porosidad.

2.3.3. Materiales Filtrantes

“Los medios más comunes usados en filtros de lecho granular son arena silíceo, carbón de antracita, y granate de ilmenita. Estos

pueden ser homogéneos (solo arena o antracita) o mixtos (combinaciones duales o triples de medios)". [10]

2.3.4. Mecanismos Responsables de la Filtración

En el proceso de filtración se logra retener partículas de tamaños mucho menores a los poros del material filtrante. El agua que entra a un filtro, trae una gran variedad de partículas en suspensión, que pueden tener tamaños desde 1mm hasta 10^{-3} mm. Las partículas más pequeñas que el tamaño de poros del material filtrante, quedan adheridas a las superficies de los granos formando una película alrededor de ellos; por otro lado, las de tamaños mayores a los poros, quedan retenidas por simple cernido.

Las partículas de menor diámetro deben correr grandes distancias dentro del filtro antes de adherirse a los granos. Se podría hablar de dos etapas: Transporte de partículas dentro de los poros y adherencia a los granos del medio.

El transporte de partículas es debido a fenómenos físicos e hidráulicos, influenciados por los factores que gobiernan la transferencia de masas. La adherencia es debida a fenómenos de acción superficial que son influenciados por parámetros físicos y químicos. (Arboleda 2000)

El cernido por lo general se da en las capas superficiales del lecho. Un floc grande puede tener entre 0.5 y 2.0 mm de diámetro por lo que queda atrapado en los intersticios formados por los granos del lecho filtrante. El tamaño de los intersticios varía entre 0.1 y 0.2 mm para granos de 0.5 mm, y entre 0.3 y 0.6 mm para granos de 1.2 mm.

Las partículas pequeñas pueden ser removidas debido a la sedimentación de estas sobre la superficie sobre los granos del lecho filtrante. A esta área se la llama superficie específica.

Un m³ de arena seca de 0.35 mm, puede tener un área de 8000 m²; Sin embargo, no toda esta superficie puede ser aprovechable para la sedimentación por la proximidad entre granos y la zonas de alta

velocidad en los intersticios. Por lo tanto se estima que sólo un 5.56% se usa para sedimentación, es decir, unos 442 m² por m³.

La sedimentación solo puede producirse, por eso, con material suspendido relativamente grande y denso cuya velocidad de asentamiento sea alta, y en zonas del lecho donde la carga hidráulica sea baja. (Arboleda 2000)

La acumulación de partículas sobre la superficie de los granos forma una película que los recubre completamente. Esta película va creciendo, y con esto reduce el espacio intersticial donde son interceptadas otras partículas. La disminución de los espacios intersticiales provoca que la velocidad del flujo aumente y sean menos las partículas que puedan adherirse, y tengan que ser retenidas en las capas inferiores del filtro.

Cuando la velocidad del flujo es alta y la partícula grande, esta puede seguir una trayectoria distinta a las líneas de flujo debido a la acción de la inercia. La partícula puede salir de su trayectoria y chocar contra unos de los granos del lecho filtrante y quedar adherida a ellos. Debido al movimiento browniano, existe una tendencia de las

partículas pequeñas a difundirse desde las áreas de mayor concentración a las de menor concentración.

Las partículas relativamente grandes, pueden llegar a tener diferentes velocidades en sus extremos dentro de un flujo laminar. La diferencia de velocidades provoca que la partícula gire y sea llevada a una zona de velocidad más baja.

La adhesión de partículas a los granos del medio filtrante depende, no solamente de mecanismos físicos, sino que además, de una serie de factores químicos y electroquímicos.

Existen fuerzas intermoleculares atractivas, de origen eléctrico, débiles pero de mayor intensidad que las fuerzas de dispersión, llamadas Fuerzas de Van der Waals. “Son primariamente responsables de la adhesión de las partículas a los granos del filtro”, pero no son las únicas fuerzas electrostáticas que actúan en un filtro.

Podríamos considerar tres escenarios:

1. Cuando los granos del medio filtrante y los coágulos o floc tienen carga contraria, la sola aproximación produce adhesión.
2. Cuando los coágulos tienen carga neutra, el sólo contacto puede terminar en adhesión, puesto que la barrera de energía ha desaparecido.
3. Cuando los granos del medio filtrante y los coágulos o floc tienen igual carga, las fuerzas hidrodinámicas pueden aproximar a las partículas, permitiendo que entren en acción las fuerzas de Van der Waals.

Los productos de la hidrólisis a determinados pH se polimerizan. Las cadenas de polímeros adheridas a las partículas, pueden ser absorbidas por otras partículas, y al pasar por las constricciones del

medio filtrante se enlazan con otras cadenas provocan la adhesión de las partículas. [11]

2.3.5. Modelos Matemáticos de la Filtración

No existe un modelo matemático que describa con precisión el comportamiento de los filtros. Es conveniente adelantar estudios prácticos con filtro pilotos cuando se quiera conocer el comportamiento de un filtro. Los modelos matemáticos permiten cuantificar el funcionamiento de un filtro de una manera más precisa, los parámetros en los que se basan estos modelos deben ser determinados experimentalmente.

Tabla VI. Algunos modelos matemáticos de la filtración.

Autor	Año	Expresión	Variabes
Iwasaki	1937	$\frac{dI}{dZ} = +\lambda I$	I =Concentración por cm^2
Ives	1962	$\frac{dC}{dL} = \lambda C$	σ, C, P_o

		$= \lambda_i + K\sigma - \frac{\theta - \sigma^2}{P_o - \sigma}$	
Ives	1969	$\lambda = \lambda_i \left(1 + \frac{\beta\sigma}{P_o}\right)^y \left(1 + \frac{\sigma}{P_o}\right)^z \left(1 + \frac{\sigma}{\sigma_v}\right)^x$	$0, P_o, 0$
Deb	1970	$c = \frac{v}{P_o - \sigma} \frac{dC}{dL} + \frac{dC}{dt}$	$C, P_o =$ Coeficiente expresado en t
Adin y Rebhun	1970	$\frac{d\sigma}{dt} = K_1 C (F - \sigma) - K_2 \sigma J$	F=Capacidad del filtro J=Gradiente hidráulico K1, K2=Coeficiente de adherencia y desprendimiento
Ginn y otros	1992	$\frac{dC}{dZ} = -1.5 \left(\frac{1 - P_o}{d_c}\right) \alpha n_o C$	d=Diámetro del grano n_o =Eficiencia remoción del colector α =Factor de eficiencia de las colisiones

Fuente: Arboleda Jorge. "Teoría y práctica de la Filtración del Agua". Tomo 2

2.3.6. Tipos de Filtros

En las últimas décadas han aparecido cambios importantes en la filtración, en los medios filtrantes y medios de control. Hoy en día contamos con una variedad de procesos de filtración, los cuales son mencionados en los numerales siguientes.

2.3.6.1. Filtros Químicos

Los filtros químicos, son filtros rápidos, en los que las carreras de filtración son cortas puesto que se usan medios granulares más gruesos. El tiempo de operación de un filtro rápido varía entre 12 y 72 horas antes del lavado del filtro. [12]

2.3.6.1.1. Rápidos con Lecho de un solo material

Un filtro rápido, consiste básicamente en un tanque rectangular de entre 3 a 5m de profundidad total dentro del cual se coloca uno o varios lechos de material granular, los cuales se asientan sobre un sistema de drenaje por el cual se recoge el efluente filtrado.

Los filtros rápidos operan con cargas de entre 80 a 120 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, el flujo es generalmente hacia arriba, y los

CAPITULO 3

3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGIA DE ANALISIS

3.1. Diseño Experimental

Para evaluar el sistema de filtración biológica de arena, se procedió a construir columnas de filtración, constituidas con el material seleccionado

para dicho proceso (arena silícea), con una altura del lecho filtrante igual a la de un filtro real, y granulometría determinada, en un área reducida que asemejen un diferencial de un filtro real, para con esto tener una idea del funcionamiento de un filtro lento de arena a escala real.

Se elaboraron dos sets de columnas de filtración, uno se elaboró con tubería de desagüe de 2 pulgadas de PVC, y accesorios de grifería para la captación del agua filtrada, y otro se elaboró con columnas material filtrante dentro de buretas de cristal graduadas.

En el primer set, elaborado en PVC, se da tratamiento a agua del lago de Espol, y en el siguiente set de filtración dentro de buretas graduadas, se analizó la filtración de muestras de agua proveniente de tres fuentes distintas, agua de pozo subterráneo, agua de riachuelo, y agua de manantial.

Para evaluar el filtro cerámico de arcilla, se elaboró tres filtros a base de arcilla y materia orgánica (tamo de arroz molido), variando la proporción de los materiales constituyentes de cada uno.

Cada unidad de filtración descansa sobre el borde de un recipiente plástico donde se recoge el agua ya filtrada. En el filtro cerámico de arcilla se va a tratar agua proveniente del lago de Espol, y agua de pozo subterráneo.

3.1.1. Filtro Biológico de Arena

La tecnología desarrollada en el filtro biológico de arena (FBA), evoluciona a partir de la tradicional filtración lenta de arena, de la cual hay gran riqueza de temas relacionados. Los filtros lentos de arena (FLA), remueven mecánicamente parásitos y partículas grandes, pero depende de un proceso biológico para remover bacterias y virus

Un filtro lento de arena consiste en una columna de arena fina, que yace sobre dos o más capas de agregados más gruesos que permite que el agua filtrada fluya eficientemente a través del filtro. La figura 3.1 esquematiza la sección vertical de un filtro lento de arena. La capa superior del material de drenaje, debe tener el tamaño adecuado

para que el material fino de la zona de filtración no se introduzca en la capa de drenaje y pase a través del filtro. El agua cruda pasa a través del material granular, para al final del mismo ser recolectada y salir del filtro por acción de la gravedad. Materia particulada es retenida en el interfaz del agua y la capa superior de filtración, esta acumulación es conocida como "schmutzdecke", palabra de origen alemán que significa "manta sucia". El schmutzdecke está asociado con la capacidad de la filtración lenta de arena para remover microorganismos y mejora la habilidad de los filtros lentos de arena para remover materia particulada. Se conoce que los filtros lentos de arena son capaces de remover el 100% de parásitos y hasta un 100% de bacterias y virus.

La remoción de bacterias y virus ocurre como el resultado de varios procesos biológicos. Bacterias y virus pueden estar flotando libres en el agua, adheridas a partículas más grandes suspendidas en el agua, o existir en el tracto digestivo de otros microorganismos más grandes. Estas bacterias y virus adheridas a otras partículas más grandes o que viven en el tracto digestivo de otros microorganismos más grandes, son eliminados cuando dichas partículas o microorganismos son

removidos del agua cruda. Las bacterias y virus que flotan libremente son muy pequeñas para ser filtradas mecánicamente, pero existe cierta remoción física cuando la turbulencia del agua deja estos microorganismos atascados en diminutos espacios entre partículas o en pequeñas fisuras en el material granular. Estas bacterias y virus se pueden adherir a la superficie del material más fino de filtración, formando una biocapa o biofilm, que es el anteriormente mencionado schmutzdecke. Una parte considerable de las bacterias y virus pueden ser eliminadas por depredación al quedar atrapadas en esta capa. Materia orgánica, muerta o viva que sea retenida por la capa superficial de filtración, forma parte de la cadena alimenticia de los microorganismos que conforman el schmutzdecke. La gran profundidad de la capa de filtración de los filtros lentos, asegura que las bacterias y virus que no hayan sido depredados en el schmutzdecke, queden atrapados en los intersticios de los granos del material filtrante, dando como resultado una remoción de los microorganismos mencionados en el rango de un 60% y con capacidad de llegar cerca al 100%. [17]

3.1.1.1. Descripción de Unidad de Filtración

Cada unidad de filtración se compone de cuatro capas de material granular filtrante; capa de drenaje, capa de separación, capa de filtración y capa superior de filtración. Todas estas capas son colocadas dentro de tubería de PVC de dos pulgadas de diámetro, o dentro de buretas graduadas de 250 ml, siempre respetando las alturas de cada capa recomendadas en la bibliografía.

La capa de drenaje está ubicada en el fondo del filtro, está compuesta de material granular de tamaños entre 12.5mm a 6.25mm, permite el drenaje del agua proveniente de las capas superiores hacia la tubería de infiltración para la posterior salida del filtro. Esta capa debe tener la altura suficiente para cubrir y proteger a la tubería de infiltración, de manera que esta no se encuentre en contacto del fondo del filtro. La altura debe ser de al menos 8 cm, puede ser de un material diferente al de las capas de filtración.

La capa de separación funciona como barrera entre las capas de filtración (materiales finos) y la capa de drenaje, previniendo de esta forma que los finos lleguen hasta la tubería de infiltración y puedan salir del filtro. El espesor de esta capa es de 3 cm y el tamaño de los granos debe estar entre 6.25mm y 3.125mm y pueden ser de un material diferente al de las capas de filtración.

La capa superior de filtración es la responsable de remover la mayor cantidad de carga contaminante debido a la estrechez entre los granos que la componen. Esta capa contiene las partículas más finas de material granular, los tamaños varía entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ del tamaño de grano de la capa de filtración. El espesor de esta capa varía entre 4 y 6 cm.

La capa de filtración es la responsable de la completa desactivación de virus y total remoción de contaminantes. Junto con la capa superior de filtración son las que controlan los caudales a la salida del filtro. Esta capa se encuentra debajo de la capa superior de filtración, los diámetros de

partículas no deben ser mayores a 3.125mm ni menores a 1 mm. El espesor conjunto de las capas (superior y filtración), debe ser de al menos 40 cm, y ambas deben ser del mismo material granular.

En las columnas de filtración en buretas graduadas, no se ha considerado las capas de separación y drenaje, debido a que no tienen la altura suficiente, por lo tanto, sólo se ha trabajado con la capa de filtración y capa superior de filtración, colocando en el fondo de la bureta una pequeña cantidad de lana de vidrio, que haga las veces de drenaje, y no permita que el material granular tapone la salida de la bureta.[18]

3.1.1.2. Medio Filtrante

El mejor material para filtración con arena, es el obtenido de la trituración de piedras en canteras. Puede esperarse que

este material sea limpio y esté libre de de contaminantes orgánicos y microbiológicos. Es muy probable que el material de cantera se encuentre gradado en los tamaños necesarios para la filtración.

Cuarcitas y granitos, son materiales ideales para filtración, por su dureza. Piedra caliza, que es un material menos duro, también funciona bien, aunque presenta el inconveniente que, durante la molienda y transportación del material, pueden generar finos indeseados, que afecten la granulometría esperada.

La piedra caliza es muy difícil de disolver en agua, de manera que funciona muy bien en filtración de agua. Cuando se hierve agua filtrada a través de piedra caliza, se sedimenta un residuo blanco en el fondo del recipiente, esto se debe que al elevarse la temperatura, el agua no puede disolver todo el carbonato de calcio, y este se precipita.

Se debe procurar que el material no se contamine durante el transporte desde la cantera, por lo que se recomienda que el material viaje cubierto. Además, se debe hacer ensayos de granulometría para asegurar que el tamaño del material siempre se encuentre en los rangos necesarios.

El material debe poseer partículas que varíen en su tamaño, desde polvo, hasta 3.125mm (1/8 de pulgada). Un exceso de finos no permitiría la fácil circulación del agua, lo que ocasionaría flujos muy lentos, de la misma forma en que un exceso de materiales gruesos provocaría flujos muy rápidos y menor retención de contaminantes.

Se recomienda no usar arena de mar o de río debido a que estas arenas traen consigo muchas partículas de materia orgánica (trozos de hojas, insectos, animales, etc.), así como microorganismos, algunos de los cuales pueden ser patógenos.

Es posible lavar el medio granular, y eliminar el material orgánico, pero no es posible eliminar la materia orgánica adherida a los granos o presentes en los intersticios de los mismos. El material granular puede ser desinfectado a través de calor, o con el uso de cloro, con lo que se conseguiría tener materia orgánica desinfectada adherida a los granos de arena, la cual, al entrar en contacto con el agua cruda, se contaminarían inmediatamente.

La materia orgánica presente en el material granular es alimento para los microorganismos, de modo que, aquellos que ingresen junto con el agua a tratar, podrán formar colonias dentro de la capa de filtración, proliferar y salir del medio junto con el agua filtrada. Es común hallar más bacterias en el agua filtrada que en el agua cruda, esto seguirá ocurriendo hasta que los microorganismos hayan consumido toda la materia orgánica presente del medio granular, luego de lo cual dejarán de existir. Este proceso tomará varios meses, según la cantidad de materia orgánica presente.[19]

El material usado para los procesos de filtración ha sido adquirido a Calizas Huayco S.A. ubicada en el km. 12.5 vía a la Costa, empresa dedicada a la producción de áridos triturados para hormigones, carreteras y vías urbanas, drenaje filtración y control de erosión. El material seleccionado ha sido arena de trituración de piedra caliza, homogenizada bajo la norma ASTM C33-AF.

Tabla VII. Características de la arena para filtración

NOMBRE	Arena Homogenizada
NORMA TECNICA	C33-AF
TAMAÑO NOMINAL (mm)	4.75 – 0 mm
PESO UNITARIO (kg/m³) SUELTO	1300 - 1400
PESO UNITARIO (kg/m³) COMPACTADO	1575 - 1625
DENSIDAD D_{sss} (kg/m³)	2570 - 2610
MODULO DE FINURA	2.7 – 3.1

Fuente: Calcáreos Huayco

3.1.1.3. Elaboración de Unidad de Filtración

Para evaluar la filtración lenta en arena, se diseñaron dos tipos de unidades de filtración, en tubería PVC de dos pulgadas de diámetro y en buretas transparentes graduadas de 250 ml de capacidad. Para las unidades en tubería de PVC es necesario agregar accesorios de grifería para adecuar la recolección del efluente filtrado a la salida. Las buretas graduadas disponen de un sistema para la salida de fluidos a través de ellas, por lo tanto sólo es necesario colocar las diferentes capas de material filtrante dentro como se menciona más adelante.

Para la fabricación de columnas de filtración en tubería PVC se listan los materiales utilizados:

- Tubería para desagüe PVC de 2 pulgadas
- Rejilla para desagüe PVC de 2 pulgadas
- Unión PVC de 2 pulgadas
- Tapón macho PVC de 2 pulgadas

- Llave de $\frac{1}{4}$ de pulgada para salida de agua
- Teflón
- Kalipega (pegamento para tubería)
- Papel lija

A continuación se listan los pasos del procedimiento de armado de las columnas de filtración:

1. Cortar un trozo de tubo de PVC a una longitud de 80 cm. Dentro de este se colocará el material granular, y se adaptará el mecanismo de salida.
2. Cortar el borde plástico de la rejilla para desagüe, de modo que quede en forma de un disco.
3. Lijar uno de los extremos de la tubería de 80 cm. (para obtener adherencia al momento de pegar la tubería)
4. Lijar el contorno de la rejilla de desagüe.

5. Poner pegamento a la rejilla y colocarla dentro de la unión de 2 pulgadas.

6. Poner pegamento al extremo de la tubería de 80 cm. y colocarla dentro de la unión de 2 pulgadas sobre la rejilla de desagüe.

7. Hacer un orificio de $\frac{1}{4}$ de pulgada en el centro del tapón macho.

8. Introducir la llave de $\frac{1}{4}$ de pulgada por el orificio del tapón, y asegurar bien.

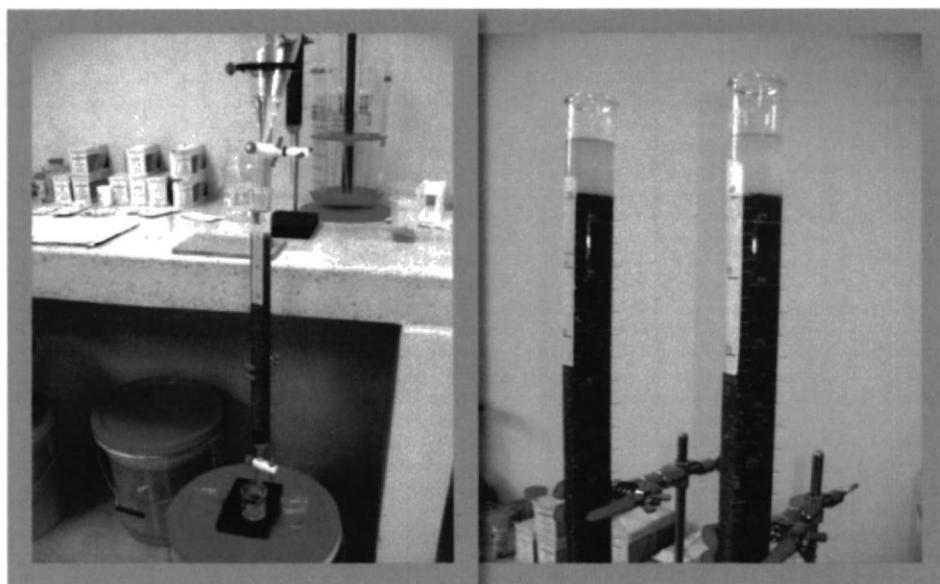
9. Verificar que no haya fugas en los contornos de la llave de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

10. Lijar el contorno del tapón, colocar pegamento, y pegar al extremo libre de la unión de $\frac{1}{2}$ pulgada



a) Columnas de filtración en PVC b) Llaves de salida del agua filtrada

Figura 3.1 Columnas de filtración en PVC para filtración lenta con arena.



a) Filtración en buretas

b) Columnas de arena, y arena con zeolita

Fig.3.2 Columnas de filtración en buretas para filtración lenta con arena.

Una vez construidas las unidades de filtración, se procedió a colocar en material granular de filtrante de acuerdo a las indicaciones mencionadas a continuación:

1. El primer paso es definir la altura de los diferentes estratos de medio filtrante dentro de las columnas de PVC. Si las columnas son transparentes, se puede medir las alturas del material desde la parte externa de las mismas. Se decide utilizar 12.5 cm de capa de drenaje, 4 cm de capa de separación, 35 cm de capa de filtración y 5 cm de capa superior de filtración.
2. En tubería de PVC, se procedió a realizar varios cortes a las alturas determinadas para cada capa, de modo que sirvan medida para la construcción de todas las columnas.
3. Usando las medidas hechas en PVC, se obtiene la cantidad de material necesaria para cada capa filtro, se coloca el material en fundas plásticas previamente

etiquetadas con la descripción del material y la capa que constituye, de manera que el material esté listo para ser colocado dentro del filtro.

4. Previo a colocar el material dentro de las columnas, se debe llenar con agua hasta una altura igual a la de la capa de drenaje, que es la primera en ser colocada. (Añadir el material granular con la columna llena de agua, evita la formación de vacíos entre los granos del material filtrante; éstos ocasionarían obstrucción y reducción del caudal de salida)
5. Añadir el material de la **capa de drenaje** lentamente dentro de la columna. Con ayuda de un flexómetro se constata de que el material dentro de la columna de filtración tenga la altura adecuada.
6. Añadir el material de la **capa de separación**. Para esta acción no es necesario colocar agua dentro de la

columna de PVC, puesto que la anteriormente añadida ha subido su nivel debido al material de drenaje.

7. Verificar la altura del agua dentro de la columna de PVC, ésta no debe sobrepasar los 20 cm de sobrenadante.

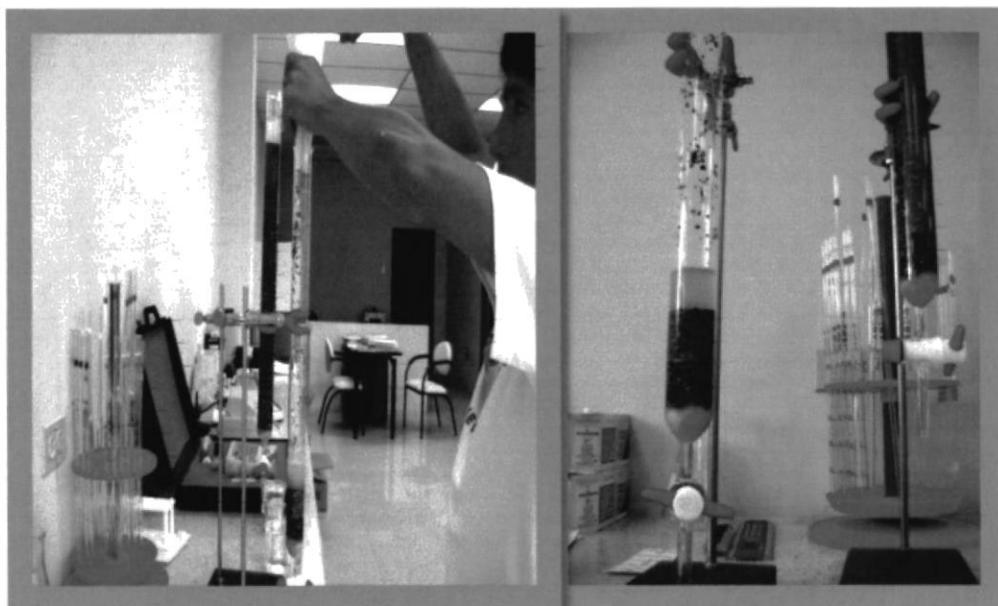
8. Colocar rápidamente el material de la **capa de filtración**, procurando que nunca sobrepase la altura de agua. Esta acción de colocar rápido el material, evita la segregación, de lo contrario, las partículas gruesas se asentaría antes que las finas. Esto provocaría la formación de otro estrato no planeado dentro de la columna de filtración. Es primordial que la **capa de filtración** sea homogénea en toda su longitud.

9. Colocar el material de la **capa superior de filtración**. Raspar la superficie de esta capa, ya sea con la mano, o con un cepillo, remover el sobrenadante con algún recipiente de modo que se elimine gran parte del

material suspendido. La presencia de material suspendido afectará al caudal de salida del filtro.

10. Para las columnas que van a trabajar con la adición de zeolita se debe colocar sobre la capa superior de filtración, una capa de 5 cm de zeolita natural de un tamaño nominal entre 1 y 3 mm.
11. Verificar el caudal, midiendo en minutos el tiempo que le toma a la columna filtrar cierta cantidad previamente establecida de agua. Luego dividimos el volumen de agua filtrado para el tiempo medido.
12. Se recomienda un caudal máximo de 600 lph/m^2 (litros por hora por metro cuadrado). El caudal no debe estar muy por debajo de este valor, en caso de tener un caudal superior o muy inferior al lo recomendado se debe ajustar el material de la **capa de filtración** y **capa superior de filtración**. Si el caudal se encuentra por sobre los 600 lph/m^2 se debe a una falta de material fin en la capa superior de filtración, si el caso fuera lo

contrario, un caudal muy reducido, entonces se trata de un exceso de finos, para lo cual podemos lavar el material y de esa manera eliminar la partículas más pequeñas.[20]



a) Colocación de material en bureta

b) Sobrenadante de agua durante armado

Fig.3.3 Construcción de columnas de filtración dentro de buretas.

3.1.1.4. Descripción del Experimento

Una vez construidas las columnas de filtración en PVC, procedemos a filtrar agua del lago de Espol, esta es la fuente más accesible y cercana al laboratorio de Medio Ambiente.

En una primera etapa, en las columnas de PVC, se mide periódicamente conductividad, oxígeno disuelto, salinidad, turbidez, tanto en el agua cruda, antes de la filtración, así como en el agua filtrada. Se registran los valores de los parámetros, se grafican las tendencias a lo largo del tiempo, y se analizan las diferencias en las muestras de agua, antes y después del tratamiento.

En una segunda etapa, trabajamos con las columnas construidas dentro de las buretas graduadas, utilizamos agua de las fuentes ubicadas en Manabí. Se procede a medir concentraciones de metales, nutrientes, coliformes fecales y E. coli, del agua cruda proveniente de cada una de las fuentes, tanto a la entrada como en su posterior salida del proceso de filtración. Se registra los valores, y se analizan las posibles diferencias en las concentraciones.

Comparando los valores obtenidos a la entrada y salida del tratamiendo se determina el porcentaje de remoción por carga contaminante con que opera el filtro.

3.1.2. Filtro Cerámico de Arcilla

El filtro cerámico, es un filtro de arcilla cocida, semejante a una vasija de barro, pero con una adición de materia orgánica entre el 20 al 30% a la mezcla tradicional, lo que le otorga unas características especiales al resultado final.

La arcilla, por sí sola, es un material impermeable, pero, la adición de materia orgánica produce que, al momento de la cocción de la arcilla, debido a las elevadas temperaturas, la materia orgánica desprenda gas carbónico, el cual, forma diminutos poros en la masa de arcilla, que luego permiten la filtración de agua, y retiene el 99.9% de bacterias. [21]

El filtro de arcilla es una buena opción para zonas que carezcan de fuentes agua segura para el consumo, ya que entre sus cualidades está el ser de muy fácil construcción y mantenimiento, y de tamaño práctico como para ser ubicado dentro de la cocina.

Un filtro casero de arcilla, produce un volumen de entre 8 a 12 litros de agua por día. Volúmenes muy elevados, por sobre los 15 litros por día, son señal de fracturas en los filtros. De presentarse fracturas, el filtro que inservible, puesto que no asegura la eliminación de bacterias. [22]

3.1.2.1. Descripción de Unidad de Filtración

EL filtro cerámico de arcilla es un sistema de filtración muy simple en su fabricación, así como en la lógica de su funcionamiento que ya ha sido mencionada anteriormente. El sistema se compone básicamente de dos partes, una de ellas es el filtro en sí, es decir, una vasija de barro cocido donde se

colocará el agua cruda, y el otro componente es un recipiente plástico sobre el que se apoya el filtro y dentro del cual se recoge el agua filtrada. Este recipiente debe tener tapa, de modo que no permita el ingreso de cualquier tipo de materia o suciedad al filtro, de igual manera debe contar con una llave para la salida del agua filtrada. La figura 3.4 muestra un esquema de los componentes de un filtro cerámico, y la disposición de cada uno dentro de este sistema de filtración.

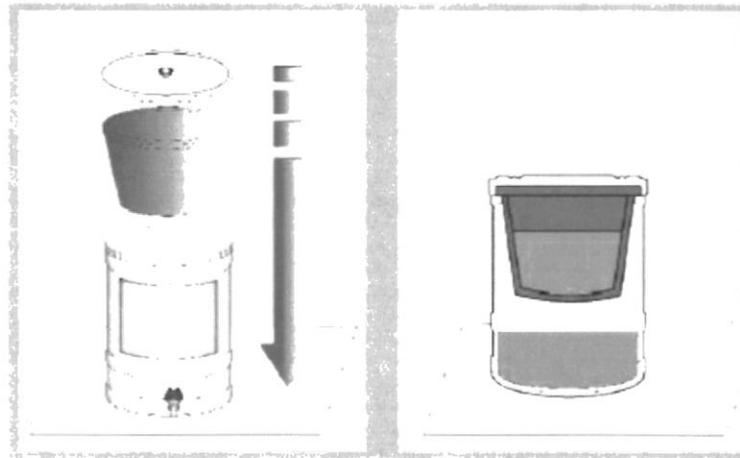


Fig. 3.4 Componentes de un filtro cerámico. Tomada de www.wsp.org/UserFiles/file/926200724252_eap_cambodia_filter.pdf

3.1.2.2. Materiales Constituyentes de los Filtros

Los filtros cerámicos básicamente están constituidos por dos elementos, arcilla, y materia orgánica. Por motivos de construcción y para dar consistencia a los filtros, se ha agregado un porcentaje de arena a la masa de arcilla para la mezcla. La materia orgánica pueden ser residuos secos del procesamiento de gramíneas como por ejemplo cáscara de arroz, salvado, harina. La materia orgánica para agregar a la mezcla debe estar seca, y tamizada, asegurándose que el tamaño de la misma sea menor a 0.4 mm, y puede constituir entre el 20 y 30% del total del filtro. Para el presente trabajo, se usa cáscara de arroz molida, puesto que se puede obtener con mucha facilidad y en grandes cantidades en la zona arroceras de Daule, y cumple con los requerimientos de tamaño para este agregado.

La tasa óptima de filtración de un sistema cerámico, debe estar entre 8 y 10 litros por día, son aceptables tasas de hasta 3 litros, pero tasas mayores a 15 litros por día pueden ser

producto de fracturas en el filtro, lo que dejaría inutilizable a la unidad, puesto que no garantiza la eliminación de bacterias y virus.

Para asegurar la completa desinfección del agua, si se lo desea, se puede agregar, una vez el filtro listo, una capa de nitrato de plata, que actúa como bactericida.

3.1.2.3. Elaboración de Unidad de Filtración

Los filtros cerámicos de arcilla, son filtros artesanales, de manera que se los puede construir con la ayuda de cualquier maestro alfarero usando las técnicas tradicionales de trabajo manual.

En la página web del cantón Samborondón de la provincia del Guayas, entre sus actividades tradicionales y representativas

se menciona la alfarería. En este sitio se elaboran los filtros cerámicos para el presente trabajo.

El proceso de preparación de la arcilla lo realiza enteramente el maestro alfarero, basándose en su experiencia para escoger el mejor material de depósitos cercanos en los cerros del cantón, cuya ubicación no ha sido revelado por celo profesional. En la alfarería cuentan con suficiente material almacenado y listo para la preparación de los filtros, se trata de una mezcla de arcilla con un 10% de arena, con la que se hacen pellas de alrededor de 20 libras de peso que son almacenadas a la sombra para que no resequen con el sol y no pierda plasticidad el material.

Se requieren 20 libras de material, entre arcilla y cáscara de arroz, para elaborar cada unidad de filtración. Los filtros se los fabrica en tres proporciones diferentes de agregado de cáscara de arroz, teniendo mezclas con 25%, 20%, y una última sin agregar materia orgánica.

El procedimiento de construcción se describe en los siguientes pasos:

1. Con ayuda de una balanza pesar 16 libras de arcilla y 4 para una mezcla al 20%, ó 15 libras de arcilla y 5 de cáscara de arroz para una mezcla al 25%.

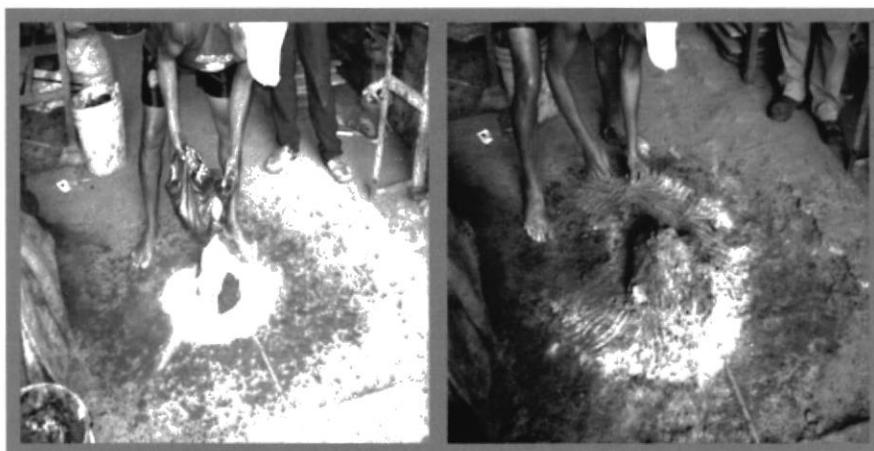


a) Tamo de arroz molido

b) Material arcilloso

Fig.3.5 Pesaje de materiales del filtro cerámico

2. Mezclar vigorosamente hasta conseguir una masa uniforme y homogénea.



a) Añadidura de tamos de arroz

b) Mezcla de arcilla y tamo de arroz

Fig.3.6 Mezcla de materiales

3. Si se requiere, añadir agua a la mezcla para dar consistencia y mejorar su trabajabilidad.
4. Llevar la mezcla al torno, y formar las vasijas de 32 cm de diámetro superior, 20cm de diámetro en el fondo, y una altura de 20 cm.



a) Se comienza a dar forma al filtro b) Forma y acabado final

Fig.3.7 Elaboración de los filtros de arcilla en tornos

5. Dejar reposar bajo sombra durante el primer día, y colocar a secar bajo el sol el día siguiente.
6. Llevar al horno a temperaturas entre 800 y 900° C
7. Retirar del horno, esperar a que se enfríe el filtro, colocar agua dentro, y verificar la tasa de filtración.

3.1.2.4. Descripción del Experimento

Una vez construidas las unidades de filtración, procederemos a filtrar en ellas agua proveniente del lago de Espol, debido a que es la fuente más cercana para realizar la experimentación.

Se verifica que los caudales de los filtros de arcilla estén dentro de los límites permisibles mencionados en la bibliografía. En caso de no cumplir este requerimiento, la unidad será descartada para la investigación.

En una primera etapa se mide periódicamente conductividad, oxígeno disuelto, salinidad, turbidez, tanto en el agua cruda, antes de la filtración, así como en el agua filtrada. Se registran los valores de los parámetros, se grafican las tendencias a lo largo del tiempo, y se analizan las diferencias en las muestras de agua, antes y después del tratamiento.

En una segunda etapa, utilizamos agua de las fuentes ubicadas en Manabí. Se procede a medir concentraciones de metales, nutrientes, coliformes fecales y E. coli, del agua cruda

proveniente de cada una de las fuentes, tanto a la entrada como en su posterior salida del proceso de filtración. Se registra los valores, y se analizan las posibles diferencias en las concentraciones.

Comparando los valores obtenidos a la entrada y salida del tratamiento se determina el porcentaje de remoción por carga contaminante con que opera el filtro.

3.2. Metodología y Análisis

El presente proyecto se basó en medir la concentración de carga contaminante presente en el agua cruda de distintas fuentes en el momento previo y posterior al tratamiento de filtración. La toma de muestras para los diferentes tipos de análisis se llevó a cabo bajo los requerimientos de normas internacionales que validen la veracidad de los resultados

obtenidos, las muestras se tomaron en campo para ser transportadas luego hasta el laboratorio de Medio Ambiente del Instituto de Ciencias Químicas de la Espol en donde se analizaron los parámetros físico-químicos. Los ensayos microbiológicos se realizaron a través de Protal.

3.2.1. Muestreo In Situ y de laboratorio

El procedimiento de toma de muestras involucra los siguientes pasos, que deben ser tenidos en cuenta siempre que se efectúe un muestreo: preparación del muestreo, recolección de muestras de agua para análisis fisicoquímicos, recolección de muestras de agua para análisis microbiológicos, identificación y almacenamiento de muestras, custodia de muestras y entrega al laboratorio y control de calidad del muestreo.

- **Selección del punto exacto para el muestreo**

Aunque el plan de muestreo establece el sitio en que se debe tomar cada muestra, en ocasiones el responsable de ejecutar el muestreo debe decidir el punto exacto en que esto se hará. Para esto, se deben tener en cuenta aspectos como los que se describen a continuación.

Accesibilidad. El punto de muestreo debe estar en un lugar fácilmente accesible con las vías de acceso vehicular y peatonal que sean necesarias, de tal manera que se facilite obtener las muestras y transportar la carga que implican los equipos y materiales de muestreo.

Representatividad. El punto de recolección de las muestras debe ser lo más representativo posible de las características generales del cuerpo de agua. Esto significa que el cuerpo de agua debe estar mezclado totalmente en el lugar de muestreo, lo que se evalúa según la turbulencia, velocidad y apariencia física del cuerpo de agua le brinden homogeneidad. Es de resaltar que una

excesiva turbulencia puede afectar los valores de algunos parámetros como oxígeno disuelto y pH.

Seguridad. El punto de muestreo, sus alrededores y las condiciones meteorológicas deben garantizar la seguridad de quienes toman las muestras, de tal manera que se minimicen los riesgos de accidentes y de lesiones personales. En cualquier caso se deben tomar siempre todas las precauciones y utilizar los equipos de seguridad necesarios. En los ríos se debe tener especial precaución con eventuales crecientes, deslizamientos o arrastre de objetos sólidos grandes en la corriente.

- **Toma de muestras**

Siempre que se toma una muestra se debe registrar la información sobre lugar y momento del muestreo, identificación y origen de la muestra, resultados de análisis de campo y condiciones particulares del muestreo.

Las muestras de agua pueden ser tomadas de una corriente de agua natural o residual, de un depósito de agua superficial (laguna, ciénaga, embalse, etc.), de un cuerpo de agua subterráneo o de un grifo.

Las muestras de corrientes de agua (ríos, quebradas, caños, canales abiertos), de cuerpos de agua abiertos (lagunas, ciénagas, estanques, depósitos) y de depósitos subterráneos abiertos, se toman sumergiendo el balde plástico en el cuerpo de agua en la zona que presente la mejor mezcla sin excesiva turbulencia.

Las muestras de agua que sale por tuberías o grifos se toman llenando el balde directamente bajo el chorro.

- **Muestras puntuales**

Purgar el recipiente de muestreo 1 o 2 (una o dos) veces con porciones diferentes de muestra. Desechar estas porciones.

Llenar el recipiente de muestreo con otra porción de agua del cuerpo muestreado.

Las muestras para análisis de grasas y aceites se toman sumergiendo parcialmente el recipiente de muestra, inclinado 45° aproximadamente, directamente en el cuerpo de agua o colocándolo en el flujo, sin efectuar ninguna purga ni trasvasar la muestra. La botella se tapa de inmediato con un trozo de papel aluminio y luego con la tapa debidamente ajustada.

En los vertederos hay que tener especial cuidado debido a que estos al represar el agua van acumulando sólidos y sustancias como grasas que interfieren en la representatividad de la muestra.

- **Análisis de campo**

Tan pronto se obtiene cada muestra puntual, sin importar si después han de ser compuestas o integradas, se miden los parámetros de campo establecidos en el plan de muestreo, de la siguiente manera:

- Se vierte en un recipiente plástico de 1 L , de boca ancha, una porción de la muestra tomada (entre 200 y 500 mL de muestra, según el tamaño de la sonda).
- Se sumerge la sonda limpia en esta porción y se agita suavemente para purgarla.
- Se desecha esta porción de muestra.
- Se llena nuevamente el recipiente y se sumerge la sonda purgada para medir los parámetros.

Los análisis de temperatura, pH y oxígeno disuelto se deben efectuar en el transcurso de los siguientes 10 (máximo 15) minutos después de obtenida cada muestra puntual.

Las mediciones se hacen siguiendo los instructivos de operación del equipo y los procedimientos de análisis específicos.

En muestras que ya hayan sido compuestas o integradas no es necesario medir los valores de temperatura, pH ni oxígeno disuelto, ya que no son representativos de ninguna propiedad del cuerpo de agua monitoreado debido al tiempo transcurrido desde la obtención de cada porción de muestra.

- **Aforo de caudal**

Para aforar el caudal volumétricamente (aplicable para bajos caudales) se debe colocar el balde graduado de tal manera que recoja todo el flujo de efluente y medir el tiempo que tarda en llenarse o en llegar hasta una marca de volumen determinada. El caudal se calcula dividiendo el volumen recogido, en litros, por el tiempo, en segundos, que tardó en obtenerse. Este valor es el caudal del vertimiento en litros por segundo, L/s.

- **Llenado de recipientes**

Para las muestras puntuales los recipientes van rotulados desde el laboratorio mediante su etiqueta correspondiente. Para las porciones de muestras que se han de componer o integrar, se utilizan recipientes diferentes que se marcan mediante cinta de enmascarar con un número que indique el orden de obtención de cada porción de muestra y los datos que hagan falta para evitar posteriores confusiones.

- Agitar la muestra en el balde con una varilla plástica limpia de tal manera que se haga lo más homogénea posible.
- A la vez que se agita la muestra, llenar cada recipiente para muestra a través de la llave del balde (si la tiene) o por inclinación del balde para verter la muestra en el recipiente. *De acuerdo con Standard Methods (sección 1060A.1), los recipientes no se deben purgar con muestra ya que esto puede sesgar los resultados debido a que ciertos componentes (por ejemplo sólidos, grasas y aceites) se adhieren a las paredes del recipiente.*

- Llenar cada recipiente por completo con muestra. Los recipientes para muestras microbiológicas se llenan hasta 3/4 (tres cuartas partes) de su capacidad para permitir la aireación y asegurar la supervivencia de los microorganismos a ser cuantificados.
- Preservar, si es necesario, como se indica en 7.8.
- Tapar herméticamente cada recipiente y rotularlo. [23]

3.2.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo

En el presente trabajo se ha tomado en cuenta cuatro puntos de muestreo, cuatro diferentes fuentes de agua.

La primera fuente es el lago de la Espol, lago artificial alimentado por la recolección de aguas lluvias, los puntos de muestreos restantes están ubicados en la parte sur de la provincia de Manabí, en el sector llamado el Guanábano

debido a la presencia de este árbol frutal en el sector. De estos tres puntos de muestreo, tenemos tres fuentes distintas que son: agua de riachuelo, agua de pozo subterráneo y agua de manantial.

El riachuelo a analizar viaja paralelo a la carretera a unos 200 metros desde el borde de la calzada, atraviesa algunas haciendas establecidas en el lugar, las cuales se benefician del líquido, sobre todo durante la estación lluviosa cuando el caudal del riachuelo es considerable, llegada la estación seca, los propietarios de haciendas aguas arriba del riachuelo, taponan el cauce para asegurarse abastecimiento de agua para ellos, por lo que el caudal aguas abajo se reduce casi totalmente, restando la capacidad de recuperación de las aguas del riachuelo y la dilución de contaminantes.

La siguiente fuente, es un pozo subterráneo que fue perforado en el Rancho Don Pablito, ubicado en el mismo sector antes mencionado. El pozo se encuentra ubicado en la parte baja del rancho, y el agua es conducida por bombas hacia tanques

elevados. En un principio el agua fue de muy buena calidad, pero actualmente sólo se usa para riego, limpieza, y dar de beber a los animales del rancho.

La última fuente a considerar, es agua proveniente de manantial en la parte alta de los cerros del sector, y se conduce por tubería hasta un grifo ubicado en el km 89 al pie de la carretera a Guayas -Manabí. Llegar al sitio mismo del manantial sugiere tomarse todo un día en adentrarse al cerro, por información de los moradores, se conoce que el agua es de excelente calidad y se la puede beber directamente, pero luego de recorrer un largo tramo de tubería plástica, necesita ser hervida para el consumo humano.

En la tabla VIII se muestra la ubicación geográfica de los diferentes puntos muestreo en el sur de Manabí, así como el tipo de agua proporcionada por cada una de las fuentes.

Tabla VIII. Ubicación Geográfica de los puntos de muestreo en el sur de Manabí.

FUENTE	LUGAR	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
		Longitud	Latitud
Manantial	Km. 89 Vía Guayas-Manabí	80°20'27.54"O	1° 42'47.1"S
Pozo	Rancho Don Pablito. Km. 90 Vía Guayas-Manabí	80°23'46.92"O	1°42'48.54"S
Río	Hacienda del Sr. Nery Plaza Km. 91 Vía Guayas-Manabí	80°25'16.62"O	1°42'19."S

Fuente: Elaborada por el autor



a) Punto de acopio de agua de manantial

b) Sitio de muestreo Km 89 vía Guayas-Manabí.

Fig.3.8 Lugar de recolección de agua de manantial



Rancho Don Pablito. Km 90 vía Guayas-Manabí

Fig.3.9 Lugar de recolección de agua de pozo



Hacienda del Sr. Nery Plaza. Km 91 vía Guayas-Manabí

Fig.3.10 Lugar de recolección de agua de pozo

3.2.1.2. Preservación de muestras

Para la conservación de las muestras de agua desde las fuentes hasta el laboratorio de medio ambiente para medir los diferentes parámetros, nos basaremos en la información presente en la página web de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). En la tabla IX se muestran los diferentes métodos de conservación según el parámetro que se vaya a medir.

Tabla IX-a Conservación de características inorgánicas en una muestra de agua

PARÁMETRO	RECIPIENTE DE MUESTRA	VOLUMEN MINIMO	PRESERVACION	TIEMPO MÁXIMO DE ANÁLISIS
Acidez	Plástico o vidrio borosilicato	100 mL	Refrigerar	24 horas
Alcalinidad	Plástico o vidrio borosilicato	200 mL	Refrigerar	14 días
Cloro residual total	Plástico o vidrio	500 mL	Analizar de inmediato	15 minutos
Cloruros	Plástico o vidrio	50 mL	Refrigerar	28 días
Coliformes fecales	Vidrio estéril	100 mL	Refrigerar	6 horas
Color	Plástico o vidrio	500 mL	Refrigerar	48 horas
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	500 mL	Refrigerar	28 días
DBO 5	Plástico o vidrio	1000 mL	Refrigerar	48 horas
DQO	Plástico o vidrio	100 mL	Adicionar H ₂ SO ₄	28 días

			hasta pH<2 y refrigerar	
Dureza cálcica	Plástico o vidrio	100 mL	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2 y refrigerar	6 meses
Fosfatos	Plástico	100 mL	Filtrar inmediatamente y refrigerar	48 horas
Fosforo total	Plástico	100 mL	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2 y refrigerar	28 días
Grasas y aceites	Vidrio de boca ancha	1000 mL	Adicionar HCl ó H ₂ SO ₄ hasta pH<2 y refrigerar	28 días
Metales pesados	Plástico	500 mL	Adicionar HNO ₃ hasta pH<2 y refrigerar	6 meses
Nitratos	Plástico o vidrio	100 mL	Refrigerar	48 horas
Nitritos	Plástico o vidrio	100 mL	Refrigerar	48 horas
Nitrógeno amoniacal	Plástico o vidrio	500 mL	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2 y refrigerar	28 días
Nitrógeno orgánico	Plástico o vidrio	500 mL	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2 y refrigerar	28 días
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	300 mL	Analizar de inmediato	15 minutos
pH	Plástico o vidrio	50 mL	Analizar de inmediato	15 minutos
Salinidad	Plástico o vidrio	500 mL	Refrigerar	28 días
Sólidos disueltos	Plástico o vidrio	200 mL	Refrigerar	7 días
Sólidos sedimentables	Plástico o vidrio	1000 mL	Refrigerar	7 días
Sólidos suspendidos	Plástico o vidrio	200 mL	Refrigerar	7 días
Sólidos totales	Plástico o vidrio	200 mL	Refrigerar	7 días
Sulfatos	Plástico o vidrio	100 mL	Refrigerar	28 días
Temperatura	Plástico o vidrio	100 mL	Analizar de inmediato	15 minutos
Turbidez	Plástico o vidrio ámbar	100 mL	Almacenar en oscuridad y refrigerar	24 horas

* Fuente: USEPA (United States Environmental Protection Agency)

3.2.2. Análisis Físicos

Los análisis físicos a medir durante la experimentación son: temperatura, turbidez, conductividad y sólidos disueltos totales (SDT).

La temperatura es una variable física influye directamente en la calidad del agua. Afecta a varios parámetros como, la solubilidad de gases y sales, la cinética de reacciones químicas y bioquímicas, los desplazamientos de los equilibrios químicos, la tensión superficial y el desarrollo de microorganismos presentes en el agua.

Para la medición de este parámetro en las muestras de agua se utilizará el equipo digital YSI90, el mismo que tiene funciones para medir temperatura, conductividad, salinidad y oxígeno disuelto. El procedimiento de medición consiste en sumergir el electrodo del equipo dentro de las muestras, esperar hasta que el valor mostrado en la pantalla se estabilice, y registrar la medida.

La turbidez en el agua es provocada por materia insoluble, sólidos en suspensión o dispersión coloidal. Esto deriva en un fenómeno óptico, que consiste en una absorción de luz.

La turbidez se puede medir en unidades nefelométricas NTU, en unidades atenuadoras de formacina FAU, o en mg de SiO_2/l . Durante el presente trabajo se mide la turbidez con la ayuda del espectro fotómetro Spectroquant Nova 60 de Merck.

1. Tomar las cubetas de 50 ml propias del equipo.
2. Llenar las cubetas hasta el punto indicador con la muestra de agua a medir.
3. Colocar la cubeta de cristal dentro del espectrofotómetro, y elegir el método número 077.
4. Registrar los datos obtenidos.

La conductividad, mide la resistencia del agua al flujo de la corriente eléctrica. La conductividad es una buena medida de la cantidad de iones en disolución, una alta conductividad se traduce en una alta salinidad o valores anómalos de pH. Para la medición de este parámetro nos valemos del equipo YSI 90 (mencionado cuando tratamos el tema temperatura), sumergimos el electrodo en la muestra de agua a medir, esperamos a que se estabilice la medida y registramos el valor otorgado por el equipo. La unidad de medición es medición es micro Siemen (μS). [24]

3.2.3. Análisis Químicos

Dentro de los parámetros químicos a medir en las muestras de agua durante la presente investigación podemos mencionar la salinidad, dureza, pH (acidez y alcalinidad), oxígeno disuelto; se mide además la presencia de metales en las mismas, tales como magnesio, calcio, cadmio, hierro, manganeso; también se mide nutrientes como

compuestos nitrogenados y compuestos fosforados; así como gases disueltos como amoníaco y cloruros.



a) Espectro-fotómetro Nova 60

b) Fotómetro YSI 9100

Fig.3.11 Equipos del Laboratorio de Medio Ambiente de Espol

3.2.4. Análisis Bacteriológicos

Para los análisis bacteriológicos se contrata los servicios de PROTAL (Programa de Tecnología en Alimentos de la Espol). Los parámetros a medir serán Coliformes Fecales y E. Coli, cuyas mediciones serán en UFC (unidades formadoras de colonias). El método de medición usado en Protal para coliformes fecales es el Standard Methods 21th 9221

ABCE, y para medición de E. Coli es Standard Methods 21th 9921 ABCEF.

Las mediciones se realizarán a las muestras de agua cruda, tomadas directamente de las fuentes, y a las muestras de agua filtrada tomadas de las columnas de filtración y de los filtros cerámicos de arcillas.



CAPITULO 4

4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Caracterización de las fuentes de agua

Para realizar el presente trabajo, tomando en consideración que se busca dotar de agua segura a los sectores desprovistos de la misma, se procede con el análisis de cuatro fuentes de agua que se detallan a continuación.

4.1.1. Fuente: Lago Espol.

Se tomó como fuente de análisis el lago de la ESPOL, debido a la facilidad de muestreo y cercanía del área de trabajo. Se realizaron mediciones de parámetros de oxígeno disuelto, conductividad, salinidad, turbidez, coliformes fecales y E. Coli (Tabla X). Tomando en consideración que el agua de esta fuente no es utilizada para consumo humano se han realizado mediciones de los parámetros con equipos digitales que no consumen recursos económicos.

Tabla X.- Parámetros del agua del lago ESPOL.

MUESTRA	PARÁMETROS					
	OD (mg/l)	CONDUCTIVIDAD $\mu\text{s}(T=25\text{ C})$	SALINIDAD (PPT)	TURBIDEZ (NTU)	COLIFORMES FECALES (UFC)	E. COLI (UFC)
1	2.34	287.70	0.10	6.00	200.00	1.00
2	2.63	288.30	0.10	7.00	150.00	11.00
3	2.32	287.70	0.10	6.00	300.00	1.00
4	3.04	288.10	0.10	6.00	500.00	1.00
5	3.07	288.60	0.10	6.00		
6	2.89	292.50	0.10	6.00		
7	2.21	290.60	0.10	7.00		
8	1.82	291.80	0.10	6.00		
9	1.68	299.40	0.10	6.00		
10	2.81	302.50	0.10	7.00		
11	2.04	306.50	0.10	7.00		
12	2.09	297.90	0.10	5.00		
13	2.11	293.60	0.10	6.00		

Fuente: Elaborado por el autor

4.1.2. Fuente: Agua de Pozo

Se tomó como fuente el agua de pozo, en el sector del Guanábano al sur de Manabí, teniendo en consideración que la misma era captada tiempo atrás para consumo humano. Se ha realizado el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas (Tabla XI).

Tabla XI.- Parámetros del agua de Pozo.

MUESTRA	PARÁMETROS					
	DUREZA (mg/CaCO ₃)	MAGNESIO (mg/l)	CALCIO (mg/l)	SODIO (mg/l)	CLORUROS (mg/l)	NITRITOS (mg/l)
1	441.00	47.00	425.00	48.00	40.00	0.41
2	569.00	51.50	405.00	2.00	32.00	0.41
3	441.00	47.00	425.00	48.00	40.00	0.41
4	569.00	51.50	405.00	2.00	32.00	0.41
5	520.00	55.00	475.00	105.00	38.00	0.04

MUESTRA	PARÁMETROS				
	NITRATOS (mg/l)	ALCALINIDAD (mg/CaCO ₃)	TURBIDEZ (NTU)	COLIFORMES FECALES (UFC)	E. COLI (UFC)
1	0.98	195.00	22.00	540.00	140.00
2	1.62	270.00	9.00	340.00	22.00
3	0.98	195.00	22.00	3000.00	800.00
4	1.62	270.00	9.00	4800.00	300.00
5	1.74	320.00	22.00	4000.00	1800.00
6				8200.00	3000.00

Fuente: Elaborado por el autor

4.1.3. Fuente: Agua de Manantial

Se tomó como fuente el agua de manantial, en el sector del Guanábano al sur de Manabí, esta es considerada como agua para el consumo humano, pero debido a las múltiples formas de contaminación nos vemos ante la necesidad de analizar y determinar sus características fisicoquímicas y microbiológicas (Tabla XII), para definir si es necesario el tratamiento de la misma.

Tabla XII.- Parámetros del agua de Manantial

MUESTRA	PARÁMETROS					
	DUREZA (mg/CaCO ₃)	MAGNESIO (mg/l)	CALCIO (mg/l)	SODIO (mg/l)	CLORUROS (mg/l)	NITRITOS (mg/l)
1	232.00	30.00	155.00	4.00	5.40	0.03
2	232.00	56.10	155.00	6.00	6.10	0.03
3	232.00	30.00	160.00	4.00	5.40	0.03
4	232.00	56.10		6.00	6.10	0.03
5	245.00	55.50		4.00	5.90	0.01

MUESTRA	PARÁMETROS				
	NITRATOS (mg/l)	ALCALINIDAD (mg/CaCO ₃)	TURBIDEZ (NTU)	COLIFORMES FECALES (UFC)	E. COLI (UFC)
1	0.38	290.00	7.00	710.00	
2	0.24	280.00	6.00	530.00	
3	0.38	290.00	7.00	2500.00	
4	0.24	280.00	6.00	4500.00	100.00
5	0.26	290.00	7.00	800.00	200.00
6				400.00	300.00

Fuente: Elaborado por el autor

4.1.4. Fuente: Agua de Río

Es la fuente por medio de la cual la mayor parte de la población se abastece de agua para las diversas actividades y debido a su importancia se ha decidido evaluar las condiciones de consumo (Tabla XIII) e implementar los tratamientos aquí planteados.

Tabla XIII.- Parámetros del agua de Río

MUESTRA	PARÁMETROS					
	DUREZA (mg/CaCO ₃)	MAGNESIO (mg/l)	CALCIO (mg/l)	SODIO (mg/l)	CLORUROS (mg/l)	NITRITOS (mg/l)
1	113.00	9.50	93.00	7.00	3.90	0.06
2	127.00	15.30	106.00	2.00	2.90	0.08
3	113.00	9.50	93.00	7.00	3.90	0.06
4	127.00	15.30	106.00	2.00	2.90	0.08
5	115.00	8.90	96.00	6.00	4.00	0.06

MUESTRA	PARÁMETROS				
	NITRATOS (mg/l)	ALCALINIDAD (mg/CaCO ₃)	TURBIDEZ (NTU)	COLIFORMES FECALES (UFC)	E. COLI (UFC)
1	0.64	270.00	27.00	370.00	230.00
2	0.46	280.00	27.00	120.00	1.00
3	0.64	270.00	27.00	7400.00	2500.00
4	0.46	280.00	27.00	5100.00	3100.00
5	0.70	265.00	27.00	2600.00	1000.00
6				2200.00	1000.00

Fuente: Elaborado por el autor

4.2. Representación gráfica de la caracterización de las fuentes.

A continuación se presentan tablas y gráficos de concentración de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes de agua analizadas.

Tabla XIV.- Concentración de Coliformes Fecales en las fuentes de agua.

COLIFORMES FECALES (UFC/100ml)			
POZO	RÍO	MANANTIAL	LAGO
540	370	710	200
340	120	530	150
3000	7400	2500	300
4800	5100	4500	500
4000	2600	800	
8200	2200	400	

Fuente: Elaborado por el autor

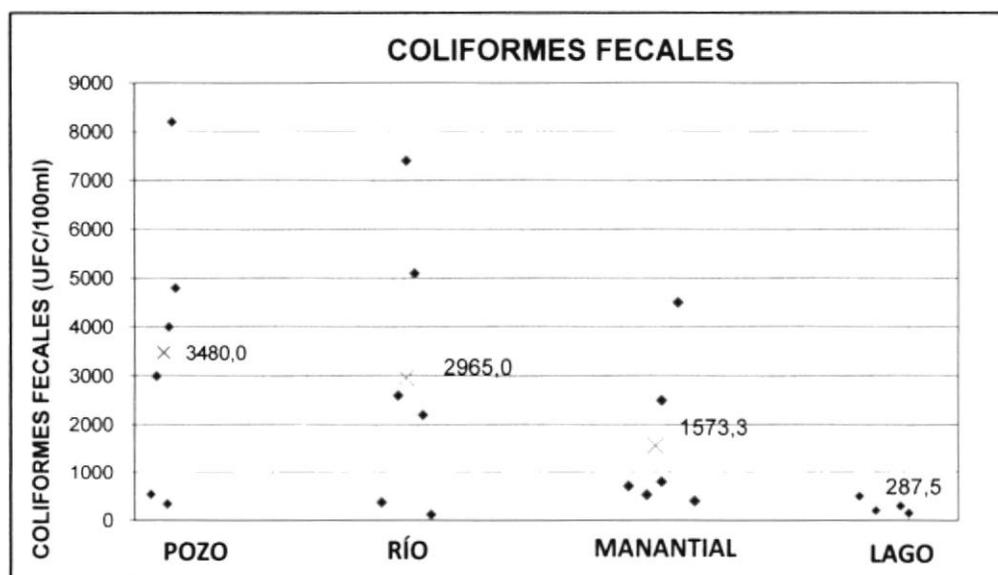


Gráfico 4.1.- Concentración de Coliformes Fecales en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XV.- Concentración de E. Coli en las fuentes de agua.

E. COLI (UFC/100ml)			
POZO	RÍO	MANANTIAL	LAGO
140	230		1
22	1		11
800	2500		1
300	3100	100	1
1800	1000	200	
3000	1000	300	

Fuente: Elaborado por el autor

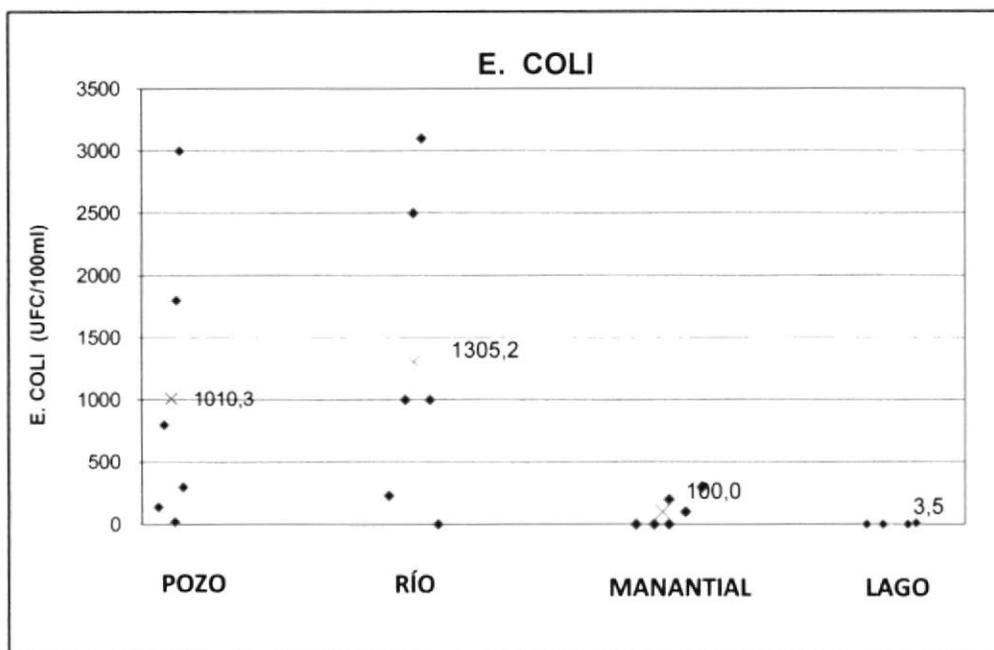


Gráfico 4.2.- Concentración de E. Coli en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XVI.- Concentración de Dureza en las fuentes de agua.

DUREZA (mg/Ca CO ₃)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
441	113	232
441	113	232
569	127	232
569	127	232
520	115	245

Fuente: Elaborado por el autor

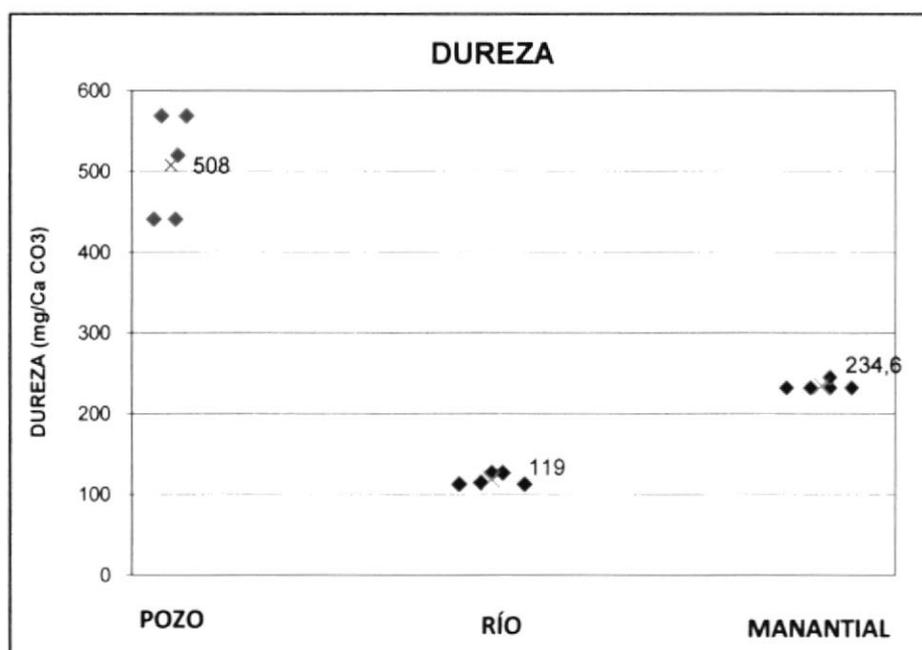


Gráfico 4.3.- Concentración de Dureza en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XVII.- Concentración de Magnesio en las fuentes de agua.

MAGNESIO (mg/l)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
47	9.5	30
47	9.5	30
51.5	15.3	56.1
51.5	15.3	56.1
55	8.9	55.5

Fuente: Elaborado por el autor

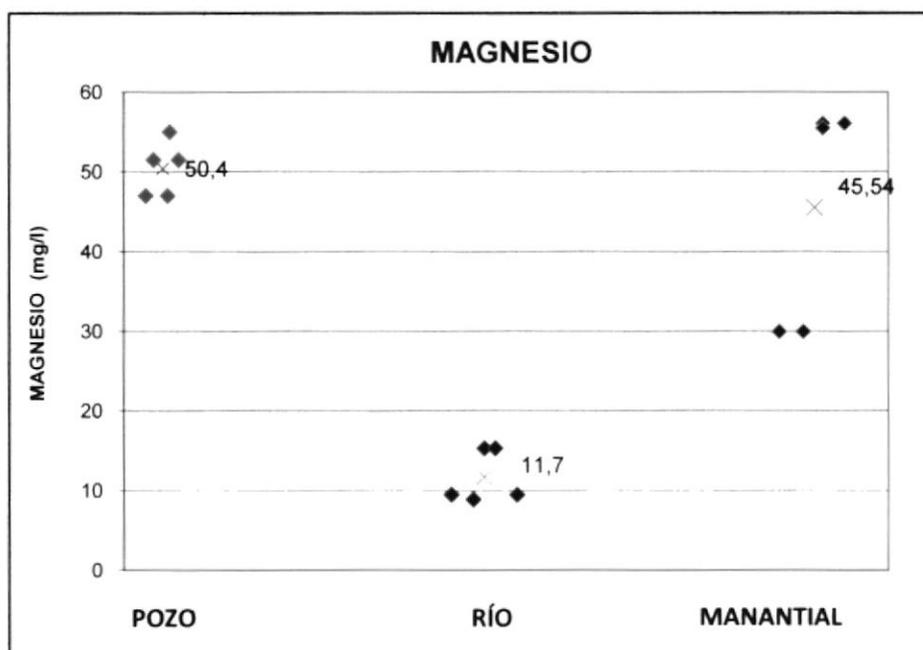


Gráfico 4.4.- Concentración de Magnesio en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XVIII.- Concentración de Calcio en las fuentes de agua.

CALCIO (mg/l)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
425	93	155
425	93	155
405	106	
405	106	
475	96	160

Fuente: Elaborado por el autor

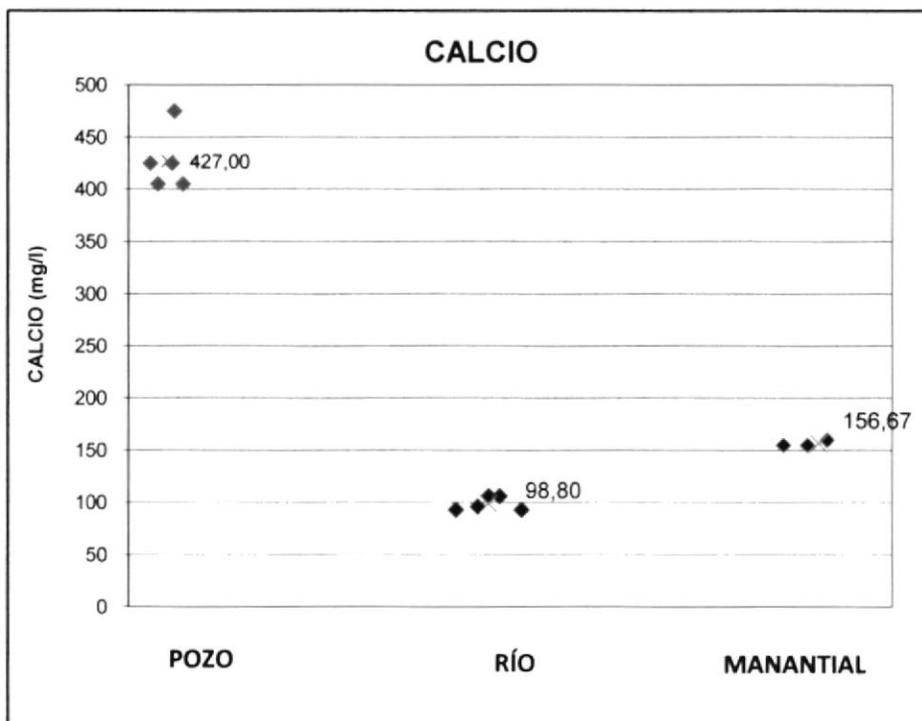


Gráfico 4.5.- Concentración de Calcio en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XIX.- Concentración de Sodio en las fuentes de agua.

SODIO (mg/l)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
48	7	6
48	7	4
2	2	6
2	2	6
105	6	4

Fuente: Elaborado por el autor

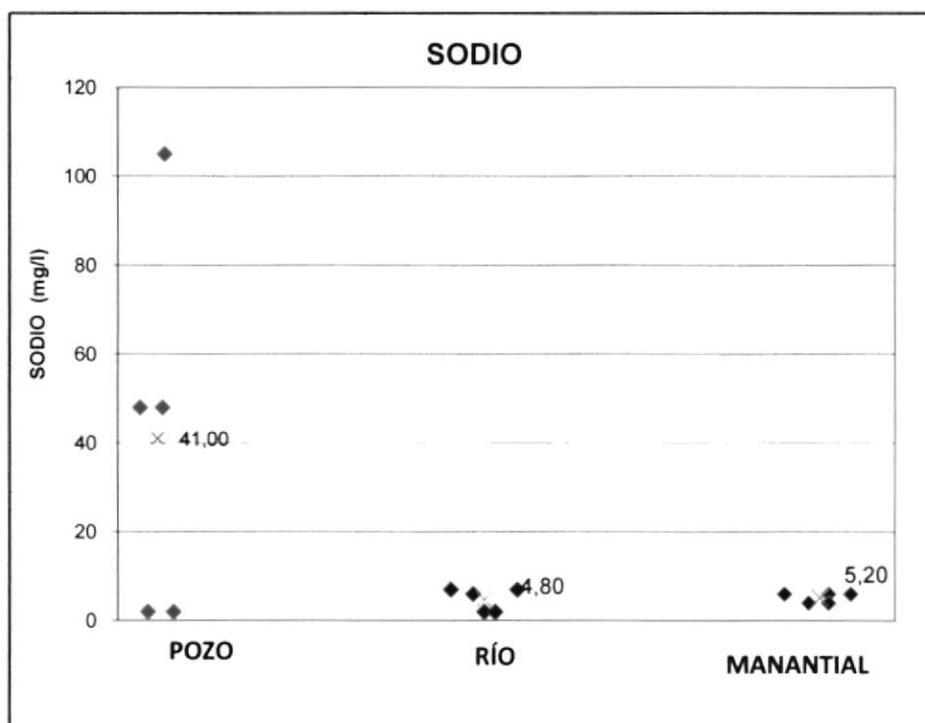


Gráfico 4.6.- Concentración de Sodio en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XX.- Concentración de Cloruros en las fuentes de agua.

CLORUROS (mg/l)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
40	3.9	5.4
40	3.9	5.4
32	2.9	6.1
32	2.9	6.1
38	4	5.9

Fuente: Elaborado por el autor

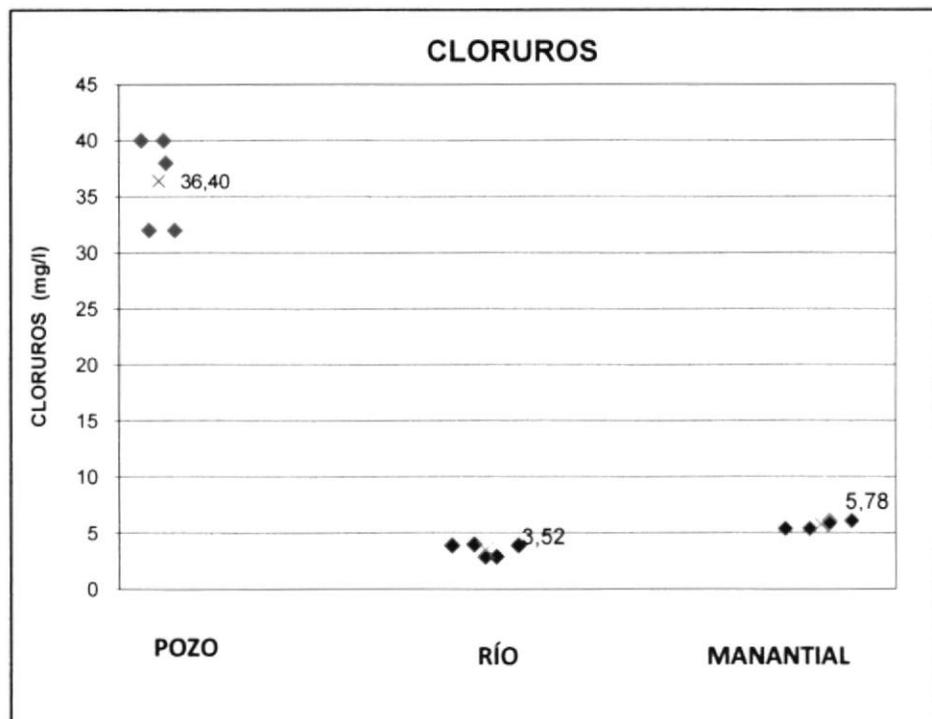


Gráfico 4.7.- Concentración de Cloruros en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXI.- Concentración de Nitritos en las fuentes de agua.

NITRITOS (mg/l)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
0.41	0.06	0.03
0.41	0.06	0.03
0.41	0.08	0.03
0.41	0.08	0.03
0.04	0.06	0.01

Fuente: Elaborado por el autor

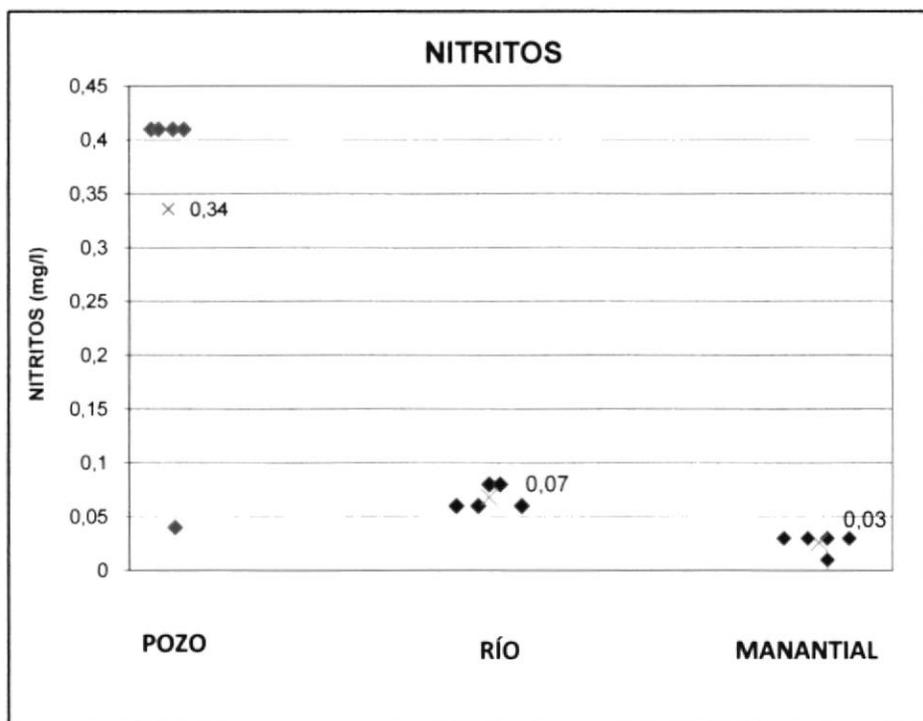


Gráfico 4.8.- Concentración de Nitritos en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXII.- Concentración de Nitratos en las fuentes de agua.

NITRATOS (mg/l)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
0.98	0.64	0.38
0.98	0.64	0.38
1.62	0.46	0.24
1.62	0.46	0.24
1.74	0.7	0.26

Fuente: Elaborado por el autor

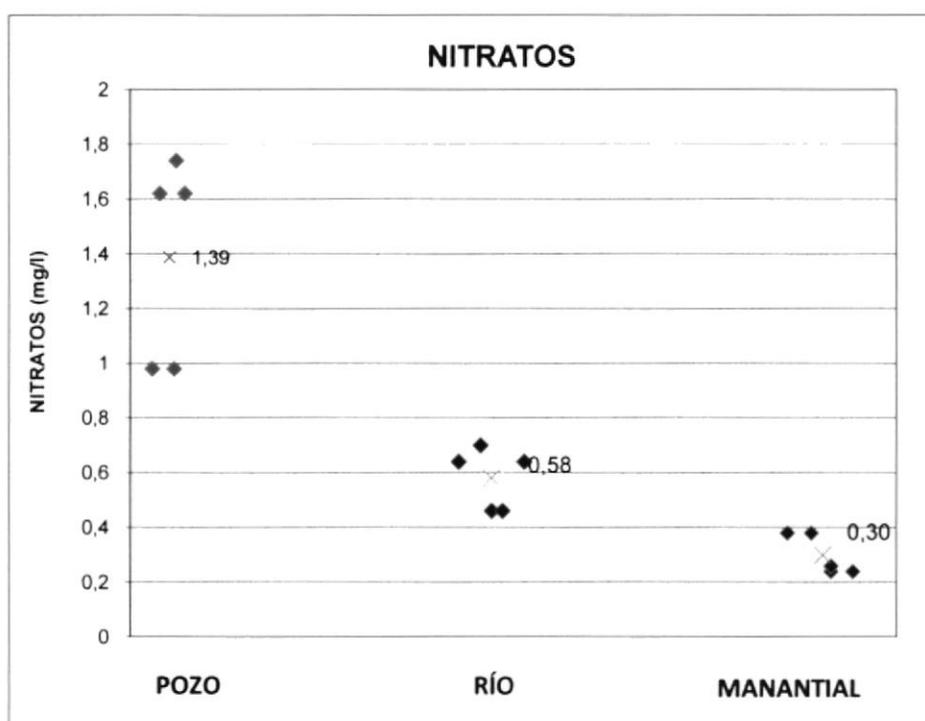


Gráfico 4.9.- Concentración de Nitratos en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXIII.- Concentración de Alcalinidad en las fuentes de agua.

ALCALINIDAD (mg/l Ca CO ₃)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
195	270	290
195	270	290
270	280	280
270	280	280
320	265	290

Fuente: Elaborado por el autor

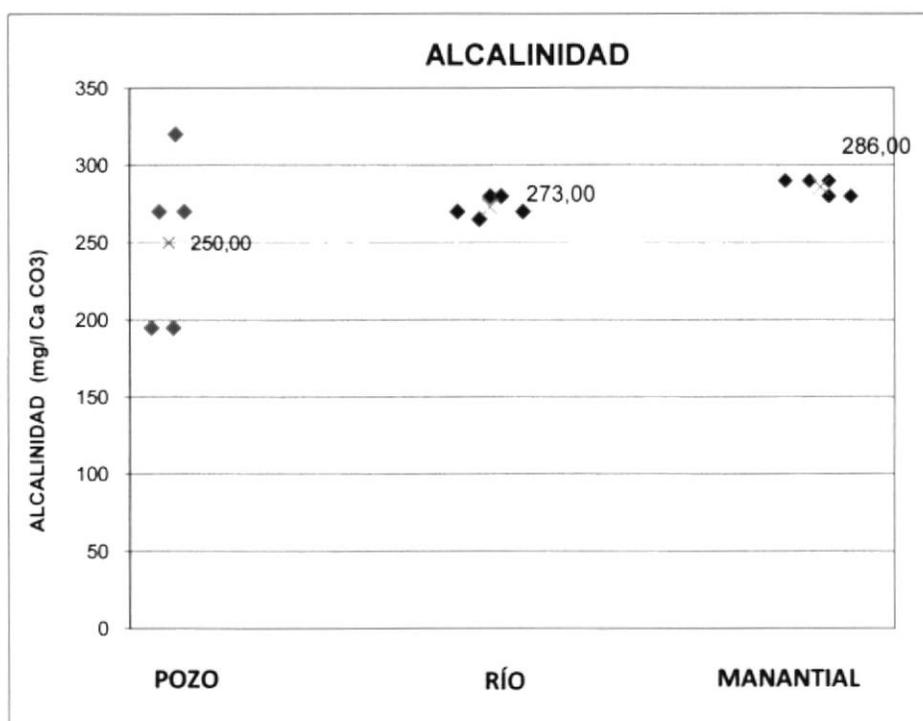


Gráfico 4.10.- Concentración de Alcalinidad en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXIV.- Concentración de Turbidez en las fuentes de agua.

TURBIDEZ (NTU)		
POZO	RÍO	MANANTIAL
22	27	7
22	27	7
9	27	6
9	27	6
22	27	7

Fuente: Elaborado por el autor

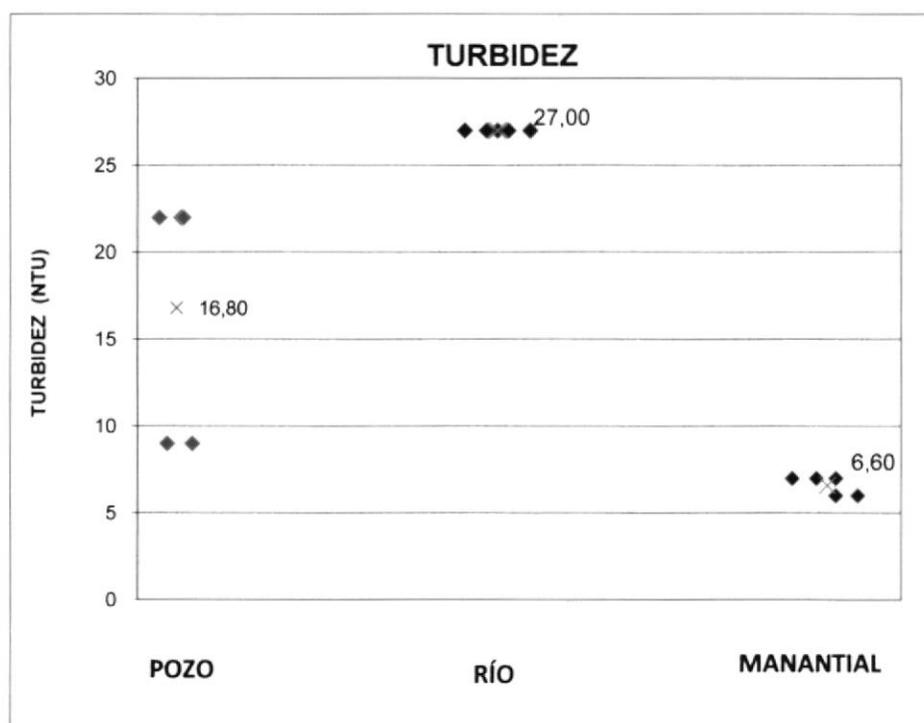


Gráfico 4.11.- Concentración de Turbidez en las fuentes de agua.

Fuente: Elaborado por el autor

4.3. Resultados del proceso de Filtración

Una vez realizados los procesos con cada uno de los mecanismos de filtración y las distintas fuentes de agua, se evalúan y analizan los resultados de los porcentajes de remoción de contaminantes que afectan el agua para consumo humano.

4.3.1. Resultado de la Filtración Lenta de Arena

En el proceso de filtración con el filtro lento de arena se realizaron pruebas con muestras de agua del lago ESPOL, pozo, río y manantial analizando la remoción de las características fisicoquímicas y microbiológicas, de las cuales se presentan en tablas y gráficos el detalle de resultados de datos de entrada, salida y remoción de Coliformes Fecales y E. Coli respectivamente.

Tabla XXV.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: LAGO		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
200	690.00	-245.00
150	630.00	-320.00
300	1000.00	-233.33
500	300.00	40.00

Fuente: Elaborado por el autor

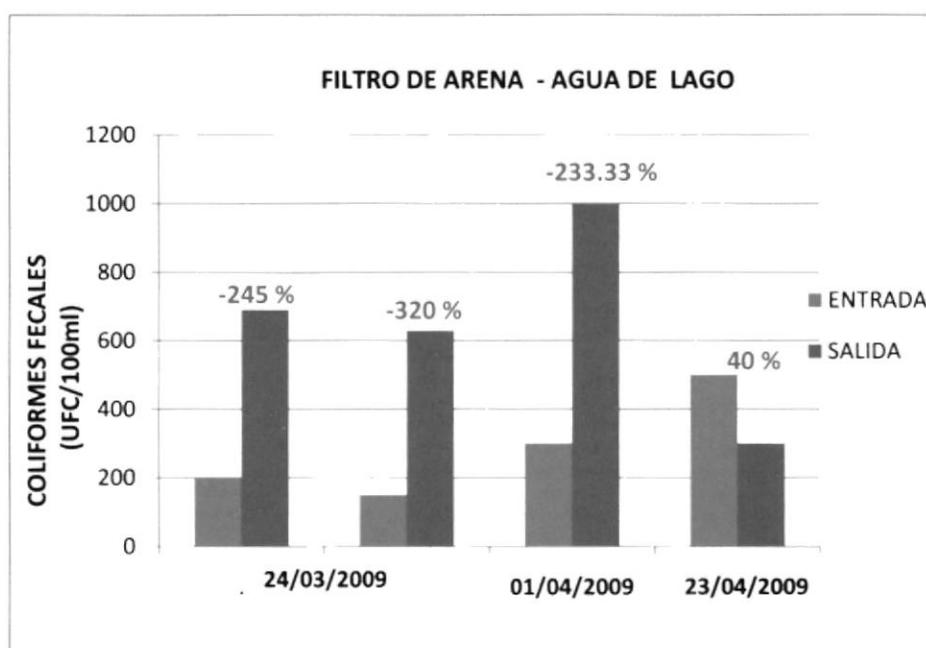


Gráfico 4.12.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXVI.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: LAGO		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
1	1.00	0.00
11	1.00	90.91
1	100.00	-9900.00
1	1.00	0.00

Fuente: Elaborado por el autor

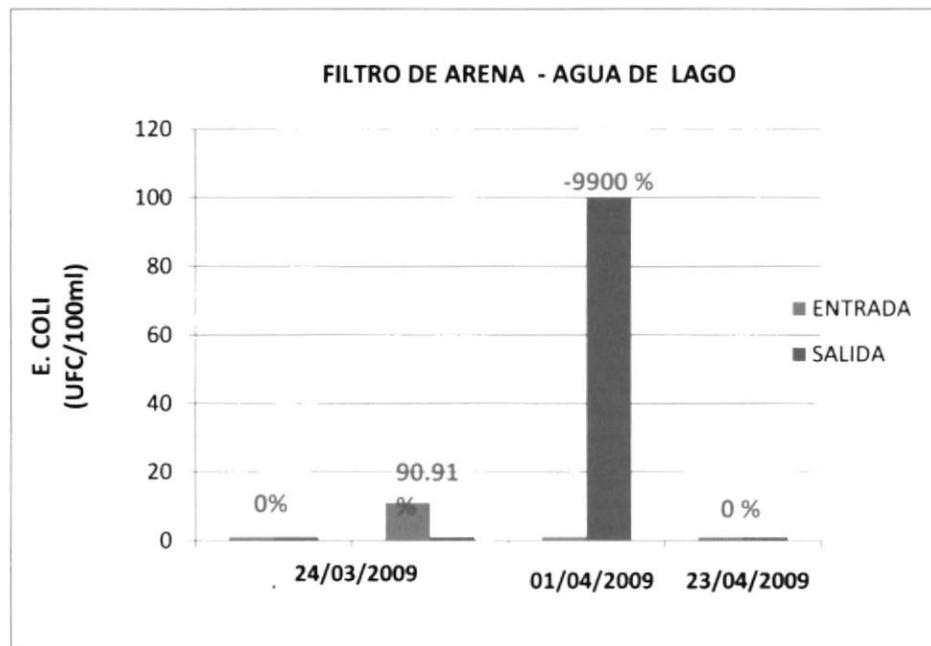


Gráfico 4.13.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXVII.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
540.00	98.00	81.85
340.00	160.00	52.94
4000.00	600.00	85.00

Fuente: Elaborado por el autor

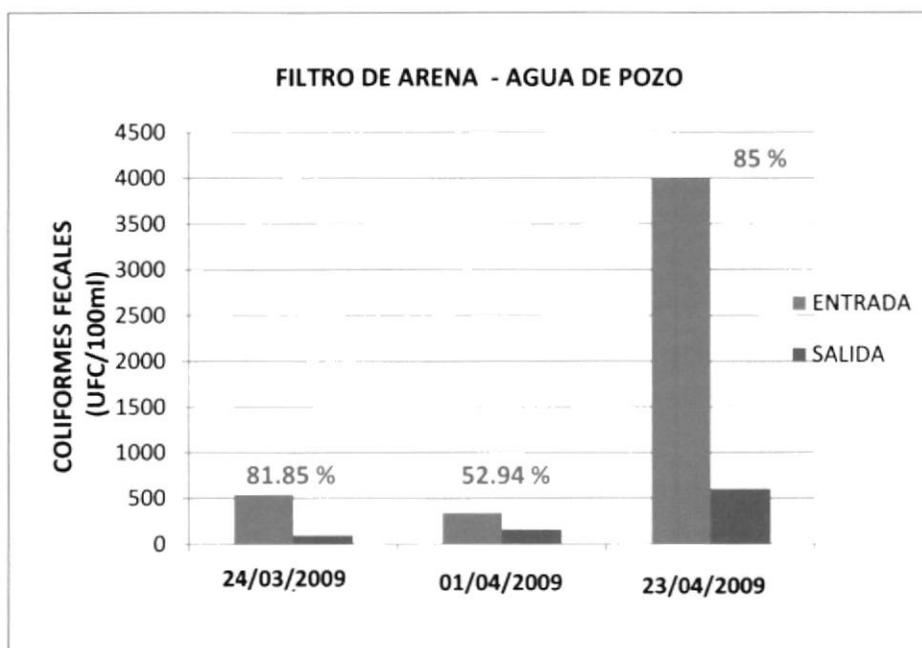


Gráfico 4.14.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXVIII.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
140.00	1.00	99.29
22.00	1.00	95.45
1800.00	100.00	94.44

Fuente: Elaborado por el autor

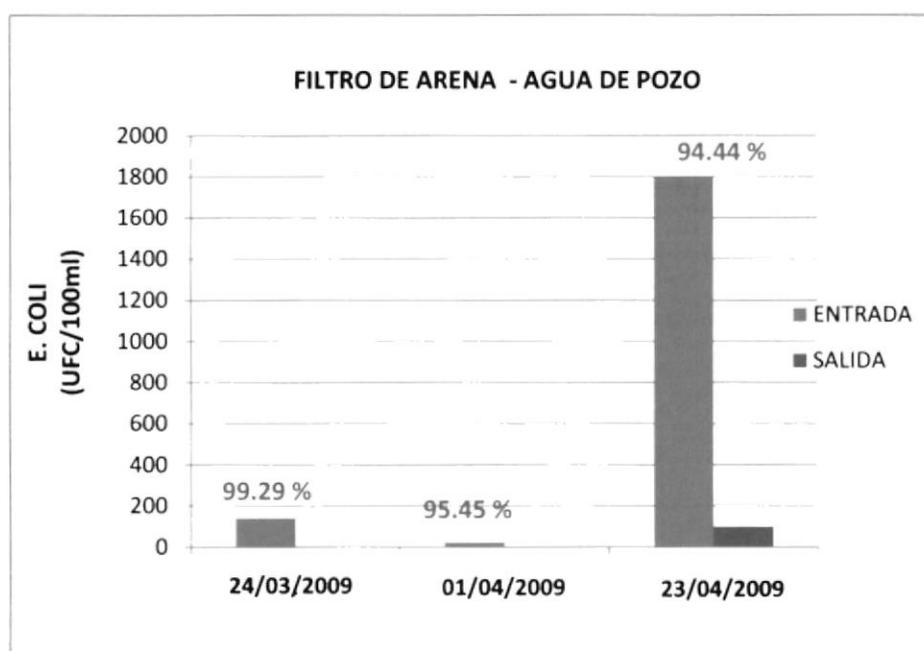


Gráfico 4.15.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXIX.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: RÍO		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
7400	3700.00	50.00
5100	3300.00	35.29
2600	800.00	69.23

Fuente: Elaborado por el autor

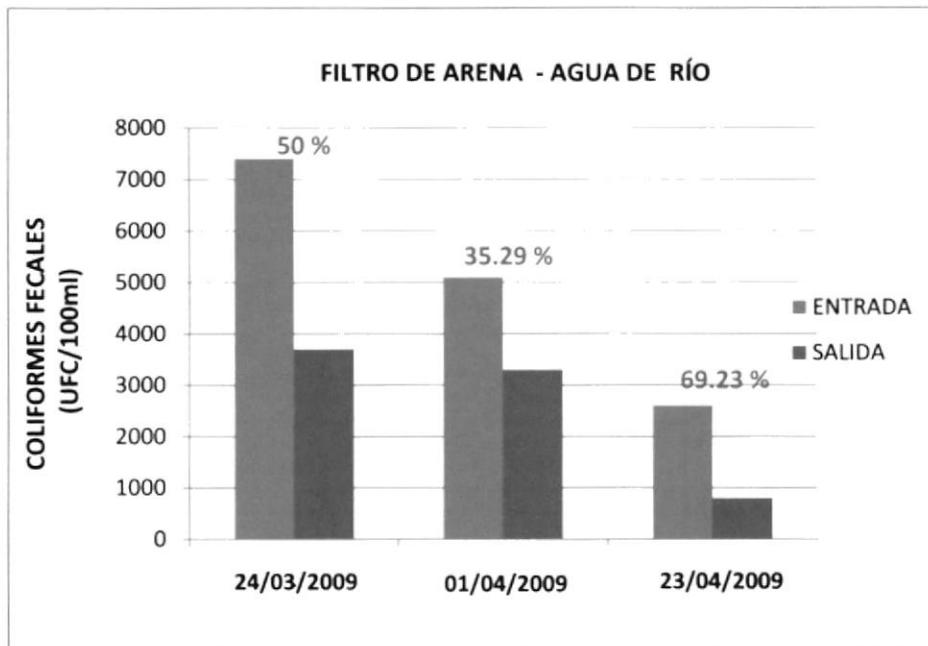


Gráfico 4.16.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXX.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: RÍO		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
2500	1500.00	40.00
3100	1100.00	64.52
1000	600.00	40.00

Fuente: Elaborado por el autor

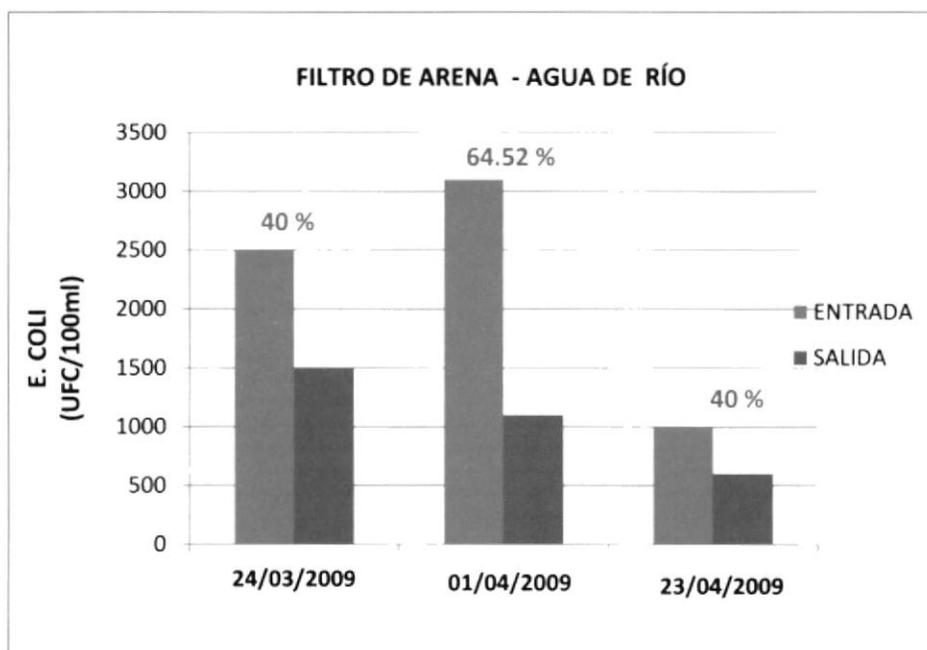


Gráfico 4.17.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXXI.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: MANANTIAL		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
4500	100.00	97.78
800	1.00	99.88
400	1.00	99.75

Fuente: Elaborado por el autor

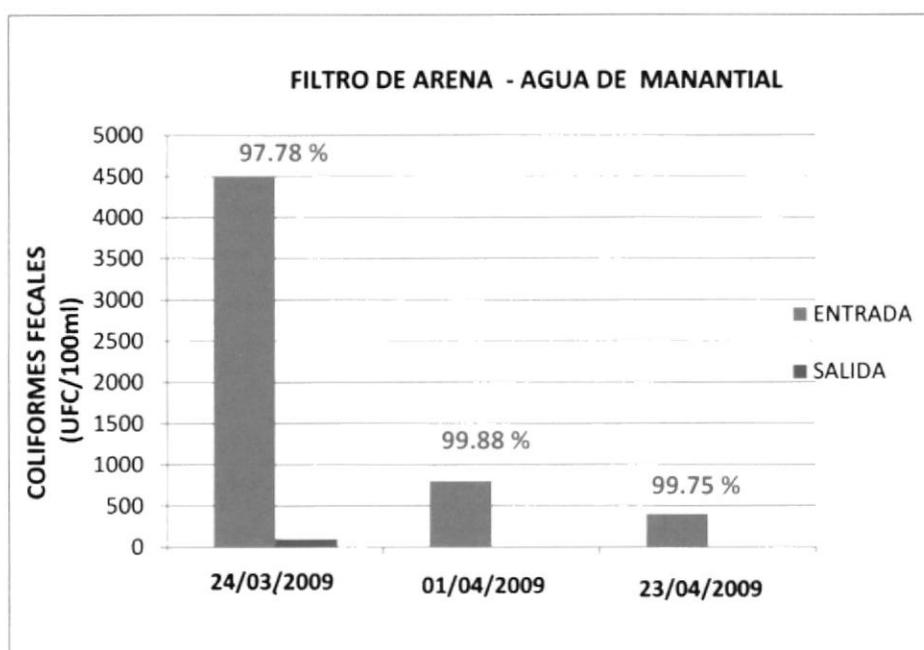


Gráfico 4.18.- Filtro de Arena: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXXII.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: MANANTIAL		
FILTRO DE ARENA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
100	1.00	99.00
200	1.00	99.50
300	1.00	99.67

Fuente: Elaborado por el autor

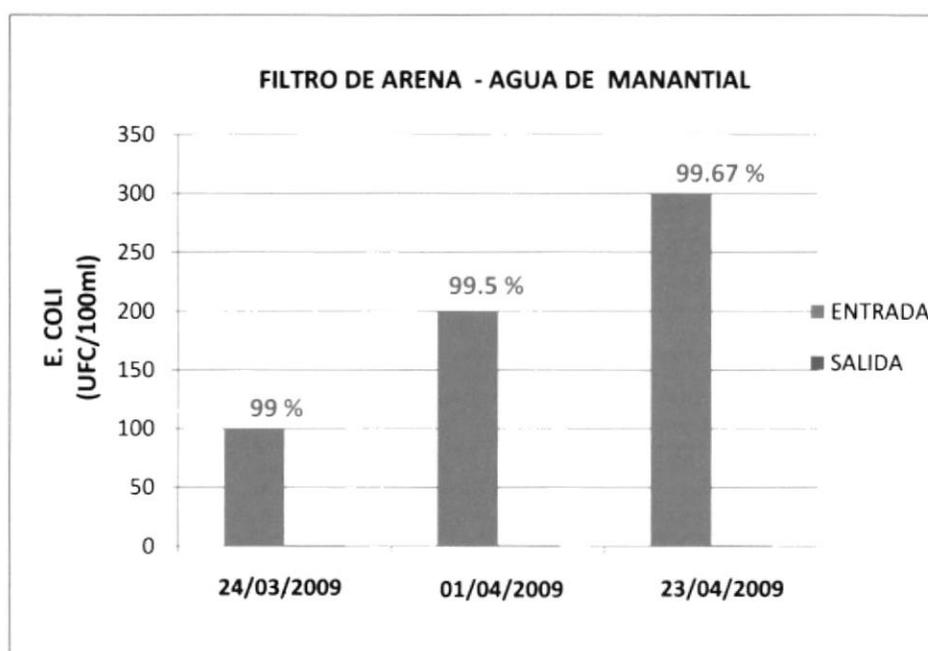


Gráfico 4.19.- Filtro de Arena: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.1.1. Determinación de la Eficiencia del Proceso

La eficiencia del proceso de filtración se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$EFICIENCIA DE REMOCIÓN = \frac{ENTRADA - SALIDA}{ENTRADA} \cdot 100$$

A continuación en la Tabla XXXIII, se presenta los resultados de la eficiencia de remoción del proceso de filtración lento de arena.

Tabla XXXIII.- Eficiencia de Remoción con el Filtro Lento de Arena.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL FILTRO LENTO DE ARENA			
COLIFORMES FECALES (UFC/100ml)			
FUENTE	ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
LAGO	200.00	690.00	-245.00
	150.00	630.00	-320.00
	300.00	1000.00	-233.33
	500.00	300.00	40.00
POZO	540.00	98.00	81.85
	340.00	160.00	52.94
	4000.00	600.00	85.00
RÍO	7400.00	3700.00	50.00
	5100.00	3300.00	35.29
	2600.00	800.00	69.23
MANATIAL	4500.00	100.00	97.78
	800.00	1.00	99.88
	400.00	1.00	99.75

Continúa.....

E. COLI (UFC/100ml)			
FUENTE	ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
LAGO	1.00	1.00	0.00
	11.00	1.00	90.91
	1.00	100.00	-9900.00
	1.00	1.00	0.00
POZO	140.00	1.00	99.29
	22.00	1.00	95.45
	1800.00	100.00	94.44
RÍO	2500.00	1500.00	40.00
	3100.00	1100.00	64.52
	1000.00	600.00	40.00
MANATIAL	100.00	1.00	99.00
	200.00	1.00	99.50
	300.00	1.00	99.67

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.2. Resultados de la Filtración Lenta de Arena y Adición de Zeolita

En el proceso de filtración con el filtro lento de arena y adición de zeolita se realizaron pruebas con muestras de agua del lago ESPOL, pozo, río y manantial, analizando la remoción de las características fisicoquímicas y microbiológicas, de las cuales se presentan en tablas y gráficos el detalle de resultados de datos de entrada, salida y remoción de Coliformes Fecales y E. Coli respectivamente.

Tabla XXXIV.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: LAGO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
200	440.00	-120.00
150	150.00	0.00
300	300.00	0.00
500	1500.00	-200.00

Fuente: Elaborado por el autor

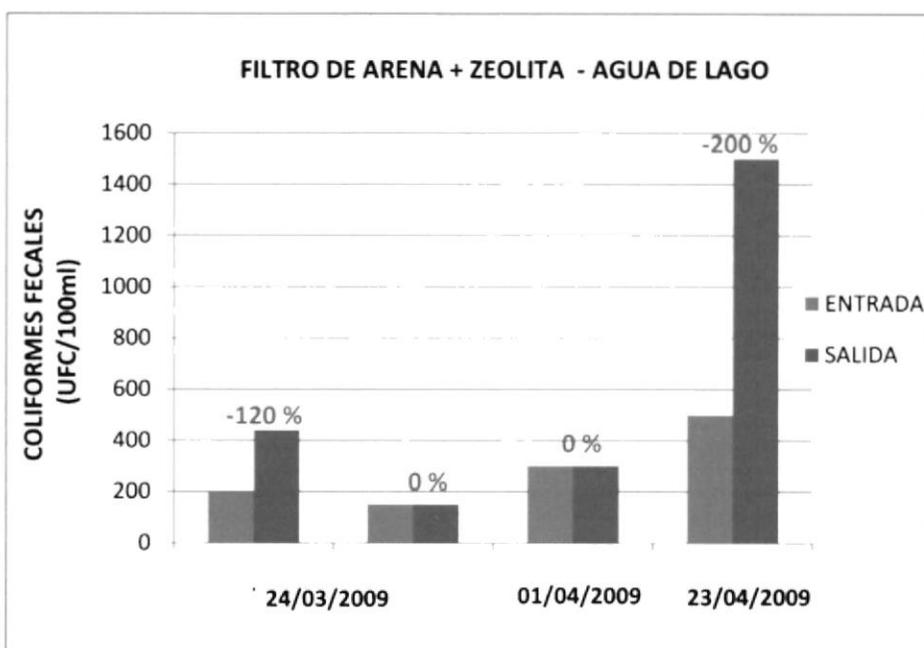


Gráfico 4.20.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXXV.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: LAGO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
1	1.00	0.00
11	1.00	90.91
1	1.00	0.00
1	1.00	0.00

Fuente: Elaborado por el autor

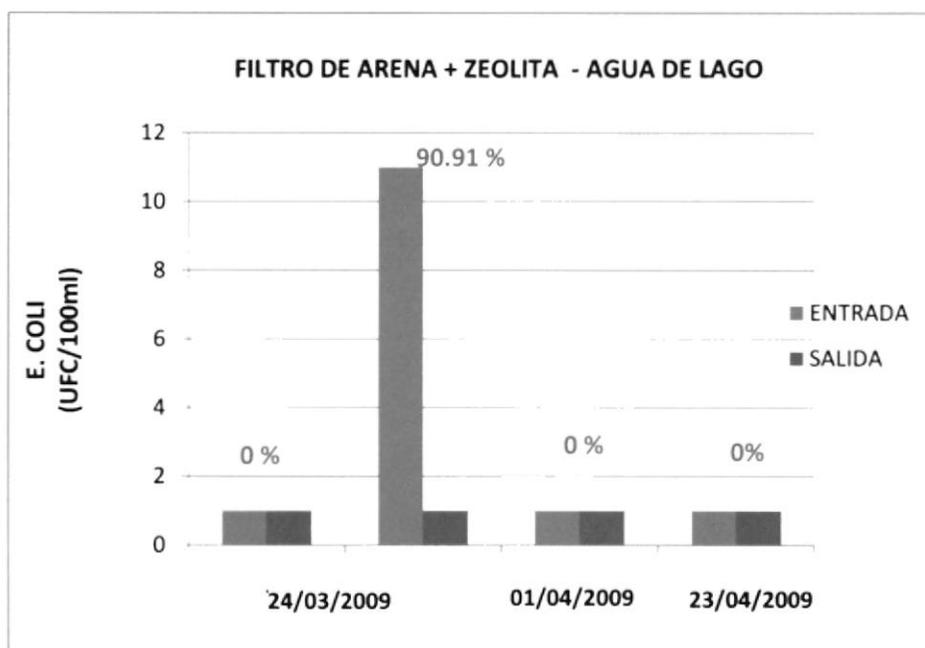


Gráfico 4.21.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua del lago a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXXVI.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
540.00	100.00	81.48
340.00	170.00	50.00
4000.00	800.00	80.00

Fuente: Elaborado por el autor

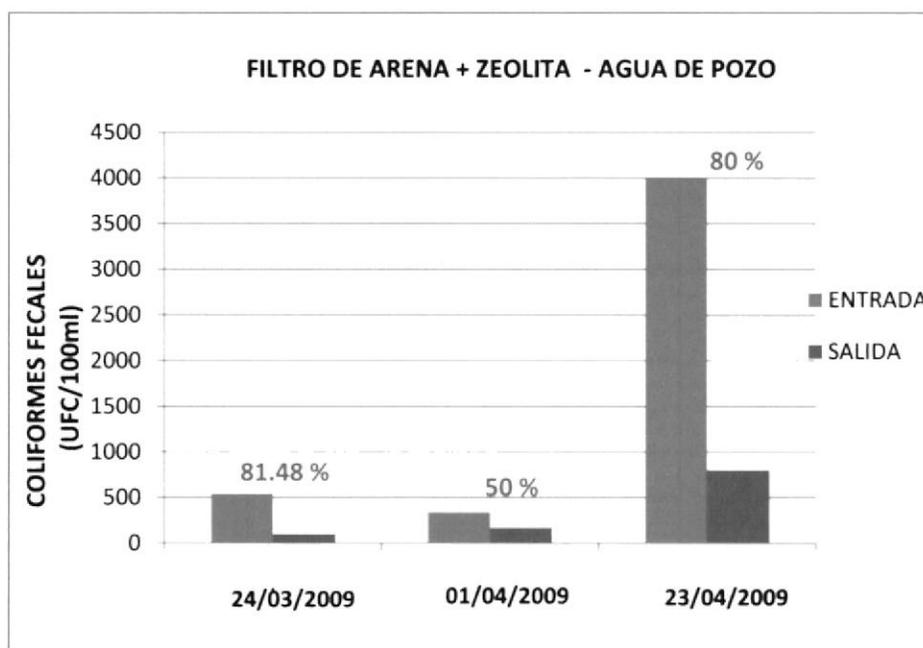


Gráfico 4.22.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXXVII.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
140.00	1.00	99.29
22.00	1.00	95.45
1800.00	100.00	94.44

Fuente: Elaborado por el autor

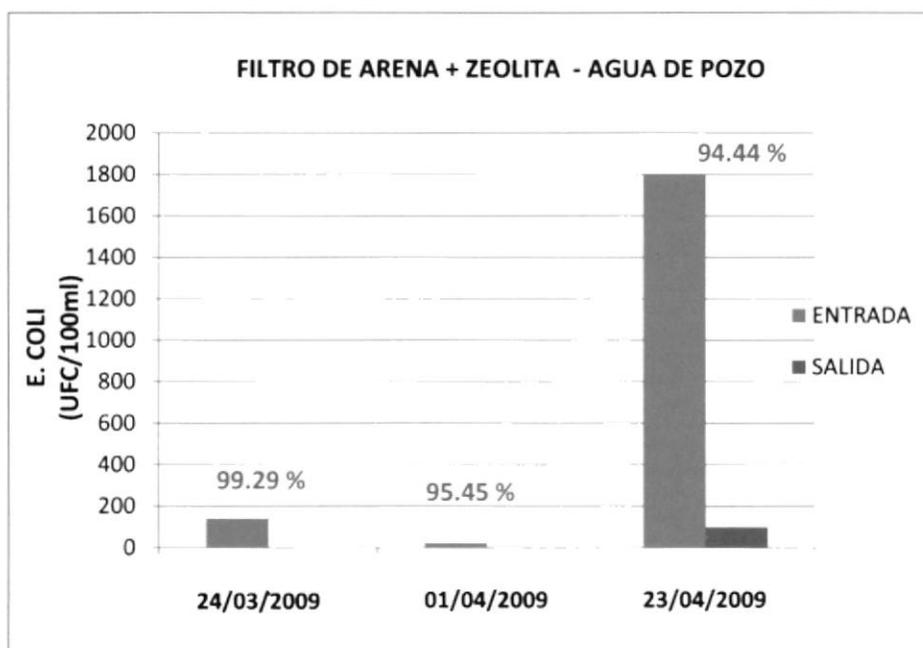


Gráfico 4.23.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXXVIII.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: RÍO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
7400	5400.00	27.03
5100	3700.00	27.45
2600	500.00	80.77

Fuente: Elaborado por el autor

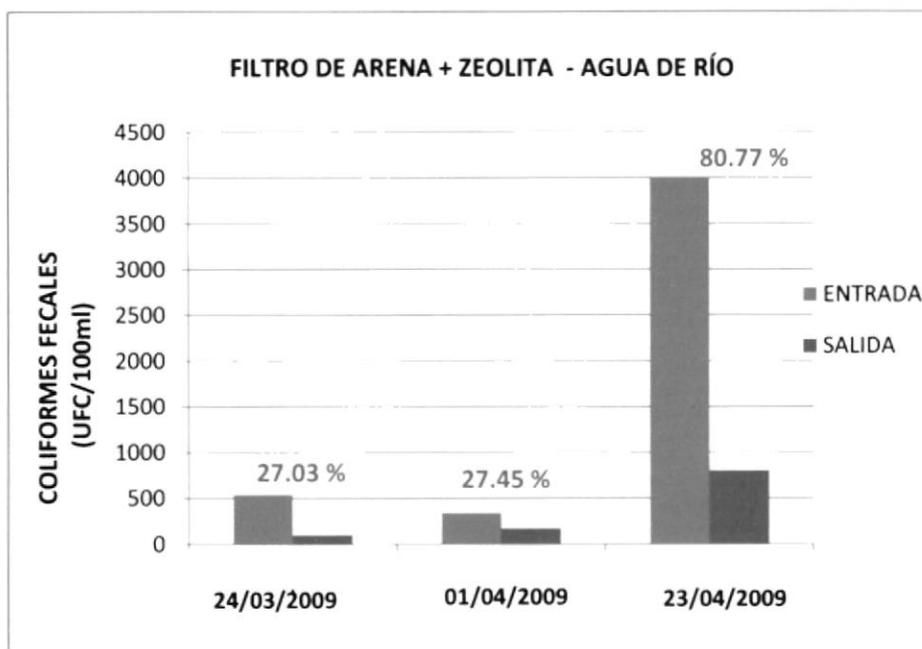


Gráfico 4.24.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XXXIX.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: RÍO		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
2500	1300.00	48.00
3100	700.00	77.42
1000	1.00	99.90

Fuente: Elaborado por el autor

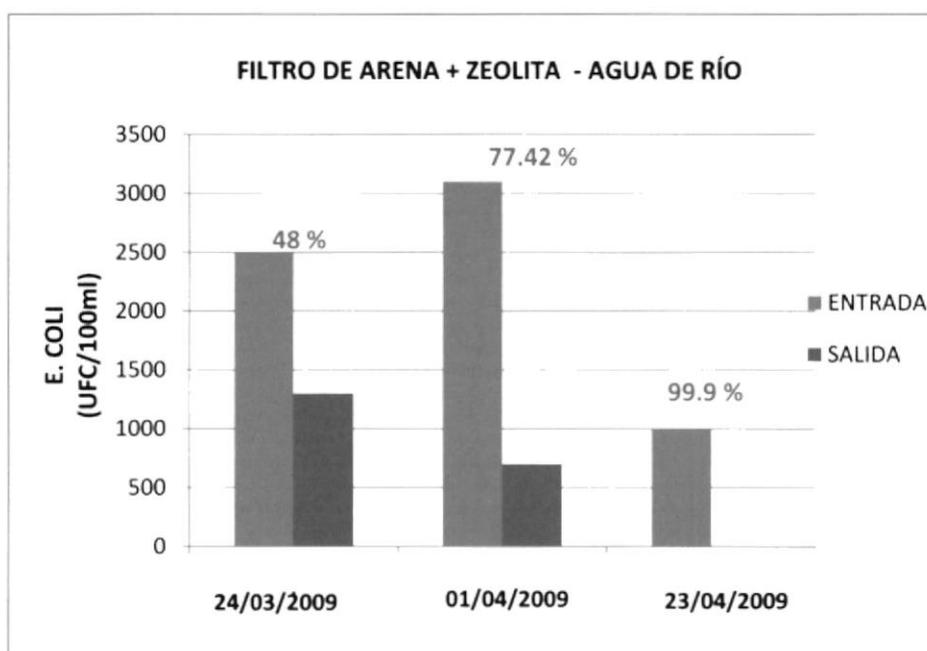


Gráfico 4.25.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de río a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XL.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: MANANTIAL		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
4500	200.00	95.56
800	100.00	87.50
400	300.00	25.00

Fuente: Elaborado por el autor

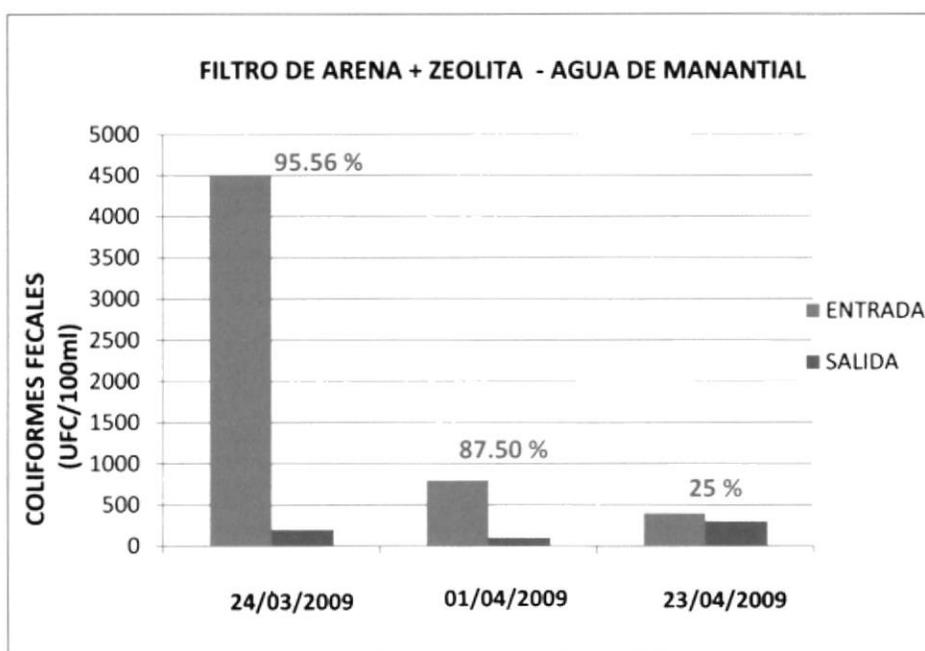


Gráfico 4.26.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de Coliformes Fecales en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XLI.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

FUENTE: MANANTIAL		
FILTRO DE ARENA + ZEOLITA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
100	100.00	0.00
200	1.00	99.50
300	1.00	99.67

Fuente: Elaborado por el autor

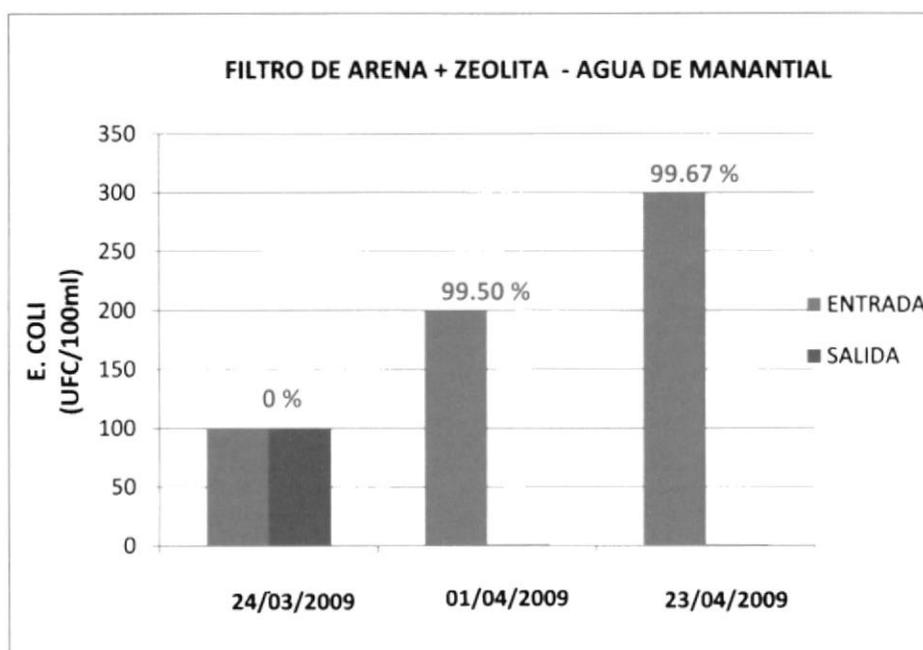


Gráfico 4.27.- Filtro de Arena + Zeolita: Concentración de E. Coli en agua de manantial a la entrada y salida de las columnas de filtración de PVC.

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.2.1. Determinación de la Eficiencia del Proceso

La eficiencia del proceso de filtración se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$EFICIENCIA DE REMOCIÓN = \frac{ENTRADA - SALIDA}{ENTRADA} \cdot 100$$

A continuación en la Tabla LXII, se presenta los resultados de la eficiencia de remoción del proceso de filtración lento de arena con adición de capa de zeolita.

Tabla XLII.- Eficiencia de Remoción con el Filtro Lento de Arena + Zeolita.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL FILTRO LENTO DE ARENA + ZEOLITA			
COLIFORMES FECALES (UFC/100ml)			
FUENTE	ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
LAGO	200.00	440.00	-120.00
	150.00	150.00	0.00
	300.00	300.00	0.00
	500.00	1500.00	-200.00
POZO	540.00	100.00	81.48
	340.00	170.00	50.00
	4000.00	800.00	80.00
RÍO	7400.00	5400.00	27.03
	5100.00	3700.00	27.45
	2600.00	500.00	80.77
MANATIAL	4500.00	200.00	95.56
	800.00	100.00	87.50
	400.00	300.00	25.00

Continúa.....

E. COLI (UFC/100ml)			
FUENTE	ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
LAGO	1.00	1.00	0.00
	11.00	1.00	90.91
	1.00	1.00	0.00
	1.00	1.00	0.00
POZO	140.00	1.00	99.29
	22.00	1.00	95.45
	1800.00	100.00	94.44
RÍO	2500.00	1300.00	48.00
	3100.00	700.00	77.42
	1000.00	1.00	99.90
MANATIAL	100.00	100.00	0.00
	200.00	1.00	99.50
	300.00	1.00	99.67

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.3. Resultados de los Filtros Cerámicos de Arcilla

En el proceso de filtración con el filtro cerámico de arcilla se realizó pruebas con muestras de agua de pozo, analizando la remoción de las características fisicoquímicas y microbiológicas, de las cuales se presentan en tablas y gráficos el detalle de resultados de datos de entrada, salida y remoción de Coliformes Fecales y E. Coli respectivamente.

Tabla XLIII.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARCILLA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
540.00	920.00	-70.37
340.00	610.00	-79.41
3000.00	2900.00	3.33
4800.00	1700.00	64.58
4000.00	10000.00	-150.00
8200.00	2100.00	74.39

Fuente: Elaborado por el autor

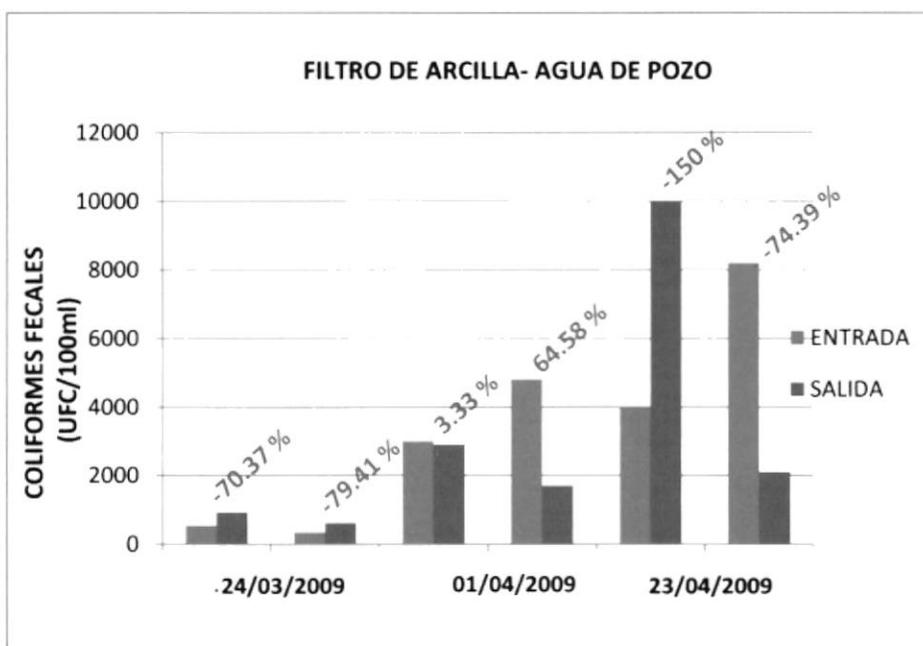


Gráfico 4.28.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de Coliformes Fecales en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración.

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla XLIV.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración.

FUENTE: POZO		
FILTRO DE ARCILLA		
ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	% REMOCIÓN UFC/100ml
140.00	1.00	99.29
22.00	1.00	95.45
800.00	200.00	75.00
300.00	100.00	66.67
1800.00	100.00	94.44
3000.00	400.00	86.67

Fuente: Elaborado por el autor

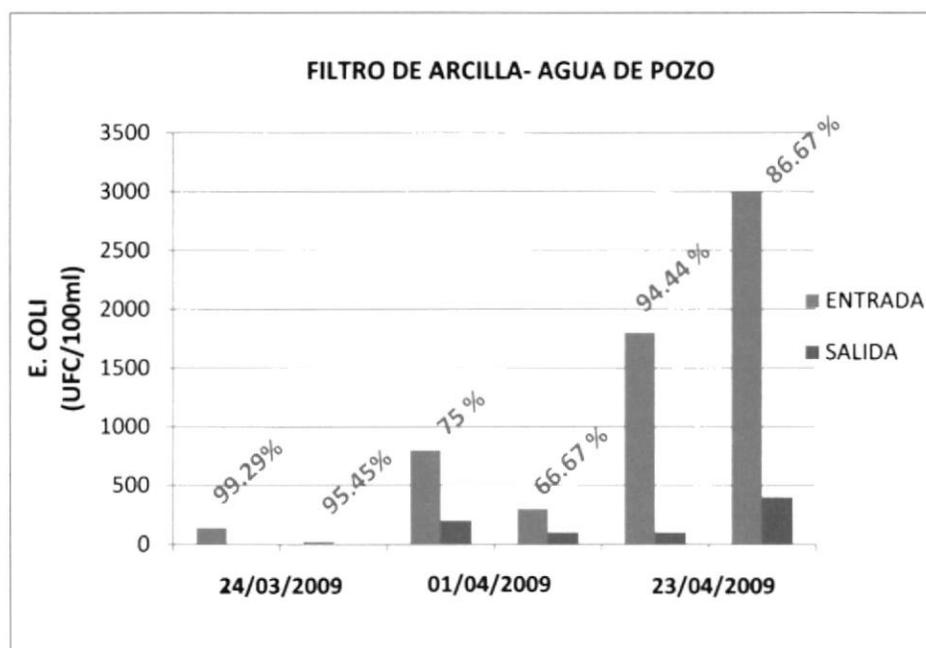


Gráfico 4.29.- Filtro Cerámico de Arcilla: Concentración de E. Coli en agua de pozo a la entrada y salida del proceso de filtración.

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.3.1. Determinación de la Eficiencia del Proceso

La eficiencia del proceso de filtración se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$EFICIENCIA DE REMOCIÓN = \frac{ENTRADA - SALIDA}{ENTRADA} \cdot 100$$

A continuación en la Tabla LXV, se presenta los resultados de la eficiencia de remoción del proceso de filtración lento de arena con adición de capa de zeolita.

Tabla XLV.- Eficiencia de Remoción con el Filtro Cerámico de Arcilla

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL FILTRO CERÁMICO DE ARCILLA			
COLIFORMES FECALES (UFC/100ml)			
FUENTE	ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
POZO	540.00	920.00	-70.37
	340.00	610.00	-79.41
	3000.00	2900.00	3.33
	4800.00	1700.00	64.58
	4000.00	10000.00	-150.00
	8200.00	2100.00	74.39
E. COLI (UFC/100ml)			
FUENTE	ENTRADA UFC/100ml	SALIDA UFC/100ml	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
POZO	140.00	1.00	99.29
	22.00	1.00	95.45
	800.00	200.00	75.00
	300.00	100.00	66.67
	1800.00	100.00	94.44
	3000.00	400.00	86.67

4.4. Discusión de los Resultados

Se ha podido determinar que el filtro lento de arena en las columnas de PVC con el agua del lago Espol no se obtienen los resultados deseados ya que se presenta mayor concentración de coliformes fecales y una baja remoción de E. Coli a la salida del filtro, esto se debe a una falla en el diseño de la salida del filtro. Se puede observar que al trabajar con el agua del río y lago no se obtienen buenos resultados ya que estas fuentes contienen exceso de materia particulada en suspensión por lo que se produce la colmatación del filtro y disminución de su capacidad de remoción de contaminantes. Con fuentes de agua de pozo y manantial se obtienen resultados satisfactorios de remoción, entonces se puede decir que se hace necesaria la implementación de un pre tratamiento del agua que contiene alta turbidez.

Para el filtro lento de arena con zeolita en las columnas de PVC con el agua del lago Espol no se obtienen buenos resultados ya que se presenta mayor concentración de coliformes fecales y una remoción nula de E. Coli a la salida del filtro. Se puede observar que al trabajar con el agua del pozo y manantial, se obtienen resultados aceptables de remoción de coliformes fecales y alta

remoción de E. Coli en la fuente de río surge la observación de que no se han tenido buenos resultados de remoción.

El filtro cerámico de arcilla fue probado con agua de pozo la misma que presento mayor concentración de coliformes fecales a la salida del filtro y un alto grado de remoción de E. Coli.

De manera general se puede establecer que los filtro han tenido un mejor desempeño con fuentes de agua con baja concentración de materia particulada en suspensión lo que permite que el filtro tenga mayor tiempo de vida útil. Se puede observar que se presenta mayor dificultad para realizar la remoción de coliformes fecales de las fuentes de agua y esto se debe a que se tiene problemas con el diseño del filtro a la salida.



CAPITULO 5

5. ANALISIS ECONOMICO DE LOS SISTEMAS EVALUADOS

5.1. Análisis de Costos

En este capítulo se presenta el análisis de precio unitario de cada uno de los sistemas de filtración, filtro biológico de arena y filtro cerámico de arcilla, y

se presenta un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas (FODA) para cada uno de ellos.

5.1.1. Determinación del Costo de Construcción de un Filtro Casero de Arena

A continuación la tabla XLVI presenta un análisis de precios unitario, para la elaboración de un filtro biológico de arena.

Tabla XLVI. Análisis de precio unitario del filtro lento de arena

CONSTRUCCIÓN DE DE FILTRO CASERO DE ARENA				
Descripción	U. de Medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
MATERIALES				
1 SUMINISTRO				
1.1 SUMINISTRO DE MATERIALES PARA FILTRO DE ARENA				
TANQUE PLÁSTICO CON TAPA	U	1.00	9.00	9.00
TUBERÍA DE PVC 1/2" X 2M	U	1.00	0.50	0.50
TUBERÍA DE PVC 1/2" X 0.10M	U	1.00	0.50	0.50
TUBERÍA DE PVC 1/2" X 0.15M	U	1.00	5.00	5.00
CODO DE PVC 1/2" X 90°	U	2.00	0.25	0.50
ADAPTADOR PARA TANQUE DE 1/2"	U	1.00	2.50	2.50
ARENA DE TRITURACIÓN DE PIEDRA	M3	0.28	7.50	2.12
TEFLON	U	2.00	0.25	0.50
LLAVE DE PASO DE 1/2" DE PVC	U	1.00	2.00	2.00
SUB-TOTAL 1.1				22.62
TOTAL MATERIALES				22.62

Fuente: Elaborada por el autor

5.1.2. Determinación del Costo de Construcción de un Filtro Casero de Arcilla

A continuación la tabla XLVII presenta un análisis de precios unitario, para la elaboración de un filtro biológico de arena.

Tabla XLVII. Análisis de precio unitario del filtro cerámico de arcilla

CONSTRUCCIÓN DE DE FILTRO CASERO DE ARCILLA				
Descripción	U de Medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
MATERIALES				
1 SUMINISTRO				
1.2 SUMINISTRO DE MATERIALES PARA FILTRO DE ARCILLA				
RECIPIENTE PLASTICO DE 20 LT CON LLAVE	U	1.00	7.00	7.00
VASJA DE ARCILLA COCIDA	U	1.00	10.00	10.00
SUB-TOTAL 1.1				17.00
TOTAL MATERIALES				17.00

Fuente: Elaborada por el autor

5.2. Situación Económica del País

En Ecuador el salario mínimo vital se ubica en 218 dólares, se debe considerar que el mismo no es un indicador general ya que se presentan grandes diferencias entre las poblaciones urbanas y rurales de las que conocemos muy poco y muchas veces, cuando analizamos al país, damos escaso énfasis a las zonas rurales en donde vive el 36,6% de la población nacional. Si bien es cierto que muchas de estas localidades son pequeñas y apartadas, también lo es que son lugares donde la economía no deja de funcionar y es necesario tener presente cuál es su verdadera dinámica de comportamiento y cuales son las vías reales de desarrollo. La economía rural tiene su comportamiento propio, por lo tanto, no podemos usar los parámetros de la zona urbana para analizarla. Muchos hogares en la zona rural viven con \$1 o menos por día y, aunque gran parte de su alimentación proviene del autoabastecimiento, la pobreza se evidencia a la hora de comprar medicinas o de matricular a los niños en la escuela. [25]

5.3. Capacidad Adquisitiva en los sitios de muestreo

En la zona de estudio de la presente investigación, la principal actividad es la agricultura. Se aprecian grandes y pequeñas haciendas ganaderas, mucho sembrío de pasto, cultivos de maíz, árboles maderables y frutales. En estas haciendas laboran los campesinos de la zona, quienes ganan entre 5 ó 6 USD por jornada, que comprende desde las 7 am hasta la hora del almuerzo. En época de cosecha suelen trabajar a doble jornada, llegando a un total de 10 ó 12 USD diarios. En base a estos valores, estimamos un ingreso mensual promedio de 120 USD.

El filtro lento de arena, que es el sistema que mostró mejores resultados, tiene un precio unitario de 22.62 USD, lo que representaría el 18.85% del ingreso mensual de una familia. Sin embargo, estas unidades funcionan muy bien durante un tiempo estimado de 6 meses, de esta manera, el gasto por la compra del filtro sería de 3.77 USD, lo que representaría solamente el 3.14% del salario mensual. Debemos tener como precedente, que existen zonas que sobreviven con 1 USD diarios, en estas localidades la unidad de filtración podría ser inaccesible por el precio, a menos de que se consiga algún subsidio a través de entidades públicas o privadas.

5.4. Análisis FODA para la fabricación para de unidades de filtración caseros

Tabla XLVIII. Análisis FODA para la elaboración de filtros caseros

FODA	FORTALEZAS	DEBILIDADES
ANALISIS INTERNO	Sistemas de fácil elaboración	Resistencia al cambio de los posibles beneficiarios
	Fácil mantenimiento y operación	Mal uso y cuidado de las unidades de filtración
	Bajo costo de producción	Pocas disponibilidad de materiales de elaboración
	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
ANALISIS EXTERNO	No existe competencia en el mercado objetivo Inundaciones provocadas por el fenómeno de El Niño deteriora la calidad de agua de pozos	Alto grado de contaminación de las fuentes, uso de pesticidas y químicos para la producción agrícola

Fuente: Elaborada por el autor

5.4.1. Planificación estratégica en base al análisis FODA

La planificación estratégica de un análisis FODA se la realiza a través de responder las siguientes preguntas relacionadas a las fortalezas,

oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto en cuestión. Las preguntas son las siguientes:

- **¿Cómo se puede explotar cada fortaleza?**

Por ser sistemas de fácil elaboración, no se requiere de mano de obra especializada para su producción.

Por su fácil operación y mantenimiento no se requiere de un técnico especializado para dar seguimiento al funcionamiento de las unidades.

Por su bajo costo, es accesible a gran parte de la población.

- **¿Cómo se puede aprovechar cada oportunidad?**

La ocurrencia de un fenómeno de El Niño, provocaría inundaciones que deteriorarían la calidad del agua de los pozos y fuentes superficiales. Esta sería una gran oportunidad para poner a prueba este tipo de sistemas de filtración.

Los sistemas de filtración caseros existentes en el mercado nacional tienen mayor aplicación en la zona urbana, con sistemas de agua potable. Los sistemas económicos que planteados en el presente trabajo serían nuevos en este mercado, e inicialmente no tendría competencia si deseara comercializarlos.

- **¿Cómo se puede detener cada debilidad?**

La resistencia al cambio de los posibles beneficiarios, así como el uso inadecuado de las unidades de filtración, pudieran resolverse mediante campañas publicitarias, y capacitación con talleres acerca de salubridad y calidad del agua, y elaboración y bondades de los filtros caseros.

La escasa disponibilidad de los materiales de construcción de los filtros debido la lejanía de las fuentes de dichos recursos, se pudiera solucionar acopiando gran cantidad de materiales

en un sitio estratégico de fácil acceso para los posibles beneficiarios.

- **¿Cómo se puede defender cada amenaza?**

Estos sistemas de filtración están diseñados para remover sólidos presentes en el agua, así como bacterias y virus, no están en capacidad de retener grasas, ni pesticidas, que son contaminantes propios de la actividad agrícola que desarrolla en las zonas rurales. Sería necesario dictar talleres de capacitación acerca del adecuado desecho de residuos altamente contaminantes, y las posibles afectaciones al ambiente.



CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Ninguno de los sistemas evaluados logra remover el 99.9% de microorganismos como se esperaba, mas evidencian un gran potencial de remoción.

- El filtro lento de arena tiene un buen desempeño en remoción de microorganismos, registrando un promedio de 74.6% de remoción de coliformes fecales y 80.86% de remoción de E. Coli. La variante del filtro de arena con adición de zeolita tuvo un desempeño menor, registrando 61.64% de remoción de coliformes fecales, y 79.29% de remoción de E. Coli.
- Por su parte el filtro de arcilla muestra un aumento desmesurado de coliformes fecales en el agua luego de la filtración, lo que supone crecimiento microbiológico en el cuerpo del filtro de arcilla. Se registra un aceptable porcentaje de remoción promedio del 86.25% de E Coli.
- Las columnas de filtración hechas en PVC, de igual manera que el filtro cerámico, muestran un incremento en la concentración de coliformes fecales luego de la filtración. Esto evidencia la formación de colonias dentro del cuerpo del filtro, o en el mecanismo de salida del agua filtrada.

- Los filtros cerámicos de arcilla tienen un buen desempeño la remoción de turbiedad, conductividad alrededor de los 10 y hasta los 25 días de operación.
- La variante de filtración biológica de arena con zeolita se desempeña mejor en la remoción de contaminantes de tipo químico en comparación con la filtración solamente con arena.

6.2. Recomendaciones

- Pese a no conseguir los resultados esperados, es recomendable continuar la experimentación con estos sistemas de filtración, puesto que se cuenta con precedentes del excelente desempeño de los mismos en la remoción de bacterias y virus. Un resultado negativo no debe ser desalentador, sino un motivo para proseguir en el desarrollo de filtros económicos.
- Se recomienda llevar un control riguroso cuando se requiera de terceros para elaborar los filtros. En la elaboración de los filtros cerámicos, los

artesanos tienden a cambiar las proporciones de los materiales y la metodología por comodidad, pensando que una ligera variación en el procedimiento no afecta el resultado final. Proporciones elevadas (más del 30%) de material orgánico agregado vuelven a la masa de arcilla muy plástica y dificulta la elaboración del filtro.

- A los investigadores que quisieran continuar en el tema, se recomienda reducir el número de fuentes y experimentos, enfocarse en un solo tipo de tratamiento, para aprovechar de mejor manera los recursos que financian el proyecto de investigación.
- La eficiencia de remoción de coliformes fecales y E. Coli de la variante filtro de arena con zeolita fue muy satisfactoria en ciertos casos, arrojando valores muy similares a la filtración sólo con arena. La remoción de parámetros físico-químicos fue baja, pero fue superior al filtro sin zeolitas. Se recomienda investigar más a fondo a la zeolita como material de filtración constituyente de los filtros caseros.
- La remoción de coliformes fecales y E. Coli es significativa, más no suficiente para asegurar la calidad del agua. Se recomienda en futuros

proyectos analizar un tratamiento con cloro en muy bajas concentraciones para eliminar los microorganismos no removidos durante la filtración.

- Los filtros de arena alcanzan su caudal óptimo luego de filtrar alrededor de 500 ml. Se recomienda para el uso de estos filtros, no consumir el primer medio litro de agua filtrada, la misma que se puede introducir nuevamente al filtro.
- Se recomienda lavar los filtros cerámicos de arcilla luego de los primeros 25 días de funcionamiento.
- Los filtros mostraron su mejor desempeño ante concentraciones bajas de microorganismos. Se recomienda que, cuando el agua presente altas concentraciones de bacterias, se dé un tratamiento final con cloración.



Bibliografía

1. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 364-366.
2. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 363.
3. INSTITUTO DE LA INGENIERA DE ESPAÑA, 05/05/08,
http://www.tendencias21.net/Crean-un-filtro-de-agua-a-base-de-arcilla-y-residuos-de-cultivos_a1173.html
4. OROZCO., PEREZ A., GONZALES M., RODRIGUEZ J., ALFAYATE J., *CONTAMINACION AMBIENTAL Una visión desde la Química*, Thomson, Madrid, 2003. pp 31.
5. OROZCO., PEREZ A., GONZALES M., RODRIGUEZ J., ALFAYATE J., *CONTAMINACION AMBIENTAL Una visión desde la Química*, Thomson, Madrid, 2003, pp 43-45.
6. OROZCO., PEREZ A., GONZALES M., RODRIGUEZ J., ALFAYATE J., *CONTAMINACION AMBIENTAL Una visión desde la Química*, Thomson, Madrid, 2003, pp 36.

7. OROZCO., PEREZ A., GONZALES M., RODRIGUEZ J., ALFAYATE J., *CONTAMINACION AMBIENTAL Una visión desde la Química*, Thomson, Madrid, 2003, pp 63.
8. OROZCO., PEREZ A., GONZALES M., RODRIGUEZ J., ALFAYATE J., *CONTAMINACION AMBIENTAL Una visión desde la Química*, Thomson, Madrid, 2003, pp 64-65.
9. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 364-366.
10. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 442.
11. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 367-378.
12. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 439-465.
13. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 557.
14. ARBOLEDA J., *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Tomo 2, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Bogotá, 2000, pp 564.

15. Gimbel R., Graham N., Collins R., *Recent Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes*, IWA Publishing, 2006, pp 268-290.
16. Use of ceramic filters in Cambodia, 10/05/08,
http://www.wsp.org/UserFiles/file/926200724252_eap_cambodia_filter.pdf
17. MANZ D., *Biosand Water Filter Technology Household concrete Design*, 05/05/08,
<http://www.manzwaterinfo.ca/documents/BioSand%20Water%20Filter%20-%20Development%20and%20Design%20April%2030,%202007.pdf>
18. Zurita Javier. "*Diseño de un sistema de filtración mediante zeolitas naturales para verificar la depuración del Estero Salado de Guayaquil*", Tesis de grado, ESPOCH, 2008.
19. MANZ D., *Guidelines Preparation of Media for the Biosand Water Filter Four Layer Systems*, 05/05/08,
<http://www.manzwaterinfo.ca/documents/Four%20Layer%20System%20Simple%20Guidelines%20April%2030,%202007.pdf>
20. MANZ D., *Guidelines Preparation of Media for the Biosand Water Filter Four Layer Systems*, 05/05/08,
<http://www.manzwaterinfo.ca/documents/Four%20Layer%20System%20Simple%20Guidelines%20April%2030,%202007.pdf>

21. Clean water project hit by funding drought, 10/05/08,
<http://www.ncl.ac.uk/press.office/press.release/item/?ref=1157976796>

22. Use of ceramic filters in Cambodia, 10/05/08,
http://www.wsp.org/UserFiles/file/926200724252_eap_cambodia_filter.pdf

23. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, 15/12/08,
www.cvs.gov.co/Descargas/Toma%20de%20Muestras.doc

24. OROZCO., PEREZ A., GONZALES M., RODRIGUEZ J., ALFAYATE J., *CONTAMINACION AMBIENTAL Una visión desde la Química*, Thomson, Madrid, 2003. pp 68.

