

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS



CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS FILTROS DE LOS PROCESOS
DE FILTRACIÓN LENTA Y FILTRACIÓN RÁPIDA EN LA POTABILIZACIÓN
DE AGUA DE LA JUNTA REGIONAL DE BAYAS”**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
Bioquímico Farmacéutico**

Autoras:

Elvia Azucena Loja Encalada

CI: 0106816036

Mónica del Rocío Ocaña Buestán

CI: 0301582128

Director:

Dr. Wilson Giovanny Larriva Msc

CI: 0102194248

Asesores:

Dra. Silvia Johana Ortiz Ulloa PhD

CI: 0301082897

CUENCA – ECUADOR

2016



RESUMEN

El presente estudio consiste en la “Evaluación de la eficacia de los filtros en los procesos de filtración lenta y filtración rápida en la potabilización de agua de la Junta Regional de Bayas”, en base a la remoción de turbiedad y análisis de calidad del agua mediante los parámetros físico–químicos y microbiológicos, a la vez verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la NTE INEN 1108:2014 u organismos internacionales.

El estudio tiene un diseño de investigación analítica, no experimental, descriptiva, de corte transversal. Se evaluó 408 muestras, durante cuatro semanas en los meses de mayo y junio del 2016. Los parámetros físico – químicos (color, turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, pH, temperatura, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, alcalinidad, sulfatos, nitratos, nitritos, cobre, cromo) y microbiológicos (coliformes totales y fecales) fueron analizados en muestras de agua cruda, entrada y salida de pre-filtros, entrada y salida de filtros en la filtración rápida y en agua cruda, entrada y salida del filtro para la filtración lenta. Se analizó también el agua de mezcla de los procesos.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza y pruebas t-Student. Los resultados obtenidos sugirieron que la eficacia del filtro lento (96%) es mayor al promedio de eficacia de los filtros rápidos (87%); al evaluar la eficacia por procesos completos, la filtración rápida (98.2%) y la filtración lenta (96.8%) tienen valores similares.

Palabras claves: filtración rápida, filtración lenta, calidad de agua, eficacia, turbiedad



ABSTRACT

This study is aimed to “Evaluation of effectiveness of filters in the process of slow filtration and fast filtration in the purification of water in the of community of Bayas”, by removing turbidity and analysis of water quality based on the values of the physico-chemical and microbiological parameters, in turn verify compliance with the requirements established in NTE INEN 1108: 2014 or international organizations.

The study has an analytical research design, not experimental, descriptive, cross-sectional. Four hundred eight samples for four weeks during months of May and June 2016. Were analyzed the physical-chemical (color, turbidity, conductivity, total dissolved solids, pH, temperature, total hardness, calcium hardness, magnesium hardness, alkalinity , sulfates, nitrates, nitrites, copper, chromium) and microbiological (total and fecal coliforms) parameters in samples of raw water input and output pre-filters, input and output filters on rapid filtration and raw water, water input and output filter for slow filtration. Water product mixture of the two processes was also analyzed.

The obtained data were statistically analyzed by analysis of variance and Student t-tests. Results suggested that the effectiveness of the slow filter (96%) is higher than the average efficiency of fast filters (87%); but when assessing the efficacy complete process it was determined that the rapid filtration (98.2%) and slow sand filtration (96.8%) have similar values.

Keywords: fast filtration, slow filtration, water quality, efficiency, turbidity



INDICE

Contenido

RESUMEN 2

ABSTRACT 3

INDICE 4

INDICE DE TABLAS 6

INDICE DE FIGURAS 7

INDICE DE ANEXOS 7

ABREVIATURAS 8

CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR10

CLAÚSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL12

DEDICATORIA14

AGRADECIMIENTOS16

INTRODUCCIÓN17

CAPÍTULO 119

MARCO TEÓRICO19

 1.1 EL AGUA19

 1.1.1 Agua cruda19

 1.1.2 Agua potable19

 1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA20

 1.2.1 Características Físicas20

 1.2.2 Características Químicas22

 1.2.3 Características Microbiológicas27

 1.3 CALIDAD DEL AGUA POTABLE29

 1.3.1 Importancia de la calidad del agua31

 1.4 POTABILIZACIÓN DEL AGUA POR FILTRACIÓN RÁPIDA31

 1.4.1 Aireación31

 1.4.2 Coagulación32

 1.4.3 Floculación32

 1.4.4 Sedimentación32

 1.4.5 Filtración33

 Características del medio filtrante34

 1.4.6 Desinfección35

 1.4.7 Almacenamiento y Monitoreo35



1.5 POTABILIZACIÓN DEL AGUA POR FILTRACIÓN LENTA	35
1.6 EFICACIA DE LOS FILTROS	36
CAPÍTULO 2	39
METODOLOGÍA Y MATERIALES	39
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	39
2.2. ÁREA DE ESTUDIO	39
2.3. MUESTREO	40
2.4 INSUMOS, MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO	42
2.5 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	43
2.5.1 Determinación de color aparente.....	43
2.5.2 Determinación de la turbiedad	44
2.5.3 Determinación de sólidos disueltos totales	45
2.5.4 Determinación de conductividad.....	46
2.5.5 Determinación de temperatura	47
2.5.6 Determinación de pH.....	47
2.5.7 Determinación de alcalinidad.....	48
2.5.8 Determinación de dureza total.....	50
2.5.9 Determinación de dureza cálcica.....	51
2.5.10 Determinación de dureza magnésica	53
2.5.11 Determinación de nitratos.....	53
2.5.12 Determinación de nitritos.....	54
2.5.13 Determinación de cobre	55
2.5.14 Determinación de sulfatos	55
2.5.15 Determinación de cromo hexavalente	56
2.6 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	57
2.6.1 Determinación de coliformes totales y fecales	57
2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	60
CAPÍTULO 3	61
RESULTADOS Y DISCUSIONES	61
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO EN EL PROCESO 1 Y PROCESO 2 DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.	61
3.1.1 Filtración Rápida o Proceso 1.....	63
3.1.2 Filtración Lenta o Proceso 2.....	68
3.1.3 Agua de mezcla de los dos procesos	70
3.2 COMPARACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA FILTRACIÓN EN EL PROCESO 1 Y PROCESO 2.....	71



3.3 EFICACIA DE FILTROS73

3.4 EFICACIA POR PROCESOS74

CAPÍTULO 476

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES76

4.1 Conclusiones76

4.2 Recomendaciones77

BIBLIOGRAFÍA78

GLOSARIO84

ANEXOS86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las aguas por su dureza.....24

Tabla 2. Requisitos para agua potable establecidos por diferentes entidades.....30

Tabla 3. Eficiencia comparativa del proceso de filtración.....38

Tabla 4. Puntos de muestreo con sus respectivos códigos41

Tabla 5. Análisis realizados durante el estudio.....41

Tabla 6. Implementos de laboratorio de acuerdo a los parámetros analizados.....42

Tabla 7. Interferencias para la determinación de sulfato56

Tabla 8. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del proceso de filtración rápida o proceso 1 determinados en agua cruda, agua de ingreso y salida de los pre-filtros (1 y 2), expresados como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).....63

Tabla 9. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del proceso de filtración rápida o proceso 1 determinados en agua de ingreso a los filtros (1, 2, 3 y 4) y en agua de salida de los filtros (1, 2, 3 y 4), expresados como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).....65

Tabla 10. Resultados del análisis físico-químico y microbiológico del proceso de filtración lenta o proceso 2 (P2) determinados en agua cruda, agua de ingreso al filtro (5) y agua de salida del filtro (5), expresado como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).69

Tabla 11. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos determinados en el agua de mezcla del proceso 1 con el proceso 2 luego de haber sido sometida a cloración, expresado como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).....70

Tabla 12. Comparación físico-química y microbiológica de la filtración entre el proceso de filtración rápida (P1) y el proceso de filtración lenta (P2).71

Tabla 13. Eficacia de cada filtro en base a la turbiedad.....74

Tabla 14. Eficacia de cada proceso hasta atravesar la filtración.....74

Tabla 15. Principales causas de morbilidad en la población mayor de 5 años en el subcentro de salud de bayas 2015.86

Tabla 16. Principales causas de morbilidad en la población menor de 5 años en el subcentro de salud de bayas 2015.86



Tabla 17. Interpretación de resultados para NMP95
Tabla 18. Análisis físico-químico96
Tabla 19. Resultado del análisis microbiológico104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.. Esquema de la planta de potabilización de agua de Bayas40
Figura 2. Determinación del color aparente44
Figura 3. Determinación de turbiedad45
Figura 4. Determinación de sólidos disueltos, conductividad y temperatura46
Figura 5. Determinación de pH.....48
Figura 6. Determinación de alcalinidad.....49
Figura 7. Determinación de dureza total.....50
Figura 8. Determinación de dureza cálcica.....52
Figura 9. Determinación de nitratos.....54
Figura 10. Determinación de nitritos54
Figura 11. Determinación de cobre55
Figura 12. Determinación de sulfatos56
Figura 13. Determinación de cromo hexavalente57
Figura 14. Determinación de coliformes totales y fecales por el NMP59
Figura 15. Proceso de purificación del agua empleados en la planta de Bayas, incluidos parámetros físicos, químicos y microbiológicos determinados en diferentes puntos de muestreo.....62
Figura 16. Planta de tratamiento. A: agua de entrada 1, B: floculadores y sedimentadores, C: pre-filtros, D: filtros rápidos, E: salida de los filtros, F: piscinas de filtración lenta y G: tanque de almacenamiento.109
Figura 17. Toma de muestra para analisis fisico-quimico y microbiologico. A: agua de entrada 1 y agua de entrada 2, B: salida de filtros rápidos, C: salida de filtro lento, D: agua tratada.109

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Perfil de morbilidad del Centro de Salud de la parroquia Bayas.86
Anexo B. Preparación de reactivos.87
Anexo C. Fichas técnicas del caldo LST89
Anexo D. Fichas técnicas del caldo BGGL.91
Anexo E. Fichas técnicas del medio SIM.....93
Anexo F. Tabla del Número Más Probable95
Anexo G. Resultado del análisis físico-químico96
Anexo H. Resultado del análisis microbiológico.104
Anexo I. Fotos109



ABREVIATURAS

- **%**: Porcentaje
- **°C**: Grados centígrados.
- **µm**: micrómetros.
- **µS**: microsienms
- **AWWA**: American Water Works Association
- **BGBL**: caldo Bilis Verde Brillante
- **C.f**: Coliformes fecales.
- **C.T**: Coliformes totales.
- **CaCO₃**: Carbonato de calcio.
- **CEPIS**: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- **cm**: centímetro.
- **Cr**: Cromo
- **EDTA**: ácido etilendiaminotetraacético
- **EPA o USEPA**: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
- **INEN**: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- **kPa**: kilopascales
- **l**: litro
- **m³/m²d**: metro cúbico/metro cuadrado por día.
- **m³**: metro cúbico.
- **mg**: miligramo
- **ml**: mililitro
- **mm**: milímetro.
- **N**: normalidad
- **nm**: nanómetros.
- **NMP**: Número Más Probable.
- **NTE**: Norma Técnica Ecuatoriana
- **NTU**: Unidades Nefelométricas de turbiedad
- **OMS**: Organización Mundial de la Salud.
- **OPS**: Organización Panamericana de la Salud



- **p.p.m:** partes por millón.
- **pH:** potencial de hidrógeno.
- **s:** segundo
- **SIM:** Sulfuro-Indol-Motilidad
- **STD:** Sólidos Totales Disueltos.
- **UC:** Unidades de Color



CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Elvia Azucena Loja Encalada, autora de la tesis "EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS FILTROS DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN LENTA Y FILTRACIÓN RÁPIDA EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA JUNTA REGIONAL DE BAYAS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Bioquímica Farmacéutica. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 21 de noviembre del 2016

Elvia Azucena Loja Encalada

CI. 0106816036



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Mónica del Rocío Ocaña Buestán, autora de la tesis "EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS FILTROS DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN LENTA Y FILTRACIÓN RÁPIDA EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA JUNTA REGIONAL DE BAYAS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Bioquímica Farmacéutica. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 21 de noviembre del 2016

Mónica del Rocío Ocaña Buestán

CI. 0301582128



CLAÚSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Elvia Azucena Loja Encalada, autora de la tesis "EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS FILTROS DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN LENTA Y FILTRACIÓN RÁPIDA EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA JUNTA REGIONAL DE BAYAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autoras.

Cuenca, 21 de noviembre del 2016

Elvia Azucena Loja Encalada

C.I: 0106816036



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Mónica del Rocío Ocaña Buestán, autora de la tesis "EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS FILTROS DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN LENTA Y FILTRACIÓN RÁPIDA EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA JUNTA REGIONAL DE BAYAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autoras.

Cuenca, 21 de noviembre del 2016

Mónica del Rocío Ocaña Buestán

C.I: 0301582128



DEDICATORIA

A mi querida madre Lolita, por todo su amor, paciencia y confianza brindadas, por ser siempre mi apoyo incondicional y guiarme con sus sabios consejos a lo largo de mi vida.

A mi padre ⁺ que desde el cielo está siempre acompañándome.

A mis hermanos que han sido el soporte incondicional del hogar y siempre me han brindado su apoyo, cariño y comprensión en todos estos años de esfuerzo. Los quiero mucho.

A mi estimada compañera de tesis Mónica con quien he compartido momentos agradables y logramos con esfuerzo y dedicación hacer posible esta meta.

“El éxito en la vida no se mide por lo que logras, sino por los obstáculos que superas”.

Elvia



DEDICATORIA

Gracias Dios por tu amor infinito, por ser siempre la guía y luz en las decisiones a tomar.

A mis queridos padres Moisés y Elvira, por toda su paciencia y su gran amor brindado, por su sacrificio, sus sabios consejos y siempre confiar en mí.

A los seres más pequeños que han alterado mi futuro llenándolo de colores, de sonrisas, de sueños, mis ángeles consentidos Guadalupe y Mateo una razón poderosa para superar cada reto del día a día.

A mí querido esposo Moisés por su apoyo incondicional, por su paciencia, y por ser la fuerza para nunca rendirme logrando culminar esta etapa.

A mí estimada compañera de tesis Elvia, por su paciencia, su amistad y las aventuras compartidas.

“Aún la persona más pequeña puede alterar el curso del futuro”

Mónica



AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Giovanni Larriva, director del presente trabajo por su cooperación, orientación y paciencia, en el desarrollo del mismo.

A la Dra. Johana Ortiz, y Dra. Mariana Saá Msc, por su colaboración desinteresada, continua, clara y eficaz.

A la Junta de Agua Potable de Bayas y sus representantes de manera especial al Sr. Edgar Gallegos por facilitarnos los medios para hacer posible este trabajo de graduación.

Al Dr. Segundo Chica e Ing. Roque Minchala por la colaboración y orientación a través de sus conocimientos brindados y ayudarnos con diferentes material de consulta y apoyo.

Elvia y Mónica



INTRODUCCIÓN

La parroquia urbana Aurelio Bayas, perteneciente al cantón Azogues de la provincia del Cañar, dispone de una planta de tratamiento de agua que está a cargo de la Junta Administradora de Agua Potable de Bayas y se encuentra brindando su servicio a 1296 usuarios que corresponde aproximadamente a 5000 personas. La función de este sistema es proveer agua de calidad a sus consumidores, la misma que se debe garantizar mediante un monitoreo continuo del agua que suministra. Varios estudios han demostrado que la contaminación microbiana del agua genera principalmente enfermedades gastrointestinales mientras que la presencia de metales pesados u otros compuestos químicos suelen originar enfermedades crónicas debido a la cantidad en trazas que se encuentran.

De acuerdo a datos estadísticos consultados y proporcionados por el Centro de Salud de la Comunidad de Bayas, las enfermedades gastrointestinales son la principal problemática que sufre la población mayor a cinco años sin saberse el origen aún de estas infecciones. Los profesionales de la salud consideran que posiblemente este problema se debe al consumo de agua que no garantiza una calidad sanitaria óptima para ser consumida directamente. En cuanto a enfermedades crónicas, en la comunidad no se tiene registrado aún problemas de esta índole (Anexo A).

La planta de tratamiento de Bayas realiza dos procesos de potabilización con el agua cruda; uno mediante filtración lenta y el otro a través de filtración rápida. La filtración lenta se emplea desde el año 1998 y se pone en actividad durante épocas de sequía con un caudal actual promedio es de 6 L/s y consta únicamente de dos pasos; el primero en donde el agua cruda pasa el lecho filtrante de arena y el segundo, la desinfección. Por otra parte la filtración rápida se implementa desde el año 2011 con un caudal promedio de 12 L/s y presenta seis etapas: coagulación, floculación, sedimentación, pre-filtración, filtración y cloración. Este proceso se encuentra en funcionamiento permanente. La etapa de cloración se da luego de mezclar el agua de los dos procesos.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La filtración cumple un papel muy importante en el proceso de potabilización debido a que de ella depende la retención de sólidos en suspensión, de materia orgánica e inorgánica, microorganismos y varias sustancias presentes en el agua, las mismas que no han sido posible retenerlas en los procesos anteriores; de aquí su relevancia para mantener un control y verificación de la eficacia de los diferentes filtros que posee la planta.

Siendo el consumo de agua una necesidad básica del ser humano para realizar sus funciones vitales surge la importancia del tratamiento antes de su ingesta puesto que debe cumplir con ciertos parámetros que se encuentran determinados por normas de calidad que son establecidas por cada país o normas internacionales de entidades que se dediquen a la regulación de la calidad de agua potable como la Organización Mundial de la Salud. El presente estudio consiste en la evaluación de la eficacia de los filtros en base a la remoción de turbiedad que producen así como de la calidad del agua mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en los dos procesos por separado como en el agua de mezcla para determinar si el uso de estos dos tratamientos afectan la calidad del agua final. Durante el periodo de realización de este trabajo se mantuvo la combinación de los dos procesos para cubrir con la demanda de los consumidores.



CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 EL AGUA

El agua es considerada como un elemento que se encuentra presente en nuestro planeta y se podría decir que es el elemento que mantiene la vida en el mismo, debido a que interviene en abundantes reacciones bioquímicas se lo llama también el disolvente universal.

Para que el ser humano pueda consumir el agua presente en la naturaleza necesita realizar un tratamiento de purificación debido a que el agua arrastra consigo por lixiviación o disolución de material natural orgánico que constituye un riesgo sanitario cuando la concentración de sus componentes supera los límites permisibles (Rojas, 2014).

1.1.1 Agua cruda

El agua cruda es aquella agua que se encuentra en la naturaleza y no ha sido sometida a ningún tratamiento por lo tanto posee distinta composición dependiendo la zona de la cual se origine. Las aguas subterráneas y las de superficie tienen una composición química muy variante entre ellas, estas aguas pueden ser aquellas procedentes de ríos, arroyos, lagos, lagunas o acuíferos. Normalmente se puede encontrar en el agua cruda disueltos muchos minerales, sustancias orgánicas, hojas, insectos o cualquier otro material propio de la naturaleza así también elementos provenientes de la contaminación ambiental. De entre los minerales que están disueltos existen carbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, cloruros y más (Rojas, 2014).

1.1.2 Agua potable

El agua potable llamada también “agua apta para el consumo humano”, se emplea para los fines domésticos, higiene personal, para beber y cocinar. Debe cumplir con ciertas condiciones físicas, químicas y microbiológicas de acuerdo con las pautas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) o los parámetros estipulados dentro de cada país, de manera que posea aspecto sensorial



agradable y su consumo no ocasione ningún riesgo significativo para la salud, de no ser así, éste puede ser el vector de una serie de enfermedades que pongan en riesgo la vida de las personas que lo consumen. Cuando el agua está contaminada se manifiestan alteraciones en sus características que deben ser valoradas (NTE INEN 1108, 2014) (OMS, 2016 a).

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

1.2.1 Características Físicas

Las propiedades físicas que se pueden determinar en el agua potable están basadas en parámetros que brindan el aspecto estético además de los causados por sustancias disueltas. Dentro de esta clasificación están el color, turbidez, sólidos totales disueltos y conductividad.

1.2.1.1 Color

La presencia de color en el agua se genera cuando existe concentración de hierro y/o manganeso coloidal o en solución, materia orgánica como los taninos o el ácido húmico, residuos coloridos de las industrias y partículas coloidales cargadas negativamente. En el agua se puede determinar el color aparente y el color real; el primero se determina en el agua sin filtrar o sedimentar y el color real se realiza con el agua después de ser filtrada. Dentro del proceso de potabilización, la coagulación y filtración ayudan a disminuir el color en un porcentaje elevado para luego dirigirse a la desinfección con cloro como desinfectante para evitar la formación de trihalometanos que son cancerígenos (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

1.2.1.2 Turbiedad

Es la interferencia a los rayos luminosos cuando estos pasan a través de una muestra de agua lo que produce que la luz sea remitida y no transmitida, mientras mayor es la luz dispersada mayor es la turbiedad. Es provocada por la presencia de varias sustancias como la arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, microorganismos o dispersiones coloidales. Existen plantas donde aún se emplea el asbesto cemento como material adjunto pudiendo originarse



el desprendimiento de sus fibras lo cual también concibe un aumento en la turbiedad.

Este parámetro es muy importante ya que permite establecer el grado de tratamiento que se le debe dar a una fuente de agua cruda para volverla potable, la tasa de filtración que se debe emplear, la eficacia de la potabilización en cuanto al proceso de coagulación, sedimentación y filtración así como para determinar la potabilidad del agua. Para el proceso de desinfección la turbiedad tiene que ser menor a 1 NTU ya que las partículas causantes de la turbiedad protegen físicamente a los microorganismos y éstos no entran en contacto con el desinfectante y se reduce la eficiencia del proceso (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

1.2.1.3 Sólidos

Corresponde a los materiales suspendidos y disueltos que afectan a la calidad del agua cuando su concentración es elevada. Los sólidos totales están conformados por toda la materia que queda luego de evaporar el agua y someter a un secado de 103°C.

- **Sólidos suspendidos**

Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante. Para su determinación se seca el filtro a 103 °C después de haber filtrado la muestra y el aumento de peso es el valor de sólidos suspendidos (NMX, 2001) (UTP, 2006).

- **Sólidos disueltos**

Substancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua y que no son retenidas en el material filtrante. Para su determinación luego de filtrar el agua se somete el filtrado a evaporación a 180 °C sobre un mortero. El aumento del peso del mortero indica la cantidad de sólidos disueltos en la muestra (APHA, AWWA, WPFC, 1992).



1.2.1.4 Temperatura

Es un parámetro muy importante a tomar en consideración puesto que de ella dependen una variedad de reacciones que se desatan por la presencia de sustancias disueltas, la precipitación de compuestos, la solubilidad de sales y gases, la incrustación de complejos, la desinfección y procesos como floculación, sedimentación y filtración. Su variación afecta el agua en sus propiedades químicas como a su comportamiento microbiológico además que de ella depende la desinfección con cloro y las condiciones del tratamiento de potabilización. Cuando existe un aumento en la temperatura disminuye el oxígeno disuelto también provoca un aumento del olor y sabor. (SENA, 1990).

1.2.1.5 Conductividad

Es la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica y que va a depender directamente de la temperatura ambiental y la concentración de electrolitos o sustancias disueltas ionizadas presentes en el agua. La mayoría de soluciones de compuestos inorgánicos como cloruros, sulfatos, nitratos y fosfato son excelentes conductores de electricidad, en cambio soluciones orgánicas acuosas de aceites, fenoles, alcoholes y azúcares son pobres para conducir corrientes eléctricas. Su determinación es útil para realizar una estimación rápida de la concentración de sólidos disueltos, su lectura se la ejecuta a 25°C (CEPIS, 2005).

1.2.2 Características Químicas

El agua en la naturaleza posee una gran cantidad de sustancias químicas disueltas, algunos metales pesados y ciertos compuestos tóxicos que comprenden un peligro potencial para la salud de los consumidores. El agua potable debe tener una cantidad de sales disueltas que no sea ni excesiva, ni insuficiente (cloro, sulfatos, cobre, cromo, carbonatos que se combinan con sodio, calcio, magnesio, plomo, arsénico, flúor, entre otras como nitratos y nitritos). (SENA, 1999).



1.2.2.1 Alcalinidad

Se considera a la capacidad que presenta el agua para neutralizar los ácidos y constituye la suma de la totalidad de las bases titulables. Depende del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de dichos componentes en aguas superficiales aunque algunas sales débiles como boratos, fosfatos, nitratos, silicatos pueden contribuir también a la alcalinidad. Los valores determinados se relacionan con el pH del punto final de titulación, la temperatura y la fuerza iónica.

La alcalinidad es además importante porque favorece a la reacción de los coagulantes y mejoran la floculación y coagulación también, tienen incidencia sobre el carácter incrustante que pueda tener el agua y si está presente en altas cantidades tiene efecto sobre el sabor y la turbiedad.

- **Alcalinidad a la fenolftaleína:** Es la correspondiente a los iones hidróxidos más la mitad de la concentración de los iones carbonatos.
- **Alcalinidad total:** Es la atribuible a los iones hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

1.2.2.2 Dureza

Se consideraba como la capacidad de precipitar el jabón, debido a la presencia de los iones de calcio y magnesio. Actualmente se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, que son expresados como carbonato cálcico en miligramos por litro.

- **Dureza temporal:** Conocida también como **dureza carbonácea**, esto se debe a que los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio tienden a eliminarse por ebullición, al tiempo que se esteriliza el agua.

La dureza temporal se elimina también por la adición del hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

- **Dureza permanente:** Llamada también **dureza no carbonácea**,



químicamente no se relaciona con carbonatos y bicarbonatos siendo este el motivo por la que no se puede eliminar al hervir el agua, la dureza permanente es causada por la presencia del sulfato de calcio y magnesio, además de cloruros y nitratos en el agua. (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

Tabla 1. Clasificación de las aguas por su dureza

Dureza mg/l de CaCO ₃	Clasificación
0 - 75	Blanda
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
>300	Muy dura

(Fuente: NTE INEN 974,1984)

1.2.2.3 pH

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. El pH o la actividad del ión hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua y se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno (Mejía, 2005) (Aurazo, 2004).

1.2.2.4 Metales Pesados

En el agua potable el efecto de los metales puede ser beneficioso, molesto o tóxico, debido a que existen pocos metales esenciales, pero otros pueden ser perjudiciales para los consumidores del agua. En la mayoría de los casos el potencial de riesgo o beneficio está en función de la concentración de dichos compuestos (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

Cobre: Se encuentra con frecuencia en forma natural en las aguas superficiales en concentraciones menores a 1 mg/L, las cuales no tienen efectos nocivos para la salud. Se trata de un elemento benéfico para el



metabolismo, esencial para la formación de la hemoglobina. La deficiencia de cobre ha sido asociada con la anemia nutricional en los niños.

Sin embargo, la presencia del cobre en el agua está relacionada con la corrosión de las cañerías en la vivienda, la erosión de depósitos naturales, entre otros. En algunos sistemas se aplica sulfato de cobre en dosis controladas como mecanismo para combatir las algas en el agua. Las dosis van de 0.1 a 2 mg/L (Ros Moreno, 2011).

Cromo: Es una especie común de encontrar en las aguas superficiales, el Cr (III) es esencial para los seres humanos, debido a que promueve la acción de la insulina mientras que el Cr (VI) se considera tóxico por sus efectos fisiológicos adversos. Aun no se conocen daños en la salud debido a concentraciones inferiores a 0.05 mg/L de Cr (VI) en el agua.

El cromo metálico y los derivados del cromo (VI) son generalmente de origen antropogénico. Por su naturaleza química, el Cr (III) difícilmente se encuentra en soluciones con un pH mayor de 5, donde el cromo está, por lo general, en forma hexavalente. En el tracto gastrointestinal de los humanos y los animales, se absorbe menos de 1% del cromo (III) y alrededor de 10% del cromo (VI). La forma química, la solubilidad del compuesto en agua y el tiempo de permanencia en los órganos modifican la velocidad de la absorción.

Los compuestos de cromo (VI), que son fuertes agentes oxidantes, tienden a ser irritantes y corrosivos; también son considerablemente más tóxicos que los compuestos de cromo (III) si la dosis y la solubilidad son similares debido a su capacidad de atravesar las membranas celulares. Se ha demostrado que el cromo (VI) es carcinógeno para los seres humanos, durante el proceso de la cloración puede convertir por oxidación el Cr (III) en Cr (VI) (Ros Moreno, 2011).

1.2.2.5 Compuestos que producen salinidad.

Nitratos y Nitritos

Teniendo en cuenta que el nitrógeno es un nutriente primordial en el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas, en general, se encuentra formando



compuestos como amoníaco, nitratos y nitritos.

En caso de que un recurso hídrico reciba alguna descarga de aguas residuales domésticas, el nitrógeno presente estará como nitrógeno orgánico amoniacal, el mismo que, al estar en contacto con el oxígeno disuelto, se transforma mediante un proceso de oxidación en nitritos y nitratos. Dicho proceso de nitrificación depende de la temperatura, contenido de oxígeno disuelto y pH del agua. Generalmente, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ión, en cuanto a los nitritos (sales de ácido nitroso, HNO_2) también son solubles en agua.

Los nitratos se transforman naturalmente, por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos, terrestres o por reducción bacteriana.

El ión nitrito es menos estable que el ión nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que sólo se lo encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación.

Por el consumo excesivo de fertilizantes nitrogenados en las zonas agrícolas y ganaderas, además del uso de amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales, contribuyen en un aumento de la concentración de nitratos en agua.

El nitrito se relaciona con una anomalía en la sangre de los niños (metahemoglobinemia) por la ingestión de aguas con un contenido mayor de 10 mg/L de nitratos (como N) y como resultado de la conversión de nitrato en nitrito. La mayor parte de estos casos se asocian a aguas que contienen más de 45 mg/L de nitrato. El factor determinante en la incidencia de esta enfermedad es la concentración de nitratos en el agua y los alimentos (Ros Moreno, 2011).

Los tratamientos más eficientes para la remoción de nitratos son: el uso de resinas de intercambio iónico, que puede remover concentraciones tan altas como 30 mg/L y reducirlas hasta 0.5 mg/L en procesos continuos. En la práctica, difícilmente los nitritos se encuentran en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración (Ros Moreno, 2011).



1.2.2.6 Sulfatos

Las aguas de minas y los efluentes industriales contienen grandes cantidades de sulfatos provenientes de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y en función del contenido de calcio, podrían dar un carácter ácido. En las aguas naturales se encuentran en bajas concentraciones por lo tanto no afectan la calidad.

Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo.

En presencia de un alto contenido de sulfatos en el agua, esta puede presentar sabor y tener un efecto laxante, principalmente en presencia magnesio.

Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas. La remoción de sulfato resulta costosa y requerir métodos complicados, por lo cual es preferible elegir fuentes naturales con niveles de sulfato por debajo de los límites aconsejados (Ros Moreno, 2011).

1.2.3 Características Microbiológicas

El agua a tratar puede presentar diferentes tipos de microorganismos que la contaminan como lo son: parásitos, virus, hongos, algas azules y bacterias provenientes de la contaminación del hombre o por arrastre del suelo. El riesgo principal que se quiere evitar en el agua para consumo humano es la contaminación con materia fecal debido a que los microorganismos que de ella provienen son patógenos y causan infecciones graves con una morbimortalidad elevada además, es la contaminación más común en las fuentes de agua por esta razón es importante mantener un monitoreo de la calidad sanitaria de la misma. Entre las enfermedades más frecuentes originadas por contaminación del agua están la fiebre tifoidea, disentería, cólera, polio y hepatitis infecciosa (OMS, 2016 b) (Apella & Araujo, 2004).



1.2.3.1 Indicadores microbiológicos

Se consideran microorganismos indicadores a aquellos cuyo comportamiento es similar a los patógenos en cuanto a concentración y reacción ante diferentes condiciones ambientales pero con la facilidad de identificarlos de manera rápida y económica. Debido a que la determinación de todos los tipos de bacterias que pueden estar presentes en el agua resultaría muy costosa, se recurre a la determinación de indicadores microbiológicos para descartar que una muestra de agua potable esté contaminada con materia fecal. Estos indicadores son las bacterias del grupo coliforme que corresponde a bacterias de origen entérico en su mayoría (IMTA, 1991).

1.2.3.2 Coliformes Totales

Son de origen entérico y está representado principalmente por cuatro géneros de la familia *Enterobacteriaceae*: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, y *Klebsiella*. Se caracterizan por ser bacilos Gram negativos, no formadores de esporas que pueden incluir a microorganismos aeróbicos y anaeróbicos facultativos. Son fermentadores de lactosa con formación de gas en un periodo de 48 horas a una temperatura de 37°C; propiedad química que es aprovechada para determinar su presencia mediante análisis microbiológico. Se encuentran de manera constante y abundante en la materia fecal pero también se los puede encontrar en los desechos vegetales en descomposición o aguas negras por lo tanto, son originarios de animales de sangre caliente y sangre fría y el suelo (Ramos & al, 2008).

La presencia de coliformes totales en el agua potable alertan de una contaminación que puede haberse dado por fallas en el tratamiento, en la distribución o a nivel de redes domiciliarias. Ante su presencia se los ejecutan mecanismos de control de calidad y procesamiento en la planta de tratamiento además que se intensifica la vigilancia en la distribución.

1.2.3.3 Coliformes Fecales

También denominados termotolerantes fecales pertenecen a un subgrupo de los coliformes totales, está formado por bacterias que fermentan la lactosa con



producción de gas a una temperatura de 45°C, dentro de este grupo no se incluye una especie determinada pero predominantemente encontramos a *Echerichia coli*.

E. coli es una bacteria que se encuentra en la flora intestinal como comensal del hombre y en otros animales de sangre caliente, su tamaño varía entre 0.5 a 2um. Sin embargo existen algunas cepas que son patógenas y provocan enfermedades diarreicas como: *E. coli* enteropatogénica, *E. coli* enterotoxigénica, *E. coli* enteroinvasiva y *E. coli* enterohemorrágica, estas son las más asociadas con la contaminación del agua. Debido a esto es una bacteria indicadora por excelencia del grupo coliforme fecal (Navarro , 2007).

1.3 CALIDAD DEL AGUA POTABLE

La calidad del agua potable es un problema en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su consecuencia en la salud de la población. Los agentes infecciosos, productos químicos, tóxicos y contaminación radiológica son factores de riesgo principalmente.

Se considera que el agua es de calidad cuando es segura para el consumo humano, para lo cual este líquido vital debe presentar ausencia de bacterias coliformes totales y fecales, así como de minerales y metales pesados.

Dado que el agua es vital para los seres vivos, debe poseer un alto grado de potabilidad que puede resumirse en:

- Condiciones físicas: Debe ser clara, transparente, inodora e insípida.
- Condiciones químicas: Disolver completamente el jabón sin formar grumos, libre de sustancias tóxicas y metales pesados y el pH debe estar entre 6 y 8.
- Condiciones biológicas: Se encuentre libre de organismos patógenos, con alto contenido de oxígeno y la temperatura no debe sobrepasar más de 5°C a la del ambiente.

En la planta de purificación el agua sufre cambios significativos en su calidad física, química y microbiológica. Durante la aplicación de compuestos químicos para el tratamiento del agua deben asegurar un efluente que satisfaga los



estándares de calidad para el agua potable, permitir un tratamiento y disposición fácil de los lodos y de las aguas de lavado (Mejía, 2010) (Orellana, 2005).

Para regular la calidad de este líquido vital en el país se rige mediante las normas de calidad del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), con respecto al agua potable se basa en la NTE INEN 1108 que menciona los requisitos indispensables para el agua tratada y que a su vez esta sea apta para el consumo humano.

Tabla 2. Requisitos para agua potable establecidos por diferentes entidades

PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITES MÁXIMO PERMITIDO	REFERENCIA
Características físicas			
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15	INEN 1108:2014
Turbiedad	NTU	5	INEN 1108:2014
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	MÉTODOS ESTADARIZADOS
Conductividad	µS/cm	50 a 1500	MÉTODOS ESTADARIZADOS
Características químicas			
pH	-----	6.5 a 8.5	INEN 1108-2:2006
Alcalinidad	mg/L	400	AYSA
Dureza total	mg/L	400	AYSA
Cobre	mg/L	2	INEN 1108:2014
Cromo	mg/L	0.05	INEN 1108:2014
Nitratos	mg/L	50	INEN 1108:2014
Nitritos	mg/L	3.0	INEN 1108:2014
Sulfatos	mg/L	250	OMS
Características microbiológicas			
Coliformes totales	-----	Ausencia	INEN 1108:2006
Coliformes fecales	NMP/100ml	< 1.1	INEN 1108:2014

(Fuente: Las autoras)



1.3.1 Importancia de la calidad del agua

La disponibilidad de agua para consumo humano cada vez es menor por el crecimiento poblacional, aumento en el consumo por individuo, contaminación de las fuentes de agua en general y sobretodo el manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas.

Cuando ciertos elementos solubles se incorporan al agua conforman un peligro para la salud y aún más si éstos están en contacto directo con las fuentes de agua, provocan enfermedades en la población. Las contradicciones de consumir agua contaminada son muchas, en relación con la salud pública se establece que aproximadamente un 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en los países en vías de desarrollo tienen principal causa el consumo de agua contaminada. Se estima que el 70% de la población que vive en áreas rurales de países en desarrollo, está principalmente relacionada con la contaminación de agua por heces fecales (Mejía, 2005).

1.4 POTABILIZACIÓN DEL AGUA POR FILTRACIÓN RÁPIDA

Se denomina de esta manera a los procesos de potabilización que trabajan con filtros de arena, grava y antracita que tienen la capacidad de procesar grandes volúmenes de agua a velocidades altas entre 80 y 300 m³/m².d, en base a las características del agua, medio filtrante y recursos disponibles para operar. El proceso consta de diferentes etapas: aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y monitoreo (Carangui, 2015).

1.4.1 Aireación

El agua al ingresar a la planta debe hacerlo a través de una estructura que provoque una caída que permita la mezcla entre el agua y el aire de manera que se oxigene, este proceso sirve para eliminar gases que pueden causar olores y sabores desagradables como el sulfuro de hidrógeno además, se oxida el hierro y manganeso para provocar su precipitación (SENA, 1990).



1.4.2 Coagulación

Consiste en la adición de un coagulante como el sulfato de aluminio, luego de la aireación, punto en el cual se aprovecha la caída del agua para que se produzca una mezcla rápida con el coagulante y se dé una correcta homogenización. En esta etapa se produce la desestabilización de partículas y se aglutinan los sólidos en suspensión presentes en el agua. Intervienen una serie de factores: turbiedad, alcalinidad, pH, color, tipos de sustancias disueltas, concentración del coagulante, intensidad de la mezcla y el tiempo de retención. Como coagulante se puede emplear sulfato de aluminio, cloruro férrico, sales polihidroxiladas, polímeros entre otros aunque, este último es empleado más como ayudante de coagulación ya que permite obtener menor cantidad de lodos y el lodo producido es más fácilmente tratable. Para la correcta dosificación tanto de coagulante como polímero se emplea la prueba de jarras (SENA, 2002).

1.4.3 Floculación

A pocos segundos de la adición de coagulante se inicia una agitación moderada en el recorrido del agua, en este punto se debe añadir el polímero mediante goteo, éste produce una aglomeración de las partículas desestabilizadas dando lugar a microflóculos con un peso superior al agua, se compactan cada vez más dando flóculos de mayor tamaño y con un menor grado de hidratación de esta manera disminuye la concentración volumétrica y son removidos fácilmente por sedimentación y filtración. Es muy importante mantener la velocidad de agitación leve para evitar el fraccionamiento de los flóculos (SENA, 2002) (Aguirre, 2015).

1.4.4 Sedimentación

En esta etapa el agua fluye lentamente a través de láminas y los flóculos comienzan a sedimentar y se adhieren a las placas para formar grandes coágulos que luego van a decantar. El flujo de agua es horizontal y el sedimentador comúnmente es de forma rectangular. En este proceso se estima que se debe eliminar alrededor del 90% de bacterias y el 95% de arcilla (AYSA , 2005).



1.4.5 Filtración

En este proceso se puede encontrar filtración por gravedad o por presión; este sistema requiere de un lecho filtrante conformado por grava, arena y antracita en capas. Sin embargo, esta etapa se encuentra precedida de procesos como la coagulación, floculación y sedimentación (SENA, 1999).

Para un efectivo proceso de filtración es aconsejable que el agua que va a ser filtrada tenga una turbiedad entre 2 NTU o menos, a fin de conservar la vida útil del filtro ya que si la turbiedad es mayor, los filtros se ensucian con mayor facilidad y la limpieza del filtro será con intervalos de tiempos más cortos (Herrera, 2013).

Esta etapa ayuda a disminuir las últimas partículas de turbiedad provocada por partículas de arcilla, fango, microorganismos, sustancias coloidales, precipitados húmicos y otras partículas naturales que hayan pasado las etapas anteriores. Inicialmente el agua arrastra parte del material suspendido debido a la dispersión de la arena en el lecho filtrante. Cuando el material en suspensión es superior a los espacios intergranulares, éste se queda detenido en la superficie filtrante, las partículas más pequeñas se adhieren a la superficie interna de los granos, disminuyendo el paso del agua y ensuciando el filtro (Arboleda, 2000).

Para mantener el buen estado de los filtros el lavado de éstos debe ser varias veces al día haciendo fluir agua y aire a contracorriente lo que provoca una fricción entre los granos de arena para remover la suciedad en la superficie de ella.

1.4.5.1 Factores que influyen en la filtración:

A continuación se presentan los factores que influyen en el proceso de filtración rápida:

Características de la suspensión

- Tipos de partículas suspendidas: flóculos que no sedimentan son



diferentes de los flóculos con previo proceso de coagulación.

- Tamaño de las partículas suspendidas: mientras mayor sea el tamaño mayor es la eficacia, se pueden ajustar el tamaño de las partículas con la adición de químicos como coagulantes y polímeros.
- Densidad de las partículas suspendidas: a mayor densidad de las partículas suspendidas mayor remoción de las mismas.
- Resistencia o dureza de los flóculos: a mayor resistencia del flóculo mayor retención de la turbiedad porque tienden a depositarse sobre el lecho y no se rompen.
- Temperatura del agua por filtrar: el aumento de temperatura produce una mayor eficacia, debido a que se presenta un incremento en la energía termodinámica en las partículas del agua.
- Concentración de partículas suspendidas en el afluente: a mayor concentración mayor eficacia.
- Potencial zeta de la suspensión: las partículas suspendidas y el material filtrante deben tener potencial zeta de diferente signo.
- pH del afluente: el pH influye en la capacidad de intercambio iónico entre las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante (CEPIS, 2005).

Características del medio filtrante

- Tipo del medio filtrante.
- Características granulométricas del material filtrante.
- Peso específico del material filtrante.
- Espesor de la capa filtrante.

Características hidráulicas

Las características hidráulicas que influyen en la eficiencia de la filtración son las siguientes:

- Tasa de filtración.
- Carga hidráulica disponible para la filtración.
- Método de control de los filtros.



- Calidad del efluente. (Maldonado, 2009)

1.4.6 Desinfección

El objetivo es garantizar la inocuidad microbiológica del agua suministrada para lo cual se emplea un desinfectante que puede ser cloro gas o hipoclorito de calcio generalmente. El alto poder oxidante y residual que posee el cloro como desinfectante hace que sea el más usado para este proceso en las plantas potabilizadoras. El cloro residual contribuye a mantener una desinfección a lo largo de la distribución y proteger de las posibles contaminaciones en el trayecto y para esto se requiere de una concentración de entre 0.6-1 mg/L (AYSA , 2005).

1.4.7 Almacenamiento y Monitoreo

El agua luego de haber sido sometida a purificación se la conduce a un reservorio de capacidad suficiente de manera que mantenga un contacto mínimo de 30 minutos con el cloro y desde donde se distribuye para el resto de reservorios o directamente a la comunidad. Se recomienda limpiar el reservorio mínimo una vez al año. Para asegurar la calidad del agua se debe mantener una serie de análisis diarios en cuanto a parámetros físico-químicos, principalmente color, turbiedad, pH, sólidos totales disueltos, conductividad, alcalinidad, dureza y cloro residual. También se debe controlar la contaminación microbiológica principalmente de coliformes totales y fecales. Se necesita de un laboratorio con condiciones necesarias para un análisis completo y que las muestras lleguen a tiempo. Se pueden emplear equipos portátiles para determinar cloro residual, pH y turbiedad (Mozaquites, 2010).

1.5 POTABILIZACIÓN DEL AGUA POR FILTRACIÓN LENTA

Este tipo de tratamiento se emplea generalmente en plantas potabilizadoras comunitarias debido a que permite procesar volúmenes menores de agua con una velocidad inferior en comparación a la filtración rápida.

La filtración lenta está constituida principalmente por filtros de arena fina con un tamaño de 0.25 a 0.35 mm y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 3, además



consta de una capa de grava de diferente grosor, colocando las capas más gruesas en el fondo.

Este filtro requiere un periodo de acondicionamiento para comenzar el proceso, mismo que tarda de 4 a 7 días, en el cual se forma una película biológica sobre la superficie de la arena. La efectividad de la filtración es proporcional a la profundidad y tamaño del grano de la arena pero es inversamente proporcional a la tasa de filtración. Elimina alrededor de 98% a 99% de bacterias (American Water Works Association, 2002).

Este proceso emplea cajas de cemento con arena más fina que la de los filtros rápidos y con una baja tasa de filtrado lo que da como resultado que la mayor parte de material removido se retenga en la capa biológica. Esta capa compuesta de suciedad con microorganismos y macroorganismos vivos y muertos se convierte en el medio filtrante dominante a medida que el ciclo del filtro avanza, además, se sigue removiendo partículas a lo largo de la capa de arena. La duración del ciclo del filtro puede ser entre 1 a 6 meses dependiendo de la calidad de fuente de agua y de la tasa de filtrado. Para que el agua ingrese a éste lecho filtrante debe tener una turbiedad inferior a 20 NTU. Luego de la filtración el agua es conducida a la desinfección y almacenamiento (Vargas, 2011).

Cuando el filtro se colmata se debe suspender la filtración y se procede a limpiarlo. Se debe drenar el filtro hasta un punto en el cual se pueda caminar sobre la arena, luego se procede a raspar de 1 – 2.5 cm de arena superficial; se reemplaza la arena cuando la profundidad del lecho se ha reducido alrededor de 60 cm debido a las limpiezas sucesivas (CEPIS-OPS/OMS, 2002).

1.6 EFICACIA DE LOS FILTROS

Los filtros se evalúan básicamente a partir de su capacidad para lograr una calidad de agua tratada con una turbiedad menor o igual a 0.1 NTU durante el 95% del tiempo del proceso, excluyendo el tiempo empleado en el retrolavado que son 15 minutos, durante este tiempo se admiten valores de 0.30 NTU (Caballero, 2011).



La filtración es muy compleja y envuelve una serie de mecanismos relacionados con el medio de suspensión, las partículas suspendidas y el medio filtrante actuando de manera simultáneas a lo largo de la carrera de filtración por lo tanto resulta difícil establecer un índice o patrón de eficiencia para evaluar este proceso.

Un criterio de calidad de agua ampliamente empleado es la turbiedad, se usa en los procesos de potabilización como en la distribución por su medición rápida, económica y de fácil interpretación para quienes operan una planta. La OMS (Organización Mundial de la Salud) no establece un valor permitido de turbiedad pero basado en criterios de salud sugiere que sea menor a 0.1 NTU para una desinfección efectiva. La USEPA (United States Environmental Protection Agency) recomienda 2 NTU o menos para el agua que sale de los filtros. La AWWA (American Water Work Association) admite para el agua potable 1 NTU como promedio y máximo 5 NTU.

Para asegurar adecuadas eficiencias de reducción de enterovirus, quistes de *Giardia spp* y ooquistes de *Cryptosporidium sp*, se recomienda que el efluente de un filtro rápido tenga una turbiedad inferior a 0.5 NTU en el 95 % de los datos diarios del mes y que nunca sea superior a 5 NTU. La USEPA establece que la turbiedad del efluente de cada filtro debe ser menor de 0.15 NTU en al menos el 95 % de las medidas realizadas mensualmente y no puede ser mayor de 0.3 NTU en dos medidas consecutivas tomadas con 15 minutos de intervalo para asegurar la eliminación de *Cryptosporidium spp*; por lo tanto, se debe tomar en consideración que la reducción eficiente de turbiedad en los filtros se asocia con la remoción de *Giardia* y *Cryptosporidium* en el control del riesgo agudo en el agua para consumo humano (Montoya & al, 2011).

La filtración constituye la última barrera en la remoción de partículas suspendidas de la planta y depende principalmente de la calidad del efluente y de las características del medio filtrante (granulometría de la arena o grava). Se debe garantizar su mayor eficiencia para mantener los estándares de calidad de agua potable y comparar en base a la variación de turbiedad de ingreso y salida del agua.



La eficiencia del proceso de filtración depende sustancialmente de la calidad de agua cruda que llega a la planta, calidad de agua sedimentada (previa a la filtración), así también de las características físicas, como de las partículas (turbiedad, color) y de su estado de presentación (coloidal, suspensión, tamaño y densidad), además la eficiencia se incrementa en relación directa con el contenido de partículas en estado de suspensión.

La eficiencia de los filtros rápidos es mayor a la de los filtros lentos ya que trabajar con agua sedimentada de turbiedades bajas por lo que es de gran importancia que los sedimentadores produzcan agua de la mejor calidad posible.

La remoción de turbiedad no puede ser total pues esta va a depender de la turbiedad con la que ingrese el agua cruda. En términos absolutos se puede aplicar esta fórmula para evaluar eficiencia de un filtro:

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{T_p - T_f}{T_p}$$

Dónde:

T_p= Turbiedad de agua pre-filtrada.

T_f=Turbiedad de agua filtrada

(Lazo & Verdugo, 2015)

Tabla 3. Eficiencia comparativa del proceso de filtración.

Clasificación	Valor de Eficiencia
Excelente	>90
Muy buena	80-90
Buena	70-80
Regular	<70

(Fuente: Lazo & Verdugo, 2015)



CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA Y MATERIALES

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Estudio analítico, no experimental descriptivo de corte transversal.

2.2. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la planta de tratamiento de agua de la parroquia Aurelio Bayas, perteneciente a la ciudad de Azogues, que provee de líquido vital a 1296 usuarios lo que corresponde aproximadamente a 5000 personas. En esta planta se emplean dos sistemas de purificación de agua simultáneamente que son la filtración rápida y la filtración lenta para cubrir con la demanda requerida especialmente en épocas de sequía. Se recolecta el agua de diferentes fuentes siendo las principales Chagrarcazhca, Mahuarcay, Pilzho y Santa Ana, mediante canales abiertos en sus inicios y luego por tubería PVC, y con ayuda de la gravedad el agua es dirigida hacia la planta; a lo largo del recorrido se va sumando más agua originada de otras fuentes pequeñas, además del uso de rejillas y desarenadores para reducir la contaminación con material grueso como hojas, palos, piedras y arena. Una vez que el agua llega a la planta se divide en dos procesos, para la filtración lenta principalmente se emplea el agua de la captación de Santa Ana que es la más antigua.

Para el proceso de filtración rápida el agua llega a través de cuatro tuberías en donde el caudal se puede regular manualmente mediante válvulas, en este sistema se manejan las siguientes etapas: coagulación, floculación, sedimentación, pre-filtración y filtración, mientras que en la filtración lenta el agua solamente se filtra a través de arena en una mayor unidad de tiempo pero con una alta retención de contaminantes.

Luego de atravesar estos procesos el agua es conducida por tuberías a un mezclador donde se reúne el total de agua procesada que después es enviada a la desinfección y finalmente a un tanque de almacenamiento de donde se

distribuye a la comunidad. La planta posee un tanque de 200 m³ de capacidad, conectado por tubería cerrada a dos tanques ubicados en el sector de la iglesia del Señor de Flores para su posterior distribución. Existe además una tubería que abastece al sector Tabacay, zona aledaña a la planta.

La planta lleva un control cada 2 horas de los parámetros: pH, turbiedad, color, cloro residual y una vez a la semana se realiza alcalinidad., dureza, cloruros, nitritos, nitratos, sulfatos, fósforo y aluminio. También se realizan análisis microbiológicos cada 3 meses.

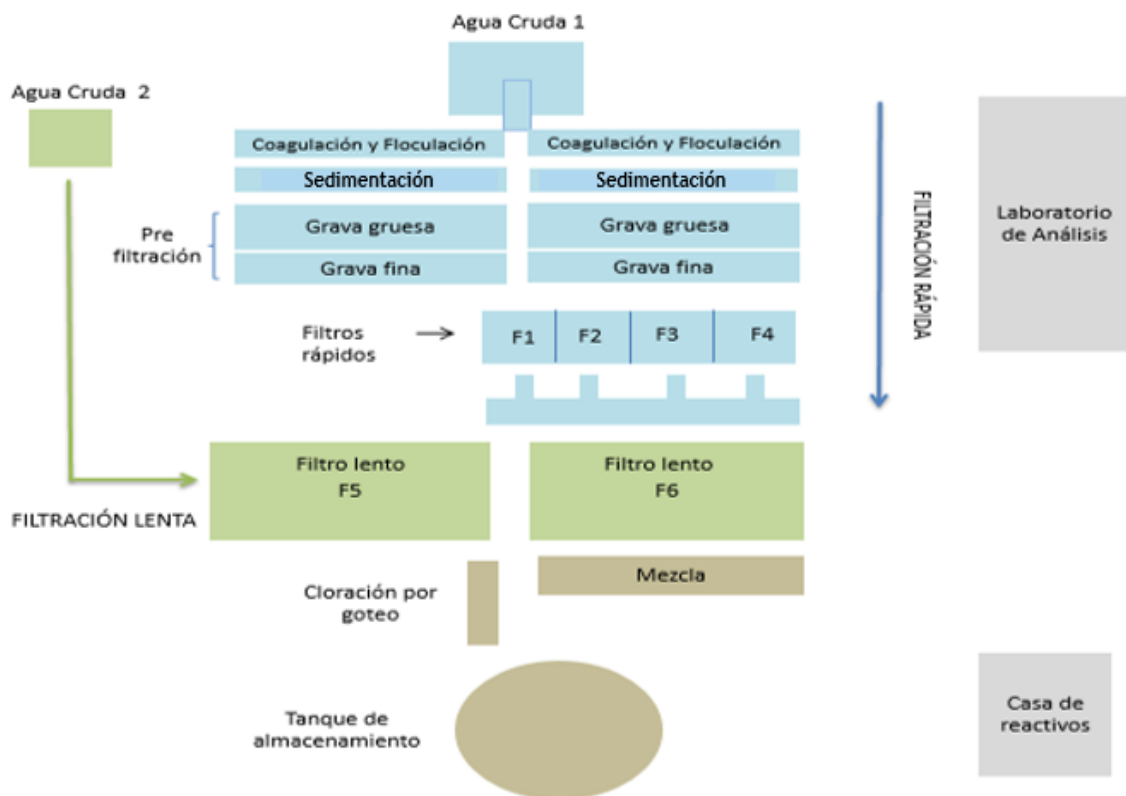


Figura 1. Esquema de la planta de potabilización de agua de Bayas

(Fuente: Las autoras)

2.3. MUESTREO

El tipo de muestreo fue simple con un estudio no probabilístico debido a que las muestras tomadas fueron al azar. Teniendo en cuenta que la planta de tratamiento consta de dos procesos de potabilización diferentes que son proceso 1 o filtración rápida y proceso 2 o filtración lenta, a continuación se

indica los puntos de muestreo dentro de cada proceso.

Tabla 4. Puntos de muestreo con sus respectivos códigos

FILTRACIÓN RÁPIDA o PROCESO 1 (P1)		FILTRACIÓN LENTA o PROCESO 2 (P2)	
Zona de muestreo	Código	Zona de muestreo	Código
Agua cruda	AE1		
Agua de entrada pre-filtro 1	AEP1		
Agua de entrada pre-filtro 2	AEP2		
Agua de salida pre-filtro 1	ASP1		
Agua de salida pre-filtro 2	ASP2		
Agua de entrada filtro 1	AEF1	Agua cruda	AE2
Agua de entrada filtro 2	AEF2	Agua de entrada filtro 5	AEF5
Agua de entrada filtro 3	AEF3	Agua de salida filtro 5	ASF5
Agua de entrada filtro 4	AEF4		
Agua de salida filtro 1	ASF1		
Agua de salida filtro 2	ASF2		
Agua de salida filtro 3	ASF3		
Agua de salida filtro 4	ASF4		

MEZCLA : Agua salida (AS)

El muestreo se realizó durante 4 semanas del 09 de mayo al 24 de junio del 2016 los días lunes, miércoles y viernes, alcanzando un total de 12 días de muestreo. Se tuvieron 17 puntos de muestreo y de cada punto se tomó dos muestras por día, una para análisis físico químico y otra para análisis microbiológico, obteniendo un total de 408 muestras durante todo el estudio realizado, en las cuales se realizaron los análisis indicados en la siguiente tabla.

Tabla 5. Análisis realizados durante el estudio

Fechas	MAYO						JUNIO					
	Del 09 al 13			Del 23 a 27			Del 06 al 10			Del 20 al 24		
Días de muestreo	L	M	V	L	M	V	L	M	V	L	M	V
Puntos de muestreo	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Por muestra	Fisicoquímicos	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Microbiológico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Por día	Fisicoquímico	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
	Microbiológico	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Total de parámetros diariamente	272	272	272	272	272	272	272	272	272	272	272	272
Total de parámetros semanalmente	816			816			816			816		
Total final de parámetros analizados	3264											

2.4 INSUMOS, MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO
Tabla 6. Implementos de laboratorio de acuerdo a los parámetros analizados

ANÁLISIS	REACTIVOS	EQUIPOS	MATERIALES
Color	Agua destilada	Colorímetro	Tubos de Nessler
		Marca: Orbeco-Hellige Aqua Tester	
Turbiedad		Turbidímetro	
		Marca: HACH 2100Q	
Sólidos disueltos totales		Conductímetro	
Conductividad		Marca: HACH BE	
Temperatura		RIGHT P1-4	
Alcalinidad	* Ácido clorhídrico (HCl) 0,01N		Vasos de precipitación
	* Bromocresol Green-Methyl Red Indicator Powder		
Dureza Total	* EDTA 0,01N		Bureta
	* Hidróxido de amonio		
Dureza Cálctica	* Negro de eriocromo		Soporte metálico
	* EDTA 0,01N		
Sulfato	* Murexida		
	Sulfaver 4 Sulfate Reagent		
Nitrito	Nitraver 3 Nitrite Reagent	Espectrofotómetro	Tubos de ensayo
Nitrato	Nitraver 5 Nitrate Reagent		
Cobre	Cuver 1 Cupper Reagent		
Cromo	Chromaver 3 Chromium Reagent		
		Estufa	
Coliformes totales	Medios de cultivo: * Lauril sulfato de sodio	Marca: Memmert	Tubos de ensayo
		Autoclave	
Coliformes fecales	Medios de cultivo: * Bilis Verde brillante * Medio SIM	Marca: GLOWS LS-1	Gradillas
		Balanza	
		Marca: BOECO Germany BWL 61	Pipetas estériles
		Baño maría	Lámparas de alcohol
		Marca: Memmert	Asa para cultivo
		Autoclave	
		Marca :GLOWS LS-1	
		Balanza	
		Marca: BOECO	
		Germany BWL 61	

* Para la preparación de éstos reactivos ver Anexos B, C, D y E



2.5 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Para el análisis físico-químico se siguió las directrices señaladas en la OPS/CEPIS. Se tomó la muestra en un recipiente de polietileno completamente limpio de 500 ml de capacidad, en las zonas con escaso movimiento (agua cruda, agua de entrada a los pre-filtros y agua de salida de los filtros) se sostuvo el frasco de la parte inferior y se lo sumergió aproximadamente 20 cm. Para zonas difíciles de alcanzar (agua de salida de los pre-filtros, agua de ingreso a los filtros y tanque de almacenamiento) se empleó un recipiente atado a una tirilla limpia para realizar varias tomas de diferentes puntos y a distintas profundidades, con el fin de que se homogenice en el recipiente. Éstas técnicas se realizaron para obtener una muestra representativa (CEPIS, 2005).

En el presente trabajo se analizaron 17 muestras diarias en las cuales se determinó pH, temperatura, color, turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, alcalinidad, dureza (total, cálcica y magnésica), cobre, cromo, sulfato, nitrito y nitratos. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Análisis de Calidad de Agua de la Universidad de Cuenca ubicado en el campus Balzay, para los respectivos análisis.

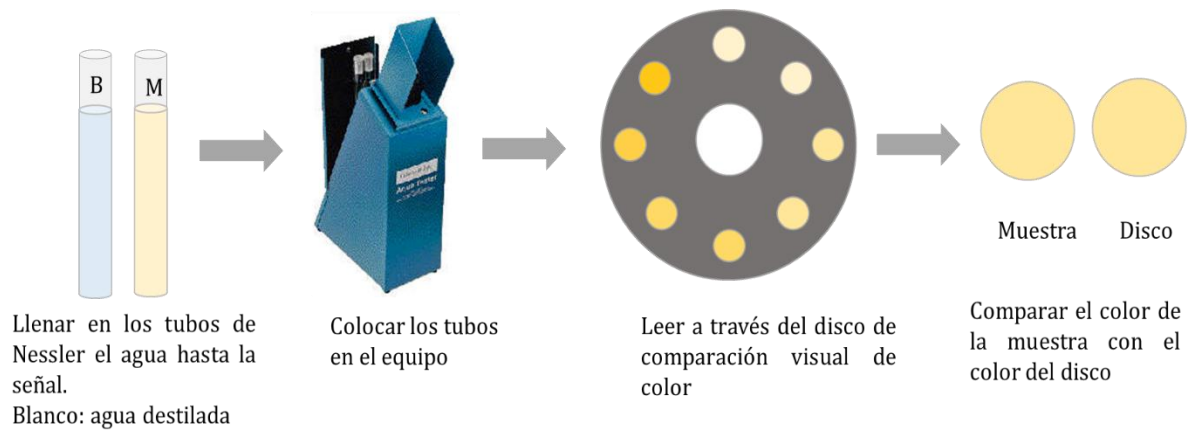
2.5.1 Determinación de color aparente

Fundamento: Se realizó por comparación visual del color aparente de una muestra de agua con discos de cristal de color calibrados previamente con una solución de cloroplatinato de potasio. Los discos de comparación varían en un rango de 0 a 50 UC, cuando el color es mayor se realizan diluciones. La unidad para medición de color que se usa como estándar, es el color que produce 1 mg/L de platino en forma de ión cloroplatinato.

El color puede aumentar con el incremento del pH de la muestra por eso es importante reportar también la medición del pH.

Interferencias:

- Turbiedad, incluso ligera
- pH elevado (APHA, AWWA, WPFC, 1992)

Proceso:**Figura 2.** Determinación del color aparente

(Fuente: Las autoras)

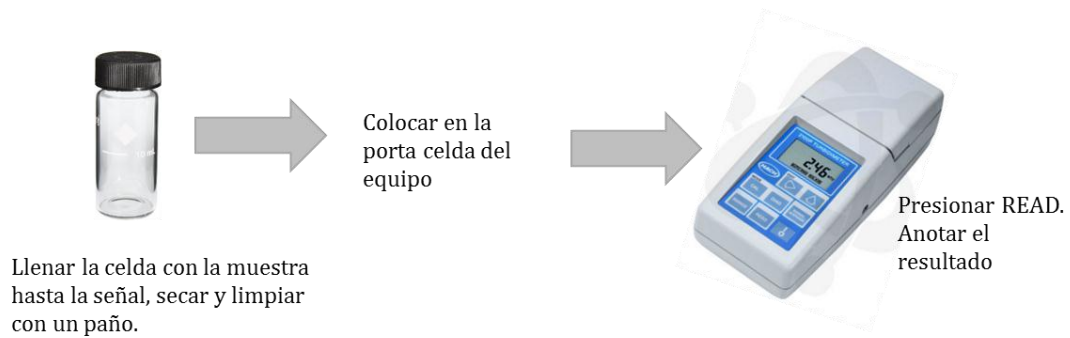
2.5.2 Determinación de la turbiedad

Fundamento: Se utilizó el método nefelométrico, el cual se fundamenta en la propiedad óptica de una muestra que impide que los rayos luminosos que la atraviesan se transmitan en línea recta y lo hagan de manera dispersa. La cantidad de luz dispersada por la muestra se compara con la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. La relación entre la intensidad de la luz dispersada y la turbidez es directa (NTE INEN 0971, 1984).

Interferencias:

- Vidriería sucia
- Burbujas de aire
- Cuando se ha producido floculación

(Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Proceso:**Figura 3.** Determinación de turbiedad

(Fuente: Las autoras)

2.5.3 Determinación de sólidos disueltos totales

Fundamento: En agua dulce a partir de la conductividad se puede dar una estimación de la concentración de sólidos totales disueltos mediante el método electrométrico, el cual se basa en medir la cantidad de sales disueltas contenidos en una muestra de agua filtrada. Los residuos filtrables en medio acuoso que han atravesado una membrana con poros de 2µm o menos, corresponden a sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o microgranular (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

Interferencias:

- El agua fuertemente mineralizada con concentración significativa de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- y/o SO_4^{2-}

(Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Proceso: Con el mismo equipo se determinó sólidos totales disueltos, conductividad y temperatura.

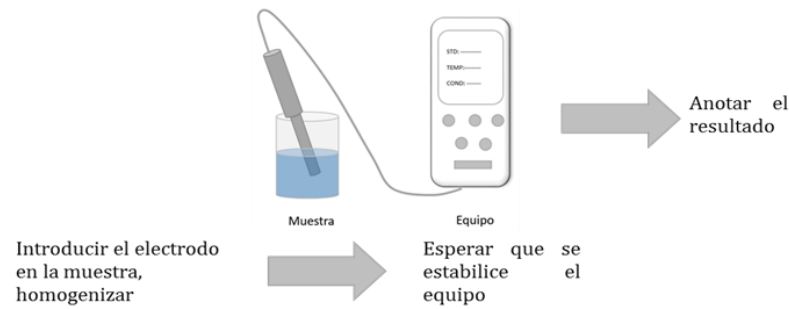


Figura 4. Determinación de sólidos disueltos, conductividad y temperatura

(Fuente: Las autoras)

2.5.4 Determinación de conductividad

Fundamento: Su determinación se basa en una medida indirecta de la cantidad de iones en solución. Se emplea un conductímetro electrónico el cual origina una diferencia de voltaje entre dos electrodos que están inmersos en el agua, la caída en el voltaje dada por la resistencia del paso de electricidad del agua es utilizada para calcular la conductividad por centímetro.

Interferencias:

- Actividad biológica que se presente en el agua.
- Exposición de la muestra a la atmosfera, por la pérdida de gases disueltos.
- Materia o partículas grasas en tamaño considerable.

(Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013)

Proceso: Se empleó el mismo proceso y equipo usados en la determinación de sólidos totales disueltos.



2.5.5 Determinación de temperatura

Fundamento: La temperatura es un parámetro físico que afecta mediciones de otros como pH, alcalinidad o conductividad. El método electrométrico consiste en la medida directa de la temperatura en grados Celsius utilizando un sensor electrométrico (conductímetro). La temperatura en estos equipos suele tener una resolución de $\pm 0.1 - 0.01^{\circ}\text{C}$ y el intervalo de medición va desde 0 hasta al menos 50°C (Vives, 2003) (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

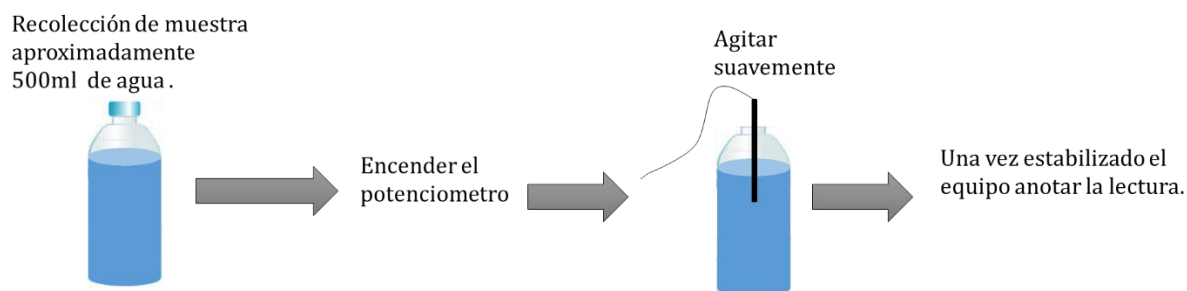
Proceso: Se empleó el mismo proceso y equipo usados en la determinación de sólidos totales disueltos.

2.5.6 Determinación de pH

Fundamento: Método electrométrico, se basa en la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas. El potenciómetro consta de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución y que se mide en un galvanómetro. La corriente puede transformarse fácilmente en unidades de pH. El valor del pH depende de la temperatura. El equipo se calibra potenciométricamente, con un electrodo indicador de vidrio y uno de referencia (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Interferencia:

- Temperatura.
- Efectos mecánicos y químicos.
- Electrodo muy sensibles (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013)

Proceso:**Figura 5.** Determinación de pH

(Fuente: Las autoras)

2.5.7 Determinación de alcalinidad

Fundamento: Para su determinación se empleó la titulación en donde la muestra se valora con una solución de ácido mineral fuerte hasta pH 8.3 y 4.5. Estos puntos finales determinados visualmente mediante indicadores adecuados, son los puntos de equivalencia seleccionados para la determinación de los tres componentes fundamentales. Con el indicador de fenolftaleína, el pH 8.3 está próximo al punto de equivalencia para las concentraciones de carbonato y dióxido de carbono y representa la valoración de todo el hidróxido y la mitad del carbonato, mientras que el pH inferior 4.5 está próximo al punto de equivalencia para el ión hidrógeno y el bicarbonato y permite determinar la alcalinidad total (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Interferencia:

- Muestras fuertemente coloreadas o turbias.
- Presencia de cloro residual puede blanquear el indicador.
- Presencia de carbonatos asociados a la materia en suspensión (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Proceso:

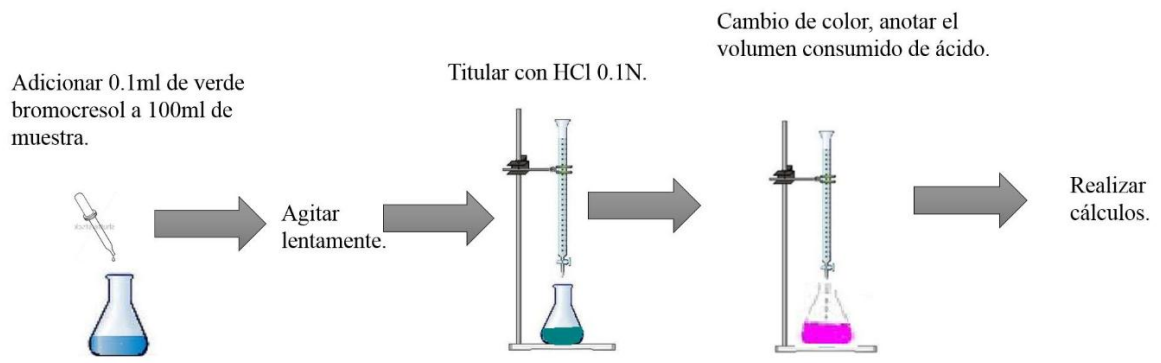


Figura 6. Determinación de alcalinidad

(Fuente: Las autoras)

Cálculos:

$$\text{Alcalinidad } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{V_{\text{H}^+} * N * \text{mEqCaCO}_3 * 1000 * 1000}{V_m}$$

Dónde:

- A = Es la capacidad de reacciona con los iones de hidrógeno, expresada en milimoles por litro, de la alcalinidad compuesta valorable a pH 8.3
- N(H+) = Es la concentración real, expresada en moles por litro, de la solución de ácido clorhídrico utilizada
- V_m = Es el volumen, en mililitros, de la porción de ensayo (normalmente 100 mL)
- V_{H+} = Es el volumen, en mililitros, de la solución de ácido clorhídrico consumida hasta alcanzar pH 8.3

(APHA, AWWA, WPFC, 1992)

2.5.8 Determinación de dureza total

Fundamento: Se analizó mediante titulación en donde el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y sus sales de sodio forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de 10, se añade una pequeña cantidad de colorante, como negro de eriocromo T, la solución toma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación, los iones calcio y magnesio formarán un complejo y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiara del rojo vino al azul, señalando el punto final de la titulación (APHA, AWWA, WPFC, 1992).

Interferencia: A las concentraciones habitualmente encontradas en nuestras aguas crudas y tratadas, no interfieren otras sustancias (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Proceso:

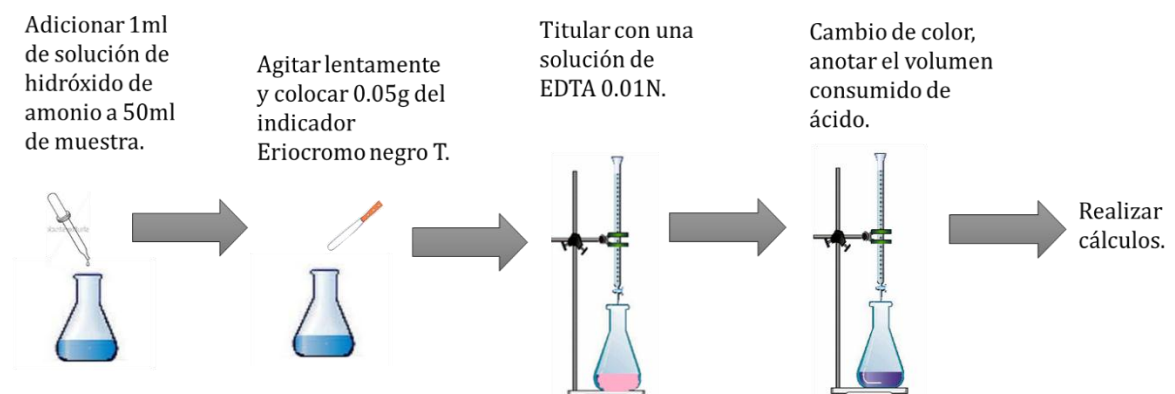


Figura 7. Determinación de dureza total

(Fuente: Las autoras)

Cálculo:

$$\text{Dureza total, en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ como CaCO}_3 = \frac{V_{\text{EDTA}} * N * K * \text{mEq CaCO}_3 * 1000 * 1000}{V_{\text{muestra}}}$$



Dónde:

V_{EDTA}	Volumen de solución de EDTA utilizando en la titulación, en
=	mL
$V_{muestra}$	Volumen de la muestra, en mL
=	
N	Normalidad de la solución de EDTA
=	
K	Constante de titulación de la solución de EDTA
=	
mEq	miliequivalente gramo de $CaCO_3$
=	

(APHA, AWWA, WPFC, 1992)

2.5.9 Determinación de dureza cálcica

Fundamento: El calcio puede determinarse directamente por titulación con EDTA, cuando el pH es suficientemente alto para que el magnesio precipite como hidróxido, y se usa un indicador que reaccione únicamente con el calcio. Varios indicadores cambian de color cuando todo el calcio ha formado un complejo en el EDTA a un pH de 12 a 13. Cuando el EDTA se añade al agua que contiene calcio y magnesio, éste se combina primeramente con el calcio (NTE INEN 1107, 1984).

Interferencia: A las concentraciones habitualmente encontradas en muestras de aguas crudas y tratadas, no interfieren otras sustancias (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Proceso:

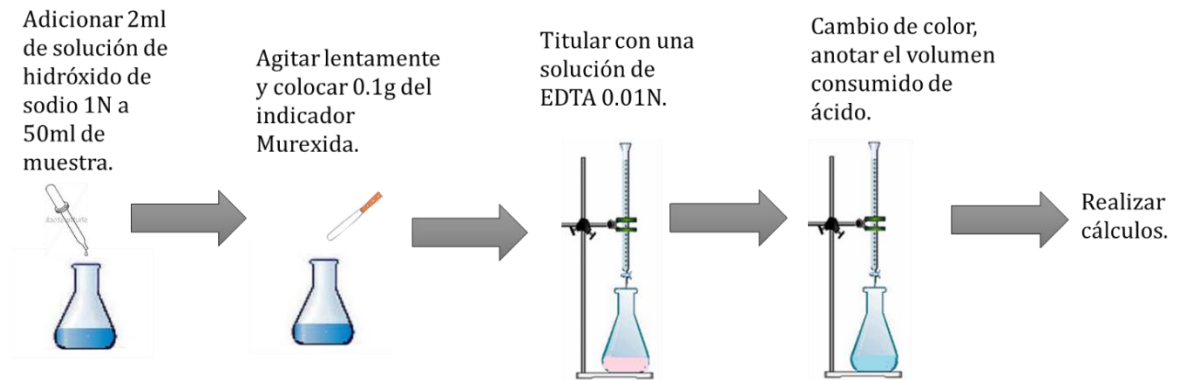


Figura 8. Determinación de dureza cálcica

(Fuente: Las autoras)

Cálculo:

$$\text{Dureza cálcica, en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ como } \text{CaCO}_3 = \frac{V_{\text{EDTA}} * N * K * \text{mEq Ca} * 1000 * 1000}{V_{\text{muestra}}}$$

Dónde:

- V_{EDTA} = Volumen de solución de EDTA utilizando en la titulación, en ml
- V_{muestra} = Volumen de la muestra, en ml
- N = Normalidad de la solución de EDTA
- K = Constante de titulación de la solución de EDTA
- mEq = miliequivalente gramo de Ca

(APHA, AWWA, WPFC, 1992)



2.5.10 Determinación de dureza magnésica

Fundamento: La dureza del magnesio se determina por diferencia entre la dureza total y la de calcio (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Cálculo:

$$\text{Dureza mágnésica, en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ como CaCO}_3 = D_T - D_{Ca}$$

Dónde:

D_T Dureza total, en mg/L como CaCO_3
=
 D_{Ca} Dureza cálcica, en mg/L como CaCO_3
=

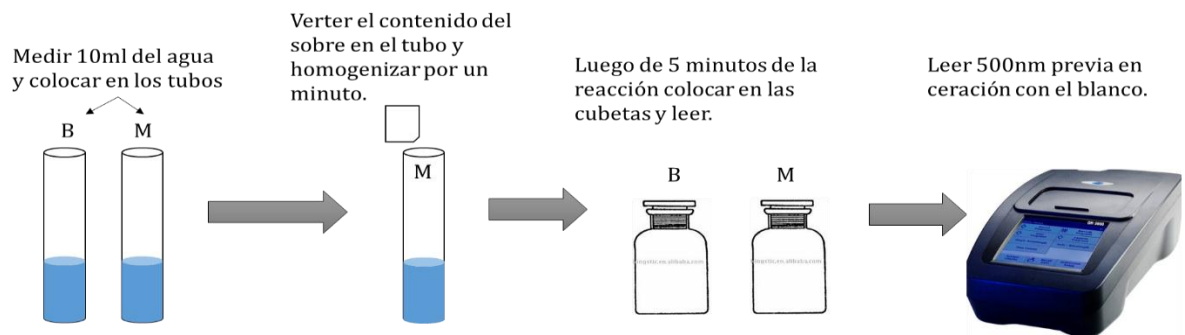
(APHA, AWWA, WPFC, 1992)

2.5.11 Determinación de nitratos

Fundamento: el cadmio metálico reduce a nitrito el nitrato presente en la muestra. El ión nitrito reacciona al pH de la muestra con ácido sulfanílico formando una sal de diazonio intermedia. Esta sal se acopla al ácido gentísico y forma un producto de color ámbar (HACH, 2000).

Interferencias

- Sustancias fuertemente reductoras y oxidantes.
- Hierro férrico.
- Cloruro superiores a 100 mg/L (HACH, 2000).

Proceso:**Figura 9.** Determinación de nitratos

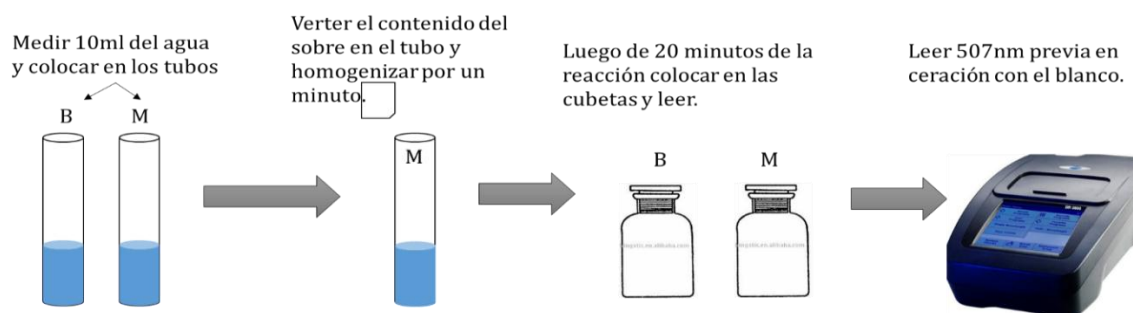
(Fuente: Las autoras)

2.5.12 Determinación de nitritos

Fundamento: el nitrito en la muestra reacciona el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia. Esta se acopla al ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente (HACH, 2000).

Interferencias:

- Sustancias fuertemente oxidantes y reductoras.
- Los iones cúpricos, ferrosos y férricos (HACH, 2000).

Proceso:**Figura 10.** Determinación de nitritos

(Fuente: Las autoras)

2.5.13 Determinación de cobre

Fundamento: el cobre en la muestra reacciona con una sal del ácido de bicinconinato para formar un complejo de color púrpura proporción a la concentración de cobre (HACH, 2000).

Interferencias:

- pH 2 o menos.
- Presencia de plata.
- Presencia de cianuro (HACH, 2000).

Proceso:

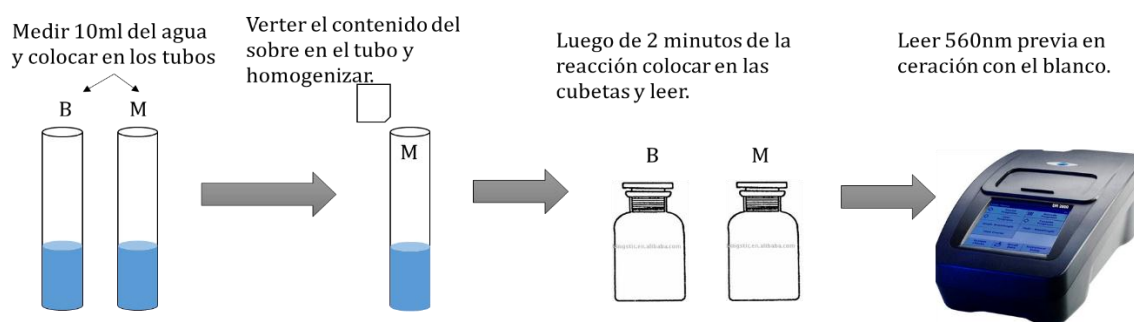


Figura 11. Determinación de cobre

(Fuente: Las autoras)

2.5.14 Determinación de sulfatos

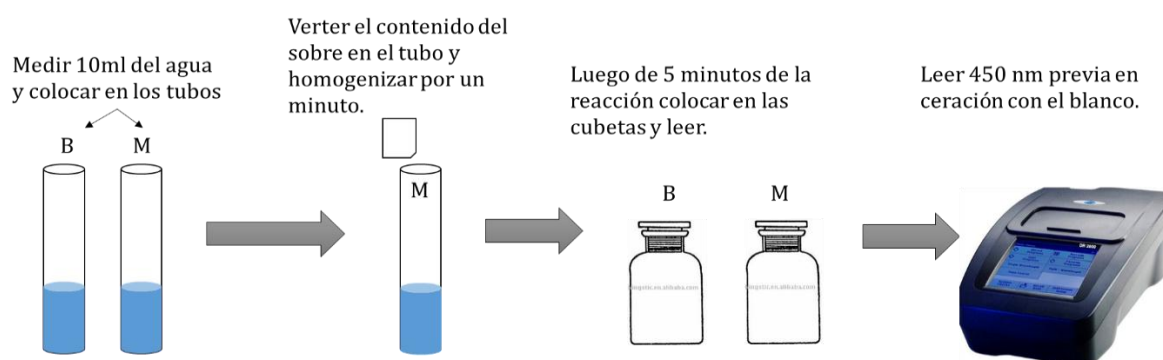
Fundamento: los iones de sulfato en la muestra reaccionan con el bario y forman una turbidez de sulfato de bario insoluble. La cantidad de turbidez formada es proporcional a la concentración de sulfato (HACH, 2000).

Interferencias: Los siguientes elementos interfieren en niveles mayores a las concentraciones listadas a continuación:

Tabla 7. Interferencias para la determinación de sulfato

Calcio	20000mg/L como CaCO ₃
Cloruro	40000mg/L como Cl
Magnesio	10000mg/L como CaCO ₃
Sílice	500mg/L como CaCO ₃

(Fuente: HACH, 2000)

Proceso:

Figura 12. Determinación de sulfatos

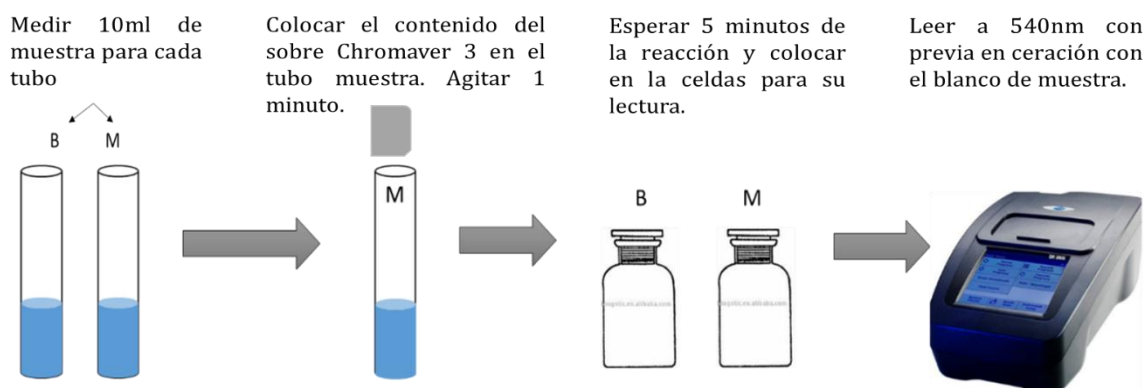
(Fuente: Las autoras)

2.5.15 Determinación de cromo hexavalente

Fundamento: Se determinó por el método colorimétrico, en donde el cromo hexavalente en medio ácido, reacciona con la difenilcarbazida originando un compuesto de coloración rojiza - púrpura, cuya intensidad fotométrica a 540 nm es proporcional a la concentración de cromo presente en la muestra de agua (HACH, 2000).

Interferencias:

- Valores superiores a 1mg/L de hierro.
- Cuando el pH es extremo.
- Valores superiores a 1mg/L de vanadio si se deja más de 10 minutos para la lectura.
- Muestras con turbidez elevada (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Proceso:**Figura 13.** Determinación de cromo hexavalente

(Fuente: Las autoras)

2.6 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Siguiendo las directrices de los Standart Methods, al análisis microbiológico se lo realizó en envases de plástico estériles autoclavables de boca ancha y tapa rosca con una capacidad de 100 mL. En la toma de muestra de agua tratada se le adicionó 0.1 mL de solución de tiosulfato de sodio al 1.8 %, cuya finalidad fue neutralizar la presencia del cloro residual. Los recipientes estuvieron previamente etiquetados y las muestras se tomaron de las mismas zonas que se muestrearon para el físico-químico. En el caso del agua de salida de los pre-filtros, agua de ingreso a los filtros y tanque de almacenamiento se empleó una cuerda limpia para atarla al recipiente y con previo impulso se recolectó la muestra. El transporte se lo hizo en una caja hermética empleada únicamente para el traslado de muestras para estudio microbiológico, la misma que constó de una funda de hielo para su debida conservación durante el viaje de traslado al laboratorio de la Universidad de Cuenca en Balzay (Aurazo, 2004).

2.6.1 Determinación de coliformes totales y fecales

Fundamento: Se empleó la técnica de los tubos múltiples en la cual se aprovecha la capacidad de los coliformes totales para fermentar la lactosa con producción de gas y ácido cuando se los incubaba a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un medio de cultivo que posea sales biliares y consta de dos etapas: presuntiva y confirmatoria.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Fase presuntiva:** Se realiza la siembra en caldo lauril sulfato que contenga campana de Durham para que las bacterias que estén dañadas se recuperen y aprovechen la lactosa como fuente de carbono.
- **Fase confirmatoria:** Se cultiva las bacterias en caldo de Bilis Verde Brillante (BGBL) con campana de Durham el cual es un medio selectivo y permite el crecimiento únicamente de microorganismos tolerantes a las sales biliares y el verde brillante. Para la determinación de coliformes fecales se aprovecha su capacidad de fermentar lactosa con la formación de gas a una temperatura de $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se parte de los tubos que dieron positivo en la fase presuntiva y se realiza simultáneamente una siembra en caldo BGBL con una campana de Durham y en tubos que contengan medio SIM (Sulfuro, Indol y Motilidad) manteniéndolos a la temperatura antes mencionada. Después del periodo de incubación si se reporta formación de gas en el medio BGBL y una reacción positiva con el indol entonces el resultado es positivo para coliformes fecales. Para la etapa confirmatoria se emplea la prueba del indol y motilidad (Arcos & al, 2005) (Tchobanoglous, 2000) (Romero, 2002) (NTE (NTE INEN 1529-8, 1990).
- **Prueba del indol**

El medio SIM está conformado por tripteína y peptona que aportan al desarrollo microbiano. El triptófano es un aminoácido constituyente de muchas peptonas particularmente de la tripteína y en presencia de coliformes es metabolizado a indol por la acción de las triptofanasas. El indol se combina con el aldehído del reactivo de Erlich o de Kovacs para dar un compuesto de coloración roja. Se inocula el cultivo con asa bacteriológica por picadura recta en el del medio SIM a $35 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas y luego se añade 0.2 a 0.3 mL del reactivo de Kovacs o de Erlich, después de 10 minutos se observa el resultado. Se reporta como resultado positivo cuando se da la formación de un halo rojo sobre el cultivo y si el reactivo permanece amarillento la prueba es negativa (APHA, AWWA, WPFC, 1992).
- **Prueba de motilidad**

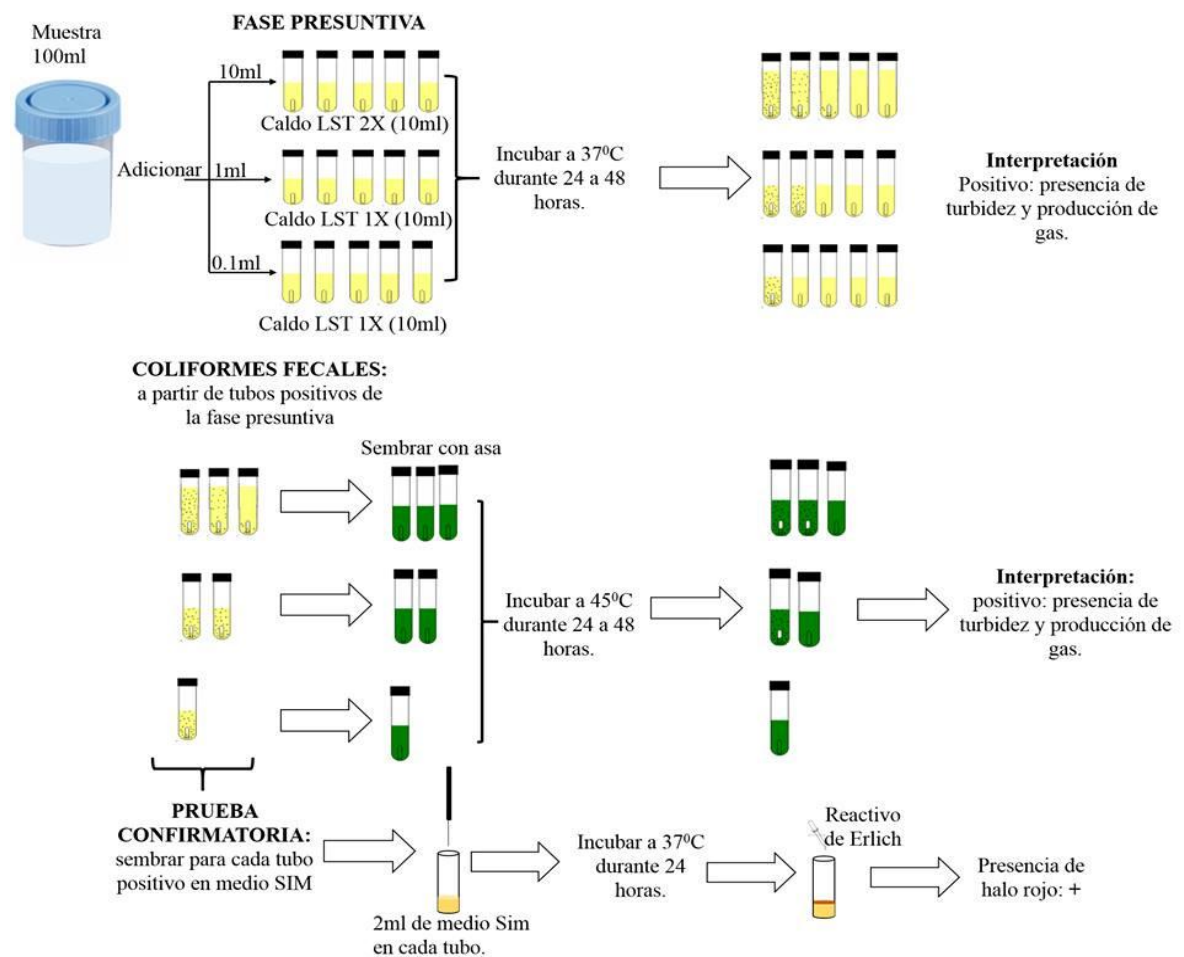
A partir del tiosulfato de sodio las bacterias pueden originar ácido sulfhídrico que reacciona con el hierro, presente en el medio, para

formar un compuesto de color negro. El medio SIM al tener consistencia semisólida es el medio adecuado para detectar la movilidad ya sea por enturbiamiento o por difusión del crecimiento de la colonia más allá de su lugar de siembra. Se deja en incubación por 1 a 2 días a 35 °C (BRITANIA, 2015).

Interferencias:

- Presencia de cloro en los envases de toma de muestras.
- Contaminación del medio de cultivo.

Proceso: se realiza de acuerdo al siguiente esquema.



* Interpretación de resultados: de acuerdo al número de tubos positivos verificar el código respectivo en la tabla del NMP. Anexo F

Figura 14. Determinación de coliformes totales y fecales por el NMP

(Fuente: Las autoras)



2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó estadística descriptiva con medidas de tendencia central y tablas para presentar los resultados generales de los análisis físico-químicos y microbiológicos. La comparación entre los filtros de proceso de filtración rápida, con el fin de evaluar si trabajaban de manera diferente, se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA) de todos los parámetros estudiados. La comparación de la filtración entre el procesos 1 y proceso 2 se analizó mediante pruebas t-Student de dos colas aplicadas a todos los parámetros analizados considerando el incremento o remoción de cada parámetro.

Los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de significancia del 5 %. El análisis de varianza y el test de Student se realizaron en el programa Stata 10.0 (Stata Corporation, College Station, TX).

Para la evaluación de la eficacia de los filtros empleados en filtración rápida (4 filtros) así como del filtro empleado en la filtración lenta (1 filtro) se determinó en base a la turbiedad. Para el análisis se utilizó el sistema operativo Microsoft Excel 2010 y se lo representó en tablas.



CAPÍTULO 3

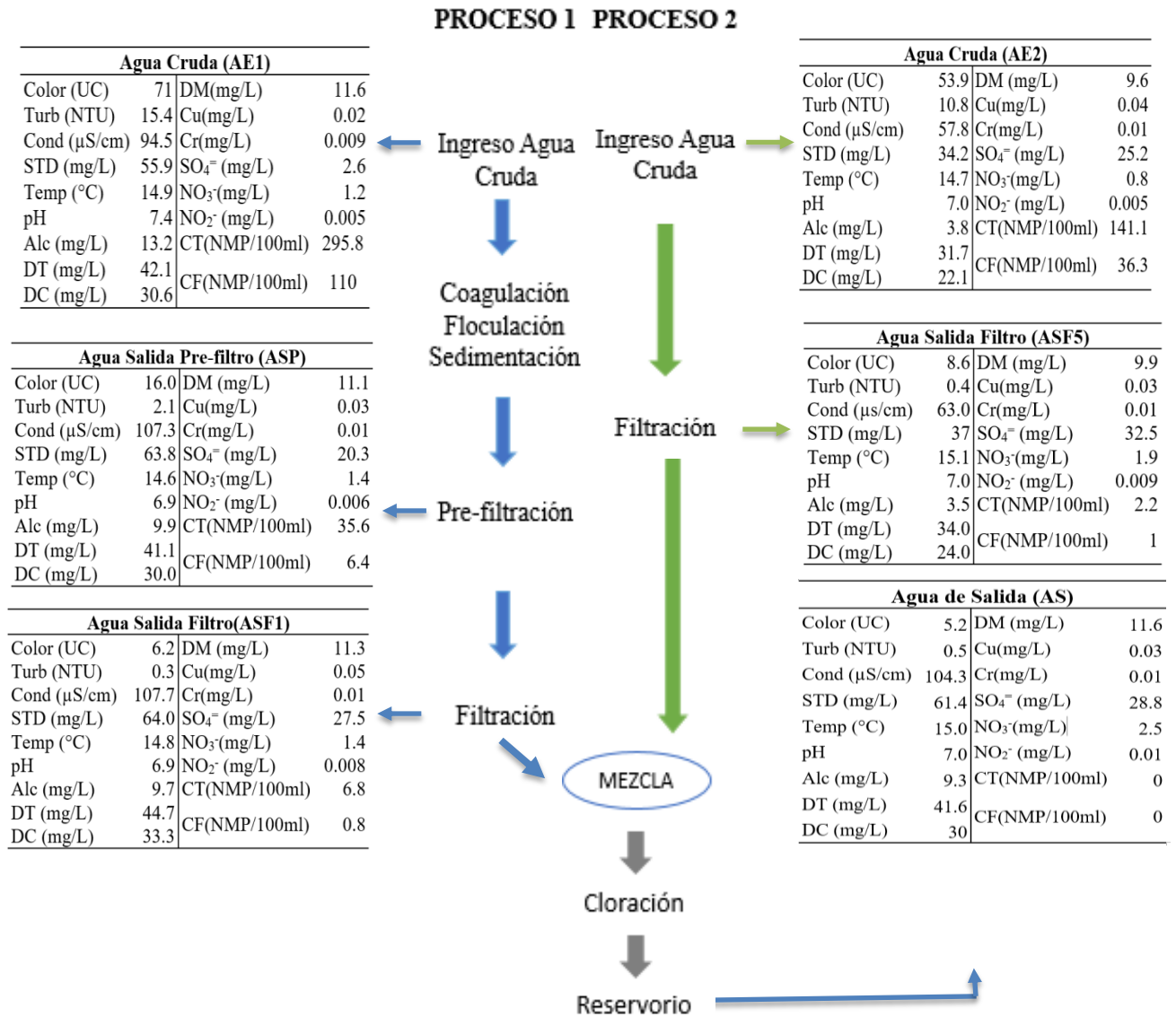
RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO EN EL PROCESO 1 Y PROCESO 2 DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.

A continuación se indica el análisis realizado de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua procesada por filtración rápida denominada en este estudio **Proceso 1** y el agua procesada por filtración lenta denominada **Proceso 2**. En el Proceso 1 se tomaron muestras de agua cruda, agua de ingreso y salida a los pre-filtros, agua de ingreso y salidas de los filtros. En el Proceso 2 las muestras tomadas fueron de agua cruda, agua de ingreso al filtro y agua de salida del filtro. Los parámetros determinados en cada muestra fueron color, turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura, pH, alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, y concentración de cobre, cromo, sulfatos, nitratos, nitritos, coliformes totales y fecales.

En la Figura 15 se indican algunos de los resultados obtenidos en el análisis en diferentes puntos de muestreo para tener una idea global de como varían los parámetros a medida que pasan por diferentes etapas del proceso de potabilización:

- En el proceso 1 se registran los valores promedio de los parámetros en agua cruda, agua de salida de los pre-filtros (promedio) y el agua de salida del filtro 1 (los 4 filtros trabajan de manera similar); la mayor cantidad de material queda retenido dentro de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.
- En el proceso 2 están registrados los valores promedio de los parámetros en agua cruda y en agua después de salir del filtro. Toda la remoción se realiza en la filtración.
- Por último están los valores del agua de salida que se encuentra en el tanque de reserva de la planta y está lista para la distribución.



Parámetros	Código	Parámetros	Código
Color	Color	Dureza magnésica	DM
Turbiedad	Turb	Cobre	Cu
Conductividad	Cond	Cromo	Cr
Sólidos Totales Disueltos	STD	Sulfato	SO ₄ ⁼
Temperatura	Temp	Nitratos	NO ₃ ⁻
pH	pH	Nitritos	NO ₂ ⁻
Alcalinidad	Alc	Coliformes totales	CT
Dureza total	DT	Coliformes fecales	CF
Dureza cálcica (mg/L)	DC		

Figura 15. Proceso de purificación del agua empleados en la planta de Bayas, incluidos parámetros físicos, químicos y microbiológicos determinados en diferentes puntos de muestreo.

(Fuente: Las autoras)

3.1.1 Filtración Rápida o Proceso 1

Dentro de este proceso se tuvieron 13 puntos de análisis. Los resultados de los 5 primeros puntos (agua cruda 1, entrada y salida de los dos pre-filtros 1 y 2) se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del proceso de filtración rápida o proceso 1 determinados en agua cruda, agua de ingreso y salida de los pre-filtros (1 y 2), expresados como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).

	AGUA CRUDA		ENTRADA-SALIDA PRE-FILTRO 1				ENTRADA-SALIDA PRE-FILTRO 2			
	AE1		AEP1		ASP1		AEP2		ASP2	
	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)
Color (UC)	71 ± 2 9.6	48 - 150	20.7 ± 12.9	10.0 - 53.0	16.2 ± 9.2	8.0 - 42.0	19.8 ± 12.1	10.0 - 50.0	15.9 ± 7.8	8.0 - 36.0
Turbiedad (NTU)	15.4 ± 12.2	8.6 - 53.7	3.0 ± 1.9	1.7 - 9.1	2.2 ± 0.9	1.2 - 4.9	2.9 ± 1.1	1.7 - 7.4	2.0 ± 1.0	1.2 - 5.0
Conductividad (µS/cm)	94.5 ± 1.3	89.5 - 98.6	105.8 ± 4.1	99.2 - 115.7	107.2 ± 4.1	100.4 - 116.2	106.1 ± 4.0	100.6 - 115.9	107.3 ± 4.1	100.4 - 116.4
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	55.9 ± 1.3	53.4 - 57.5	63.1 ± 1.5	60.7 - 66.4	63.9 ± 1.7	61.2 - 66.8	63.3 ± 1.6	61.0 - 66.5	63.8 ± 1.8	61.2 - 67.3
Temperatura (°C)	14.9 ± 0.9	13.8 - 16.2	14.6 ± 0.9	13.4 - 16.4	14.6 ± 0.9	13.6 - 16.4	14.6 ± 0.8	13.5 - 16.4	14.6 ± 0.8	13.6 - 16.4
pH	7.4 ± 0.08	7.2 - 7.5	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.1	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.0	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.0	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.0
Alcalinidad (mg/L)	13.2 ± 1.5	11.0 - 15.0	9.5 ± 1.2	6.0 - 12.0	9.8 ± 1.5	6.0 - 13.0	9.5 ± 1.4	6.0 - 12.0	10.0 ± 1.1	8.5 - 13.0
Dureza total (mg/L)	42.1 ± 6.0	27.5 - 52.5	40.5 ± 3.7	31.0 - 47.5	41.4 ± 5.4	35.0 - 55.0	39.4 ± 4.8	31.0 - 47.5	40.8 ± 3.5	35.0 - 45.0
Dureza cálcica (mg/L)	30.6 ± 5.6	18 - 40	29.3 ± 2.4	23.0 - 35.0	30.3 ± 4.3	23.0 - 39.5	29.6 ± 4.0	23.0 - 36.0	29.7 ± 2.2	26.0 - 33.0
Dureza magnésica (mg/L)	11.6 ± 1.5	9 - 14.5	11.2 ± 2.2	5.5 - 16.0	11.1 ± 2.1	7.5 - 15.5	9.8 ± 1.9	5.5 - 12.5	11.2 ± 1.6	7.5 - 13.5
Cobre (mg/L)	0.02 ± 0.02	0 - 0.07	0.02 ± 0.02	0 - 0.06	0.03 ± 0.02	0.0 - 0.07	0.02 ± 0.02	0 - 0.05	0.03 ± 0.02	0.01 - 0.07
Cromo (mg/L)	0.009 ± 0.007	0 - 0.02	0.009 ± 0.007	0 - 0.02	0.01 ± 0.008	0.001 - 0.03	0.008 ± 0.007	0 - 0.02	0.01 ± 0.008	0.001 - 0.03
Sulfato (mg/L)	2.6 ± 2.5	0 - 9	20.3 ± 4.9	11.0 - 32.0	20.3 ± 4.8	11.0 - 32.0	20.3 ± 4.8	11.0 - 32.0	20.4 ± 5.3	11.0 - 33.0
Nitratos (mg/L)	1.2 ± 1.0	0.3 - 4.1	1.2 ± 1.0	0.3 - 4.1	1.4 ± 1.1	0.5 - 4.3	1.2 ± 1.0	0.3 - 4.1	1.4 ± 1.0	0.5 - 4.2



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Nitritos (mg/L)	0.006 ± 0.004	0.001 - 0.01	0.006 ± 0.004	0.001 - 0.02	0.01 ± 0.00	0.0 - 0.02	0.006 ± 0.004	0.001-0.015	0.01 ± 0.00	0.00-0.02
Coliformes totales (NMP/100ml)	295.8 ± 115.0	80 - 500	54.9 ± 30.3	17 - 110	31.4 ± 34.0	6 - 140	99.7 ± 79.8	21 - 300	39.7 ± 43.2	8 - 140
Coliformes fecales (NMP/100ml)	110 ± 103.9	0 - 350	13.8 ± 6.3	2.0 - 22	6.1 ± 3.5	0 - 12	13.8 ± 6.4	2.0 - 26	6.8 ± 4.4	0 - 14



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los resultados de los 8 siguientes puntos de muestreo (agua de entrada y salida de los cuatro filtros rápidos) se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del proceso de filtración rápida o proceso 1 determinados en agua de ingreso a los filtros (1, 2, 3 y 4) y en agua de salida de los filtros (1, 2, 3 y 4), expresados como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).

	ENTRADA – SALIDA FILTRO 1				ENTRADA – SALIDA FILTRO 2			
	AEF1		ASF1		AEF2		ASF2	
	X ± DE	(mín - máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)
Color (UC)	16.3 ± 8.7	8.0 - 42.0	6.2 ± 4.2	3.0 - 19	15.0 ± 5.4	8.0 - 27.0	5.6 ± 1.6	4.0 - 10
Turbiedad (NTU)	2.4 ± 0.9	1.5 - 4.8	0.3 ± 0.2	0.1 - 0.7	2.4 ± 0.9	1.5 - 4.8	0.3 ± 0.1	0.2 - 0.74
Conductividad (µS/cm)	108.0 ± 3.5	102.9 - 116.5	107.7 ± 4.1	101.9 - 114.6	108.4 ± 4.0	102.5 - 117.9	107.3 ± 4.6	100.7 - 114.7
Sólidos Totales Disueltas (mg/L)	64.0 ± 1.8	61.1 - 67.8	64 ± 1.9	61 - 66.7	64.2 ± 1.9	61.0 - 68.0	64 ± 1.9	61.1 - 66.6
Temperatura (°C)	14.8 ± 0.7	13.8 - 15.8	14.8 ± 0,8	13.9 - 16.4	14.9 ± 0.8	13.8 - 16.2	14.8 ± 0.9	13.9 – 16.2
pH	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.0	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.0	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.1	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.1
Alcalinidad (mg/L)	9.7 ± 1.0	7.5 - 12.0	9.7 ± 1.3	7.5 - 12	9.4 ± 1.1	7.5 - 12.0	9.6 ± 1.1	7.5 - 12
Dureza total (mg/L)	40.4 ± 3.5	35.0 - 47.5	44.7 ± 3.7	37.5 - 50	39.2 ± 3.8	30.0 - 45.0	44.5 ± 3.7	40 - 50
Dureza cálcica (mg/L)	29.3 ± 3.7	23.0 - 36.0	33.3 ± 3.6	26.5 - 38	28.0 ± 3.4	19.0 - 31.0	33.2 ± 3.6	28.5 - 39
Dureza magnésica (mg/L)	11.1 ± 1.2	9.0 - 12.5	11.3 ± 1.2	9.0 - 14	11.2 ± 1.1	9.5 - 14.0	11.3 ± 1.4	7.5 – 13.5
Cobre (mg/L)	0.033 ± 0.023	0 - 0.07	0.05 ± 0.04	0.01 – 0.1	0.03 ± 0.02	0.01 - 0.07	0.04 ± 0.04	0 – 0.1
Cromo (mg/L)	0.01 ± 0.008	0.002 - 0.03	0.01 ± 0.1	0 – 0.04	0.01 ± 0.007	0.002 - 0.03	0.01 ± 0.01	0.002 – 0.03
Sulfato (mg/L)	20.2 ± 4.8	11.0 - 32.0	27.5 ± 10.1	15 - 54	20.3 ± 5.0	11.0 - 33.0	24.8 ± 11.5	14 - 59
Nitratos (mg/L)	1.4 ± 1.1	0.5 - 4.3	1.4 ± 0.8	0.5 - 3	1.4 ± 1.1	0.5 - 4.3	1.4 ± 0.7	0.5 - 2.5
Nitritos (mg/L)	0.006 ± 0.004	0.001 - 0.01	0.008 ± 0.003	0.003 – 0.01	0.006 ± 0.004	0.001 - 0.01	0.008 ± 0.004	0.001- 0.01



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Coliformes totales (NMP/100ml)	45.8 ± 45.7	8 – 170	6.8 ± 6	0 - 21	34.3 ± 30.2	11 - 130	2.6 ± 2.5	0 - 7
Coliformes fecales (NMP/100ml)	6.8 ± 4.1	2.0 - 17	0.8 ± 1	0 - 2	8.3 ± 4.9	0 - 17	0.8 ± 1.3	0 - 4

	ENTRADA-SALIDA FILTRO 3				ENTRADA-SALIDA FILTRO 4			
	AEF3		ASF3		AEF4		ASF4	
	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)
Color (UC)	15.1 ± 7.1	10.0 - 36.0	5.8 ± 2.7	4.0 - 14.0	15.1 ± 5.5	10.0 - 31.0	5.8 ± 3.4	3.0 - 16
Turbiedad (NTU)	2.3 ± 0.9	1.4 - 4.3	0.3 ± 0.2	0.1 - 0.5	2.3 ± 0.8	10.0 - 31.0	0.3 ± 0.1	0.1 - 0.5
Conductividad (µS/cm)	108.9 ± 4.4	101.8 - 119.5	108.3 ± 4.0	102.9 - 116.2	108.9 ± 3.9	101.5 - 117.2	108.4 ± 4.6	101.1 - 116.8
STD (mg/L)	64.5 ± 2.2	61.3 - 69.6	64.1 ± 1.9	61.5 - 66.9	64.4 ± 2.1	61.2 - 68.1	64.2 ± 1.9	61.3 - 67.1
Temperatura (°C)	14.9 ± 0.8	13.8 - 16.8	15 ± 0.8	14.2 – 16.5	15.1 ± 0.7	13.9 - 16.1	15.0 ± 0.9	13.9 - 16.6
pH	6.9 ± 0.2	6.5 - 7.1	6.9 ± 0.1	6.8 - 7.1	6.9 ± 0.1	6.6 - 7.1	6.9 ± 0.1	6.7 - 7.1
Alcalinidad (mg/L)	9.8 ± 1.4	7.5 - 13.0	9.8 ± 1.2	8.0 - 13	9.5 ± 1.5	6.0 - 12.0	9.8 ± 1.1	9.0 - 13
Dureza total (mg/L)	39.4 ± 3.8	30.0 - 45.0	44.2 ± 7.9	25 - 55	39.3 ± 3.8	32.5 - 45.0	45.8 ± 4.3	37.4 - 50
Dureza cálcica (mg/L)	29.0 ± 3.9	21.5 - 36.5	33.2 ± 6.6	17.5 - 41	28.2 ± 3.6	20.5 - 32.5	34.1 ± 3.9	26.5 - 38
Dureza magnésica (mg/L)	10.3 ± 1.9	7.0 - 13.5	11.1 ± 1.7	7.5 - 14	11.1 ± 1.2	8.0 - 12.5	11.7 ± 0.8	10 - 12.5
Cobre (mg/L)	0.03 ± 0.02	0.01 - 0.07	0.04 ± 0.03	0.01 – 0.1	0.03 ± 0.02	0.01 - 0.07	0.04 ± 0.04	0.01 – 0.1
Cromo (mg/L)	0.01 ± 0.008	0 - 0.03	0.009 ± 0.007	0 – 0.02	0.01 ± 0.007	0.003 - 0.03	0.01 ± 0.01	0.004 – 0.03
Sulfato (mg/L)	20.3 ± 5.0	11.0 - 33.0	26.2 ± 7.0	13 - 36	20.3 ± 5.0	11.0 - 33.0	25.2 ± 9.0	14 - 48
Nitratos (mg/L)	1.4 ± 1.1	0.5 - 4.3	1.8 ± 1.0	0.6 - 4.2	1.4 ± 1.1	0.5 - 4.3	1.7 ± 1.0	0.6 - 3.3
Nitritos (mg/L)	0.006 ± 0.004	0.001 - 0.01	0.009 ± 0.003	0.003 – 0.01	0.006 ± 0.004	0.001 - 0.01	0.01 ± 0.007	0.003 – 0.024
Coliformes totales (NMP/100ml)	25.5 ± 26.8	4 - 110	6.3 ± 4.4	0 - 17	31.8 ± 20.1	12.0 - 80	5.1 ± 4.1	0 - 12
Coliformes fecales (NMP/100ml)	6.9 ± 3.8	2.0 - 13	1.2 ± 1.5	0 - 4	7.9 ± 5.6	0 - 21	1.8 ± 2.2	0 - 7



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En los resultados obtenidos en la tabla 8 se observó que el color, turbiedad, coliformes totales y coliformes fecales fueron los parámetros que mayor disminución presentaron luego de que el agua fue sometida a la coagulación, floculación, sedimentación. Los mismos parámetros disminuyen en la pre-filtración en menor proporción. En cambio la conductividad y sólidos totales disueltos fueron los parámetros que presentaron elevación en su concentración luego de ser sometidos a los procesos de coagulación, floculación y sedimentación lo cual se debe a la adición del sulfato de aluminio y polímero que son los químicos empleados en el proceso. El pH disminuye por la presencia del sulfato de aluminio y al pasar los pre-filtros no demuestra variación.

La alcalinidad, dureza total, dureza cálcica y dureza magnésica disminuyeron en cantidades mínimas, que puede deberse a que en la sedimentación queda retenido gran cantidad de material suspendido y sedimentable que provocan la presencia de estos parámetros (SENA, 1990).

La cantidad de sulfato aumentó notablemente debido a la adición de sulfato de aluminio para la coagulación.

En los metales pesados cobre y cromo se observó una elevación mínima al atravesar los pre-filtros por lo que se presume este incremento al arrastre de sustancias retenidas en la grava o provenientes de los lodos (Pérez, 2016). Sin embargo la concentración de estos metales se mantiene lejos de los límites establecidos por la norma INEN 1108.

La cantidad de nitratos y nitritos no variaron significativamente y al igual que los metales sus valores son bajos.

En la tabla 9 se indica la variación de cada parámetro luego de que el agua es sometida a la filtración en el proceso 1. Los parámetros de color, turbiedad, coliformes totales y coliformes fecales son los que demuestran principalmente una disminución en los cuatro filtros de manera que al finalizar esta etapa el color y la turbiedad se vuelven aceptables según lo que exige la norma INEN 1108:2014 mientras que para el caso de coliformes se necesita la desinfección



para su eliminación total para cumplir con lo exigido en la normativa.

La dureza total, cálcica y magnésica varían con un aumento ligero lo que se sugiere puede deberse al arrastre de sustancias que quedan retenidas entre los gránulos de arena del filtro y se van arrastrando cierta cantidad con el paso del agua, mucho más con el paso de los años a pesar de que realice el retrolavado. Los valores se mantienen dentro de los rangos aceptables.

Los demás parámetros analizados permanecieron sin una variación considerable en los cuatro filtros.

El filtro 1 y 2 presentó una mayor remoción de coliformes totales y fecales en comparación con los filtros 3 y 4. De todos los filtros el valor más alto registrado para el recuento de coliformes totales fue de 6.8 NMP/100mL y de coliformes fecales fue de 1.8 NMP/100ml lo cual indica lo beneficioso del proceso pues disminuye a bajos niveles la contaminación microbiológica antes de aplicar el desinfectante.

3.1.2 Filtración Lenta o Proceso 2

En la filtración lenta se obtuvieron 3 puntos de análisis (agua cruda 2, agua de entrada y salida del filtro 5 o filtro lento) cuyos resultados se indican en la tabla 10.

De acuerdo esta tabla, el agua que sigue el tratamiento de filtración lenta tuvo una disminución elevada del color y turbiedad luego de que atravesara el lecho filtrante. El agua cruda (AE2) y el agua de entrada al filtro (AEF5) no presentan una variación marcada en los parámetros físico-químicos aunque en el recuento de coliformes totales y fecales es mayor en el agua de la piscina que aún no atraviesa el filtro lo cual puede deberse a que en la superficie del lecho filtrante se forma la capa biológica constituida en gran parte por microorganismos.

La filtración lenta retiene una gran concentración de material suspendido cuando el agua atraviesa la capa biológica pero a lo largo del filtro se siguen dando reacciones químicas por la presencia de microorganismos que degradan dicho material y como subproductos de esta reacción se obtiene otros

compuestos como sales inocuas, sulfatos, nitratos y fosfatos además de dióxido de carbono y bajo contenido de oxígeno disuelto (CEPIS-OPS/OMS, 2002). Esto explica el aumento que se registra para el caso de la conductividad, sólidos totales disueltos, dureza total, nitratos y sulfatos; sin embargo, el grado de elevación no indica riesgo pues se mantiene dentro de los parámetros recomendados para agua potable.

Tabla 10. Resultados del análisis físico-químico y microbiológico del proceso de filtración lenta o proceso 2 (P2) determinados en agua cruda, agua de ingreso al filtro (5) y agua de salida del filtro (5), expresado como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).

	AGUA CRUDA 2		ENTRADA FILTRO		SALIDA FILTRO	
	AE2		AEF5		ASF5	
	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)	X ± DE	(mín-máx)
Color (UC)	53.9 ± 18.1	38 - 104	55.4 ± 26.3	38.0 - 124.0	8.6 ± 3.7	5.0 - 15
Turbiedad (NTU)	10.8 ± 4.6	5.8 - 22.3	8.9 ± 2.4	5.9 - 14.3	0.4 ± 0.2	0.2 - 0.6
Conductividad (µS/cm)	57.8 ± 9.7	47.9 - 76.1	60.3 ± 8.1	50.3 - 72.8	63.1 ± 8.7	51.7 - 74
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	34.2 ± 5.8	28.2 - 45.9	35.4 ± 5.0	30 - 43.4	37 ± 5.4	30.3 - 44
Temperatura (°C)	14.7 ± 0.8	13.8 - 16.0	14.9 ± 0.8	14.0 - 16.6	15.1 ± 0.9	14.2 - 16.6
pH	6.97 ± 0.2	6.6 - 7.2	7.03 ± 0.2	6.7 - 7.2	6.98 ± 0.1	6.9 - 7.1
Alcalinidad (mg/L)	3.8 ± 1.9	2.5 - 9.0	3.5 ± 0.8	2.5 - 5.0	3.5 ± 1.2	2.5 - 6
Dureza total (mg/L)	31.7 ± 8.2	20.0 - 45.0	31.6 ± 6.1	22.5 - 40	34 ± 6.5	27.5 - 50
Dureza cálcica (mg/L)	22.1 ± 7.1	13.0 - 32.0	21.8 ± 5.5	30 - 43.4	24.0 ± 5.9	16.5 - 38
Dureza magnésica (mg/L)	9.6 ± 1.9	7.0 - 13.0	9.7 ± 1.2	7 - 11.4	9.9 ± 1.4	7.0 - 12
Cobre (mg/L)	0.04 ± 0.01	0.02 - 0.07	0.02 ± 0.01	0.01 - 0.06	0.03 ± 0.04	0 - 0.1
Cromo (mg/L)	0.01 ± 0.008	0 - 0.03	0.01 ± 0.009	0.0 - 0.03	0.01 ± 0.01	0 - 0.04
Sulfato (mg/L)	25.2 ± 9.5	2.0 - 38.0	25.2 ± 9.5	2.0 - 38.0	32.5 ± 12.6	18 - 67
Nitratos (mg/L)	0.8 ± 0.7	0.1 - 2.6	0.8 ± 0.6	0.1 - 2.6	1.9 ± 1.0	0.6 - 3.7
Nitritos (mg/L)	0.004 ± 0.005	0.0 - 0.02	0.006 ± 0.005	0 - 0.02	0.009 ± 0.005	0.002 - 0.02
Coliformes totales (NMP/100mL)	141.0 ± 74.5	12 - 300	214.2 ± 70.1	110 - 350	2.2 ± 2.9	0 - 9
Coliformes fecales (NMP/100mL)	36.3 ± 23.3	0 - 80	62.5 ± 55.3	21 - 220	1.0 ± 1.3	0 - 4

Los parámetros temperatura, pH, alcalinidad, cobre, cromo y nitritos no presentan una variación muy marcada más bien se mantienen en su mayoría y están dentro de los valores permisibles indicados en la tabla 2.

En cuanto a coliformes totales y fecales, la retención en el filtro es muy elevada



registrando un valor promedio de 2.2 NMP/100ml para coliformes totales y 1.0 NMP/100ml para coliformes fecales a la salida del filtro.

3.1.3 Agua de mezcla de los dos procesos

Al finalizar los dos procesos, en la planta de tratamiento se mezcla el agua del proceso 1 con la del proceso 2 para su posterior desinfección, obteniéndose agua tratada final o agua de salida que es recolectada en el tanque de reserva y desde ahí se distribuye; por lo tanto, se tomó también una muestra de agua de salida para verificar como varían los parámetros luego de la mezcla y cloración. Los resultados obtenidos en el agua de salida se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos determinados en el agua de mezcla del proceso 1 con el proceso 2 luego de haber sido sometida a cloración, expresado como media (X), desviación estándar (DE) y valores mínimos y máximos (mín-máx).

	AGUA TRATADA	
	AS	
	X ± DE	(mín-máx)
Color (UC)	5.2 ± 1.6	2.0 - 7.0
Turbiedad (NTU)	0.5 ± 0.4	0.2 - 1.5
Conductividad (µS/cm)	104.3 ± 3.9	97.4 - 110
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	61.3 ± 2.3	58.3 - 65.1
Temperatura (°C)	15.0 ± 0.7	14.2 - 16.4
pH	6.9 ± 0.1	6.7 - 7.1
Alcalinidad (mg/L)	9.3 ± 1.4	7.5 - 13
Dureza total (mg/L)	41.6 ± 4.6	36.1 - 52.5
Dureza cálcica (mg/L)	30 ± 4.3	24.5 - 40
Dureza magnésica (mg/L)	11.6 ± 0.7	10.5 - 12.5
Cobre (mg/L)	0.03 ± 0.03	0.01 - 0.1
Cromo (mg/L)	0.01 ± 0.009	0.001 - 0.03
Sulfato (mg/L)	28.7 ± 8.1	17 - 43.0
Nitratos (mg/L)	2.5 ± 1.3	0.9 - 4.5
Nitritos (mg/L)	0.01 ± 0.004	0.003 - 0.02
*Coliformes totales (NMP/100mL)	0 ± 0	0 - 0
*Coliformes fecales (NMP/100mL)	0 ± 0	0 - 0

* Se emplean números simples para la realización de los análisis estadísticos.

De los resultados obtenidos en el agua de salida la turbiedad es la única que eleva su valor ya que al finalizar el Proceso 1 la turbiedad es de 0.3 NTU y al finalizar el



Proceso 2 corresponde a 0.4 NTU pero cuando se determina su valor en el agua después de haber sido mezclada, la turbiedad alcanza un valor de 0.5 NTU, lo que puede deberse a la adición de la solución de hipoclorito de calcio como desinfectante debido a la formación de subproductos como son las sales de calcio que suelen precipitar y pueden resuspenderse aumentando la turbiedad (Oliveira, 2011).

En el caso de los demás parámetros no existe una variación significativa luego de que el agua se mezcla, es decir los dos procesos nos brindan agua de calidad aceptable. Todos los valores de los parámetros analizados se encuentran dentro de los rangos permitidos de acuerdo a la tabla 2 establecidos en la Norma INEN 1108:2014 y organizaciones internacionales, por lo tanto, el agua es apta para el consumo humano.

3.2 COMPARACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA FILTRACIÓN EN EL PROCESO 1 Y PROCESO 2

Los procesos de filtración rápida (P1) y de filtración lenta (P2) fueron comparados mediante pruebas t-Student de todos los parámetros físico-químicos y microbiológicos. La comparación se realizó con las muestras del agua de entrada a los filtros y el agua de salida de los filtros.

En el caso de proceso 1, se trabajó con los valores promedios de los cuatro filtros; mientras que para el proceso 2 se utilizaron los valores del único filtro. La comparación se basó en determinar si el incremento o remoción de los valores de cada parámetro en la filtración difería estadísticamente entre ambos procesos. Por lo tanto, los valores de Δ positivos indicaron una remoción del parámetro analizado y los valores de Δ negativos indicaron un incremento del parámetro analizado (Tabla 10).

Tabla 12. Comparación físico-química y microbiológica de la filtración entre el proceso de filtración rápida (P1) y el proceso de filtración lenta (P2).

PARÁMETRO		Obs	X ± DE	95% IC	Valor P
Δ Color (UC)	P1	48	9.6 ± 4.6	8.296 ; 10.955	< 0.001*
	P2	12	46.8 ± 23.8	31.745 ; 61.922	
Δ Turbiedad (NTU)	P1	48	2.1 ± 0.8	1.815 ; 2.281	< 0.001*
	P2	12	8.7 ± 2.4	7.156 ; 10.161	
Δ Conductividad (μ S/cm)	P1	48	0.6 ± 1.4	0.243 ; 1.033	< 0.001*



Δ Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	P2	12	-2.7 ± 2.6	-4.326 ; -1.041	< 0.001*
	P1	48	0.2 ± 0.8	-0.009 ; 0.468	
Δ Temperatura (°C)	P2	12	-1.6 ± 1.6	-2.593 ; -0.557	0.2066
	P1	48	0.02 ± 0.4	-0.082 ; 0.127	
Δ pH	P2	12	-0.1 ± 0.5	-0.421 ; 0.154	< 0.001*
	P1	48	-0.01 ± 0.1	-0.044 ; 0.014	
Δ Alcalinidad (mg/L)	P2	12	0.06 ± 0.1	-0.023 ; 0.138	0.6861
	P1	48	-0.2 ± 0.9	-0.414 ; 0.102	
Δ Dureza total (mg/L)	P2	12	-0.04 ± 0.8	-0.557 ; 0.473	0.0796
	P1	48	-5.3 ± 4.6	-6.599 ; -3.901	
Δ Dureza cálcica (mg/L)	P2	12	-2.4 ± 6.4	-6.416 ; 1.699	0.0799
	P1	48	-4.8 ± 4.3	-6.077 ; -3.602	
Δ Dureza magnésica (mg/L)	P2	12	-2.2 ± 5.7	-5.839 ; 1.423	0.65
	P1	48	-0.4 ± 1.8	-0.927 ; 0.106	
Δ Cobre (mg/L)	P2	12	-0.2 ± 1.7	-1.247 ; 0.947	0.289
	P1	48	-0.008 ± 0.02	-0.0148 ; -0.0014	
Δ Cromo (mg/L)	P2	12	0.0008 ± 0.04	-0.0218 ; 0.0234	0.9619
	P1	48	-0.0008 ± 0.006	-0.0027 ; 0.0009	
Δ Sulfato (mg/L)	P2	12	-0.001 ± 0.009	-0.0066 ; 0.0046	0.5066
	P1	48	-5.7 ± 6.4	-7.552 ; -3.823	
Δ Nitratos (mg/L)	P2	12	-7.3 ± 11.4	-14.600 ; -0.067	0.0033*
	P1	48	-0.2 ± 0.9	-0.431 ; 0.110	
Δ Nitritos (mg/L)	P2	12	-1.0 ± 0.6	-1.438 ; -0.629	0.7744
	P1	48	-0.003 ± 0.005	-0.0044 ; -0.0013	
Δ Coliformes totales (NMP/100 mL)	P2	12	-0.002 ± 0.004	-0.005 ; 0.0002	< 0.001*
	P1	48	29.2 ± 32.6	19.69 ; 38.64	
Δ Coliformes fecales (NMP/100 mL)	P2	12	212 ± 73.3	165.44 ; 258.56	< 0.001*
	P1	48	6.33 ± 4.4	5.05 ; 7.61	
	P2	12	61.5 ± 57.7	24.83 ; 98.17	< 0.001*

Δ: Diferencia en el agua de salida del filtro con relación al agua de ingreso al filtro.

*: Diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

Las diferencia entre los procesos de filtración fue estadísticamente significativa (P<0.05) para los siguientes parámetros: color (ΔP1 = 9.6 UC vs ΔP2 = 46.8 UC), turbiedad (ΔP1 = 2.1 NTU vs ΔP2 = 8.7 NTU), conductividad (ΔP1 = 0.6 μS/cm vs ΔP2 = -2.7μS/cm), sólidos totales disueltos (ΔP1 = 0.2 mg/L vs ΔP2 = -1.6 mg/L), pH (ΔP1 = -0.01 vs ΔP2 = 0.06), nitratos (ΔP1 = -0.2 mg/L vs ΔP2 = -1,0 mg/L), coliformes totales (ΔP1 = 29.2 NMP/100mL vs ΔP2 = 212 NMP/100mL) y coliformes fecales (ΔP1 = 6.33 NMP/100ml vs ΔP2= -61.5 NMP/100ml).

De acuerdo a estos resultados, en el filtro lento se remociona mayor cantidad



de color, turbiedad, coliformes totales y fecales en comparación con los filtros rápidos, la diferencia observada para cada parámetro puede deberse a que el filtro lento está formado por gránulos más finos de arena lo cual ayuda a la mayor retención y además la capa biológica que se forma en la superficie de éste permite retener gran cantidad de partículas disueltas principalmente microorganismos que ayudan a la descomposición de materia orgánica presente en el agua. En cuanto a la conductividad, sólidos totales disueltos y nitratos existe un aumento en el filtro lo que puede deberse a la formación de sales en la capa biológica y a lo largo de la capa de arena. La ligera disminución de pH del agua luego de atravesar el filtro lento se puede dar por la misma presencia de estas sales (fosfatos, sulfatos y nitratos).

Cabe indicar que además se comparó el trabajo de los cuatro filtros del proceso de filtración rápida y se observó que no existía una diferencia significativa entre ellos con relación a todos los parámetros analizados ($P < 0.05$). Por lo tanto, no existe inconveniente en realizar la comparación entre los procesos utilizando el promedio de los cuatro filtros del proceso 1.

3.3 EFICACIA DE FILTROS

La eficiencia del proceso de filtración es una de las actividades de mayor importancia en las plantas de tratamiento, cuya finalidad es obtener la máxima eficiencia de todas las unidades de filtración. Para la evaluación de los filtros se habla en términos de turbiedad que es el factor principal que disminuye la calidad del agua y es un parámetro que se emplea casi siempre como el criterio de calidad del agua dentro de los procesos de potabilización. Se determina específicamente el grado de remoción que se produce en el proceso, para obtener un valor de turbiedad aceptable en la salida del filtro. En las plantas convencionales la sedimentación y filtración se limitan a la remoción del color y la turbiedad, considerando a los procesos de coagulación y floculación, como acondicionamiento previo del agua para la separación efectiva de partículas (Lazo & Verdugo, 2015) (Aguirre, 2015).

Tabla 13. Eficacia de cada filtro en base a la turbiedad.

EFICACIA DE LA FILTRACIÓN					
		X ± DE	(mín – máx)	Eficiencia %	Total Eficiencia %
Filtro 1		0.871 ± 0.049	0.771 - 0.955	87.1	
Filtro 2	P1	0.854 ± 0.049	0.7652 - 0.922	85.4	87.3
Filtro 3		0.886 ± 0.072	0.72 - 0.950	88.6	
Filtro 4		0.883 ± 0.045	0.796 - 0.943	88.3	
Filtro 5	P2	0.961 ± 0.014	0.932 - 0.985	96.1	96.1

La eficacia del filtro 5 (96 %) correspondiente al proceso 2 fue mayor a la eficacia promedio de los 4 filtros del proceso 1 (87 %), lo que sugiere una mayor eficacia de la filtración lenta con respecto a la filtración rápida, lo cual puede ser por causa del tipo de arena y la maduración de la capa biológica, mientras más desarrollada está la capa mayor retención se produce. Se debe evitar que en esta capa se introduzcan palos, piedras u otros objetos para asegurar que el filtro cumpla su función. Durante los dos primeros meses la capa biológica no está bien desarrollada por lo que se trabaja con caudales bajos y se va aumentando progresivamente (SENA, 1990).

3.4 EFICACIA POR PROCESOS

Para la determinación de la eficacia de cada proceso se tomó en consideración la remoción de turbiedad que existió en el agua cruda luego de haber sido sometida a los diferentes procesos. Es decir en el caso del proceso 1, nos indica el porcentaje de remoción de la turbidez luego de que el agua ha sido sometida a coagulación, floculación, sedimentación, pre-filtración y filtración, y para el caso del proceso 2 nos indica el porcentaje de remoción de la turbidez luego de que el agua ha atravesado el único paso que es la filtración.

Tabla 14. Eficacia de cada proceso hasta atravesar la filtración

EFICACIA DE FILTRACIÓN					
		X ± DE	(mín – máx)	Eficiencia %	Total Eficiencia %
Filtro 1		0.97948 ± 0.00692	0.96940 - 0.98957	98	
Filtro 2	P1	0.97852 ± 0.00445	0.96754 - 0.98610	97.9	98.2
Filtro 3		0.98632 ± 0.00420	0.97993 - 0.99142	98.6	
Filtro 4		0.98471 ± 0.00563	0.97372 - 0.99086	98.5	
Filtro 5	P2	0.96822 ± 0.01701	0.94779 - 0.99302	96.8	96.8



Al realizar el promedio de eficacia de los cuatro filtros se sugiere que el proceso 1 (98%) es más eficaz que el proceso 2 (96.8%) con una diferencia mínima. La filtración rápida tiene la ventaja de trabajar con más procesos complementarios a más de la filtración por lo que se suele recomendar para operar con caudales grandes.



CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La eficacia promedio de los cuatro filtros del proceso 1 obtuvo una valoración de 87% que corresponde a una calificación MUY BUENA de acuerdo a lo establecido por la CEPIS-LIMA (2005), mientras que la eficacia del filtro lento del proceso 2 fue del 96 % que lo califica como EXCELENTE. En el caso de la eficacia por procesos completos, en el proceso 1 se obtuvo un promedio de 98 % y en el proceso 2 de 96 % lo que indica un trabajo similar para los dos métodos en la remoción de turbiedad y los califica como EXCELENTES.

En la filtración rápida la mayor remoción de sustancias principalmente color, turbiedad y coliformes se da antes de llegar a los filtros, mientras que en la filtración lenta se da únicamente en el filtro. Los pre-filtros disminuyen bajas cantidades de color y turbiedad y los demás parámetros se mantienen. El agua al ingresar a los filtros rápidos presenta una turbiedad ligeramente mayor a 2 NTU y lo recomendable es que sea menor a este valor. En cuanto al agua de salida la ligera elevación de la turbiedad se presume es por la adición de hipoclorito de calcio.

En los dos procesos existe aumento de conductividad, sólidos totales disueltos y dureza, en el proceso 1 se sugiere es por la adición de químicos y arrastre de sustancias de los espacios intergranulares (pre-filtros y filtros), mientras que en el proceso 2 puede ser por acción de la capa biológica. Los filtros rápidos disminuyen la conductividad y sólidos totales disueltos en pequeñas cantidades.

Los resultados obtenidos señalan que el agua tratada proveniente de la combinación de los procesos 1 y 2, posee los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados en este estudio, dentro de lo estipulado en la normativas nacional (NTE INEN 1108:2014) e internacional (OMS) para agua potable, siendo apta para el consumo humano; por lo tanto, la combinación de estos dos procesos no implica un riesgo en la calidad del agua final.



4.2 Recomendaciones

A partir de este trabajo de titulación se recomienda:

- Se puede continuar con la combinación de los dos procesos de filtración que actualmente posee la planta para abastecer de líquido vital a la comunidad siempre y cuando las condiciones actuales de operación no varíen ampliamente.
- Realizar un estudio sobre la eficacia y tiempo de retención en la etapa de sedimentación de la filtración rápida para optimizar la remoción de turbiedad en esta fase y así obtener un valor menor a 2 NTU antes del ingreso a los filtros, a fin de extender su vida útil.
- Realizar las correcciones ya indicadas en un estudio antes realizado en la misma planta de tratamiento (Carangui, 2015) en cuanto a la granulometría y tamaño de la capa de la arena de los filtros para aumentar su eficacia. Tómese en cuenta que no ha existido renovación de la arena del filtro lento por casi 20 años y de la arena de los filtros rápidos alrededor de 5 años.
- Mantener la limpieza periódica y frecuente de cada una de las unidades del sistema, de manera minuciosa la estructura interna por donde circula el agua para evitar obstrucciones a lo largo del proceso.
- Realizar un análisis de cloro residual para verificar que la dosificación que se aplica sea la correcta ya que en este estudio no se determinó este parámetro y sería importante poder complementar con esta información.



BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, D. (2015). *Evaluación del floculador en la planta de tratamiento de agua potable "La Esperanza" que abastece a los cantones Pasaje, Machala y El Guabo*. Obtenido de Universidad Técnica de Machala: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2928/1/EVALUACI%C3%93N%20PTAP%20LA%20ESPERANZA..pdf>
2. Apella , M., & Araujo, P. (2004). *Microbiología del Agua. Conceptos Básicos*. Obtenido de http://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf
3. APHA, American Public Health, AWWA, American Water Works Association, WPFC, Water Pollution Control Federation. (1992). *Metodos Normalizados*. Madrid: Díaz de Santos S.A.
4. Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Colombia: NOMOS S.A.
5. Arcos, M. d., & al. (2005). *Indicadores microbilógicos de contaminación de las fuentes de agua*. Obtenido de http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf
6. Aurazo, M. (2004). *Manual para analisis basico de calidad del agua de bebida*. Obtenido de OPS/CEPIS: http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/Biblioteca/Manuales_Guias_LibrosDW/manual%20analisis%20basicos%20CA.pdf.
7. AWWA, American Water Works Association. (2002). *Calidad y Tratamiento de Agua. Manual de suministros de agua comunitaria* . Madrid: Edigrafos S.A.
8. AYSA, Agua y Saneamientos Argentinos. (2005). *Proceso de potabilización*. Obtenido de Agua y Saneamiento Argentinos S.A.: http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=657
9. BRITANIA. (Noviembre de 2015). *SIM Medio*. Recuperado el 17 de Julio de 2016, de Laboratorios Britania: <http://www.britanialab.com/productos/B02131%20REV%2001-SIM%20MEDIO.pdf>
10. Caballero, D. (2011). *Manual para evaluacion y diagnostico de plantas de tratamiento de filtracion rapida*. Obtenido de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwirn-WWiYHOAhXEox4KHQxyBuoQFggzMAQ&url=http%3A%2F%2Freposit>



orio.uis.edu.co%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F2155%2F2%2F139086.pdf&usg=AFQjCNEExKoUJQMkHwuRO33LATGfy-dUHCw

11. Carangui, P. (2015). *Desarrollo de un plan para evaluación del sistema de filtración rápida de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23369/1/tesis%20pdf.pdf>
12. CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2005). *Tratamiento de agua para el consumo humano*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/filtrarap1.html>
13. CEPIS-OPS/OMS. (2002). *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental*. Recuperado el Septiembre de 2016, de Desinfección del agua : <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>
14. CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. (2003). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en los diferentes sistemas de desinfección. En C. Campos, *Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (págs. 224-229). México. Obtenido de http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf
15. HACH. (2000). *Procedimientos seleccionados del manual HACH sobre análisis del agua*. Obtenido de Manual del análisis de agua: https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=mfykV8-GG8ulhAag66RA&gws_rd=ssl#q=manual+de+hach+manual+de+análisis+de+agua
16. Herrera, R. (17 de Octubre de 2013). *Filtros rápidos y lentos de arena*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/178630389/Filtro-Lento-y-Rapido-PDF>
17. IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1991). *Determinación de coliformes fecales*. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de Instituto Mexicano del Instituto del Agua: <http://www.ircwash.org/sites/default/files/245.11-91AD-9090.pdf>
18. Lazo, M., & Verdugo, L. (2015). *Evaluación de la eficacia de los filtros durante el proceso de potabilización del agua mediante análisis fisicoquímico y microbiológico*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21726/1/Tesis.pdf>
19. Maldonado, V. (2009). *Filtración*. Obtenido de



- [http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo2/ma1_tomo2_c
ap9.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo2/ma1_tomo2_c
ap9.pdf)
20. Mejía, J. (2010). *Estudio sobre la calidad del agua potable del cantón Gualaquiza*. Obtenido de Gestión ambiental para industrias: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2589>
21. Mejía, M. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras*. Obtenido de Programa de educación para el desarrollo y la conservación: [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/11554/4434/1/Anali
sis_de_la_calidad_del_agua_para_consumo_humano.pdf](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/11554/4434/1/Anali
sis_de_la_calidad_del_agua_para_consumo_humano.pdf).
22. Montoya, C., & al, e. (2011). *Efecto del incremento de la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización*. Recuperado el 2016, de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a11.pdf>
23. Mozaquites, J. (2010). *Mecanismo e Instrumentos para el monitoreo de la calidad del agua*. Obtenido de [http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/29%20mecanismo
s_monitoreo_calidad_agua.pdf](http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/29%20mecanismo
s_monitoreo_calidad_agua.pdf)
24. Navarro, M. (2007). *Determinación de coliformes totales y E. coli*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+
E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-
370e-48ef-9818-ec54a0f01174](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+
E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-
370e-48ef-9818-ec54a0f01174)
25. NMX, Norma Mexicana. (2001). *Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Recuperado el Junio de 2016, de Estados Unidos Mexicanos Secretaría de Economía: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-034-SCFI-
2001.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-034-SCFI-
2001.pdf)
26. NTE INEN 0971, Norma Técnica Ecuatoriana. (1984). *Determinación de la turbiedad. Método Nefelométrico*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0971.1984.pdf>
27. NTE INEN 1107, Norma Técnica Ecuatoriana. (1984). *Agua. Determinación de calcio. Método EDTA*. Obtenido de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1107.1984.pdf>.
28. NTE INEN 1108, Norma Técnica Ecuatoriana. (2014). *Agua Potable*.



- Requisitos*. Obtenido de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
29. NTE INEN 1529-8, Norma Técnica Ecuatoriana. (1990). *Control microbiológico de los alimentos*. Obtenido de Determinación de coliformes fecales y E. coli: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1529.8.1990.pdf>
30. NTE INEN 974, Norma Técnica Ecuatoriana. (1984). *Determinación de la dureza total por titulación con EDTA*. Obtenido de INEN 974: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0974.1984.pdf>.
31. Oliveira, M. (2011). *Subproductos de cloración inorgánicos y orgánicos en las aguas de Castilla y León*. Obtenido de http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/110550/1/DQANB_Dantas_Leite_MV_EstadoActual.pdf
32. OMS, Organización Mundial de la Salud. (1998). *Guías para la calidad del agua potable*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>.
33. OMS, Organización Mundial de la Salud. (2016 a). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el Junio de 2016, de http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/
34. OMS, Organización Mundial de la Salud. (2016 b). *Aspectos Microbiológicos*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_7_fig.pdf
35. Orellana, J. (2005). *Características del Agua Potable*. Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf.
36. Pérez, M. (Abril de 2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados*. Obtenido de <file:///C:/Users/Pc%20Hp/Downloads/UPS-CT005868.pdf>
37. Ramos, L., & al, e. (14 de Junio de 2008). *Análisis de la Contaminación Microbiológica (Coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Martha*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>
38. Rojas, L. (2014). *Agua Cruda*. Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/xptxsou9uyhf/que-es-agua-cruda/>
39. Romero, J. (2002). *Calidad del Agua* (Primera Edición ed.). Colombia: Nomos S.A.
40. Ros, A. (2011). *El agua. Calidad y contaminación*. Obtenido de



- http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjY_Y7Hx4LOAhVFlx4KHRBuAewQFggkMAI&url=http%3A%2F%2Fimagenes.mailxmail.com%2Fcursos%2Fpdf%2F6%2Fagua-calidad-contaminacion-1-2-38286-completo.pdf&usg=AFQjCNHVyKrKgJ
41. SENA, Servicio Nacional de Aprendizaje. (1990). *Control de Calidad del Agua*. Recuperado el 2016, de Programa de Capacitación y Certificación del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/#
42. SENA, Servicio Nacional de Aprendizaje. (1990). *Operación y mantenimiento de plantas de potabilización de agua*. Obtenido de Servicio Nacional de Aprendizaje: http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html
43. SENA, Servicio Nacional de Aprendizaje. (1999). *Operaciones y mantenimiento de plantas de potabilización del agua*. Obtenido de http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html
44. SENA, Servicio Nacional de Aprendizaje. (2002). *Operación de Sistemas de Potabilización de Agua*. Obtenido de Potabilización del agua: https://sena.blackboard.com/bbcswebdav/institution/72310034_potabilizacion/pdf/MaterialUnidades/UNIDAD%203%20AGUAS.pdf
45. Severiche, C, Castillo, M, & Acevedo, R. (2013). *Análisis básico, volumétricos, colorimétrico. Toma de muestra*. Obtenido de Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Agua: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>
46. Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales Para Núcleos Pequeños y Descentralizados*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A. Recuperado el 15 de Julio de 2016
47. UTP, Universidad Tecnológica de Panamá. (2006). *Procedimiento para la medición de sólidos totales*. Recuperado el Junio de 2016, de Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas: <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf>
48. Vargas, L. (2011). *Plantas de tratamiento de filtros lentos*. Obtenido de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/tratagua/lenta/lenta1.html>
49. Vives, J. B. (Julio de 2003). *Manual de técnicas analíticas para la*



UNIVERSIDAD DE CUENCA

determinación para parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos.

Obtenido de INVEMAR:

www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas.pdf



GLOSARIO

- **Ácido Húmico:** son unos de los principales componentes de las sustancias húmicas, las cuales son los constituyentes principales del humus, materia orgánica del suelo.
- **Afluente:** arroyo o río secundario que lleva sus aguas a otro mayor o principal.
- **Antracita:** es el carbón mineral más metamórfico y el que presenta mayor contenido en carbono.
- **Antropogénico:** se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.
- **Cloroplatinato:** resulta de la combinación del cloruro platínico con el cloruro de metal electropositivo.
- **Colmatar:** rellenar una hondonada o depresión del terreno mediante sedimentación de materiales transportados por el agua.
- **Corrosión:** es la pérdida o deterioro de las propiedades físicas y/o químicas de un metal, sobre todo el hierro, al interactuar con su medio.
- **Dispersiones coloidales:** es un sistema formado por dos o más fases, una normalmente fluida (líquido), y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas muy finas.
- **Efluente:** corresponde a un curso de agua, desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.
- **Granulometría:** se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca.
- **Incrustaciones:** es la acción y el efecto de cubrirse una roca, un animal o un vegetal con una costra de sustancia mineral abandonada por el agua que la contiene en disolución.
- **Lecho:** capa o porción de algunas cosas que están o se ponen extendidas horizontalmente sobre otras.
- **Lixiviación:** Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Morbimortalidad:** es un concepto complejo que proviene de la ciencia médica y que combina dos subconceptos como la morbilidad y la mortalidad.
- **Nitrificación:** oxidación del amoníaco a nitritos y posteriormente a nitratos, catalizada por bacterias autotróficas y organismos heterotróficos.
- **Riesgo sanitario:** se refiere a una medida de los posibles perjuicios para la salud de una población concreta derivados de la ocurrencia de una situación peligrosa.
- **Trihalometanos:** son compuestos químicos volátiles que se generan durante el proceso de potabilización del agua por la reacción de la materia orgánica, con el cloro utilizado para desinfectar.

ANEXOS

Anexo A. Perfil de morbilidad del Centro de Salud de la parroquia Bayas.

PERFIL DE MORBILIDAD DE LA UNIDAD OPERATIVA 10

Tabla 15. Principales causas de morbilidad en la población mayor de 5 años en el subcentro de salud de bayas 2015.

ORDEN	PATOLOGÍA	N°	%
1	IRA sin Neumonía (Resfriado común, faringitis, bronquitis)	376	9.4
2	Amigdalitis Aguda	115	2.9
3	Enfermedad Diarreica Aguda	101	2.5
4	Infección de Vías Urinarias	86	2.1
5	Trastornos Metabólicos (Hiperlipidemia, Obesidad y Diabetes)	62	1.5
6	Cefalea	59	1.5
7	Gastritis	51	1.3
8	Parasitosis Intestinal	48	1.2
9	Neuralgias	28	0.7
10	Otras Causas	3093	77.0
	Total	4019	100.0

Tabla 16. Principales causas de morbilidad en la población menor de 5 años en el subcentro de salud de bayas 2015.

ORDEN	PATOLOGÍA	N°	%
1	IRA sin Neumonía (Resfriado común, faringitis, bronquitis)	238	19.3
2	Enfermedad Diarreica Aguda	81	6.6
3	IRA con Neumonía	60	4.9
4	Amigdalitis Aguda	22	1.8
5	Parasitosis Intestinal	15	1.2
6	Anemia	14	1.1
7	Infección de Vías Urinarias	11	0.9
8	Dermatitis	11	0.9
9	Sinusitis	9	0.7
10	Otras Causas	771	62.6
	Total	1232	100.0



Anexo B. Preparación de reactivos.

ALCALINIDAD

- **Solución patrón de carbonato de sodio:** Aproximadamente 0.025 M. Secar de 3 a 5 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) a 250 °C durante 4 horas. Enfriar en el desecador. Disolver 2.65 g en agua y diluir en matraz aforado hasta 1000 mL.
- **Ácido clorhídrico 0.1 M:** Diluir 9.0 mL de ácido clorhídrico HCl con agua hasta 1000 mL. Valorar con una solución patrón de carbonato de sodio Na_2CO_3 .
- **Ácido clorhídrico 0.02 M:** Diluir 1.8 mL de ácido clorhídrico HCl con agua hasta 1000 mL. Valorar con una solución patrón de carbonato de sodio Na_2CO_3 .
- **Solución del indicador de la fenolftaleína:** Disolver 0.1 g de fenolftaleína en 100 mL de etanol [$> 90\%$ (V/V) etanol].
- **Solución indicadora mixta de verde de bromocresol – rojo de metilo:** Disolver 0.2 g de verde de bromocresol y 0.015 g de rojo de metilo en 100 mL de etanol [$> 90\%$ (V/V) etanol].

DUREZA TOTAL

- **Solución Inhibidora:** Pesar 3.7 g de sulfuro de sodio pentahidratado $\text{Na}_2\text{S}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y disolver en agua destilada hasta completar 100 mL.
- **Solución Tampón:** Disolver 1.179 g de la sal disódica del EDTA y 0.644 g de cloruro de magnesio hexahidratado $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 50 mL de agua destilada; adicionar 16,9 g de cloruro de amonio NH_4Cl y 143 mL de hidróxido de amonio concentrado NH_4OH , mezclar y llevarlo a 250 mL con agua destilada.
- **Eriocromo negro T:** Ácido I – (1 hidróxido – 2 naftilazo) – 5 nitro – 2 naftol – 4 sulfónico. Mezclar en un mortero 0.5 g de Eriocromo negro T con 100 g de cloruro de sodio NaCl.
- **EDTA 0.01 M:** Pesar 3.72296 g de la sal disódica del EDTA y llevarlo a



1000 mL con agua destilada. Valorar con una solución patrón de carbonato de calcio CaCO_3 .

- **Solución patrón de carbonado de calcio:** Pesar 1.0 g de carbonato de calcio anhidro CaCO_3 , disolverlo con ácido clorhídrico HCl (1 +1). Añadir 200 mL de agua destilada y hervir unos minutos para eliminar el CO_2 . Enfriar y añadir unas gotas de rojo de metilo, ajustar al color anaranjado por adición de HCl (1 + 1). Transferir a un balón volumétrico de 1000 mL y aforar con agua destilada. Esta solución patrón contiene 1.0 mg CaCO_3 /1.0 mL.

DUREZA CÁLCICA

- **Hidróxido de sodio 1 N:** Pesar 10.0 g de hidróxido de sodio NaOH y llevarlo a 250 mL con agua destilada.
- **Murexida:** Sal común del ácido purpúrico. Mezclar en un mortero 0.2 g de murexida con 100 g de cloruro de sodio NaCl .
- **EDTA 0.01 M:** Pesar 3.72296 g de la sal disódica del EDTA y llevarlo a 1000 mL con agua destilada. Valorar con una solución patrón de carbonato de calcio CaCO_3 .

SOLUCIÓN PATRÓN DE TIOSULFATO DE SODIO 0.1N

- Disolver 25 g de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y aforar a 1000 cm^3 con agua hervida fría y estandarizar con una solución de dicromato de Potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) después de 2 semanas de almacenamiento. Este almacenamiento es necesario para permitir la oxidación de cualquier ion bisulfito presente. Adicionar 1 cm^3 de cloroformo (CHCl_3) con el fin de minimizar la acción bacteriana.

Anexo C. Fichas técnicas del caldo LST

Lauril Sulfato Caldo

Medio recomendado por A.P.H.A. para detección y recuento de coliformes en aguas, aguas residuales y alimentos.

Fundamento

Medio rico en nutrientes, que permite un rápido desarrollo de los microorganismos fermentadores de la lactosa, aún de los fermentadores lentos. La triptosa es la fuente de nitrógeno, vitaminas, minerales y aminoácidos, la lactosa es el hidrato de carbono fermentable, las sales de fosfato proveen un sistema buffer, y el cloruro de sodio mantiene el balance osmótico. Es un medio selectivo, ya que el lauril sulfato de sodio inhibe el desarrollo de la flora acompañante.

Por la fermentación de la lactosa, se produce ácido y gas, éste último se evidencia al utilizar las campanas Durham.

Fórmula (en gramos por litro)		Instrucciones
Triptosa	20.0	Suspender 35,6 g del polvo en 1 litro de agua destilada. Dejar reposar 5 minutos. Calentar a ebullición hasta la disolución total. Distribuir en tubos conteniendo tubos de fermentación. Esterilizar en autoclave durante 15 minutos a 121°C.
Lactosa	5.0	
Cloruro de sodio	5.0	
Lauril sulfato de sodio	0.1	
Fosfato dipotásico	2.75	
Fosfato monopotásico	2.75	
pH final: 6.8 ± 0.2		

Siembra

Para recuento de coliformes totales, técnica del Número Mas Probable:
a.- Para el análisis de muestras fluidas como el agua, sembrar por triplicado: 10



ml en caldo doble concentración y 1 ml y 0,1 ml en caldo simple concentración.

Número de tubos	Volumen de la muestra	Volumen de medio	Concentración del medio
3	10 ml	10 ml	Doble
3	1 ml	10 ml	Simple
3	0.1 ml	10 ml	Simple

b.- Para muestras sólidas (alimentos, cosméticos, fármacos), efectuar diluciones seriadas 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} y sembrar cada dilución por triplicado en medio de cultivo simple concentración.

Número de tubos	Dilución de la muestra	Volumen de la muestra	Volumen de medio	Concentración del medio
3	10^{-1}	1 ml	10 ml	Simple
3	10^{-2}	1 ml	10 ml	Simple
3	10^{-3}	1 ml	10 ml	Simple

Incubación

Incubar los tubos 24-48 horas a 35-37 °C.

Anexo D. Fichas técnicas del caldo BGBL.

Verde Brillante Bilis 2% Caldo

Este medio está recomendado para el recuento de coliformes totales y fecales, por la técnica del número más probable.

Fundamento

En el medio de cultivo, la peptona aporta los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo bacteriano, la bilis y el verde brillante son los agentes selectivos que inhiben el desarrollo de bacterias Gram positivas y Gram negativas a excepción de coliformes, y la lactosa es el hidrato de carbono fermentable.

Es una propiedad del grupo coliforme, la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas.

Fórmula (en gramos por litro)		Instrucciones
Bilis de buey deshidratada	20.0	Suspender 40 g del polvo deshidratado por litro de agua destilada. Disolver y distribuir 10 ml por tubo con campanita de Durham. Preparar además, el medio a doble concentración. Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.
Lactosa	10.0	
Peptona	10.0	
Verde brillante	0.0133	
pH final: 7.2 ± 0.2		

Siembra

a.- Para el análisis de coliformes totales en muestras fluidas, sembrar por triplicado: 10 ml en caldo doble concentración y 1ml y 0,1 ml en caldo simple concentración.

Número de tubos	Volumen de la muestra	Volumen de medio	Concentración del medio
3	10 ml	10 ml	Doble
3	1 ml	10 ml	Simple
3	0.1 ml	10 ml	Simple

b.- Para el análisis de coliformes totales en muestras sólidas (alimentos, cosméticos, fármacos), efectuar diluciones seriadas 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} y sembrar cada dilución por triplicado en medio de cultivo simple concentración.

Número de tubos	Dilución de la muestra	Volumen de la muestra	Volumen de medio	Concentración del medio
3	10^{-1}	1 ml	10 ml	Simple
3	10^{-2}	1 ml	10 ml	Simple
3	10^{-3}	1 ml	10 ml	Simple

c.- Para análisis de coliformes fecales, a partir de cada tubo positivo en el test presuntivo de coliformes totales (proveniente de Verde Brillante y Bilis 2% Caldo ó Mac Conkey Caldo ó Lauril Sulfato, utilizando la técnica del NMP), o a partir de colonias presentes en diferentes medios, que se presume sean coliformes, transferir una ansada a un tubo con Verde Brillante y Bilis al 2% caldo fresco, incubando a 45 ± 0.5 °C y otra en Agua Triptona con incubación a 35-37 °C, para detectar la producción de indol.

Incubación

a- Para de coliformes totales: a 35-37 °C durante 24 horas.

b- Para coliformes (fecales): a 44.5-45.5 °C durante 24 horas.



Anexo E. Fichas técnicas del medio SIM

SIM Medio

Es un medio semisólido destinado a verificar la movilidad, producción de indol y de sulfuro de hidrógeno en un mismo tubo. Es útil para diferenciar miembros de la familia Enterobacteriaceae.

Fundamento

El triptófano es un aminoácido constituyente de muchas peptonas, y particularmente de la tripteína, que puede ser oxidado por algunas bacterias para formar indol. En el proceso interviene un conjunto de enzimas llamadas triptofanasa. El indol producido se combina con el aldehído del reactivo de Kovac's o de Erlich, para originar un compuesto de color rojo. Las cepas móviles pueden apreciarse en este medio, por la turbidez que producen alrededor de la punción de siembra, mientras que aquellas cepas productoras de sulfhídrico se distinguen por la formación de un precipitado negro de sulfuro de hierro a partir del tiosulfato siempre que el medio se mantenga a un pH mayor a 7.2.

Fórmula (en gramos por litro)		Instrucciones
Tripteína	20.0	Suspender 30 g del polvo por litro de agua destilada. Mezclar hasta disolver; calentar agitando y hervir durante un minuto. Distribuir unos 4 ml en tubos de hemólisis y esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos. Solidificar en posición vertical.
Peptona	6.1	
Sulfato de hierro y amonio	0.2	
Tiosulfato de sodio	0.2	
Agar	3.5	
pH final: 7.3 ± 0.2		



Siembra

A partir de un cultivo de 18-24 horas en medio sólido, sembrar por punción profunda con aguja de inoculación recta (no usar ansa con anillo). Se debe inocular el centro del tubo, y la punción debe abarcar 2 tercios de profundidad del medio de cultivo desde la superficie. Es importante que la siembra se realice en línea recta.

Incubación

Durante 24 horas, a 35-37 °C, en aerobiosis. Luego de la incubación, agregar 3-5 gotas de reactivo de Kovac's o de Erlich.

Limitaciones

-En las bacterias aerobias estrictas, que sólo crecen en superficie, la movilidad puede ser difícil de observar.

-Algunas bacterias productoras de melanina como *M. morganii*, pueden dar un color parduzco, que no debe confundirse con el color negro debido a la producción de ácido sulfhídrico.

Características del medio

Medio preparado: ámbar.

Almacenamiento

Medio deshidratado: a 10-35 °C.

Medio preparado: a 2-8 °C.

Anexo F. Tabla del Número Más Probable

Tabla 17. Interpretación de resultados para NMP

Combinación de positivos.	Índice NMP/100 ml	Límites de confianza 95%		Combinación de positivos.	Índice NMP/100 ml	Límites de confianza 95%	
		Inferior r	Superior r			Inferior r	Superior r
0-0-0	< 1.1	---	---	4-2-0	22	9.0	56
0-0-1	2	1.0	10	4-2-1	26	12	65
0-1-0	2	1.0	10	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4	1.0	13	4-3-1	33	15	77
				4-4-0	34	16	80
				5-0-0	23	9.0	86
1-0-0	2	1.0	11	5-0-1	30	10	110
1-0-1	4	1.0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-0	4	1.0	15	5-1-0	30	10	120
1-1-1	6	2.0	18	5-1-1	50	20	150
1-2-0	6	2.0	18	5-1-2	60	30	180
				5-2-0	50	20	170
2-0-0	4	1.0	17	5-2-1	70	30	210
2-0-1	7	2.0	20	5-2-2	90	40	250
2-1-0	7	2.0	21	5-3-0	80	30	250
2-1-1	9	3.0	24	5-3-1	110	40	300
2-2-0	9	3.0	25	5-3-2	140	60	360
2-3-0	12	5.0	29				
				5-3-3	170	80	410
3-0-0	8	3.0	24	5-4-0	130	50	390
3-0-1	11	4.0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-0	11	4.0	29	5-4-2	220	100	580
3-1-1	14	6.0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-0	14	6.0	35	5-4-4	350	160	820
3-2-1	17	7.0	40				
				5-5-0	240	100	940
4-0-0	13	5.0	38	5-5-1	300	100	1300
4-0-1	17	7.0	45	5-5-2	500	200	2000
4-1-0	17	7.0	46	5-5-3	900	300	2900
4-1-1	21	9.0	55	5-5-4	1600	600	5300
4-1-2	26	12	63	5-5-5	≥ 1600	---	---

Anexo G. Resultado del análisis físico-químico

Tabla 18. Análisis físico-químico

FECHA	COD	PARÁMETROS														
		COLOR (UC)	TURB (NTU)	COND (µS/cm)	pH	TEMP (°C)	SDT (mg/L)	ALC (mg/L)	D. T (mg/L)	D. C (mg/L)	D. M (mg/L)	COBRE (mg/L)	CROMO (mg/L)	SULFATO (mg/L)	NITRATO (mg/L)	NITRITO (mg/L)
1 09/05/2016	AE1	48	11.5	97.9	7.53	16.2	56.35	11	45	33	12	0.01	0.002	0	0.9	0.015
	AEP1	16	1.9	115.7	6.77	16.4	66.4	10	46	30	16	0.01	0.003	19	0.9	0.015
	AEP2	16	1.7	115.9	6.78	16.4	66.45	10	45	35	10	0.01	0.002	19	0.9	0.015
	ASP1	14	1.5	116.2	6.78	16.4	66.75	9.5	42.5	30.5	12	0.01	0.001	19	1.3	0.015
	ASP2	15	1.4	116.4	6.79	16.4	66.8	9.8	42.5	30.5	12	0.01	0.002	18	1.2	0.015
	AEF1	15	2.6	116.5	6.81	15.8	67.75	8.5	40	28	12	0.01	0.002	19	1.3	0.015
	AEF2	15	2.2	117.9	6.69	16.2	67.95	8.5	40	29	11	0.02	0.002	19	1.3	0.015
	AEF3	15	2.3	119.5	6.49	15.8	69.6	7.5	45	36.5	8.5	0.01	0.001	19	1.3	0.015
	AEF4	15	1.9	117.2	6.55	15.9	68.05	6	42	32.5	9.5	0.01	0.003	19	1.3	0.015
	ASF1	3	0.1	114.6	6.84	15.8	66.7	7.5	47.5	37	10.5	0.01	0	21	2.1	0.015
	ASF2	5	0.2	114.8	6.90	16.1	66.35	10	42.5	35	7.5	0	0.004	19	0.8	0.012
	ASF3	6	0.1	116.3	6.92	16.5	66.55	8	55	41	14	0.01	0.002	26	2	0.012
	ASF4	5	0.1	116.9	6.87	16.6	66.75	9	47.5	36.5	11	0.01	0.004	14	1.3	0.013
	AE2	38	7.3	76.2	6.91	15.7	44.3	9	45	32	13	0.03	0.005	29	0.8	0.011
	AEF5	38	7.4	72.8	6.76	16	42	3.5	32.5	23	9.5	0.01	0.005	29	0.8	0.017
	ASF5	5	0.3	73.3	6.89	16.6	41.6	3	32.5	23	9.5	0	0.002	28	1.7	0.016
	AS	4	0.32	107.1	7.05	15.7	58.4	9.5	40.00	28.50	11.50	0.02	0.001	28	2.5	0.010
2	AE1	48	8.6	93.8	7.48	13.9	56.95	12.5	27.5	18	9.5	0	0.006	9	2.3	0.011
	AEP1	16	2.2	104.6	6.97	13.6	64.15	9	40	31	9	0	0.004	21	2.3	0.011



UNIVERSIDAD DE CUENCA

11/05/2016	AEP2	14	2.4	105.6	7.02	13.6	64.8	8	40	31	9	0.03	0.001	21	2.3	0.011
	ASP1	12	2.1	106.5	6.94	13.6	64.7	10.5	40	31	9	0.04	0.002	21	2.5	0.011
	ASP2	12	2.0	106.8	6.98	13.6	64.85	8.5	41	30	11	0.03	0.001	21	2.6	0.011
	AEF1	13	2.1	107.9	7.03	14.4	64.95	10	42.5	32.5	10	0.03	0.002	20	2.5	0.011
	AEF2	12	2.7	107.0	7.00	14	65	10	41.5	31	10.5	0.01	0.004	21	2.5	0.011
	AEF3	12	2.8	108.1	7.02	14.3	65.2	10	40	29.5	10.5	0.03	0	21	2.5	0.011
	AEF4	13	2.8	110.5	6.95	14.9	65.7	10	45	32.5	12.5	0.01	0.003	21	2.5	0.011
	ASF1	3	0.2	107.4	7.02	14.2	64.95	9.5	46	33.5	12.5	0.04	0.006	25	2.3	0.011
	ASF2	4	0.3	105.5	7.03	13.9	64.15	10	49	36.5	12.5	0.04	0.002	21	2.4	0.012
	ASF3	4	0.1	108.4	7.07	14.6	64.3	9	47.5	35.5	12	0.04	0.002	30	4.2	0.013
	ASF4	4	0.2	108.8	6.97	14.9	64.7	9	50	38	12	0.04	0.004	28	3.3	0.014
	AE2	45	10.5	75.8	6.85	14	45.8	2.5	30	23	7	0.03	0.002	37	2.6	0.017
	AEF5	45	6.0	72.8	6.85	14.6	43.35	3	40	30	10	0.02	0.001	37	2.6	0.018
	ASF5	5	0.2	74.0	6.93	14.7	44	3	50	38	12	0.04	0	67	3.7	0.016
	AS	4	0.38	104.3	6.95	14.5	62.6	9.0	47.50	35.00	12.50	0.04	0.001	39	4.0	0.019
3 13/05/2016	AE1	80	53.6	92.1	7.24	14.2	55.85	11.5	52.5	40	12.5	0.02	0.006	4	4.1	0.001
	AEP1	38	9.1	99.2	7.04	13.7	60.7	9	40	28	12	0	0.004	32	4.1	0.001
	AEP2	38	5.4	100.6	6.98	14	60.95	10	42.5	30.5	12	0.01	0.003	32	4.1	0.001
	ASP1	28	4.9	100.8	7.02	14	61.15	10	42.5	30.5	12	0	0.001	32	4.3	0.001
	ASP2	28	5.0	100.4	7.03	13.8	61.2	10	45	32	13	0.01	0.002	33	4.2	0
	AEF1	25	4.8	102.9	7.01	14.9	61.1	9	47.5	35.5	12	0	0.002	32	4.3	0.001
	AEF2	25	4.8	102.5	6.98	14.8	60.95	9	45	31	14	0.01	0.004	33	4.3	0.001
	AEF3	23	4.3	101.8	7.01	14.2	61.3	10	40	30	10	0.01	0.003	33	4.3	0.001
	AEF4	20	4.3	101.5	7.02	14.3	61.15	10	42.5	30.5	12	0.01	0.003	33	4.3	0.001
	ASF1	6	0.7	102.0	6.97	14.6	61.05	11	50	38	12	0.01	0.006	54	1.5	0.01
	ASF2	5	0.7	100.8	6.97	14	61.2	10	50	38	12	0.01	0.002	59	2.2	0.013
	ASF3	5	0.5	102.9	7.02	14.6	61.5	10	50	38	12	0.01	0.006	34	1.9	0.01
ASF4	6	0.5	101.1	7.01	14	61.3	9	47.5	35	12.5	0.01	0.004	32	2.8	0.024	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	AE2	38	22.2	52.4	6.97	13.8	31.7	2.5	35	26	9	0.03	0.006	25	1.1	0.004
	AEF5	38	10.0	66.6	6.91	14.4	39.75	3.5	35	26	9	0.01	0.001	25	1.1	0.007
	ASF5	5	0.2	72.5	6.92	14.6	43.3	2.5	35	26	9	0.01	0.007	38	2.8	0.01
	AS	5	0.28	101.9	7.02	14.2	61.5	10.0	43.50	32.00	11.50	0.01	0.007	38	2.3	0.010
4 23/05/2016	AE1	55	11.6	93.8	7.34	14.7	55.85	12.5	45	34.5	10.5	0.03	0.006	1	0.9	0.006
	AEP1	12	2.2	105.4	6.91	14.1	63.75	10	47.5	35	12.5	0.02	0.004	23	0.9	0.006
	AEP2	12	2.7	105.0	6.88	13.9	64	10	47.5	35	12.5	0.02	0.004	23	0.9	0.006
	ASP1	10	2.1	106.4	6.92	14.2	64.35	10	45	33	12	0.02	0.007	23	1.2	0.006
	ASP2	12	2.0	106.4	6.93	14.3	64.15	11	45	33	12	0.02	0.006	24	1.1	0.005
	AEF1	12	2.7	107.0	6.96	14.2	64.6	10	40	28	12	0.02	0.006	23	1.2	0.006
	AEF2	12	2.6	109.1	6.99	14.9	64.85	10	42.5	30	12.5	0.02	0.006	23	1.2	0.006
	AEF3	12	2.6	106.8	6.97	14.3	64.35	10	40	29.5	10.5	0.02	0.006	23	1.2	0.006
	AEF4	12	2.5	108.2	6.97	14.8	64.45	10	40	28.5	11.5	0.02	0.006	23	1.2	0.006
	ASF1	5	0.4	104.7	6.97	14.2	63.25	10	45	33.5	11.5	0.01	0.008	28	3	0.008
	ASF2	5	0.3	105.3	6.87	14.3	63.45	10	50	39	11	0.01	0.005	23	2.5	0.002
	ASF3	4	0.2	106.5	6.99	14.3	64.2	10	50	38.5	11.5	0.01	0.007	36	2.6	0.003
	ASF4	3	0.2	107.2	6.96	14.5	64.45	10	50	37.5	12.5	0.01	0.007	28	2.1	0.004
	AE2	42	13.6	61.0	6.88	14.2	36.6	2.5	42.5	31.5	11	0.03	0.001	38	0.9	0
	AEF5	42	7.6	67.5	6.88	14.1	40.5	2.5	32.5	23	9.5	0.02	0.001	38	0.9	0
	ASF5	5	0.2	69.0	6.96	14.2	41.5	3.5	32.5	23	9.5	0	0.005	36	2.7	0.003
		AS	4	0.40	101.6	6.98	14.3	61.1	7.5	37.50	26.00	11.50	0.01	0.007	34	4.3
5 25/05/2016	AE1	50	11.4	93.7	7.36	13.8	57	15	47.5	34.5	13	0.01	0.016	2	0.8	0.004
	AEP1	10	2.2	103.8	6.95	13.4	63.95	10	35	26.5	8.5	0.01	0.016	19	0.8	0.004
	AEP2	10	2.1	105.7	6.96	13.5	65	10	35	26.5	8.5	0.01	0.016	19	0.8	0.004
	ASP1	8	1.6	108.8	6.92	13.7	66.55	10	42.5	30	12.5	0.04	0.019	20	1.3	0.004
	ASP2	8	1.7	110.1	6.87	13.8	67.3	10	45	31.5	13.5	0.03	0.018	19	1.1	0.003
	AEF1	8	1.7	108.5	6.90	13.8	66.15	10	40	27.5	12.5	0.07	0.018	20	1.1	0.004
	AEF2	8	1.6	109.2	6.94	13.8	66.65	10	35	24	11	0.07	0.018	19	1.1	0.004



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	AEF3	10	1.9	110.2	6.89	13.8	67	10	40	26.5	13.5	0.06	0.018	19	1.1	0.004	
	AEF4	10	1.5	109.5	6.87	13.9	66.8	10	35	25	10	0.06	0.018	19	1.1	0.004	
	ASF1	5	0.2	108.6	6.83	13.9	66.15	10	47.5	33.5	14	0.14	0.035	23	1.2	0.012	
	ASF2	5	0.2	105.2	6.82	14	66.7	9	45	31.5	13.5	0.12	0.03	20	1.1	0.011	
	ASF3	5	0.1	110.7	6.81	14.2	66.75	10	45	35.5	9.5	0.1	0.021	18	2	0.01	
	ASF4	4	0.1	109.6	6.87	13.9	66.75	10	45	35	10	0.11	0.029	19	0.8	0.01	
	AE2	40	8.6	53.2	7.02	13.8	32.05	2.5	25	17	8	0.05	0.027	26	0.8	0.002	
	AEF5	38	8.0	60.0	7.23	14	36	3	32.5	21.5	11	0.03	0.027	26	0.8	0.006	
	ASF5	10	0.3	63.6	7.04	14.2	38.15	3	32.5	21.5	11	0.13	0.04	30	1.5	0.01	
	AS	5	0.17	106.3	6.87	14.4	63.9	8.5	42.50	30.00	12.50	0.12	0.024	25	4.5	0.013	
6 27/05/2016	AE1	60	14.5	93.4	7.44	14.8	55.6	12.5	42.5	30	12.5	0.05	0.009	2	0.9	0.002	
	AEP1	12	2.4	103.8	7.01	14.5	62.2	10	40	27.5	12.5	0.03	0.009	19	0.9	0.002	
	AEP2	12	2.8	103.8	6.98	14.3	62.45	10	35	26	9	0.03	0.009	19	0.9	0.002	
	ASP1	12	1.9	105.2	7.00	14.4	63.2	10	55	39.5	15.5	0.04	0.011	19	1	0.003	
	ASP2	12	1.5	105.2	6.96	14.5	63.15	10	40	29.5	10.5	0.05	0.011	21	1.1	0.002	
	AEF1	12	1.8	105.5	7.01	14.4	63.5	10	35	23	12	0.05	0.011	19	1	0.003	
	AEF2	12	1.5	106.1	6.98	14.5	63.7	10	37.5	26	11.5	0.07	0.011	19	1	0.003	
	AEF3	12	1.6	107.7	6.95	14.7	64.3	11	37.5	26	11.5	0.06	0.011	19	1	0.003	
	AEF4	12	1.9	106.6	6.97	14.6	63.8	11	40	28.5	11.5	0.06	0.011	19	1	0.003	
	ASF1	5	0.4	104.9	6.93	14.2	63.35	10	45	33	12	0.04	0.011	29	1.1	0.004	
	ASF2	5	0.3	106.5	6.94	14.6	63.65	9	42.5	31	11.5	0.05	0.011	22	1.8	0.001	
	ASF3	5	0.4	106.8	6.89	14.4	64.15	10	50	37.5	12.5	0.04	0	33	2.1	0.012	
	ASF4	5	0.3	106.2	6.97	14.7	63.4	10	50	37.5	12.5	0.04	0.034	25	3	0.003	
	AE2	55	14.9	50.0	7.09	14.5	29.65	2.5	30	19	11	0.05	0.024	21	0.9	0.003	
	AEF5	52	8.2	58.4	7.06	14.6	34.7	2.5	25	16	9	0.03	0.024	21	0.9	0.003	
	ASF5	5	0.5	63.9	7.03	14.3	38.15	2.5	40	28.5	11.5	0.04	0.011	18	3.2	0.004	
		AS	5	0.31	108.2	6.92	14.8	64.5	9.0	52.50	40.00	12.50	0.04	0.009	26	4.0	0.013
	7	AE1	55	14.2	89.5	7.38	14.4	53.65	12.5	40	28.5	11.5	0.06	0.016	4	1	0.003



UNIVERSIDAD DE CUENCA

06/06/2016	AEP1	12	2.4	100.9	6.99	14.1	61.1	9	37.5	26	11.5	0.06	0.016	23	1	0.003
	AEP2	12	2.5	100.7	7.02	14.1	61.05	9	35	23	12	0.04	0.016	23	1	0.003
	ASP1	12	1.9	102.6	7.00	14.2	62	9	35	23	12	0.04	0.018	21	1	0.003
	ASP2	12	1.8	103.1	6.98	14	62.5	9	37.5	26	11.5	0.05	0.018	23	0.9	0.003
	AEF1	12	1.9	103.9	6.96	14.7	62.05	9	37.5	26	11.5	0.05	0.018	21	1	0.003
	AEF2	12	1.8	103.8	7.00	14.7	61.95	9	30	19	11	0.04	0.018	21	1	0.003
	AEF3	12	1.7	104.6	6.94	14.7	62.45	9	40	28.5	11.5	0.04	0.018	21	1	0.003
	AEF4	12	1.7	105.7	6.98	15.1	62.35	9	35	23	12	0.05	0.018	21	1	0.003
	ASF1	5	0.2	102.5	6.97	14.2	61.75	9	40	28.5	11.5	0.07	0.016	28	1.1	0.006
	ASF2	5	0.3	102.2	6.98	13.9	62.2	9	42.5	31	11.5	0.06	0.027	27	1.2	0.012
	ASF3	5	0.1	103.8	6.92	14.6	62.1	9	37.5	26	11.5	0.04	0.019	26	1.3	0.014
	ASF4	5	0.2	104.1	6.92	14.3	62.8	9	40	28.5	11.5	0.06	0.016	48	2.2	0.018
	AE2	60	11.3	47.9	7.13	14.1	28.65	3.5	22.5	15	7.5	0.05	0.01	28	0.8	0.005
	AEF5	55	14.4	51.3	7.14	15	30.05	3.5	25	16	9	0.02	0.01	28	0.8	0.007
	ASF5	12	0.6	52.8	7.08	14.6	31.25	3.5	27.5	18	9.5	0.01	0.019	34	1.7	0.018
AS	7	0.30	98.3	6.98	14.7	58.7	7.5	40.00	29.00	11.00	0.02	0.023	43	2.9	0.016	
8 08/06/2016	AE1	60	11.7	92.6	7.32	16.1	53.5	13.5	37.5	23	14.5	0.03	0.024	1	2.1	0.002
	AEP1	12	3.0	108.4	6.57	15.3	63.75	6.5	42.5	31	11.5	0.03	0.024	18	2.1	0.002
	AEP2	12	2.9	109.8	6.59	15.4	64.5	6	31	25.5	5.5	0.03	0.024	18	2.1	0.002
	ASP1	12	2.3	110.8	6.68	15.5	65.05	6	35	26	9	0.04	0.026	18	2.3	0.004
	ASP2	12	2.0	111.8	6.71	15.7	65.25	10	35	26	9	0.05	0.026	17	2.2	0.005
	AEF1	12	3.2	111.2	6.71	15.6	64.85	7.5	35	26	9	0.05	0.026	18	2.2	0.005
	AEF2	12	3.1	111.4	6.77	15.8	64.75	7.5	42.5	31	11.5	0.05	0.026	18	2.2	0.005
	AEF3	12	3.6	110.0	6.81	15.6	64.3	7.5	40	30	10	0.06	0.026	18	2.2	0.005
	AEF4	12	3.0	111.9	6.82	16	64.75	7.5	35	27	8	0.05	0.026	18	2.2	0.005
	ASF1	5	0.3	112.3	6.78	15.6	65.7	7.5	45	34.5	10.5	0.1	0.024	32	2.2	0.007
	ASF2	5	0.3	113.4	6.77	16.1	65.65	7.5	42.5	31	11.5	0.03	0.022	20	1.9	0.009
	ASF3	5	0.4	110.6	6.85	15.5	64.75	9	45	34	11	0.03	0.021	21	2.2	0.009



UNIVERSIDAD DE CUENCA

	ASF4	5	0.5	111.5	6.84	15.9	64.6	9	47.5	35	12.5	0.03	0.023	22	2.1	0.01
	AE2	55	10.9	48.7	6.97	15.4	28.5	5	20	13	7	0.02	0.008	19	1.3	0.003
	AEF5	55	12.5	53.8	7.14	15.7	30.5	5	22.5	15.5	7	0.02	0.008	19	1.3	0.005
	ASF5	12	0.6	54.7	7.02	16.4	31.1	5	27.5	18	9.5	0.02	0.019	21	1.7	0.009
	AS	7	0.86	102.6	6.99	15.7	59.8	8.0	37.50	25.00	12.50	0.03	0.025	24	1.8	0.011
9 10/06/2016	AE1	60	12.9	94.7	7.46	14.9	56.2	12.5	40	31	9	0.07	0	4	0.6	0.008
	AEP1	12	1.9	106.2	6.92	14.6	63.45	9	41	30	11	0.05	0	15	0.6	0.008
	AEP2	12	2.0	105.2	6.96	14.6	63	10	45	36	9	0.05	0	15	0.6	0.008
	ASP1	12	1.6	103.8	7.02	14.3	62.7	10	35	27.5	7.5	0.07	0.002	15	0.5	0.008
	ASP2	12	1.5	104.7	6.99	14.6	62.75	10	35	27.5	7.5	0.07	0.004	14	0.6	0.008
	AEF1	12	1.8	105.7	7.04	14.5	63.25	10	45	36	9	0.07	0.004	15	0.6	0.008
	AEF2	12	1.7	104.9	7.06	14.5	62.9	10	40	29.5	10.5	0.07	0.004	15	0.6	0.008
	AEF3	12	1.4	106.1	7.07	14.9	63.1	10	30	21.5	8.5	0.07	0.004	15	0.6	0.008
	AEF4	12	1.6	105.9	7.06	15	62.75	10	32.5	20.5	12	0.07	0.004	15	0.6	0.008
	ASF1	6	0.2	106.0	7.00	15	62.8	10	47.5	36.5	11	0.08	0.006	15	0.6	0.009
	ASF2	6	0.4	103.8	7.08	14.5	62.25	10	40	29.5	10.5	0.1	0.006	18	0.6	0.009
	ASF3	5	0.1	104.1	7.03	14.9	61.9	10	25	17.5	7.5	0.09	0.005	20	0.6	0.009
	ASF4	5	0.3	105.2	7.13	14.9	62.6	10	42.5	31	11.5	0.12	0.008	25	0.6	0.009
	AE2	48	7.9	55.7	7.16	14.3	33.25	3	37.5	28	9.5	0.07	0	33	0.4	0.007
	AEF5	48	9.0	50.4	7.24	14.4	30.05	3	40	29.5	10.5	0.06	0	33	0.4	0.008
	ASF5	10	0.6	51.7	6.94	15.1	30.25	3	30	21.5	8.5	0.04	0.007	25	0.6	0.009
		AS	7	0.30	97.4	6.83	14.6	58.3	10.0	40.00	29.50	10.50	0.06	0.026	19	0.9
10 20/06/2016	AE1	95	13.7	95.7	7.39	15.6	55.85	15	42.5	31	11.5	0.01	0.002	0	0.5	0.003
	AEP1	30	4.1	104.5	7.06	15.2	61.7	10	42.5	31	11.5	0	0.002	20	0.5	0.003
	AEP2	28	5.1	104.4	7.04	15.1	61.75	10	40	29.5	10.5	0.01	0.002	21	0.5	0.003
	ASP1	18	2.9	105.2	7.02	15.1	62.05	10	45	36	9	0.01	0.004	21	0.6	0.003
	ASP2	19	2.9	104.4	7.02	15	61.8	10	42.5	31	11.5	0.01	0.004	21	0.8	0.003



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AEF1	18	2.8	107.1	7.02	15.8	62.4	10	42.5	31	11.5	0.01	0.004	21	0.6	0.003
AEF2	18	3.0	106.9	6.99	15.7	62.25	8	37.5	28	9.5	0.01	0.004	21	0.6	0.003
AEF3	18	2.6	106.9	6.92	15.7	62.35	10	45	36	9	0.01	0.004	21	0.6	0.003
AEF4	18	2.7	106.7	7.00	15.9	62	10	42.5	31	11.5	0.01	0.004	21	0.6	0.003
ASF1	7	0.3	106.6	7.01	15.7	62.05	10	45	36	9	0.01	0.006	30	0.8	0.003
ASF2	7	0.2	106.7	6.97	15.7	62.15	10	47.5	36.5	11	0	0.008	28	0.6	0.005
ASF3	7	0.3	106.7	7.04	15.8	62.1	10	42.5	31	11.5	0.01	0.008	28	0.7	0.006
ASF4	7	0.4	107.4	7.02	16	62.2	10	50	37.5	12.5	0.05	0.005	21	0.8	0.003
AE2	62	10.0	53.8	7.09	15.8	30.95	4	25	14.5	10.5	0.03	0.011	22	0.1	0.001
AEF5	38	10.7	52.7	7.12	16.1	30.2	4	27.5	17	10.5	0.03	0.011	22	0.1	0.001
ASF5	7	0.4	56.1	7.04	16.4	31.9	6	35	28	7	0.01	0.009	38	0.8	0.002
AS	7	1.57	108.2	7.01	16.3	62.2	10.0	42.50	31.00	11.50	0.01	0.008	28	1.1	0.003
AE1	91	10.0	98.3	7.46	16	56.8	15	42.5	31	11.5	0	0.01	2	0.5	0.007
AEP1	25	2.1	108.8	7.04	15.7	63.35	9	35	28	7	0	0.01	11	0.5	0.007
AEP2	22	2.2	108.2	7.00	15.6	63.3	9	37.5	29.5	8	0	0.01	11	0.5	0.007
ASP1	14	1.4	110.2	7.01	16	63.85	10	41	30.5	10.5	0.01	0.012	11	0.6	0.009
ASP2	13	1.2	108.3	6.99	15.4	63.5	8.5	42.5	31	11.5	0.02	0.012	11	0.8	0.007
AEF1	14	1.5	109.8	7.04	15.6	64.15	10	40	29.5	10.5	0.02	0.012	11	0.6	0.007
AEF2	15	1.6	110.4	6.96	15.9	64.05	9	40	29.5	10.5	0.02	0.012	11	0.6	0.007
AEF3	12	1.4	112.7	6.95	16.8	64.1	9	35	28	7	0.02	0.012	11	0.6	0.007
AEF4	14	1.5	110.7	6.96	16.1	63.85	8	42.5	31	11.5	0.02	0.012	11	0.6	0.007
ASF1	5	0.2	111.6	6.92	16.4	64.05	10	40	29.5	10.5	0.02	0.015	15	0.5	0.005
ASF2	5	0.4	111.2	6.94	16.2	64	9	42.5	31	11.5	0.01	0.008	14	1	0.004
ASF3	4	0.1	110.2	6.94	16.1	63.6	9	45	36	9	0.02	0.007	13	1	0.006
ASF4	5	0.2	110.3	6.95	16.1	63.8	10	42.5	31	11.5	0.02	0.008	14	0.8	0.004
AE2	60	6.4	55.7	7.04	16	31.9	3.5	27.5	16.5	11	0.03	0.012	22	0.3	0.002
AEF5	92	7.9	55.2	7.19	16.6	31.2	3.5	27.5	16.5	11	0.03	0.012	22	0.3	0.002

11

22/06/2016



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ASF5	12	0.2	54.3	7.00	15.8	31.25	2.5	27.5	16.5	11	0.01	0.007	29	0.7	0.008
AS	2	0.42	105.4	6.96	16.4	60.4	10.0	40.00	29.50	10.50	0.03	0.008	17	1.0	0.006
AE1	150	10.9	98.6	7.40	14.3	57.45	15	43.1	32.5	10.6	0	0.013	2	0.3	0.004
AEP1	53	2.6	108.5	6.82	14.3	62.25	12	38.6	27.5	11.1	0	0.013	23	0.3	0.004
AEP2	50	2.6	108.2	6.70	14.2	62.1	12	38.9	27.5	11.4	0	0.013	22	0.3	0.004
ASP1	42	1.8	110.7	6.63	14.3	62.85	13	37.8	26	11.8	0.01	0.014	23	0.5	0.004
ASP2	36	1.4	109.7	6.61	14.4	62.4	13	39.1	28	11.1	0.01	0.014	23	0.5	0.004
AEF1	42	1.9	110.2	6.59	14.3	63.05	12	39.7	28.2	11.5	0.01	0.014	23	0.5	0.004
AEF2	27	1.7	111.9	6.62	14.4	65.85	12	38.9	27.5	11.4	0.01	0.014	23	0.5	0.004
AEF3	36	1.6	112.9	6.63	14.5	66.25	13	39.9	26.5	13.4	0.01	0.014	23	0.5	0.004
AEF4	31	1.7	112.7	6.64	14.4	67.15	12	39.3	28	11.3	0.02	0.014	23	0.5	0.004
ASF1	19	0.4	111.9	6.62	14.3	65.8	12	37.5	26.5	11	0.02	0.005	30	0.6	0.004
ASF2	10	0.3	112.4	6.60	14.5	66.15	12	40.2	28.5	11.7	0.02	0.005	27	0.5	0.007
ASF3	14	0.5	112.7	6.81	14.6	66.8	13	38.2	27.5	10.7	0.05	0.006	29	0.6	0.005
ASF4	16	0.3	112.2	6.70	14.5	67.2	13	37.4	26.5	10.9	0.02	0.01	26	0.7	0.005
AE2	104	5.8	63.5	6.57	14.4	37.2	5	40.2	29.5	10.7	0.07	0.018	2	0.1	0.003
AEF5	124	6.6	63.2	6.91	14.4	36.75	5	39.4	28	11.4	0.06	0.018	2	0.1	0.007
ASF5	15	0.3	71.0	6.89	14.6	41.5	5	37.7	26.5	11.2	0.02	0.004	26	1.4	0.005
AS	5	0.39	110.0	6.78	14.6	65.1	13.0	36.10	24.50	11.60	0.02	0.003	24	1.0	0.004

12

24/06/2016

Anexo H. Resultado del análisis microbiológico.

Tabla 19. Resultado del análisis microbiológico

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO																	
DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES		DÍ A	C O D	COLI FOR MES TOT ALE S		COLI FOR MES FEC ALE S		DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES	
		CÓ DI G O	NM P/1 00 ml	CÓ DI G O	NM P/1 00 ml			CÓ DI G O	NM P/1 00 ml	CÓ DI G O	NM P/1 00 ml			CÓ DI G O	NM P/1 00 ml	CÓ DI G O	NM P/1 00 ml
1 09/ 05/ 16	A E 1	5- 3-2	140	4- 1-1	21	2 11/ 05/ 16	A E 1	5-4-3	280	5-2-2	90	3 13/ 05/ 16	A E 1	5- 5-2	500	5- 2-1	70
	A E P 1	4- 4-0	34	0- 1-0	2		A E P 1	5-2-2	90	4-1-1	21		A E P 1	5- 3-1	110	2- 3-0	12
	A E P 2	5- 4-2	220	3- 0-1	11		A E P 2	5-3-0	80	4-0-1	17		A E P 2	5- 5-1	300	3- 2-0	14
	A S P 1	5- 0-2	40	0- 0-0	< 1.1		A S P 1	4-1-2	26	2-3-0	12		A S P 1	5- 3-2	140	3- 0-0	8
	A S P 2	5- 3-2	140	1- 1-0	4		A S P 2	4-2-1	26	2-1-1	9		A S P 2	5- 4-0	130	3- 2-0	14
	A E F 1	5- 1-2	60	0- 1-0	2		A E F 1	5-1-0	30	4-0-1	17		A E F 1	5- 4-1	170	2- 2-0	9
	A E F 2	4- 1-1	21	0- 0-0	< 1.1		A E F 2	4-1-1	21	2-3-0	12		A E F 2	5- 4-0	130	1- 2-0	6
	A E F 3	4- 4-0	34	2- 0-0	4		A E F 3	3-2-1	17	2-2-0	9		A E F 3	5- 3-1	110	1- 1-1	6
	A E F 4	5- 3-0	80	2- 1-0	7		A E F 4	4-3-1	33	4-0-0	13		A E F 4	5- 1-2	60	3- 0-1	11
	A S F 1	4- 1-1	21	0- 0-0	< 1.1		A S F 1	0-0-1	2	0-0-0	< 1.1		A S F 1	1- 1-1	6	0- 0-0	< 1.1
	A S F 2	0- 0-0	0	0- 0-0	< 1.1		A S F 2	1-2-0	6	0-0-0	< 1.1		A S F 2	0- 0-1	2	0- 0-0	< 1.1
	A S F 3	3- 2-1	17	0- 0-0	< 1.1		A S F 3	3-0-0	8	0-1-0	2		A S F 3	3- 0-0	8	0- 0-0	< 1.1
A S F 4	1- 0-0	2	0- 0-0	< 1.1	A S F 4	2-3-0	12	1-1-0	4	A S F 4	3- 0-0	8	0- 1-0	2			
A E 2	5- 3-0	80	4- 1-1	21	A E 2	5-3-3	170	5-0-2	40	A E 2	5- 4-1	170	4- 2-1	26			



	A	5-	110	4-	21		A	5-4-3	280	5-3-1	110		A	5-	170	5-	220	
	E	3-1		1-1			E							E	3-3		4-2	
	F						F							F				
	S	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1		S	0-0-1	2	0-0-0	< 1.1		S	2-1-0	7	0-0-1	2	
	F						F						F					
	S	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1		S	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1		S	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1	

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO																													
DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES				COLIFOR MES FECALES				DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES				COLIFOR MES FECALES				DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES				COLIFOR MES FECALES			
		C O	D I	G O	N M P/10 0ml	C O	D I	G O	N M P/10 0ml			C O	D I	G O	N M P/10 0ml	C O	D I	G O	N M P/10 0ml			C O	D I	G O	N M P/10 0ml	C O	D I	G O	N M P/10 0ml
4 23/ 05/ 16	A	5-	280	5-	90	5 25/ 05/ 16	A	5-	350	5-	90	6 27/ 05/ 16	A	5-	280	0-	0												
	E	4-3		2-2			E	4-4		2-2			E	4-3		0-	0-0												
	P	5-	50	2-	12		P	5-	40	4-	17		P	4-	27	0-	3-0	8											
	P	2-0		3-0			P	0-2		1-0			P	3-0		3-0													
	A	5-	110	3-	14		A	5-	80	4-	22		A	5-	23	0-	2-0	4											
	E	3-1		2-0			E	3-0		2-0			E	0-0		2-0													
	P	4-	21	2-	9		P	3-0		2-0			P	4-	34	0-	1-0	2											
	S	1-1		2-0			S	2-1		1-1			S	4-	4-0	0-	1-0												
	P	4-	33	2-	7		P	2-1		2-3-0			P	3-	11	0-	0-0	0											
	S	3-1		0-1			S	4-	26	2-	12		S	1-0		0-	0-0												
	F	4-	34	1-	6		F	5-	110	1-	6		F	4-	33	1-	1-1	6											
	F	4-0		1-1			F	3-1		1-1			F	4-	3-1		1-1												
F	5-	40	2-	9	F	5-	30	3-	8	F	4-	13	1-	0-0	2														
F	0-2		1-1		F	0-1		0-0		F	0-0		0-	0-0															
F	3-	17	2-	12	F	4-	17	1-	4	F	3-	11	1-	0-0	2														
F	2-1		3-0		F	1-0		0-1		F	0-1		0-	0-0															
F	4-	17	1-	4	F	4-	21	2-	12	F	5-	40	4-	1-0	4														
F	0-1		1-0		F	1-1		3-0		F	0-2		1-0																
S	0-	4	0-	2	S	4-	13	1-	2	S	3-	14	0-	< 1.1															
S	2-0		0-1		S	0-0		0-0		S	1-1		0-	0-0															
F	0-	< 1.1	1-	2	F	1-	4	0-	< 1.1	F	2-	7	0-	< 1.1															
S	0-0		0-0		S	1-0		0-0		S	0-1		0-	0-0															
F	3-	8	1-	2	F	0-	< 1.1	0-	< 1.1	F	1-	6	0-	< 1.1															
S	0-0		0-0		S	0-0		0-0		S	1-1		0-	0-0															
F	2-	12	0-	< 1.1	F	2-	7	1-	2	F	1-	4	0-	< 1.1															
F	3-0		0-0		F	1-0		1-0		F	0-1		0-	0-0															



	A E 2	5-5-1	300	5-2-1	70		A E 2	5-3-2	140	5-3-0	80		A E 2	2-3-0	12	4-2-1	26
	A E F 5	5-4-2	220	5-0-0	23		A E F 5	5-4-3	280	5-3-0	80		A E F 5	5-4-4	350	5-0-2	40
	A S F 5	2-1-1	9	0-1-0	2		A S F 5	1-0-0	2	0-0-1	2		A S F 5	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1
	A S	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1		A S	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1		A S	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO																	
DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES		DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES		DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES	
		CÓ DI GO	NM P/10 0ml	CÓ DI GO	NM P/10 0ml			CÓ DI GO	NM P/10 0ml	CÓ DI GO	NM P/10 0ml			CÓ DI GO	NM P/10 0ml		
7 06/06/16	A E 1	5-3-0	80	2-2-0	9	8 08/06/16	A E 1	5-5-1	300	5-3-1	110	9 10/06/16	A E 1	5-4-3	280	5-4-4	350
	A E P 1	3-2-1	17	0-2-0	4		A E P 1	5-0-1	30	4-2-0	22		A E P 1	5-3-0	80	4-1-1	21
	A E P 2	4-1-1	21	0-1-0	2		A E P 2	4-2-0	22	3-2-0	14		A E P 2	5-2-2	90	2-3-0	12
	A S P 1	1-1-1	6	1-0-0	2		A S P 1	4-0-1	17	0-2-0	4		A S P 1	4-2-0	22	2-0-1	7
	A S P 2	3-0-0	8	0-0-0	< 1.1		A S P 2	4-0-0	13	1-1-1	6		A S P 2	4-2-1	26	2-1-1	9
	A E F 1	3-0-0	8	1-0-1	4		A E F 1	5-0-0	23	2-0-1	7		A E F 1	5-1-0	30	2-3-0	12
	A E F 2	3-0-1	11	1-1-1	6		A E F 2	5-0-2	40	2-1-1	9		A E F 2	5-0-0	23	2-1-0	7
	A E F 3	0-2-0	4	1-0-0	2		A E F 3	3-1-1	14	2-0-1	7		A E F 3	4-1-1	21	4-0-0	13
	A E F 4	3-1-1	14	1-1-0	4		A E F 4	4-1-0	17	1-0-0	2		A E F 4	2-3-0	12	0-0-0	< 1.1
	A S F 1	0-0-0	< 1.1	0-0-0	< 1.1		A S F 1	0-2-0	4	0-1-0	2		A S F 1	1-2-0	6	0-1-0	2
A S F 2	0-1-0	2	0-0-0	< 1.1	A S F 2	0-0-1	2	0-0-0	< 1.1	A S F 2	1-1-1	6	0-0-0	< 1.1			



	A S F 3	0- 0-0	< 1.1	2- 0-0	4		A S F 3	1- 1-0	4	0- 0-0	< 1.1		A S F 3	1- 0-0	2	0- 0-0	< 1.1
	A S F 4	1- 2-0	6	1- 0-0	2		A S F 4	1- 0-1	4	0- 0-0	< 1.1		A S F 4	0- 0-0	< 1.1	0- 2-0	4
	A E 2	5- 3-1	110	2- 1-1	9		A E 2	5- 1-2	60	0- 0-0	0		A E 2	5- 3-1	110	4- 3-0	27
	A E F 5	5- 4-1	170	4- 3-0	27		A E F 5	5- 3-2	140	5- 1-0	30		A E F 5	5- 4-0	130	4- 1-2	26
	A S F 5	1- 0-1	4	1- 0-1	4		A S F 5	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S F 5	0- 0-0	< 1.1	0- 0-1	2
	A S	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO																	
DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES		DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES		DÍ A	C O D	COLIFOR MES TOTALES		COLIFOR MES FECALES	
		CÓ DI GO	NM P/10 0ml	CÓ DI GO	NM P/10 0ml			CÓ DI GO	NM P/10 0ml	CÓ DI GO	NM P/10 0ml			CÓ DI GO	NM P/10 0ml	CÓ DI GO	NM P/10 0ml
1 0 20/ 06/ 16	A E 1	5- 4-3	280	5- 1-2	60	1 1 22/ 06/ 16	A E 1	5- 5-2	500	5- 4-0	130	1 2 24/ 06/ 16	A E 1	5- 4-3	280	5- 5-1	300
	A E P 1	5- 2-1	70	2- 3-0	12		A E P 1	5- 2-2	90	3- 2-1	17		A E P 1	4- 1-1	21	4- 1-0	17
	A E P 2	5- 1-1	50	4- 1-0	17		A E P 2	5- 3-1	110	2- 3-0	12		A E P 2	5- 2-2	90	4- 1-2	26
	A S P 1	4- 1-1	21	2- 0-1	7		A S P 1	4- 2-1	26	2- 1-1	9		A S P 1	2- 0-1	7	2- 0-0	4
	A S P 2	3- 2-1	17	2- 1-0	7		A S P 2	5- 0-0	23	3- 0-1	11		A S P 2	5- 0-0	23	0- 1-0	2
	A E F 1	4- 2-1	26	1- 0-0	2		A E F 1	4- 0-1	17	0- 2-0	4		A E F 1	2- 1-1	9	2- 1-0	7
	A E F 2	5- 0-0	23	1- 2-0	6		A E F 2	4- 4-0	34	4- 0-1	17		A E F 2	4- 2-1	26	3- 2-1	17
	A E F 3	4- 0-1	17	3- 0-0	8		A E F 3	4- 3-1	33	2- 3-0	12		A E F 3	3- 0-1	11	2- 0-0	4
A E F 4	4- 3-1	33	3- 0-1	11	A E F 4	3- 1-1	14	1- 2-0	6	A E F 4	5- 0-2	40	4- 1-1	21			



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A S F 1	3- 0-0	8	0- 0-0	< 1.1		A S F 1	0- 0-0	< 1.1	0- 0-1	2		A S F 1	1- 1-0	4	0- 0-0	< 1.1
A S F 2	0- 0-0	< 1.1	1- 0-0	2		A S F 2	1- 0-0	2	1- 0-0	2		A S F 2	0- 0-0	< 1.1	1- 0-1	4
A S F 3	1- 1-1	6	0- 2-0	4		A S F 3	3- 0-0	8	0- 0-0	< 1.1		A S F 3	3- 0-0	8	0- 0-1	2
A S F 4	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S F 4	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S F 4	1- 2-0	6	2- 0-1	7
A E 2	5- 4-1	170	4- 1-2	26		A E 2	5- 5-0	240	5- 1-2	60		A E 2	5- 4-0	130	5- 1-1	50
A E 5	5- 4-3	280	5- 0-0	23		A E 5	5- 4-2	220	5- 3-0	80		A E 5	5- 4-2	220	2- 2-1	70
A S F 5	0- 1-0	2	0- 0-0	< 1.1		A S F 5	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S F 5	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1
A S	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1		A S	0- 0-0	< 1.1	0- 0-0	< 1.1

Anexo I. Fotos



Figura 16. Planta de tratamiento. A: agua de entrada 1, B: floculadores y sedimentadores, C: pre-filtros, D: filtros rápidos, E: salida de los filtros, F: piscinas de filtración lenta y G: tanque de almacenamiento.



Figura 17. Toma de muestra para análisis fisico-químico y microbiológico. A: agua de entrada 1 y agua de entrada 2, B: salida de filtros rápidos, C: salida de filtro lento, D: agua tratada.