



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

**TECNOLOGÍA DE AHORRO DE ENERGÍA PARA LA
FILTRACIÓN DE AGUA USANDO CERÁMICAS POROSAS
CARBONIZADAS**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE: MAESTRÍA EN
SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**

**P R E S E N T A
BERENICE JIMÉNEZ ARAIZA**

**DIRECTOR:
Dra. Marina Vlasova**

**SINODALES:
Dr. Mykola Kakazey
Dr. José Gonzalo González Rodríguez
Dr. Jorge Uruchurtu Chavarin
Dr. Pedro Antonio Márquez Aguilar**

CUERNAVACA, MORELOS

JUNIO, 2018

Abstract

Water, which is an indispensable substance for life, since it has multiple properties, it is used in different activities in our daily life making it the most valuable resource on the planet. Therefore, the importance of preserving it since it guarantees the sustainability and the usage of future generations.

One of the topics to be discussed regarding its care and its quality, the microbiological which is a crucial factor in the quality of water which is a key factor in the transmission of infectious diseases that can harvest serious health risks.

One of the biggest problems that are found worldwide, regarding water pollution, is the fecal contamination, which is found in waters that serve as a supply for human use and consumption. There is much concern in developing countries because of the fact of a higher water scarcity, in addition to other factors such as inadequate sewage discharges, defecation on open air, lack of maintenance in pipes and channels that supply water.

The water that is used for human consumption (for drinking, domestic use and personal hygiene) is considered potable water as long as it complies with the physical - chemical and microbiological limits as indicated by the regulations of drinking water, Official Mexican Standard NOM-127-SSA1-1994, "Environmental health, water for human use and consumption-permissible limits of quality and treatments to which water must be submitted for its purification".

As already mentioned, the lack of treatment in water for its purification and use makes it unsafe for the population. Therefore, it is essential to develop sustainable alternatives that solve this problem, which helps to improve the deficient microbiological quality of water for human consumption and that cause's minimal environmental impact.

Since the purification of water faces certain technical and economic barriers, which require a considerable investment, in addition to qualified technical personnel training for its

operation and maintenance. The question would be: What to do to solve the problems of sanitation in water?. To which, we have an answer: where should we look for alternative, innovative and sustainable technologies that need minimal technical intervention and costs.

Advanced porous ceramics are being used in wide range of applications to mitigate various environmental, biological, and transport problems. Ceramic material has advantages over other materials such as polymers or metals; it has qualitative properties such as the properties as hardness, chemical inertness, and resistance to thermal shock, resistance to corrosion, wear and low density.

The manufacturing processes of porous ceramics have been the subject of consideration in order to satisfy the wide range of specific applications. The parameters relating the pore structure, such as pore size, shape, distribution, and connectivity, play a resulting functionality of the porous ceramic material. Ceramics can offer properties such as insulation at elevated temperature, capture of impurities in a filter, reinforcement in a metal-ceramic composite material, etc. These materials can be manufactured to possess the properties required for an application by modifying the processing techniques.

The filtration with porous ceramics as filtering material is known and has been studied for the elimination of turbidity and some pathogens in water. It is an independent technology of previous treatments that had been used, as well as the cancellation of coagulants, flocculants, chemicals, or other additives, eliminating turbidity and other main causes of intestinal diseases and at the same time eliminating the presence of fecal contamination.

Thus, porous ceramics are being use like a filtering medium, and it presents different conditions, depending on the way that is manufacture together as final objective, therefore in the present work it has been decided to make porous ceramics. Comparing the removal of microorganism's indicators of pathogens according to the applicable regulations, using biological filters, having a differential factor to the previous application of colloidal silver, to obtain safe water that is low or free of pathogenic micro-organisms.

This is why this work has as a hypothesis that filters with porous ceramics will eliminate the pathogenic indicator microorganisms such as: total coliforms, fecal and E. Coli of contaminated water. With the objective of evaluating and comparing the removal of pathogenic indicator microorganisms such as: total, fecal and E. coli forms, using filters with porous glass and acrylic ceramics, in accordance with the "Official Mexican Standard NOM-127-SSA1-1994, "environmental health, water for human use and consumption - permissible limits of quality and treatments to which water must submitted for its purification".

Resumen

El agua cual es una sustancia indispensable para la vida, ya que tiene múltiples propiedades, es utilizada en diferentes actividades de la vida cotidiana, siendo así la convierte en el recurso más importante del planeta. Y por eso la importancia de preservarla y cuidarla para que garantice la sustentabilidad y aprovechamiento de las siguientes generaciones.

Uno de los temas a tratar respecto a su cuidado es la calidad, y como factor importante, la calidad microbiológica en el agua el cual es un factor preciso en la transmisión de enfermedades infecciosas, produciendo graves consecuencias en cuestión de salud.

Uno de los más grandes problemas que se encuentran a nivel mundial respecto a la contaminación del agua, es la contaminación de origen fecal, la cual se encuentra en aguas que sirven como abastecimiento para el uso y consumo humano. Existe mucha preocupación es en los países en vías de desarrollo, esto, por encontrar un mayor índice de escasez de agua, además de otros factores como lo son las descargas inadecuadas de aguas residuales, defecación al aire libre, falta de mantenimiento en tuberías y canales de abastecimiento.

El agua que es utilizada para el consumo humano (para beber, uso doméstico e higiene personal) es considerada como agua potable siempre y cuando cumpla con los límites físico - químicos y microbiológicos como lo indica la normatividad para agua potable, Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Debido a la falta de tratamiento en el agua para su potabilización y uso de esta la vuelve insegura para la población. Por ello es indispensable el desarrollo de alternativas sustentables que resuelvan la problemática la cual representa la deficiente calidad

microbiológica del agua para consumo humano y que provoque el mínimo impacto ambiental.

Ya que la potabilización de agua enfrenta ciertas barreras tanto técnicas como económicas, las cuales exigen una inversión considerable, además de personal técnico capacitado y calificado para su operación y mantenimiento. La cuestión sería: ¿Qué hacer para resolver los problemas de saneamiento en el agua?, para lo cual, se deben buscar tecnologías alternativas, innovadoras y sostenibles necesitando de una mínima intervención técnica y de costos.

Las cerámicas porosas avanzadas se están utilizando con una gama de aplicaciones con el fin de mitigar varios problemas ambientales, biológicos, y de transporte. El material cerámico tiene ventajas sobre otros materiales como polímeros o metales; y propiedades cualitativas como las propiedades de dureza, inercia química, resistencia al choque térmico, resistencia a la corrosión, desgaste y baja densidad.

Los procesos de fabricación de cerámicas porosas han sido objeto de mucha consideración con el fin de satisfacer la amplia gama de aplicaciones específicas. Los parámetros relativos a la estructura de poros, tales como tamaño de poro, la forma, la distribución, y la conectividad, juegan en la funcionalidad resultante del material cerámico poroso. Las cerámicas pueden ofrecer propiedades como aislantes a altas temperatura, captura de impurezas en un filtro, refuerzo en un material compuesto de metal-cerámica, etc. Estos materiales pueden ser fabricados para poseer propiedades requeridas para una aplicación en particular mediante la modificación de las técnicas de procesamiento.

La filtración con cerámicas porosas como material filtrante es conocida y ha sido estudiado para la eliminación de turbiedad y de algunos agentes patógenos en el agua. Es una tecnología muy independiente de otros tratamientos previos, así como la anulación de coagulantes, floculantes, químicos, u otros aditivos, eliminando turbiedad y otros causantes principales de enfermedades de tipo intestinal y presencia de contaminación fecal.

Siendo así, las cerámicas porosas como utilización como medio filtrante presenta diferentes condiciones, dependiendo de la forma de fabricación junto con su objetivo final, por lo tanto en el presente trabajo se optó por realizar cerámicas porosas, comparando la remoción de microorganismos indicadores de patógenos conforme a la normatividad aplicable, utilizando filtros biológicos.

Por eso es que este trabajo tiene como hipótesis que filtros con cerámicas porosas eliminarán los microorganismos indicadores patógenos como: coliformes totales, fecales y E. Coli., de un agua problema. Teniendo como objetivo la evaluación y comparación de la remoción de microorganismos indicadores patógenos como: coliformes totales, fecales y E. Coli., utilizando filtros con cerámicas porosas de acilla y vidrio, conforme a la "Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someter el agua para su potabilización".

Agradecimientos institucionales

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y colaboración para la realización de esta trabajo de investigación y culminación de mis estudios de maestría.

Agradezco a la Dra. Marina Vlasova por haber confiado en mí como persona, en mi trabajo, en mi capacidad como ser humano, y sobre todo por la dirección de este trabajo. De igual manera agradezco a mis sinodales el Dr. Mykola Kakazey, Dr. José Gonzalo González Rodríguez y al Dr. Jorge Uruchurtu Chavarin por sus comentarios y observaciones de manera constructiva durante el desarrollo en la elaboración de esta tesis.

Al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp), el cual me abrió las puertas impulsando, desarrollando y culminando este trabajo. Y que junto con los investigadores marcaron significativamente mi camino durante todo el posgrado e hicieron de mí una mejor persona.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) que junto con el M. en C. Alejandro Ordoñez y M. en I. Luciano Sandoval me brindaron total apoyo al entrar a su área de trabajo, apoyo con material y equipo para lograr los objetivos de este trabajo.

Dedicatorias

Quiero hacer una gran dedicatoria a toda mi familia que siempre han sido fieles a mis sueños, apoyándome de manera incondicionalmente ante cualquier circunstancia, siendo ellos una de mis mayores motivaciones para seguir adelante.

Quiero agradecer a mí padre por siempre creer en mí, en mis sueños y en mis decisiones, por toda esa paciencia, y que por cada día hace de mí una mujer más independiente.

A mí madre quien es el motor de mi vida, y sobre todo, parte importante de mi existencia, que con paciencia y amor me alienta a querer superarme todos los días de mi vida, por ser mi mejor amiga, mi motivación y mi maestra de vida.

Por último, y no menos importante a mi hermana, que es lo más valioso que tengo, gracias por todas esas aventuras por las que pase para llegar a este momento de mi vida, por todas esas muestras de amor, y por siempre ser esa luz que me acompaña e ilumina todos los días.

ÍNDICE GENERAL

Página

Índice de Figuras	13
Índice de Tablas	18
1. Marco Teórico	23
1.1.2.1. Reacción de síntesis de deshidratación	31
1.2. La calidad microbiológica del agua.....	32
1.2.1. Calidad del agua para uso y consumo humano	32
1.2.2. Enfermedades de transmisión hídrica.....	36
1.3. Evaluación microbiológica del agua	39
1.3.1. Indicadores de calidad del agua	40
1.4. Filtración.....	41
1.4.1. Definición	41
1.4.2. Tipos de filtración.....	42
1.4.3. Tipos de filtros.....	43
1.4.4. Mecanismos de remoción	48
1.5. Desinfección.....	55
1.5.1. Métodos de desinfección del agua	55
1.6. Filtros de agua	62
1.6.1. Características	62
1.6.2. Ventajas y desventajas.....	63
1.6.3. Medios filtrantes.....	64
1.6.4. Influyente	65
2. Desarrollo Experimental	66
2.1. Elaboración del medio filtrante	66
2.2. Operación de los filtros	67
2.2.2. Contenido de los filtros	67
2.2.3. Componentes.....	68
2.2.4. Funcionamiento	69
2.2.5. Recolección de agua problema.....	70
2.2.6. Especificaciones de las pruebas de fase.....	72
2.2.6.1. Fase 1.....	72

2.3.	Métodos aplicados a la caracterización del agua en los filtros	73
2.3.3.	Características microbiológicas.....	73
2.3.4.	Características físico – químicas	74
3.	Resultados y discusión	77
3.1.	Microscopia Electrónica de Barrido y Microanálisis de datos.....	78
3.1.1.	Caña	78
3.1.2.	Coco Carbonizado.....	87
3.1.3.	Cerámicas porosas	94
3.1.4.	Biosólidos.....	102
3.2.	Resultados microbiológicos	107
3.2.1.	Coliformes totales.....	107
3.2.1.1.	Fase de prueba 1.....	107
3.2.1.2.	Fase de prueba 2.....	108
3.2.1.3.	Fase de prueba 3.....	109
3.2.2.	Coliformes fecales	110
3.2.2.1.	Fase de prueba 1.....	110
3.2.2.2.	Fase de prueba 2.....	111
3.2.2.3.	Fase de prueba 3.....	112
3.2.3.	<i>E. Coli</i>	113
3.2.3.1.	Fase de prueba 1.....	113
3.2.3.2.	Fase de prueba 2.....	114
3.2.3.3.	Fase de prueba 3.....	116
3.3.	Resultados físico – químicos	117
3.3.1.	Turbiedad.....	117
3.3.1.1.	Fase de prueba 1.....	117
3.3.1.2.	Fase de prueba 2.....	119
3.3.1.3.	Fase de prueba 3.....	122
3.3.2.	pH.....	124
3.3.2.1.	Fase de prueba 1.....	124
3.3.2.2.	Fase de prueba 2.....	125
3.3.2.3.	Fase de prueba 3.....	126
3.3.3.	Temperatura	127

3.3.3.1.	Fase de prueba 1	128
3.3.3.2.	Fase de prueba 2.....	128
3.3.3.3.	Fase de prueba 3.....	129
3.3.4.	Caracterización físico - química (NOM-127-SSA1-1994) para elementos y compuestos, físicas y organolépticas, plaguicidas e hidrocarburos aromáticos para la prueba de fase 1.	129
3.4.	Resultados de caudales	132
3.4.1.	Fase de prueba 1.....	133
3.4.2.	Fase de prueba 2.....	133
3.4.3.	Fase de prueba 3.....	134
4.	Conclusiones.....	136
5.	Recomendaciones.....	139
6.	Referencias	140
7.	Apéndices	151
7.1.	Métodos de análisis para materiales	151
7.1.1.	Difracción de rayos X en polvos.....	151
7.1.2.	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	153
7.2.	Pruebas para la cuantificación de microorganismos indicadores	155
7.2.1.	La prueba del Número Más Probable (NMP).....	155
7.2.2.	La prueba de Filtro por Membrana (FM).....	156
7.2.3.	Prueba de Presencia-Ausencia (P-A) y método Colilert/Quanti-Tray	157
7.3.	Análisis por equipo multiparamétrico	161

Índice de Figuras

Página

Figura 1. Filtración de lecho profundo.....	44
Figura 2. Filtración por membrana (microfiltración).	46
Figura 3. Filtración por membrana (ultrafiltración).	46
Figura 4. Filtración por membrana (nanofiltración).	47
Figura 5. Filtración por membrana (osmosis inversa).	47
Figura 6. Mecanismos de remoción - Cribado (granos-partícula).	48
Figura 7. Mecanismos de remoción - Sedimentación (granos-partícula).	49
Figura 8. Mecanismos de remoción - Impacto inercial (granos-partícula).	50
Figura 9. Mecanismos de remoción - Intercepción (granos-partícula).	51
Figura 10. Mecanismos de remoción - Difusión (granos-partícula).	51
Figura 11. Mecanismos de remoción - Adhesión (granos-partícula).	53
Figura 12. Mecanismos de remoción - Floculación (granos-partícula).	53
Figura 13. Diagrama de la metodología realizada.	66
Figura 14. Componentes del filtro.....	69
Figura 15. Tanque de sedimentación de la PTAR (Vista 1).	70
Figura 16. Tanque de sedimentación de la PTAR (Vista 2).	71
Figura 17. Tanque de sedimentación de la PTAR (vista 3).	71
Figura 18. Recolección del agua problema.....	72
Figura 19. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración (a, b).	79
Figura 20. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 19, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración.	80
Figura 21. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración (a, b).	81
Figura 22. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 21, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración.	82
Figura 23. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración (a, b).	83

Figura 24. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 23, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración.....	84
Figura 25. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración (a, b).....	85
Figura 26. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 25, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración.	86
Figura 27. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración (a).	87
Figura 28. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 27, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración.....	88
Figura 29. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración (a).....	89
Figura 30, Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 29, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración.	90
Figura 31. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración (a).	91
Figura 32. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 31, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración.....	92
Figura 33. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración (a).	93
Figura 34. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 33, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración.	94
Figura 35. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración (a, b).....	95
Figura 36. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 35, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y	

1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración.....	96
Figura 37. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración (a,b).....	97
Figura 38. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 37, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración.....	98
Figura 39. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración (a, b).....	99
Figura 40. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 39, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración.....	100
Figura 41. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración (a, b).....	101
Figura 42. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 41, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración.....	102
Figura 43. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de biosólidos retenidos en los poros de la cerámica posterior al proceso de filtración (a, b).....	103
Figura 44. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 43, correspondiente a la estructura de biosólidos retenidos en los poros de la cerámica posterior al proceso de filtración.....	104
Figura 45. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de biosólidos en tipo alga retenidos sobre la cerámica posterior al proceso de filtración (a, b).	105
Figura 46. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 45, correspondiente a la estructura de biosólidos en tipo alga retenidos sobre la cerámica posterior al proceso de filtración (a, b).	106

Figura 47. Gráfica del comportamiento de los coliformes totales en la fase 1.	108
Figura 48. Gráfica del comportamiento de los coliformes totales en la fase 2.	109
Figura 49. Gráfica del comportamiento de los coliformes totales en la fase 3.	110
Figura 50. Gráfica del comportamiento de los coliformes fecales en la fase 1.	111
Figura 51. Gráfica del comportamiento de los coliformes fecales en la fase 2.	112
Figura 52. Gráfica del comportamiento de los coliformes fecales en la fase 3.	113
Figura 53. Gráfica del comportamiento de E. Coli en la fase 1.	114
Figura 54. Gráfica del comportamiento de E. Coli en la fase 2.	116
Figura 55. Gráfica del comportamiento de E. Coli en la fase 3.	117
Figura 56. Gráfica del comportamiento de la turbiedad en la fase 1.	118
Figura 57. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 1.	118
Figura 58. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 1.	119
Figura 59. Gráfica del comportamiento de la turbiedad en la fase 2.	120
Figura 60. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 2 (sin plata coloidal)..	120
Figura 61. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 2 (sin plata coloidal).	121
Figura 62. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 2 (con plata coloidal)..	121
Figura 63. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 2 (con plata coloidal).	122
Figura 64. Gráfica del comportamiento de la turbiedad en la fase 3.	123
Figura 65. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 3.	123
Figura 66. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 3.	124
Figura 67. Gráfica del comportamiento del pH en la fase 1.	125
Figura 68. Gráfica del comportamiento del pH en la fase 2.	126
Figura 69. Gráfica del comportamiento del pH en la fase 3.	127
Figura 70. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la fase 1.	128
Figura 71. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la fase 2.	128
Figura 72. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la fase 3.	129
Figura 73. Gráfica del comportamiento del caudal en la fase 1.	133
Figura 74. Gráfica del comportamiento del caudal en la fase 2.	134
Figura 75. Gráfica del comportamiento del caudal en la fase 3.	135
Figura 76. IDEXX Quanti-Tray*/200 Tabla NMP para la cuantificación de coliformes totales y E. Coli por el método Colilert 24 horas. Primera parte (# Pocillos pequeños positivos 0-24).	159

Figura 77. IDEXX Quanti-Tray*/200 Tabla, NMP para la cuantificación de coliformes totales y E. Coli por el método Colilert 24 horas. Primera parte (# Pocillos pequeños positivos 25-48).	160
Figura 78. Material utilizado para la preparación e instalación del filtro con cerámicas porosas.	165
Figura 79. Montado del filtro.	166
Figura 80. Enjuagado del filtro.	167
Figura 81. Repetición del enjuagado del filtro.	168
Figura 82. Enjuagado del filtro, prueba de eficiencia.....	168
Figura 83. Medición del caudal en el filtro.	169

Índice de Tablas

Página

Tabla 1. Diferentes tipos de minerales con formulas.....	29
Tabla 2. Límites máximos permisibles de las características microbiológicas para calidad del agua potable.....	33
Tabla 3. Límites permisibles de las características físicas y organolépticas para calidad del agua potable.....	34
Tabla 4. Límites máximos permisibles de las características químicas (plaguicidas) para calidad del agua potable.	34
Tabla 5. Límites máximos permisibles de las características químicas (hidrocarburos aromáticos) para calidad del agua potable.	34
Tabla 6. Límites máximos permisibles de las características químicas (elementos y compuestos) para calidad del agua potable.	35
Tabla 7. Límites máximos permisibles de las características radiactivas para calidad del agua potable.....	36
Tabla 8. Enfermedades de carácter hídrico por transmisión de aguas contaminadas en México.	37
Tabla 9. Procesos de desinfección física. (JIMÉNEZ, 2014)	56
Tabla 10. Procesos de desinfección química. (JIMÉNEZ, 2014)	57
Tabla 11. Contenido de los filtros en base a la prueba de fase correspondiente.	68
Tabla 12. Métodos utilizados para la caracterización microbiológica.	74
Tabla 13. Métodos utilizados para la caracterización físicas y organolépticas.	74
Tabla 14. Métodos utilizados para la caracterización de plaguicidas.	74
Tabla 15. Métodos utilizados para la caracterización de hidrocarburos aromáticos.	75
Tabla 16. Métodos utilizados para la caracterización de elementos y compuestos.	76
Tabla 17. Caracterización físico – química para elementos y compuesto química.	130
Tabla 18. Caracterización físico – química para físicas y organolépticas.....	131
Tabla 19. Caracterización físico – química para plaguicidas.	131
Tabla 20. Caracterización físico – química para hidrocarburos aromáticos.	132

Planteamiento del problema

El agua cual es una sustancia indispensable para la vida, ya que tiene múltiples propiedades, es utilizada en diferentes actividades de la vida cotidiana, siendo así la convierte en el recurso más importante del planeta. Y por eso la importancia de preservarla y cuidarla para que garantice la sustentabilidad y aprovechamiento de las siguientes generaciones.

Uno de los temas a tratar respecto a su cuidado, es sobre la calidad, y como factor importante, la calidad microbiológica en el agua el cual es un factor preciso en la transmisión de enfermedades infecciosas, produciendo graves consecuencias en cuestión de salud.

Uno de los más grandes problemas que se encuentran a nivel mundial, respecto a la contaminación del agua, es la contaminación de origen fecal, la cual se encuentra en aguas, que sirven como abastecimiento para el uso y consumo humano. Existe mucha preocupación es en los países en vías de desarrollo, esto, por encontrar un mayor índice de escasez de agua, además de otros factores como lo son las descargas inadecuadas de aguas residuales, defecación al aire libre, falta de mantenimiento en tuberías y canales de abastecimiento.

El agua que es utilizada para el consumo humano (para beber, uso doméstico e higiene personal) es considerada como agua potable siempre y cuando cumpla con los límites físico - químicos y microbiológicos como lo indica la normatividad para agua potable, Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Como ya se comentó, la falta de tratamiento en el agua para su potabilización y uso de esta la vuelven insegura para la población. Por ello es indispensable el desarrollo de alternativas sustentables que resuelvan la problemática la cual representa la deficiente

calidad microbiológica del agua para consumo humano y que provoque el mínimo impacto ambiental.

Ya que la potabilización de agua enfrenta ciertas barreras tanto técnicas como económicas, las cuales exigen una inversión considerable, además de personal técnico capacitado y calificado para su operación y mantenimiento. La cuestión sería: ¿Qué hacer para resolver los problemas de saneamiento en el agua?, para lo cual, se deben buscar tecnologías alternativas, innovadoras y sostenibles necesitando de una mínima intervención técnica y de costos.

Justificación

Las cerámicas porosas avanzadas se están utilizando con una gama de aplicaciones con el fin de mitigar varios problemas ambientales, biológicos y de transporte. Los procesos de fabricación de cerámicas porosas han sido objeto de mucha consideración con el fin de satisfacer la amplia gama de aplicaciones específicas.

La filtración con cerámicas porosas como material filtrante es conocida y ha sido estudiado para la eliminación de turbiedad y de algunos agentes patógenos en el agua. Es una tecnología muy independiente de otros tratamientos previos, así como la anulación de coagulantes, floculantes, químicos, u otros aditivos, eliminando turbiedad y otros causantes principales de enfermedades de tipo intestinal y presencia de contaminación fecal.

La presente tesis se justifica ante la necesidad de elaborar alternativas viables mediante la experimentación de nuevas tecnologías que permitan ofrecer agua potable a bajo costo y la mínima intervención de personal técnico. Siendo así, se pretende comprobar la eliminación de los microorganismos indicadores patógenos como: coliformes totales, fecales y E. Coli., de un agua problema mediante filtros con cerámicas porosas de arcilla y vidrio. Formando un criterio sobre la evaluación y comparación de la remoción de microorganismos indicadores patógenos utilizando dichos filtros con cerámicas porosas de acilla y vidrio, conforme lo marca a la "Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someter el agua para su potabilización".

Hipótesis

Los filtros con cerámicas porosas, coco carbonizado y caña eliminarán los microorganismos indicadores patógenos como lo son los coliformes totales, fecales y E. Coli de un agua problema.

Objetivo general

Evaluación y comparación de la remoción de microorganismos indicadores patógenos (coliformes totales, fecales y E. Coli.), utilizando filtros con cerámicas porosas, coco carbonizado y caña conforme a la “Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someter el agua para su potabilización”.

Objetivos particulares

- Análisis microbiológico del agua problema en influente y efluente de los filtros con cerámicas porosas.
- Análisis físico - químico del agua problema en influente y efluente de un filtro con cerámica porosa.
- Comparación de la remoción microbiológica en los filtros con cerámicas porosas.
- Comparación de la remoción microbiológica en los filtros con cerámicas porosas utilizando plata.
- Comparación de la remoción microbiológica en los filtros con cerámicas porosas en sus diferentes etapas.

1. Marco Teórico

1.1. Arcillas

El término arcilla generalmente se aplica a un material natural con propiedades plásticas y que cuentan con la característica de ser partículas de tamaño muy fino. Las arcillas, son fragmentos minerales o partículas compuestas principalmente de silicatos de aluminio en capas hidratadas, y el cual puede contener también cantidades significativas de hierro, metales alcalinos o tierras alcalinas.

Los minerales de arcilla están compuestos esencialmente de sílice, alúmina o magnesia, o ambos, y agua, pero el hierro sustituye al aluminio y al magnesio en diversos grados, y en otras, sobre cantidades apreciables de potasio, sodio y calcio las cuales también están presentes con frecuencia. Algunos minerales de arcilla se pueden expresar usando fórmulas químicas ideales como las siguientes:

- $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (caolinita),
- $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (pirofiita)
- $4\text{SiO}_2 \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (talco)
- $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{FeO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (chamosita)

La proporción del SiO_2 en la fórmula es el factor clave que determina los tipos de minerales arcillosos. Estos minerales se pueden clasificar en función de las variaciones de la composición química y la estructura atómica.

En la década de 1920 y posterior a esta, el desarrollo de técnicas de difracción de rayos X y procedimientos microscópicos y térmicos, permitieron a los investigadores establecer que las arcillas están compuestas por grupos de minerales cristalinos.

La introducción de microscopía electrónica resultó muy útil para poder determinar la forma y el tamaño de los minerales arcillosos. Las técnicas analíticas más recientes, como la

espectroscopia infrarroja, el análisis de difracción de neutrones, la espectroscopia Mössbauer y la espectroscopia de resonancia magnética nuclear, han ayudado a avanzar en el conocimiento científico de la química cristalina de estos minerales.

1.1.1. Arcilla roja

La descomposición de la roca arcilla en la lluvia, el viento, los terremotos, las erupciones volcánicas y otros procesos físicos y químicos provocan la meteorización de una forma u otra.

Todas las rocas contienen minerales, y producen arcilla roja cuando las rocas contienen óxidos de hierro. El granito y el basalto son ejemplos de rocas que contienen óxidos de hierro. Siendo así, la arcilla roja se compone de partículas muy finas que son más de 1,000 veces más pequeñas que los granos de arena.

Las partículas de arcilla contienen SiO_2 y una mezcla de otros minerales, como cuarzo, carbonato, óxidos de aluminio y óxidos de hierro. La relación de SiO_2 a otros minerales dentro de la arcilla determina el tipo de arcilla. Los minerales en las partículas de arcilla atraen fuertemente el agua, lo que hace que las partículas se expandan y contraigan en respuesta a las condiciones húmedas y secas y los cambios de temperatura. Cuando las partículas se hidratan en condiciones húmedas, pueden duplicar su tamaño.

Las arcillas rojas tiene una larga historia en el aspecto de uso, como la pigmentación para pinturas, reemplazos por compuestos sintéticos, material que mezclado con agua forma un lodo que puede ser modelado, secado y cocido en cerámica y material para usos industriales, etc.

1.1.1.1. Caolinita

La caolinita es un mineral de arcilla que pertenece al grupo de minerales con la composición química $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Es un mineral de silicato estratificado, con una lámina tetraédrica de sílice (SiO_4) unida a través de átomos de oxígeno a una hoja octaédrica de octaedro de alúmina (AlO_6).

La caolinita es producto de alteraciones naturales de feldespatos, feldespatoideos y otros silicatos. Es uno de los minerales más comunes la cual se encuentra en abundancia en los suelos que se formaron a partir de la erosión química de las rocas en climas cálidos y húmedos. Los depósitos de arcilla con frecuencia serán casi 100% de caolinita pura.

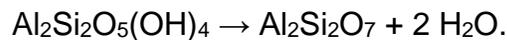
La caolinita tiene una baja capacidad de intercambio catiónico (1-15 meq / 100 g). Es un mineral blando, terroso, generalmente blanco, producido por la erosión química de minerales de silicato de aluminio como el feldespato. En muchas partes del mundo, es de color rosa-naranja-rojo con óxido de hierro, dándole un tono de óxido distintivo. Las concentraciones más ligeras producen colores blanco, amarillo o naranja claro. Las arcillas del grupo caolinita experimentan una serie de transformaciones de fase tras el tratamiento térmico en aire a presión atmosférica.

1.1.1.1.1. Secado

Por debajo de 100°C , la exposición al aire seco eliminará lentamente el agua líquida del caolín. El estado final para esta transformación se conoce como "cuero seco". Entre 100°C y aproximadamente 550°C , cualquier agua líquida restante se expulsa de la caolinita. El estado final de esta transformación se conoce como "hueso seco". A lo largo de este rango de temperatura, la expulsión de agua es reversible: si el caolín se expone al agua, se reabsorberá y se desintegrará en su forma de partículas finas. Las transformaciones posteriores ($>550^\circ\text{C}$) no son reversibles y representan cambios químicos permanentes.

1.1.1.1.2. Metacaolín

La deshidratación endotérmica de la caolinita comienza a 550-600°C produciendo metacaolín desordenado, pero la pérdida continua de hidroxilo se observa hasta 900°C. Aunque históricamente hubo mucho desacuerdo con respecto a la naturaleza de la fase metacaolínica, una amplia investigación ha llevado a un consenso general de que el metacaolín no es una simple mezcla de sílice amorfa (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃), sino una compleja estructura amorfa que conserva algunos orden de mayor alcance (pero no estrictamente cristalino) debido al apilamiento de sus capas hexagonales.



1.1.1.1.3. Usos

- Producción de papel para asegura el brillo en algunos grados de papel.
- Capacidad para inducir y acelerar la coagulación de la sangre. (En abril del 2008, el Instituto de Investigación Médica Naval de EE. UU. Anunció el uso exitoso de una infusión de aluminosilicatos derivada de caolinita en gasa tradicional, conocida comercialmente como QuikClot Combat Gasa).
- Producción de cerámica (es el componente principal de la porcelana).
- Ingrediente en pasta de dientes.
- Material difusor de luz en bombillas incandescentes blancas.
- Ingrediente en fabricación de cosméticos.
- Ingrediente en cremas protectoras de la piel.
- Extensión del pigmento blanco y modificación de los niveles de brillo en pintura.
- Modificación de las propiedades del caucho tras la vulcanización.
- Herramienta en la agricultura orgánica como un aerosol aplicado a los cultivos para evitar el daño por insectos y evitar quemaduras solares.
- Calmante en malestar estomacal, (más recientemente, las preparaciones de caolinita producidas industrialmente eran comunes para el tratamiento de la diarrea, el más común es el kaopectato, que abandonó el uso de caolín a favor de atapulgita y luego en los Estados Unidos el subsalicilato de bismuto el ingrediente activo en Pepto-Bismol).

- Ingrediente para mascarillas faciales o jabón (conocido como "arcilla blanca").
- Adsorbente para la utilización en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Acelerador (forma alterada de metacaolín) de la hidratación del cemento.

1.1.1.2. Montmorillonita

La montmorillonita (filosilicato), es un tipo de mineral blando que existe en pequeños cristales que se acumulan para formar una arcilla. Los filosilicatos o silicatos laminares, son un grupo de minerales que incluyen las micas, clorita, serpentina, talco y los minerales de arcilla.

La montmorillonita es una subclase de esmectita, un mineral filosilicato 2:1 que se caracteriza por tener una carga octaédrica superior al 50%; su capacidad de intercambio catiónico se debe a la sustitución isomorfa de Mg por Al en el plano central de alúmina. La sustitución de cationes de baja valencia en tales casos deja a los átomos de oxígeno cercanos con una carga neta negativa que puede atraer cationes.

Los cristales individuales de la arcilla de montmorillonita no están fuertemente unidos, por lo tanto, el agua puede intervenir y la arcilla se hincha. El contenido de agua de la montmorillonita es variable y aumenta mucho en volumen cuando absorbe agua. Químicamente, es hidróxido sódico de aluminio y calcio magnesio hidratado $(\text{Na, Ca})_{0.33}(\text{Al, Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

En general, el uso de este tipo de arcilla significa altos niveles de humedad durante el moldeo, y tiene una alta resistencia cuando está seco. Las arcillas de montmorillonita o esmectita generalmente tienen una fuerte tendencia a la rehidratación, una característica que hace que la eliminación de la última humedad durante el secado sea más difícil. Además, este tipo de arcilla tiene un tamaño de grano extraordinariamente fino (normalmente de 0.5 micras). Por otro lado, la principal ventaja de este tipo de arcilla es que durante la cocción, vitrifica a temperaturas relativamente bajas (entre 800 y 900 °C) y

como producto final, se obtiene un material de color rojo que tiene baja porosidad y alta dureza.

1.1.1.2.1. Usos

- Componente en la industria de la extracción de petróleo como lodo de perforación.
- Aditivo para retener el agua del suelo en suelos propensos a la sequía, que se utiliza en la construcción de diques de tierra.
- Eliminación en fugas de fluidos.
- Componente de la arena para la fundición.
- Desecante para eliminar la humedad en el aire y los gases.
- Principal constituyente en agentes no explosivos (para dividir rocas en canteras de piedras naturales en un esfuerzo por limitar la cantidad de desechos, o para la demolición de estructuras de concreto donde el uso de cargas explosivas es inaceptable).
- Sello o tapón de anulación para pozos de agua y como revestimiento para protección de los vertederos.
- Fabricación de papel para minimizar la formación de depósitos.
- Uso para la retención de drenajes.
- Material para fabricación de cosméticos.
- Floculante en estanques.
- Atracción de partículas finas en el agua para formación de flóculos y luego ser depositas en el fondo.
- Purificador de agua fino (usado purificar agua del grifo o pozos, de bacterias).
- Aditivo completamente natural que ayuda a desintoxicar y purificar los ambientes acuáticos en estanques, acuarios y pozos.
- Desinfectante natural y antiséptico.

1.1.1.3. Esméctitas

Las esmécticas de la clase de silicatos y como subclase los filosilicatos son un conjunto de minerales que se dividen en dos grupos:

Las dioctaédricas (alumínicas):

- montmorillonita $(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$
- beidellita $(\text{Na,Ca}_{0.5})_{0.3}\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$
- nontronita $\text{Na}_{0.3}\text{Fe}^{3+}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$

Las trioctaédricas (magnésicas):

- saponita $(\text{Ca}/2,\text{Na})_{0.3}(\text{Mg,Fe}^{2+})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$
- hectorita $\text{Na}_{0.3}(\text{Mg,Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$

Las esmectitas suelen presentarse en agregados laminares o en masas suaves y blandas. Estos minerales (Tabla 1) suelen precipitar en cuencas sedimentarias endorreicas con pH alcalino y gran concentración iónica. También pueden aparecer como productos de alteración hidrotermal de rocas ácidas o neutras.

Tabla 1. Diferentes tipos de minerales con formulas.

Mineral	Fórmula
Aliettita	Mineral arcilloso
Beidellita	$(\text{Na,Ca}_{0.5})_{0.3}\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$
Hectorita	$\text{Na}_{0.3}(\text{Mg,Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$
Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$
Nontronita	$\text{Na}_{0.3}\text{Fe}^{3+}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$
Saponita	$(\text{Ca}/2,\text{Na})_{0.3}(\text{Mg,Fe}^{2+})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$
Sauconita	$\text{Na}_{0.3}\text{Zn}_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$
Estevencita	$(\text{Ca}/2)_{0.3}\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Swinefordita	$(\text{Ca,Na})_{0.3}(\text{Li,Mg})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2.2\text{H}_2\text{O}$
Volkonskoita	$\text{Ca}_{0.3}(\text{Cr,Mg,Fe}^{3+})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$
Yakhontovita	$(\text{Ca,Na})_{0.5}(\text{Cu}^{2+},\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.3\text{H}_2\text{O}$

1.1.2. Deshidratación

Sabemos que los compuestos orgánicos están compuestos de carbono e hidrógeno con algún otro elemento. Los hidrocarburos son los compuestos orgánicos más comunes que están hechos principalmente de átomos de carbono e hidrógeno. Sobre la base de la estructura de los hidrocarburos se pueden clasificar además como compuestos alifáticos y aromáticos.

Los compuestos orgánicos pueden dar diferentes tipos de reacciones químicas que implican la formación de nuevos compuestos con el cambio en la unión entre átomos.

Algunas de las reacciones químicas forman una molécula resultante, mientras que otras simplemente muestran desplazamiento o sustitución de átomos. Las reacciones de síntesis o combinación implican la combinación de dos sustancias para formar una molécula.

A diferencia de las reacciones de síntesis, las reacciones de descomposición se pueden definir como la reacción en la que una sustancia se descompone en más de una, como la descomposición de la molécula de agua. Otro tipo de reacción son las reacciones de desplazamiento que pueden ser de desplazamiento simple o doble, implican en el desplazamiento de una o más partes de compuestos entre sí. Algunas reacciones orgánicas comunes son reacciones de adición, sustitución, reordenamiento, eliminación y oxidación-reducción.

Las reacciones de sustitución son las reacciones más comunes de alcanos, haloalcanos y otros compuestos orgánicos. Estas reacciones implican la sustitución de uno de los átomos de la molécula como grupo saliente en presencia de nucleófilo o electrófilo.

A diferencia de las reacciones de sustitución, las reacciones de eliminación implican la eliminación de algunos de los átomos en forma de buenos grupos salientes, como agua,

halógeno, etc. Un ejemplo de reacción de deshidratación es la eliminación de la molécula de agua del alcohol que forma alqueno.

Las reacciones de deshidratación se pueden definir como las reacciones químicas en las que se elimina una molécula de agua de la molécula reactiva. El proceso de combinación de dos moléculas con eliminación de molécula de agua se denomina síntesis de deshidratación.

Esto se debe a que el término deshidratación se usa para "perder agua" y la síntesis representa la formación de una nueva sustancia, por lo que la síntesis de deshidratación es una eliminación de agua con la formación de un nuevo compuesto. La combinación de dos moléculas formaran un compuesto y la molécula de agua se eliminará formándose como subproducto durante la reacción.

Por eso es que la deshidratación es una reacción química que implica la pérdida de una molécula de agua de la molécula que reacciona. Las reacciones de deshidratación son un subconjunto de reacciones de condensación. Debido a que el grupo hidroxilo (-OH) es un grupo saliente pobre.

1.1.2.1. Reacción de síntesis de deshidratación

La síntesis de deshidratación se puede definir como las reacciones de síntesis que implican la formación de un nuevo compuesto con la eliminación de la molécula de agua. Dado que estas reacciones dan como resultado la formación de un nuevo compuesto con una gran estructura, se denominan reacciones de síntesis.

Las reacciones de síntesis de deshidratación, donde la molécula de agua se elimina durante la reacción, también son un tipo de reacciones de condensación. Esto se debe a que durante la reacción de condensación dos moléculas se condensan para formar una molécula grande con pérdida de molécula de agua.

1.1.3. Hidrolisis

La hidrólisis es el reverso de una reacción de deshidratación porque implica la ruptura de un enlace covalente mediante la adición de una molécula de agua. Puede ser al revés de una reacción de condensación en la que dos moléculas se unen en una más grande y expulsan una molécula de agua. Por lo tanto, la hidrólisis agrega agua para descomponerse, mientras que la condensación se acumula al eliminar el agua y otros solventes.

La hidrólisis ocurre por el ataque nucleofílico del oxígeno contenido en agua en el átomo de silicio. Esta puede ser más rápida y completa cuando se emplean catalizadores. Aunque los ácidos minerales o el amoníaco se usan generalmente en el procesamiento de sol-gel, otros catalizadores conocidos son ácido acético, KOH, aminas, KF, HF, alcóxidos de titanio y alcóxidos y óxidos de vanadio.

1.2. La calidad microbiológica del agua

1.2.1. Calidad del agua para uso y consumo humano

El suministro de agua para uso y consumo humano, ha desempeñado un papel fundamental en la disminución de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua.

Para efectos de la protección a la salud contra riesgos sanitarios, las fuentes de agua deben mantenerse siempre vigiladas y protegidas. El agua para consumo debe someterse a diferentes métodos y procesos para ser purificada y/o desinfectada, cumpliendo en esta forma con las normas sanitarias vigentes en el país.

Las autoridades estatales, municipales y dependencias federales, son las encargadas de establecer las bases legales expresadas en reglamentos y normas que han de permitir mediante su aplicación, logrando la cobertura nacional en la protección de este recurso, al igual que la salud y bienestar de la población en todo el país.

En México la calidad del agua para uso y consumo humano se encuentra normada por la Norma Oficial Mexicana la “NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización”, que indica los límites permisibles que el agua potable debe contener para contaminantes físico-químicos, organolépticos, radiactivos e infecciosos que atenten contra la salud humana.

1.2.1.1. “Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someter el agua para su potabilización (SSA, 2000).”

Objetivo: Establecer los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano.

Debe cumplirla: Los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

En esta norma se encuentran los Límites Máximos Permisibles (LMP) de diferentes contaminantes, los cuales son estrictamente analizados. Los estándares que se encuentran son de carácter biológico-infeccioso (Tabla 2); físicos y organolépticos (Tabla 3); plaguicidas (Tabla 4), hidrocarburos aromáticos (Tabla 5), elementos y compuestos (Tabla 6); y radioactivos (Tabla 7).

Tabla 2. Límites máximos permisibles de las características microbiológicas para calidad del agua potable.

Característica	LMP
Organismos coliformes totales	Ausencia
<i>E. Coli</i>	Ausencia

Tabla 3. Límites permisibles de las características físicas y organolépticas para calidad del agua potable.

Característica	LMP
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (NTU) o su equivalente en otro método.

Tabla 4. Límites máximos permisibles de las características químicas (plaguicidas) para calidad del agua potable.

Característica	Unidades	LMP
Aldrín y dieldrín separados o combinados)	$\mu\text{g/L}$	0.03
Clordano (total de isómeros)		0.2
DDT (total de isómeros)		1
Gamma-HCH (lindano)		2
Hexaclorobenceno		1
Heptacloro y epóxido de heptacloro		0.03
Metoxicloro		20
2,4-D		30

Tabla 5. Límites máximos permisibles de las características químicas (hidrocarburos aromáticos) para calidad del agua potable.

Característica	Unidades	LMP
Benceno	$\mu\text{g/L}$	10
Etilbenceno		300
Tolueno		700
Xileno (tres isómeros)		500

Tabla 6. Límites máximos permisibles de las características químicas (elementos y compuestos) para calidad del agua potable.

Característica	Unidades	LMP
Aluminio	mg/L	0.2
Arsénico		0.025
Bario		0.7
Cadmio		0.005
Cianuros (como CN-)		0.07
Cloro residual libre		0.2 - 1.5
Cloruros (como Cl-)		250
Cobre		2
Cromo total		0.05
Dureza total (como CaCO₃)		500
Fenoles o compuestos fenólicos		0.3
Hierro		0.3
Fluoruros (como F-)		1.5
Manganeso		0.15
Mercurio		0.001
Nitratos (como N)		10
Nitritos (como N)		1
pH (potencial de hidrógeno)		----
Nitrógeno amoniacal (como N)		0.5
Plomo		0.01
Sodio		200
Sólidos disueltos totales		1000

sulfatos (como SO₄)	mg/L	1000
Substancias activas al azul del metileno (SAAM)		0.5
Trihalometanos totales		0.2
Yodo residual libre		0.2-0.5
Zinc		5

Tabla 7. Límites máximos permisibles de las características radiactivas para calidad del agua potable.

Característica	Límite permisible
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1

1.2.2. Enfermedades de transmisión hídrica

La gravedad entre la relación infección-enfermedad va a depender del tipo de microorganismo, su modo de transportación y el perfil (vulnerabilidad) de la persona que es atacado por éste.

Existen ciertos microorganismos que ponen en riesgo la salud humana teniendo como medio de transporte el agua, ocasionando las llamadas “enfermedades de transmisión hídrica”. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1993, las enfermedades de transmisión hídrica podrían evitarse, si se garantizara el acceso al agua potable y saneamiento ambiental, si se asegurara el acceso a servicios básicos de salud, y si se preservara y protegiera el medio ambiente. Al igual que la misma OPS en 2010, dice, que los efectos adversos sobre la salud humana ocasionados por el agua pueden dividirse en cuatro categorías:

- Enfermedades transmitidas por el agua.

Estas enfermedades son causadas por el agua contaminada por desechos humanos, animales y/o químicos provocando cólera, fiebre, tifoidea, shigella, poliomeilitis, meningitis,

hepatitis, diarrea, etc. Sin embargo, estas enfermedades se pueden prevenir con un tratamiento del agua antes de consumirla.

- Enfermedades con base u originadas en el agua.

Enfermedades que son causadas por organismos acuáticos que pasan una parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales. Denominados colectivamente helmintos que infectan al hombre y que aunque no son mortales, privan a las personas de llevar una vida sana.

- Enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua.

Estas enfermedades son transmitidas por mosquitos, que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas causando la malaria, la fiebre amarilla, el dengue, la filariasis, etc.

- Enfermedades vinculadas a la escasez de agua.

Enfermedades que se propagan en condiciones de escasez de agua dulce y agua con déficit de saneamiento como el tracoma, dermatitis de contacto, etc.

En la Tabla 8, se muestran algunas enfermedades de transmisión hídrica que se padecen en México.

Tabla 8. Enfermedades de carácter hídrico por transmisión de aguas contaminadas en México.

Enfermedad	Organismo productor
Bacteria	
Fiebre tifoidea	<i>Salmonella thyphosa</i>
Fiebre paratifoidea	<i>Salmonella paratyphi A y B</i>
Disentería	<i>Shighella dysenteria</i>
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>

Diarrea	<i>Proteus morganii</i>
Colibacilosis	<i>Escherichia coli</i>
Tularemia	<i>Francisella tularensis</i>
Diarrea secretora	<i>Campylobacter, salmonella, shigella o E. Coli.</i>
Gastroenteritis	<i>E. Coli, salmonella, shigella, campylobacter y cianobacterias tóxicas</i>
Cáncer	<i>Cianobacterias tóxicas</i>
Leptospirosis	<i>Leptospira spp</i>
Fiebres entéricas tifoidea y paratifoidea	<i>Salmonella typhi y salmonella paratyphi</i>
Virus	
Hepatitis infecciosa A y E	<i>Virus hepatitis A y E</i>
Otros	
Ascariasis	<i>Ascaris lumbricoides</i>

De acuerdo con la OMS, todos los microorganismos patógenos poseen particularidades que marcan un diferenciador a los contaminantes químicos, las cuales son:

- No se encuentran en solución, sino que están presentes en forma de partículas, ya sea en suspensión libre o aglomeración en la materia suspendida en el agua.
- El riesgo de contraer una enfermedad no depende del todo en la concentración media de dicho microorganismo en el agua, si no que la probabilidad de que este se prolifere en un organismo y el que provoque alguna enfermedad depende de su grado de invasión, de su dosis mínima infectante así como también del nivel inmunológico de individuo.
- Se multiplican en el organismo huésped, algunos en los alimentos y en las bebidas lo que hace de mayor aumento el riesgo de infección.
- Al contrario de los efectos que son provocados por las sustancias químicas, la relación de dosis-efecto de los microorganismos patógenos, estos no son

acumulativos. Esto quiere decir que con una única exposición del individuo basta para provocar una enfermedad.

1.3. Evaluación microbiológica del agua

En la evaluación microbiológica de calidad del agua, sistemáticamente se realizan pruebas de laboratorio que permiten estimar la magnitud de la contaminación bacteriana de origen fecal y otros.

Los análisis de muestras ambientales para la presencia de agentes patógenos intestinales son a menudo métodos difíciles, complejos y requieren de mucho tiempo. Por eso es que las pruebas actuales y de fácil análisis consisten en la determinación no de los patógenos, si no de los indicadores bacteriológicos.

Los indicadores bacteriológicos son organismos de un grupo específico, el cual por su sola presencia se demuestra que ocurre una contaminación. También son utilizados para evaluar la eficacia de un proceso de alimentos y procesos de tratamientos de aguas residuales.

La cantidad y variedad de bacterias y potencialmente patógenas difiere de acuerdo al área geográfica, a la naturaleza y grado de tratamiento de desechos, a la capacidad de auto purificación de los cuerpos de agua y al abastecimiento seguro de las diferentes fuentes de agua, asimismo de las características físico - químicas que tenga el agua.

Los coliformes, que se producen normalmente en los intestinos de todos los animales de sangre caliente y humanos, son excretados en grandes cantidades en las heces. En el agua contaminada, se encuentran en cantidad que proporcionalmente indican el grado de contaminación fecal. La presencia del grupo es indicativo de que otros tipos de microorganismos capaces de causar alguna enfermedad también pueden estar presentes y que el agua es potencialmente insegura para beber.

1.3.1. Indicadores de calidad del agua

1.3.1.1. Coliformes Totales

La denominación de coliformes se le otorga a todo aquel grupo de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común y son de mucha importancia como indicadores de contaminación del agua y de los alimentos. El término coliformes proviene de *E. Coli*, la bacteria principal de ese grupo, el cual es la *Escherichia Coli*. Como ya se sabe la bacteria *E. Coli* es de origen fecal; para distinguir a las demás que no son de origen fecal se utiliza el término de coliformes totales y a los de origen intestinal o coliformes fecales. Estos términos ayudan mucho para la diferenciación, y otorga más veracidad y un alto grado de certeza si la contaminación que presenta el agua es de origen fecal (Mossel, D. A. A., et al, 2003).

El grupo de coliformes incluyen *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y especies de *Klebsiella*, siendo relativamente fáciles de detectar. Estos viven como saprófitos independientes o bacterias intestinales (coliformes fecales; *Escherichia* y *Klebsiella*).

Este grupo incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram-negativas, no esporulantes, que forman gas en fermentación de lactosa. Estas bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir por mucho tiempo a un medio acuático, están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos. Su velocidad de mortalidad depende de la temperatura (<27°C y >45°C) del agua, los efectos de la luz solar, las poblaciones de otras bacterias presentes, la composición química, la cantidad y tipo de materia orgánica presente, al igual que el pH y humedad.

1.3.1.2. Coliformes Fecales y *E. Coli*

Aunque el grupo de coliformes totales ha servido como principal indicador de la contaminación del agua por muchos años, muchos de los organismos de este grupo no se limitan a las fuentes de materia fecal. Se han desarrollado métodos para restringir la enumeración de coliformes que son principalmente de origen fecal, llamados, coliformes fecales. Estos organismos, que incluyen los géneros *Escherichia* y *Klebsiella*, se

diferencian en el laboratorio por su capacidad para fermentar la lactosa con la producción de ácido y gas.

Las investigaciones ecológicas han demostrado que *E. Coli* proviene del tracto intestinal del hombre y de los animales de sangre caliente, ya que puede sobrevivir e incluso multiplicarse en otros nichos. Por lo tanto, la presencia de esta bacteria indica que puede haber existido contaminación fecal y que el consumidor podría estar expuesto a patógenos entéricos cuando ingiere el alimento o agua (Mossel, D. A. A., et al, 2003).

Algunos tienden a sugerir el uso de *E. Coli* como un indicador, ya que fácilmente se puede distinguir de otros miembros del grupo de coliformes fecales.

Los coliformes fecales se pueden detectar por métodos similares a los utilizados para los indicadores coliformes. La diferencia al momento de analizar es a la temperatura que se lleva y el tiempo de cultivo para las pruebas de Numero Más Probable (NMP) y filtro de membrana.

1.4. Filtración

1.4.1. Definición

La filtración se define como un proceso unitario de separación, el cual divide los componentes de una mezcla de fase líquida y fase sólida a través de un medio poroso.

El uso de un medio poroso hace posible retener las partículas de la mezcla heterogénea que sean mayores que los orificios del medio filtrante (porosidad). Se clasifica como filtrado al líquido, y residuo a lo que el filtro retiene.

En el caso de la filtración del agua, el líquido pasa a través del medio poroso, los sólidos en el fluido se retienen (en función del tamaño de poro). También es utilizada para procesos biológicos, especialmente en el tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales en el que las impurezas no deseadas se eliminan por absorción en una película biológica crecida sobre el medio filtrante.

Hoy en día, existe gran variedad de mecanismos para la filtración, por lo que se puede optar el más viable para un objetivo en particular.

Para contar con una filtración adecuada y definida se requieren elementos como: el medio filtrante, influente con sólidos en suspensión, fuerza o carga que haga una diferencia de presión y que obligue al fluido a avanzar y un dispositivo o contenedor, en su caso llamado filtro, donde se desarrollará la aplicación de este proceso.

Debido a la fuerza de filtración, el influente es capaz de atravesar por un medio filtrante, se sabe que esta fuerza puede ser causada por diferentes procesos naturales o aplicando una fuerza externa como la gravedad, centrifugación y presiones, estas fuerzas pueden ser aplicadas por encima del filtro o debajo de este, por medio de vacío o por una combinación de estos.

Para la buena eficiencia del proceso de filtración, esta depende de la relación que exista entre las características tanto de la suspensión y del medio filtrante a utilizar, así como también de la hidráulica de la filtración y la calidad del efluente.

1.4.2. Tipos de filtración

De acuerdo a Gomella et. al, 1997, existen dos tipos de filtración: filtración rápida y filtración lenta.

1.4.2.1. Filtración rápida

La filtración rápida tiene un caudal específico de 12 - 36 m³/día (Gomella et. al, 1997). Es realizada por fuerza de gravedad, con un flujo descendente o ascendente, por presión, y por un lecho uniforme o mixto. Existen muchos tipos de materiales filtrantes, el tamaño efectivo y por lo que se le reconoce como una filtración rápida es el tamaño granulométrico del material usado como lecho filtrante que oscila entre 35 y 130 mm.

1.4.2.2. Filtración lenta

La filtración lenta se define por tener un caudal específico de 0.25 a 2 m³/día (Gomella et. al, 1997), y en el que estrictamente tiene un proceso biológico, según Gomella asegura que las eficiencias más elevadas corresponden a caudales específicos menores. El tamaño efectivo por lo que se reconoce es el tamaño granulométrico del material usado como lecho filtrante que oscila entre <0.5 y 1.5 mm.

Actualmente la filtración lenta es un proceso utilizado e importante en suministro de agua, como sistema de filtros que alimentan la red de agua potable, o lagunas de condicionadas que son destinadas a alimentar acuíferos subterráneos.

1.4.2.2.1. Membrana biológica

La membrana, capa biológica o biocapa funciona mediante el uso de una película biológica compleja que crece naturalmente sobre la superficie de un lecho filtrante, el cual actúa como un sustrato. Esta es producida tras varios días durante los cuales el agua filtrada debe desecharse, para poder apreciar la maduración del filtro. Así se forma una capa sobre la superficie del medio filtrante dejando una serie de acumulaciones como partículas orgánicas y minerales. Después de varios días (30 a 45) los coloides quedan coagulados y retenidos, las partículas no colides más finas quedan retenidas, el olor, color y sabor desaparecen, y los compuestos amoniacales se nitrifican (Gomella et. al, 1997).

1.4.3. Tipos de filtros

1.4.3.1. Filtración de lecho profundo

En la filtración de lecho profundo, el agua entra y atraviesa de forma descendente en un medio filtrante depositado en forma de lecho. Una vez que el agua fluye a través del lecho filtrante, se acumulan los sólidos sobre él, reteniéndolos de forma de forma física. Así con el paso del tiempo, estos sólidos se van acumulando de forma cada vez mayor, en su mayoría los sólidos llegan a ser atrapados en la parte más alta del lecho, dependiendo

también del tamaño granulométrico del material, después estos van quedando retenidos en el resto del lecho como lo muestra la Figura 1.

En caso de una acumulación grande de sólidos, se refleja en el caudal de salida disminuyendo de manera gradual y de forma proporcional. Para poder eliminar los sólidos retenidos en el lecho estos son retirados con un lavado en sentido inverso. Esto se hace realizando una circulación de agua depurada en dirección contraria al flujo inicial.

En la filtración de lecho profundo, también puede presentarse una filtración multicapas, este tipo de filtración contiene varios tipos de medios filtrantes de uno o diferentes tamaños granulométricos, y tipo de composición.

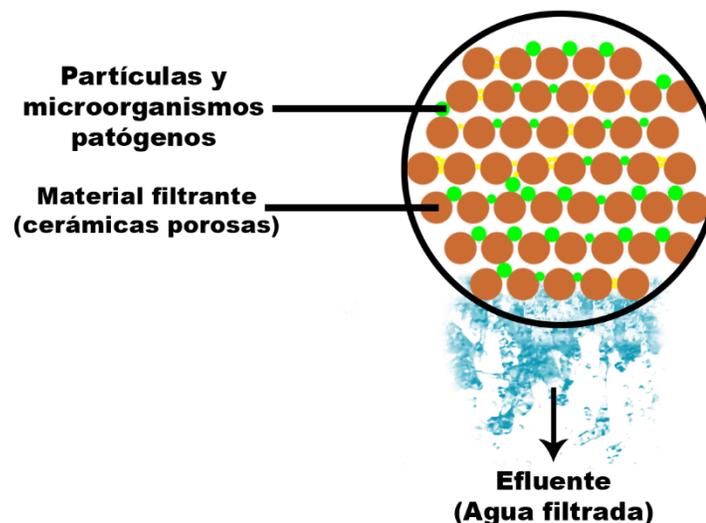


Figura 1. Filtración de lecho profundo.

1.4.3.2. Filtración con formación de torta (convencional)

En la filtración con formación de torta, los sólidos retenidos sobre el medio filtrante van formando capa, en el cual circula el agua, denominado torta filtrante. Este tipo de filtración separa grandes cantidades de sólidos en forma de torta de cristales o lodo. A medida que avanza el proceso de filtrado aumenta el espesor de la torta por lo que la resistencia al paso de fluido es proporcional a su crecimiento.

La función que tiene el medio filtrante es la de crear un medio de soporte para la carga de la torta filtrante mientras las capas se van formando inicialmente.

Los factores más importantes de los que depende la velocidad de filtración son:

- La caída de presión
- El área superficial del filtro.
- La viscosidad del filtrado.
- La resistencia de la torta.
- La resistencia del medio filtrante y de las capas de torta.

1.4.3.3. Filtración por membranas

El proceso de filtración por membrana es altamente aceptado y utilizado principalmente en giros laborales como industrias alimenticias, lácteas, farmacéuticas y edulcorantes, por la capacidad de separar componentes como proteínas, carbohidratos, gomas, etc., a muy bajas temperaturas o temperaturas ambiente. En función de la membrana, será la filtración de diferentes tamaños de partículas, ya que algunas podan atravesarla, mientras que otras son atrapadas en ella.

1.4.3.3.1. Microfiltración

Trabaja a baja presión para separar partículas de alto peso molecular, coloides en suspensión o bien sólidos disueltos (Figura 2).

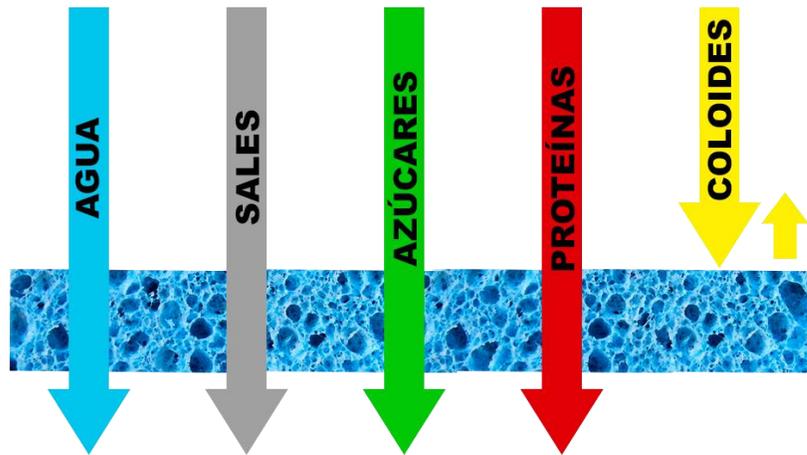


Figura 2. Filtración por membrana (microfiltración).

1.4.3.3.2. Ultrafiltración

Usada para la concentración de compuestos, puede separar partículas como proteínas lácteas, carbohidratos, y enzimas (Figura 3).

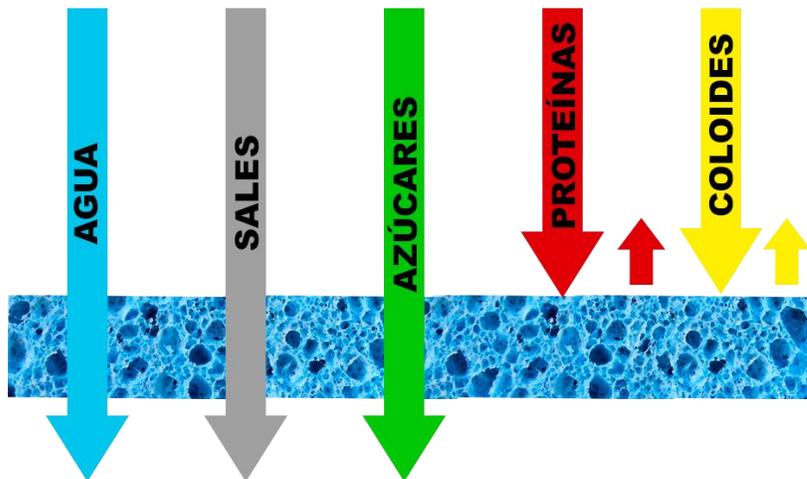


Figura 3. Filtración por membrana (ultrafiltración).

1.4.3.3.3. Nanofiltración

La nanofiltración fue creada para adquirir separaciones específicas de compuestos de bajo peso molecular como azúcares y minerales disueltos (Figura 4).

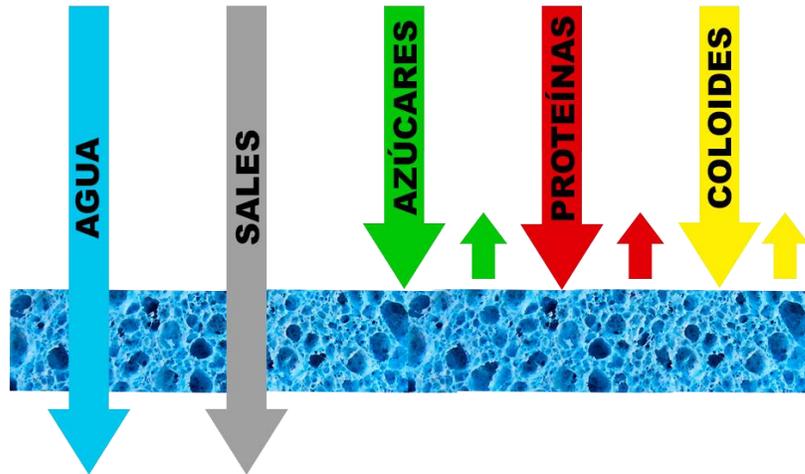


Figura 4. Filtración por membrana (nanofiltración).

1.4.3.3.4. Osmosis Inversa

Proceso de alta coacción, utilizado para concentrar compuestos de bajo peso molecular o purificar salidas de agua (Figura 5).

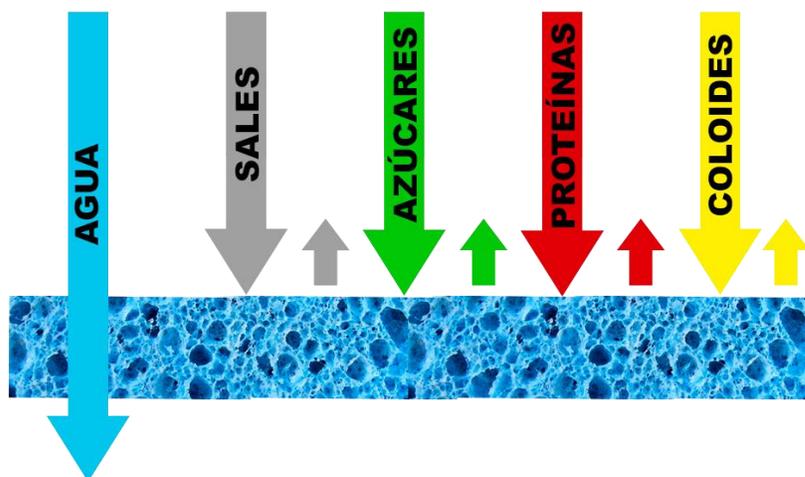


Figura 5. Filtración por membrana (osmosis inversa).

1.4.4. Mecanismos de remoción

Al mencionar adelante los diferentes mecanismos de remoción, cabe aclarar que durante la filtración del agua existe más de un mecanismo en conjunto con otros, combinándose en sincronía los mecanismos de remoción.

1.4.4.1. Cribado

El mecanismo de remoción más utilizado en la vida cotidiana, es un mecanismo en el cual las partículas son removidas del agua haciéndolas pasar a través de un filtro donde la porosidad es más pequeña que la partícula. Estas son capturadas al momento de ser retenidas a través de los espacios porosos, mientras el agua es capaz de fluir atravesando el material poroso, dejando las partículas atrás, como lo muestra la Figura 6.

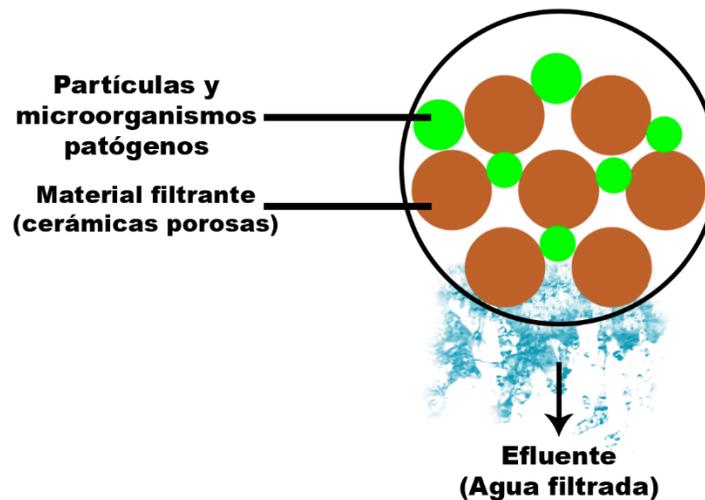


Figura 6. Mecanismos de remoción - Cribado (granos-partícula).

1.4.4.2. Sedimentación

Gracias a la gravedad, la sedimentación tiene lugar como mecanismo de remoción (Figura 7). La gravedad actúa sobre las partículas con mayor densidad a comparación del líquido que las rodea. Siendo que la fuerza de gravedad es mayor que las partículas, estas van

asentándose en el fondo del lecho. La cantidad de partículas removidas puede depender del tamaño y peso de estas, o del tiempo de sedimentación, a mayor tiempo, mejor acumulación de partículas.

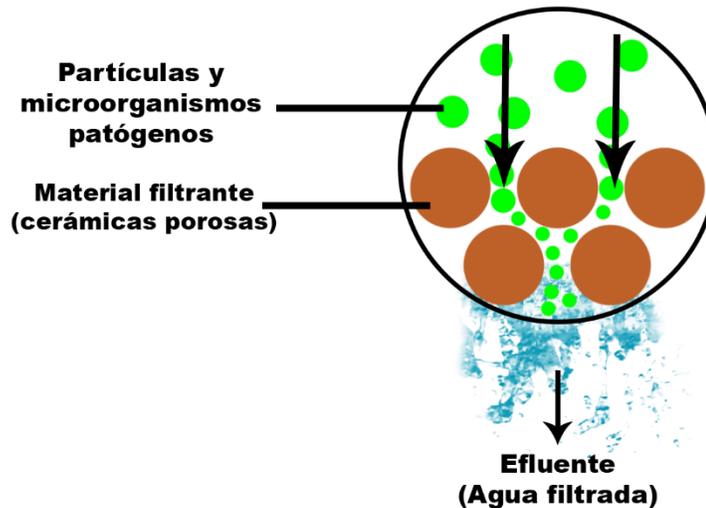


Figura 7. Mecanismos de remoción - Sedimentación (granos-partícula).

1.4.4.3. Impacto inercial

El mecanismo de remoción por impacto inercial, ocurre cuando las velocidades del flujo son muy altas, y las partículas no son capaces de adaptarse lo más rápido posible a los cambios bruscos del flujo del agua. Es por eso que se toma en cuenta la inercia, donde las partículas siguen trayectorias distintas a las líneas del flujo de agua, lo que implica mucha cantidad de movimiento. Por lo tanto, las partículas, debido a su inercia, continúan a lo largo de su trayectoria original (no siguiendo las líneas curvadas del flujo) y chocan contra los granos del manto poroso, como lo muestra en la Figura 8.

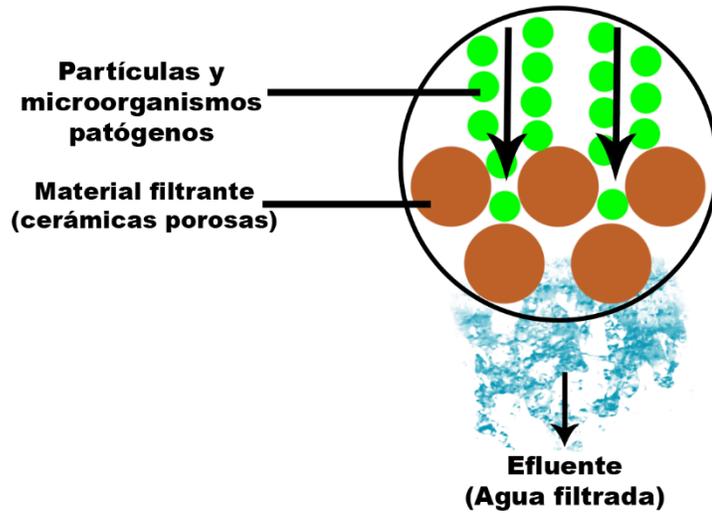


Figura 8. Mecanismos de remoción - Impacto inercial (granos-partícula).

1.4.4.4. Intercepción

Este mecanismo podría asimilarse al cribado, ya que la intercepción cuando una partícula debe pasar por un campo inferior al radio del propio granulo, la función de los granos es interceptar la partícula, que después se pegará a ella. Sin embargo este mecanismo también está relacionado con la inercia, y es que cuando la partícula interceptada es demasiado pequeña y su inercia es bastante fuerte, entonces, la partícula sigue hasta que entra en contacto con un grano (Figura 9), este mecanismo va incrementando conforme proporcionalmente al crecimiento de película.

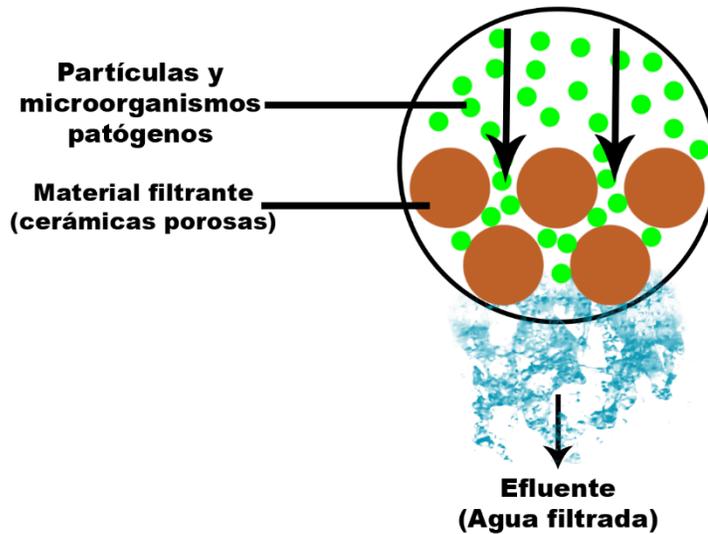


Figura 9. Mecanismos de remoción - Intercepción (granos-partícula).

1.4.4.5. Difusión

La difusión es el mecanismo de remoción donde existe un movimiento pasivo neto de las partículas de una región con mayor concentración a otras regiones de menor concentración, su movimiento es continuo hasta que la concentración de la sustancia sea uniforme en todas las regiones.

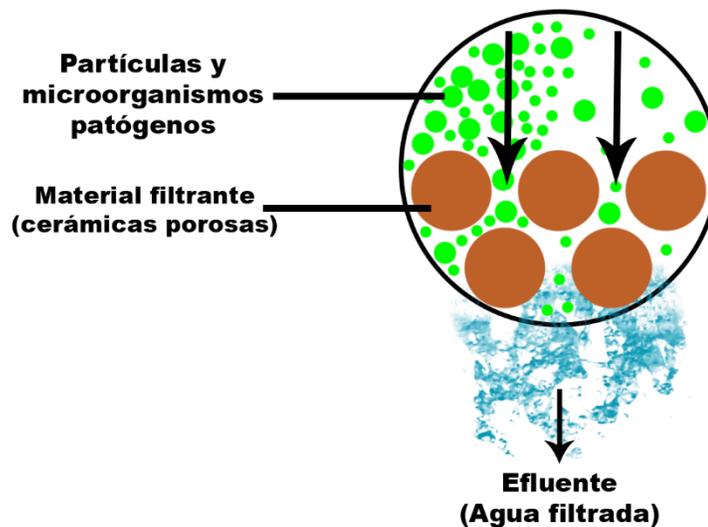


Figura 10. Mecanismos de remoción - Difusión (granos-partícula).

1.4.4.6. Adhesión

Este mecanismo está relacionado principalmente por las características de las superficies de las partículas y los granos porosos, así es como la adherencia entre las partículas y los granos se pueden realizar. Sin mencionar que debido a las diferentes características de las partículas, estas se pueden adherir directamente tanto a las superficies de los granos como a partículas retenidas (Figura 11).

1.4.4.6.1. Adsorción química (interacciones químicas)

La adsorción química es el mecanismo en la que las moléculas, átomos o iones (que hacen la función de adsorbatos) son retenidos o atrapados formando una interacción química mediante enlaces fuertes (energías de adsorción elevadas) en los centros activos al tener contacto con una superficie sólida como el medio filtrante (que hacen la función de adsorbente).

1.4.4.6.2. Adsorción física (Fuerzas de Van der Waals/Electroestáticas/Electrocinéticas)

Las fuerzas de Van der Waals (fuerza que incluye la adsorción física) son las principales fuerzas de corto alcance responsables de la unión de las partículas al lecho poroso. Por otro lado, existen otras fuerzas de corto alcance conocidas como fuerzas de repulsión electrostática, las cuales deben ser superadas para lograr el apego al medio filtrante. Sin embargo, las fuerzas de Van der Waals son dominantes en distancias cortas entre dos superficies de partículas, mientras que las fuerzas de repulsión electrostáticas son dominantes a mayores distancias cuando el agua tiene una fuerza iónica baja. Para los sistemas de filtrado con agua donde se presente una fuerza iónica baja, los mecanismos de transporte pueden hacer que las partículas suspendidas adquieran impulso hacia las partículas del lecho. Esto quiere decir, que si las fuerzas electrocinéticas de las partículas móviles son lo suficientemente grandes, la barrera de energía puede ser superada y la partícula adherida al grano del lecho poroso.

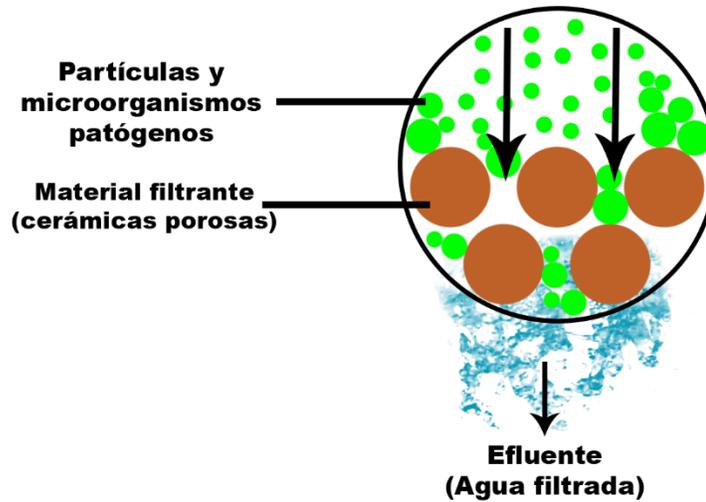


Figura 11. Mecanismos de remoción - Adhesión (granos-partícula).

1.4.4.7. Floculación

La floculación como mecanismo de remoción es la aglomeración de partículas (que en conjunto forman microflóculos), éstas tienden a depositarse de forma más eficiente en el material poroso, eliminándolas por los mecanismos ya descritos.

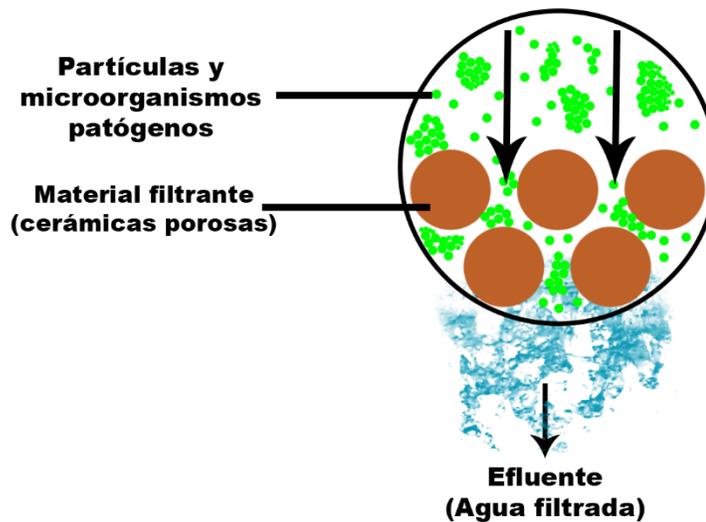


Figura 12. Mecanismos de remoción - Floculación (granos-partícula).

1.4.4.8. Crecimiento biológico

Para que el proceso de filtración y el mecanismo biológico operen como un verdadero “método de desinfección” se tiene que haber producido un schmutzdecke, tan suficiente como para que el comportamiento biológico funcione de manera adecuada. Tan solo así se iniciara el proceso para operar correctamente, a esto le podemos llamar maduración del filtro (la maduración puede demorar de 30 a 45 días).

El proceso se inicia cuando las bacterias depredadoras o transportadas por el agua utilizan como fuente de alimentación el depósito de materia orgánica, multiplicándose de manera selectiva, lo que contribuye a la formación de la película biológica del filtro. La función de estas bacterias, es oxidar la materia orgánica para obtener la energía necesaria para su metabolismo (desasimilación) y la convierten en material necesario para su crecimiento (asimilación). Los productos de la desasimilación son llevados por el agua a profundidades del filtro donde son utilizados por otros organismos.

El contenido bacteriológico es limitado por el contenido de materia orgánica, acompañado de un fenómeno de mortalidad, durante el cual se libera materia orgánica para ser utilizada por las bacterias de las capas más profundas. De este modo, la materia orgánica degradable presente en el agua se descompone gradualmente en agua, dióxido de carbono y sales como sulfatos, nitratos y fosfatos.

La actividad bacteriológica es más activa en la parte superior del lecho filtrante y va decreciendo gradualmente con la profundidad del filtro y/o la disponibilidad de alimento. Cuando se hace limpieza del filtro, removiendo la capa biológica, es necesario desarrollar un nuevo período de maduración del filtro.

1.4.5. Particularidades de la filtración

- La filtración es un proceso para la separación de partículas y fluidos en una suspensión, por lo que el fluido puede ser líquido o gas.

- La filtración aun como operación física, es importante en el área de la química para la separación de materiales de diferentes composiciones químicas. Esta es una de las técnicas más importantes utilizadas para la purificación de los compuestos.
- La filtración como ya se mencionó, es empleada también como una de las operaciones unitarias de ingeniería química, además esta puede combinarse simultáneamente con otras operaciones unitarias.
- En la filtración a diferencia del tamizado es una red multicapa que retiene aquellas partículas que no tienen que seguir en los canales del filtro.

1.5. Desinfección

La desinfección es un proceso del cual consiste la eliminación de microorganismos patógenos que puedan estar presentes en el agua, ya sea por métodos físicos y/o químicos, métodos que reducirán numéricamente la cantidad de microorganismos presentes en el agua. Si se habla para la desinfección de agua potable, de manera ideal, el proceso de desinfección debe tener un efecto residual (efecto que dure después de la desinfección y hasta llegar al receptor), el cual mantiene los agentes activos en el agua para prevenir el crecimiento de los microorganismos. El proceso de desinfección, es el tratamiento más importante para la potabilización del agua.

1.5.1. Métodos de desinfección del agua

El método de desinfección en el agua para la eliminación de microorganismos, va depender principalmente de la naturaleza del desinfectante y del tipo de microorganismo y/o contaminante.

Hoy en la actualidad, en los métodos de desinfección de agua se utilizan procesos físicos y químicos (Tabla 9 y 10). Existen diferentes variables para la elección de un método, ya sea por el costo, disponibilidad en el lugar o sitio, usos y costumbres de los usuarios.

Tabla 9. Procesos de desinfección física. (JIMÉNEZ, 2014)

Proceso	Derivados	Ventajas	Desventajas
Radiación ultravioleta		No afecta en olor y sabor; el exceso no trae inconvenientes; y su costo es relativo.	No produce efecto residual y se aplica en pequeños volúmenes.
Calor	Radiación	No afecta en olor y sabor; simple; de bajo costo; y ambientalmente sustentable a nivel doméstico.	Tiempo de reposo; no produce efecto residual; y se aplica en pequeños volúmenes.
	Convección	No afecta en olor y sabor; simple y no requiere químicos.	Tiempo de reposo y solo para pequeños volúmenes.
Filtración	Uno o más lechos filtrantes (material filtrante)	Con un buen funcionamiento no afecta en olor y sabor; simple; bajos costos; no requiere químicos; y ambiental sustentable a nivel doméstico.	Requiere de retrolavados (cuando este saturado); no produce efecto residual; produce lodos; y formación de subproductos (dióxido de carbono y sales relativamente inocuas, como sulfatos, nitratos y fosfatos).
Ionización	(cobre-plata)	Desactiva principalmente la bacteria <i>Legionella</i> ; tiene un efecto mayor a largo plazo que otros desinfectantes; debido a su efectividad los efectos son mayores que los sistemas UV; no depende de la temperatura; se requiere un menor mantenimiento; debido a una disminución en el uso de químicos, las tuberías no son dañadas; y no existen dificultades de transporte y almacenamiento.	La efectividad del método depende del pH (pH ideal de 9); cuando la concentración de sólidos disueltos es alta, la plata precipita (esto quiere decir que los iones de plata no están disponibles para la desinfección); los iones de plata reaccionan fácilmente con los cloros y nitratos presentes en el agua (no efectivo); y algunas especies de microorganismos se vuelven resistentes a los iones de plata.

Tabla 10. Procesos de desinfección química. (JIMÉNEZ, 2014)

Proceso	Ventajas	Desventajas
Cloración	Método más utilizado; oxida fácilmente al hierro, sulfuros y manganeso; mejora generalmente la reducción del color, olor y sabor; buen poder residual; mejora los procesos de coagulación y filtración; y elimina el amonio.	Formación de subproductos halogenados y trihalometanos (THM); si se excede provoca problemas de olor y sabor; el cloro gas es peligroso y corrosivo; y es menos efectivo en pH alto.
Cloraminas	No forman subproductos clorados; no reaccionan con todos los compuestos orgánicos (causantes de olores y sabores); cuidan las redes y sistemas de abastecimiento de crecimientos bacterianos y tiene un buen poder residual.	Su poder de desinfección es bajo a comparación de la cloración; con un exceso de amoníaco puede provocar nitrificación en las redes de abastecimiento; no oxida al hierro, manganeso y sulfuros; es menos efectivo en pH alto; y en ocasiones crea subproductos como ácido dicloroacético y cloruro de cianógeno.
Dióxido de Cloro	Facilita la oxidación de hierro, manganeso y sulfuros; no produce subproductos halogenados; buen producto para la desinfección de <i>Cryptosporidium</i> y <i>Giardia</i> en comparación que la cloración y las cloraminas; elimina perfectamente olores y sabores; no influye el pH con su eficiencia; y proporciona buen poder residual.	Crea subproductos como cloritos y cloratos; el gas es explosivo en una concentración del 10% en el aire; y es un proceso que se genera in-situ
Permanganato Potásico	Oxida y elimina materia orgánica; fácil de aplicar; oxida las sustancias causantes de problemas sobre el olor y sabor; y no forma subproductos de bromatos, aldehídos ácidos, hierro, manganeso y sulfuros.	Tiñe el agua si se aplica en exceso; requiere mayor tiempo de contacto; es muy tóxico e irrita la piel que otros si no se cuenta con el equipo adecuado; y no es un gran desinfectante.
Ozono (Gas ozono)	Oxida al hierro, manganeso y sulfuros; elimina y controla olor, sabor y color; requiere una concentración y tiempo de contacto menor; y su efectividad no está influida por el pH.	Elevado costo; corrosivo y tóxico cuando forma óxido nítrico y ácido nítrico; no produce efecto residual; puede producir subproductos como bromatos, aldehídos y ácidos; y es un proceso que se genera in situ.
	Produce efecto residual; es eficaz contra las bacterias, los virus y otros microorganismos de enfermedades hídricas; es muy útil para desinfectar	Su disponibilidad y uso es limitado; su costo es 6 a 10 veces mayor que el cloro; cantidades mayores de turbidez afectan su eficiencia; tiempo de reposo; se

Yodación (Yodo)	pequeñas cantidades; la dosificación empleada en el agua es muy poca (teniendo valores altos de eficiencia);	inactiva a la presencia de sustancias inorgánicas; mayor tiempo de contacto; y reacciona lentamente con los compuestos orgánicos.
Plata Coloidal	Desinfección de agua y alimentos; comercial; fácil acceso; elimina bacterias, hongos y virus; y no produce resistencia a los microorganismos.	Dosis exactas (la OMS recomienda su uso de 3.5 µm/día); efecto citotóxico (daño para las células), produce alteraciones nucleares de tipo necrótico (muerte de células) y afecta las funciones apoptóticas (muerte celular programada como mecanismo de control fisiológico en la población celular sobre los tejidos); provoca lipoperoxidación (enfermedades crónico-degenerativas); puede causar argiria (afección por los depósitos de sales de plata que se depositan en la piel, ojos y órganos internos); y daño en personas embazadas y alérgicas.

La selección del método de desinfección depende de:

- a) Objetivos de la desinfección: clasificación de agua
- b) Ventajas e inconvenientes de los métodos
 - Facilidad con la que el proceso o método puede ser monitoreado y controlado.
 - La disponibilidad de la tecnología empleada para el método, en escala de acuerdo al objetivo de abastecimiento.

Las condiciones para elegir un método exacto en agua potable son:

- a) Eficacia en el agua libre de microorganismos patógenos.
- b) Prevenir la generación de subproductos que atenten contra la salud humana.
- c) Que se mantenga la calidad bacteriología durante el transporte del agua hacia el receptor (poder residual).

1.5.2. Nanopartículas de plata

En general, las nanopartículas de plata tienen aplicaciones en el campo de la medicina por lo cual abre el camino para desarrollar productos, como la plata coloidal que elimina diversos patógenos.

Este progreso no solo genera esperanzas en las poblaciones de bajos recursos. Las nanopartículas de plata, tiene dimensiones que van desde decenas hasta cientos de nanómetros, y tiene características únicas que difieren de las propiedades del material en bruto. El área de superficie relativa aumenta en las nanopartículas en comparación con el material en bruto de partículas finas y ultrafinas, el cual puede conducir a cambios en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas, térmicas y eléctricas, magnéticas y luminiscentes. (RICH, 2003).

En los últimos años, las nanopartículas inorgánicas cuyas estructuras exhiben una funcionalidad novedosa con características físicas, químicas y biológicas mejoradas debido a su tamaño de escala nanométrica, han despertado mucho interés hasta la fecha. Entre los agentes inorgánicos, la plata es el metal de elección en diferentes campos, incluidos los sistemas biológicos, así como los organismos vivos, la medicina y ahora en tratamiento de aguas, ya que se ha utilizado de forma más extensa desde la antigüedad para combatir las infecciones y controlar las plagas.

Las partículas de Ag juegan un papel importante en la biotecnología y la biomedicina para controlar las bacterias. Las nanopartículas de Ag son la opción preferida porque no son tóxicas para el cuerpo humano a bajas concentraciones y tienen propiedades antimicrobianas de amplio espectro. Estas nanopartículas se han estudiado como un ambiente para el suministro de antibióticos, y para la producción de filtros desinfectantes.

1.5.2.1. Los productos de las nanopartículas de Ag

Los productos de Ag que ya están disponibles para uso humano incluyen apósitos para heridas, dispositivos anticonceptivos, instrumentos quirúrgicos y prótesis óseas. La purificación del agua, el envasado de alimentos, los dispositivos médicos y los vendajes, y la industria alimentaria uso este tipo de productos de Ag para la limitación del crecimiento bacteriano.

1.5.2.2. La actividad antimicrobiana de las nanopartículas de Ag

Los estudios de toxicidad de Ag en patógenos abren una puerta a una nueva gama de agentes antibacterianos y antifúngicos según lo revelado por la CDC en 2013. Los diferentes productos de Ag se muestran para evitar la colonización bacteriana en diversas superficies. Además, son conocidos por su funcionamiento en contra de varios virus.

Por otro se evaluó el uso potencial de los productos de Ag para controlar los patógenos en función de su acción contra las bacterias, su toxicidad y los posibles mecanismos de acción.

VIVEK et al, 2012, estudiaron las nanopartículas de Ag (Ag-NP) biogénicas por el extracto de *Gelidiella acerosa* y sus efectos antifúngicos contra diferentes patógenos fúngicos, incluyendo *Humicola insolens*, *Fusarium dimerum*, *Mucor indicus* y *Trichoderma reesei*. El estudio indicó que las Ag-NP tienen una actividad antifúngica considerable en comparación con la droga antimicótica estándar. Por otro lado se encontró que las Ag-NP sintetizadas que usan extractos de *Hypnea sp.* es más efectiva de forma bactericida contra bacterias Gram-negativas (*Escherichia coli*) que Gram-positivas (*Staphylococcus aureus*). LONGO et al, 2013, estudiaron la actividad antibacteriana y demostraron que la actividad antibacteriana contra cinco patógenos clínicos en diversas concentraciones muestra un obstáculo en el crecimiento a diversas concentraciones nanomolares.

1.5.2.3. Mecanismo antibacteriano de nanopartículas de Ag

El mecanismo que tiene la plata sobre el poder antibacteriano, se debe al estudio de muchos investigadores, RICH, 2013, menciona que las nanopartículas de plata se adhieren a las proteínas que contienen azufre de las membranas celulares bacterianas, lo que da como resultado una mayor permeabilidad de la membrana, provocando la muerte de las células bacterianas. El mismo explica que podría atribuirse a su interacción con la superficie de la membrana, así como a su penetración dentro de la bacteria.

SONDI et al, hacen mención que la actividad bactericida de las nanopartículas de Ag en bacterias Gram-negativas dependía de la dosis y estaba estrechamente relacionada con la producción de "fosas" en la pared celular de las bacterias. Por lo que dichas nanopartículas se acumulaban en la membrana bacteriana, conduciendo a la muerte celular y degradación de la estructura de la membrana del microorganismo.

La plata en forma de plata coloidal se ha utilizado durante mucho tiempo en los Estados Unidos desde 1954 y se ha registrado como un material biocida. La aparición de bacterias resistentes a antibióticos y/o multirresistentes se identifica como un desafío crucial para la salud pública. Con el fin de controlar y matar a las bacterias resistentes a los antibióticos múltiples, se requieren medicamentos de alto precio que pueden tener efectos secundarios. Como resultado, los tratamientos son costosos y requieren más tiempo. Por eso, es que las nanopartículas pueden ofrecer una nueva estrategia para abordar las bacterias resistentes. (LONGO, 2013).

VIVEK et al, 2012, afirmaron que la plata de tamaño nano se ha estudiado para producir materiales compuestos para su uso como filtros desinfectantes. La mayoría de las aplicaciones son filtros de agua impregnados de plata, alguicidas y aditivos antimicrobianos.

1.6. Filtros de agua

La filtración de agua potable contribuye a una gran reducción de amenaza de enfermedades causadas por bacterias, protozoos, virus entre otros.

Un filtro de agua elimina las impurezas al reducir la contaminación del agua mediante una barrera física, un proceso químico y/o un proceso biológico. Los filtros limpian el agua de acuerdo al propósito que se le proporciona; irrigación agrícola, agua potable, acuarios públicos y privados, y el uso seguro de estanques, piscinas, remediación de aguas en plantas de tratamiento, etc.

1.6.1. Características

- Son sistemas no presurizados.
- No requieren de ninguna sustancia química, ni de electricidad para su uso y funcionamiento.
- Requieren niveles bajos de turbidez para su buen funcionamiento, de no ser así se saturan rápido, disminuyendo la eficiencia.
- No es compatible con el agua clorada por lo que el cloro llega a tener impacto perjudicial en la colonia microbiológica del filtro.
- Funcionan eficientemente con agua que no contenga niveles altos de color.
- El costo de mantenimiento es relativamente bajo, y son mínimas las piezas que se tiene que reemplazar en caso de hacerlo.
- El mantenimiento es muy sencillo y no necesita personal especializado.
- Necesita de un uso constante, si no es así se perderá la parte biológica, y se tendrá que reiniciar la estabilización de este, en caso de no dejar el tiempo de maduración el filtro no cumplirá ningún proceso de desinfección.
- El agua debe permanecer con un mínimo de 4 a 6 cm por encima del lecho filtrante, esto es para mantener la capa biológica, sin el agua suficiente la capa biológica muere.

- Para el llenado del filtro puede requerir de una placa difusora, que no altere el comportamiento de la capa biológica y provoque turbidez en el filtro.
- La limpieza del filtro se debe realizar cuando el flujo de agua de salida disminuya, esto quiere decir que hay una saturación de sólidos.
- Cuando se realiza la limpieza se debe esperar el tiempo requerido para la etapa de maduración.

1.6.2. Ventajas y desventajas

1.6.2.1. Ventajas

- Costos bajos costos de instalación.
- Costos bajos de operación.
- Costos bajos de mantenimiento.
- Fácil de instalar.
- Fácil de operar.
- Fácil de mantener.
- No requiere de suministro de algún desinfectante.
- No requiere de acción mecánica.
- No requiere de acción eléctrica.
- No requiere de sustancias químicas.
- No requiere de personal especializado.
- Alta eficiencia en el tratamiento de desinfección.
- Elimina la turbiedad en más de un 90%
- Alta durabilidad.
- Alta resistencia.
- Elimina color, olor y sabor.

1.6.2.2. Desventajas

- Resultados eficientes desde el inicio de su operación.

- El filtro requiere de un tiempo llamado “maduración del filtro”, el cual es proceso de estabilización para el buen funcionamiento del filtro.
- El filtro no puede resistir periodos largos sin que se alimente. Necesita de una alimentación constante.
- Puede llegar a niveles de saturación.
- Acumulación de residuos.

1.6.3. Medios filtrantes

El medio filtrante o también conocido como lecho filtrante o manto poroso, es el componente más importante y esencial para hacer posible el proceso de filtración y con este, que los diferentes mecanismos de remoción sean aplicados.

Existen muchos tipos de lechos filtrantes, con diferentes características e distintas cualidades, cada uno con ventajas y desventajas.

Principales condiciones para la selección del medio filtrante (Jiménez, 2014).

- Compatibilidad con el agua a tratar.
- Resistencia física, química y biológica.
- Permeabilidad al fluido.
- Capacidad de retención de sólidos.
- Fácil acceso.
- Bajo costo.
- Vida útil.
- Fácil instalación, operación y mantenimiento.
- Alta dureza.
- Solubilidad en ácido.
- Debe de estar visiblemente libre de partículas ajenas.
- Resistencia al calor.

1.6.4. Influyente

1.6.4.1. Agua residual

El agua residual es que aquel conjunto de residuos líquidos que son descargados a través de tuberías, ya sean por hogares domésticos, hoteles, industrias, fabricas, agricultura, etc. Estas pueden venir de una misma fuente, o la combinación de estas. Ya que en ocasiones son separas por cada industria y en otras circunstancias, son acumuladas a través del drenaje público. Las aguas residuales son clasificadas como sanitarias, comerciales, industriales, agrícolas, etc, dependiente del giro de su origen.

El agua residual, es agua totalmente contaminada, que aunque se compone principalmente de agua existen contaminantes químicos y biológicos presentes en diferentes concentraciones y tipos. Cada país puede clasificar el agua (residual, tratada, potable, etc) dependiendo de sus lineamientos y límites de contaminación para cada una de ellas.

Para limpiar el agua residual se deben de usar métodos precisos y adecuados dependiendo del tipo y grado de contaminación, sin dejar a un lado el producto final del agua a tratar.

2. Desarrollo Experimental

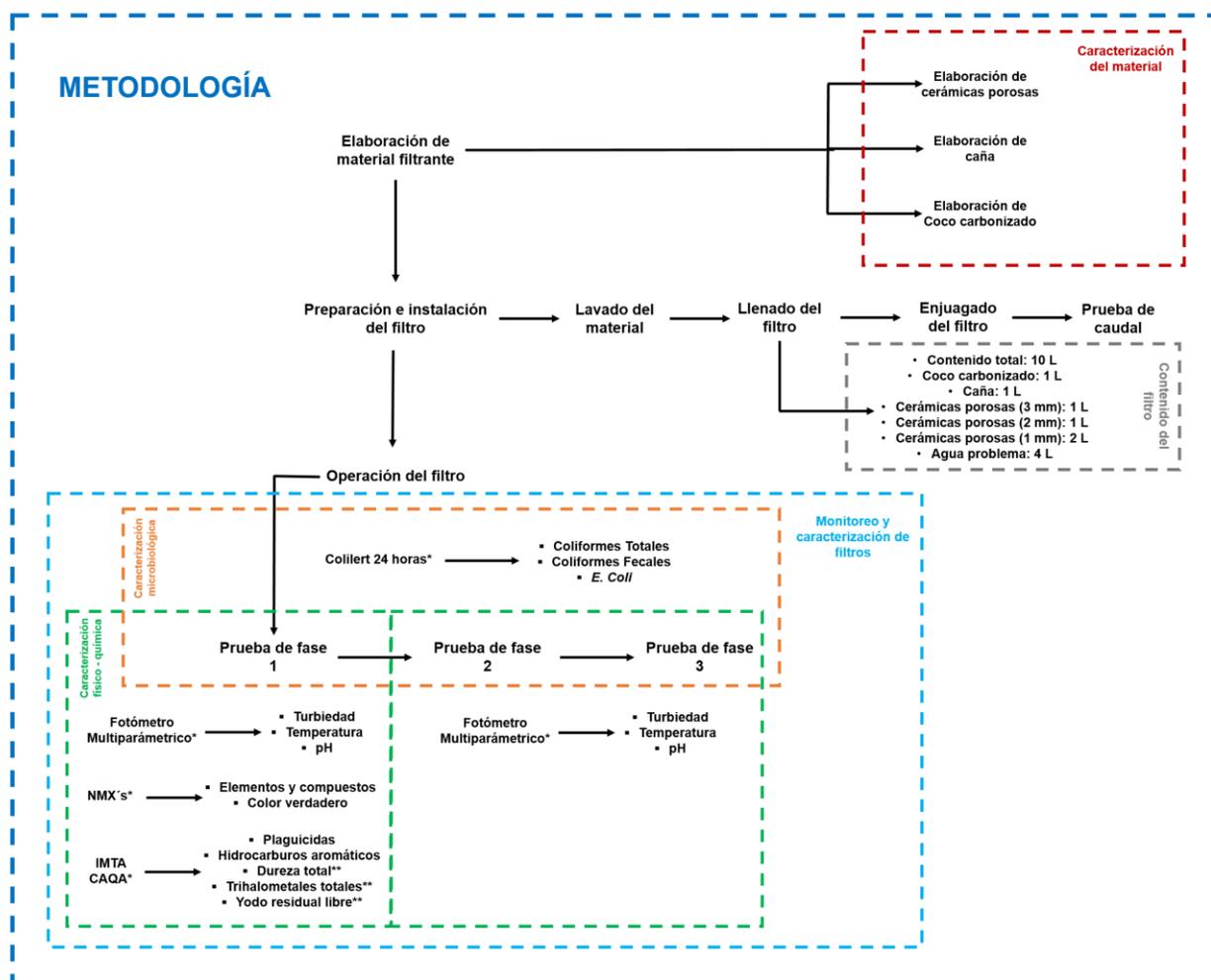


Figura 13. Diagrama de la metodología realizada.

2.1. Elaboración del medio filtrante

La elaboración de los medios filtrantes se fue preparando por etapas. A continuación se describirá las especificaciones de cómo fueron fabricados.

- Caña: La caña fue se dejó secar a temperatura ambiente por 48 horas, después de eso se colocó en la mufla en un contenedor con argón a una temperatura de 800 °C por 6 horas. Esto se hizo de manera repetitiva hasta obtener el contenido final para el uso en los filtros.

- **Coco carbonizado:** El coco se dejó secar a temperatura ambiente por 48 horas, después de eso se colocó en la mufla en un contenedor con aire a una temperatura de 800 °C por 6 horas. Esto se hizo de manera repetitiva hasta obtener el contenido final para el uso en los filtros.
- **Cerámicas porosas:** Se realizaron 3 diferentes contenidos de cerámicas porosas teniendo como variable la porosidad de estas. Se utilizó una mezcla de 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla roja y 1.5% de peso en unigel (3 mm), dejándola secar en un principio por 48 horas a temperatura ambiente, después colocándolas en la mufla a una temperatura de 800 °C por 8 horas. Lo mismo se repitió para el unigel con 2 mm y 1 mm. Esto se hizo de manera repetitiva hasta obtener el contenido final para el uso en los filtros.

2.2. Operación de los filtros

2.2.1. Preparación e instalación de los filtros

La manera en que fue lavado, llenado, enjuagado y prueba de caudal del filtro se observa en el anexo 5.3 del presente trabajo.

2.2.2. Contenido de los filtros

Como se muestra en la Tabla 11, se observan los componentes utilizados para cada filtro en sus diferentes fases. Aunque realmente para las diferentes fases fue la misma cantidad, en este trabajo se quiso observar la viabilidad de las cerámicas porosas como medio filtrante. En los filtros se evaluaron otras condiciones que más adelante se mostraran.

Tabla 11. Contenido de los filtros en base a la prueba de fase correspondiente.

Prueba de fase	Volumen total (L)	Cantidad de coco carbonizado (L)	Cantidad de caña (L)	Cantidad de cerámica porosa 3 cm (L)	Cantidad de cerámica porosa 2 cm (L)	Cantidad de cerámica porosa 1 cm (L)	Cantidad de agua problema (L)
1	10	1	1	1	1	2	4
2	10	1	1	1	1	2	4
2	10	1	1	1	1	2	4
3	10	1	1	1	1	2	4

2.2.3. Componentes

- Tapa: La tapa evitara la entrada de plagas no deseadas o algún tipo de contaminante que no provenga del agua.
- Depósito o contenedor: El contenedor es donde se mantendrá el agua, y los elementos de filtro en conjunto, en el cual también el depósito participara como medio para el proceso de filtración. Este puede ser hecho de concreto, cerámico, o plástico, y puede tener cualquier tipo de forma siempre y cuando sea lo suficientemente grande para el buen funcionamiento de este, además de contar principalmente con una entrada al contenedor y una salida de este, completamente diferentes.
- Cerámica porosa, caña y coco carbonizado: Estos tres componentes funcionaran como material o medio filtrante. Dentro de los cuales sus funciones son la eliminación de los sólidos en el agua, material para la formación de capa biológica,

y los principales medios para el funcionamiento de los métodos de remoción y desinfección.



Figura 14. Componentes del filtro.

2.2.4. Funcionamiento

Cuando el agua problema o contaminada es depositada al filtro, se debe hacer lentamente de manera homogénea, para evitar una carga con demasiada velocidad hacia el filtro, y que en un futuro no se deforme y/o elimine la capa biológica, alteando su estructura y la eficiencia del filtro.

Después de esto, el agua se hace circular a través del manto poroso uno a uno, en este proceso las impurezas del agua entran en contacto con la superficie de las cerámicas porosas, para lo cual son retenidas. Reduciendo la materia retenida en formas más simples se da lugar al mecanismo biológico de desinfección. De esta manera, la materia retenida queda como sustrato para el funcionamiento del filtro y permanece ahí hasta que llegue el momento de retirarla. Durante este proceso, se da paso a otros mecanismos de remoción.

La capa biológica formada por encima del lecho filtrante está formada por diferentes microorganismos. La acción de estos microorganismos, atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua.

Gracias a los diferentes mecanismos de remoción y desinfección, el efluente tendrá mejores características físico - químicas y biológicas del agua a tratar.

2.2.5. Recolección de agua problema

El agua (agua problema) utilizada para esta experimentación se adquirió del tanque de sedimentación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del IMTA (Figuras 15, 16, 17 y 18).



Figura 15. Tanque de sedimentación de la PTAR (Vista 1).



Figura 16. Tanque de sedimentación de la PTAR (Vista 2).



Figura 17. Tanque de sedimentación de la PTAR (vista 3).

La recolección de agua fue de manera manual como se muestra en la siguiente Figura 17.

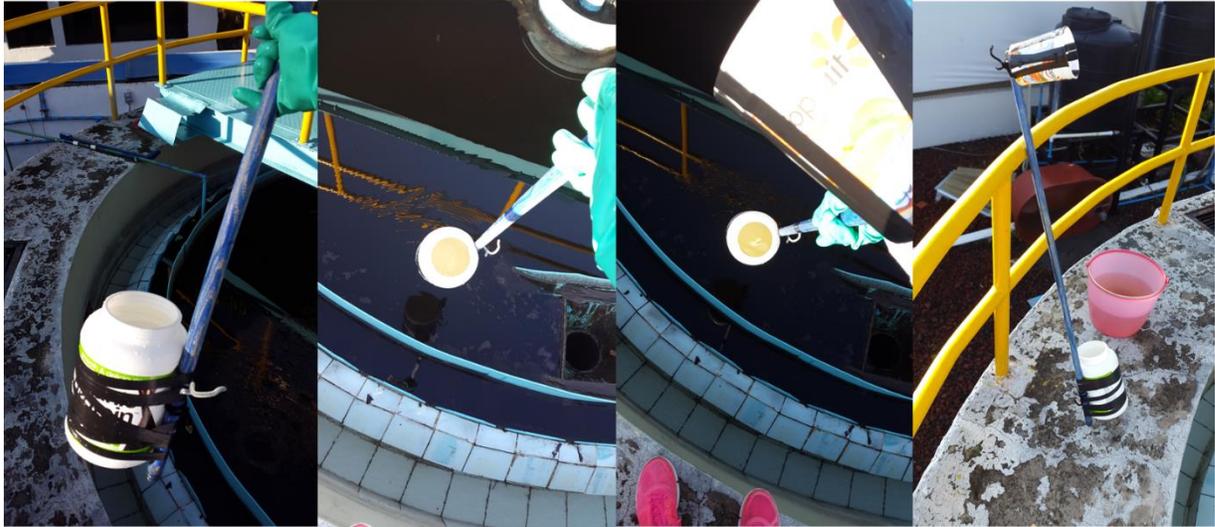


Figura 18. Recolección del agua problema.

2.2.6. Especificaciones de las pruebas de fase

2.2.6.1. Fase 1

- **Capacidad del filtro:** 4 litros de agua problema
- **Tiempo de operación:** 109 días.
- **Tiempo de maduración:** 45 días.
- **Tiempo de retención:** 48 horas.
- **Medición de análisis fisicoquímicos:** cada 2 días.
- **Medición de análisis biológicos:** cada 7 días.

La fase 1 consistió en la evaluación de las cerámicas porosas como filtro y lecho filtrante para eliminación y/o remoción de los microorganismos patógenos, después de un tiempo de maduración.

2.2.6.2. Fase 2

- **Capacidad del filtro:** 4 litros de agua problema.
- **Tiempo de operación:** 105 días.

- **Tiempo de retención:** 48 horas.
- **Medición de análisis fisicoquímicos:** cada 2 días.
- **Medición de análisis biológicos:** cada 7 días.

La fase consistió en la comparación de 2 filtros, uno de forma convencional (fase 1) y en el otro se agregó plata coloidal (concentración de 20 mg/L), y de esta forma evaluar el poder la plata coloidal.

2.2.6.3. Fase 3

- **Capacidad del filtro:** 4 litros de agua problema.
- **Tiempo de operación:** 70 días.
- **Tiempo de retención:** 48 horas.
- **Medición de análisis fisicoquímicos:** cada 2 días.
- **Medición de análisis biológicos:** cada 7 días.

La fase 3 consistió en la caracterización del filtro en dos etapas. Primero pasando el agua problema por los filtros de cerámicos porosos y el segundo al atravesar el coco carbonizado.

2.3. Métodos aplicados a la caracterización del agua en los filtros

2.3.3. Características microbiológicas

Los métodos utilizados para la caracterización microbiológica de los filtros se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Métodos utilizados para la caracterización microbiológica.

Microbiológico	
Característica	Método de prueba
Coliformes Totales	Colilert-24-horas
Coliformes Fecales	Colilert-24-horas
<i>E. Coli</i>	Colilert-24-horas

2.3.4. Características físico – químicas

Los métodos utilizados para la caracterización de los parámetros físico–químicos se muestran en la Tabla 13 para físicas y organolépticas, en la Tabla 14 para plaguicidas, en la Tabla 15 para hidrocarburos aromáticos y en la Tabla 16 para elementos y compuestos.

Tabla 13. Métodos utilizados para la caracterización físicas y organolépticas.

Físicas y organolépticas	
Característica	Método de prueba
Color verdadero	IMTA CAQAF6-43 (NMX-AA-045-SCFI-2001)
Turbiedad	Turbidímetro - Nefelómetro Portátil (HI 93703 - HI 93703-11)

Tabla 14. Métodos utilizados para la caracterización de plaguicidas.

Plaguicidas	
Característica	Método de prueba
Aldrín y dieldrín separados o combinados)	IMTA CAQAC6-03

Clordano (total de isómeros)	IMTA CAQAC6-03
DDT (total de isómeros)	IMTA CAQAC6-03
Gamma-HCH (lindano)	IMTA CAQAC6-03
Hexaclorobenceno	IMTA CAQAC6-03
Heptacloro y epóxido de heptacloro	IMTA CAQAC6-03
Metoxicloro	IMTA CAQAC6-03
2,4-D	IMTA CAQAC6-03

Tabla 15. Métodos utilizados para la caracterización de hidrocarburos aromáticos.

Hidrocarburos aromáticos	
Característica	Método de prueba
Benceno	IMTA CAQAO-12
Etilbenceno	IMTA CAQAO-12
Tolueno	IMTA CAQAO-12
Xileno (tres isómeros)	IMTA CAQAO-12

Tabla 16. Métodos utilizados para la caracterización de elementos y compuestos.

Elementos y compuestos	
Característica	Método de prueba
Aluminio	IMTA CAQAAA6-09 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Arsénico	IMTA CAQAAA6-07 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Bario	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Cadmio	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Cianuros (como CN-)	NMX-AA-058-SCFI-2001
Cloro residual libre	IMTA CAMT4-06
Cloruros (como Cl-)	IMTA CAQAF6-59 (NMX-AA-073-SCFI-2001)
Cobre	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Cromo total	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Dureza total (como CaCO₃)	IMTA CAQAF6-17
Fenoles o compuestos fenólicos	IMTA CAQAF6-53 (NMX-AA-050-SCFI-2001)
Hierro	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Fluoruros (como F-)	IMTA CAQAF6-20 (NMX-AA-077-SCFI-2001)
Manganeso	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Mercurio	IMTA CAQAAA6-07 (NMX-AA-051-SCFI-2001)

Nitratos (como N)	IMTA CAQAF6-28 (NMX-AA-079-SCFI-2001)
Nitritos (como N)	IMTA CAQAF6-29 (NMX-AA-099-SCFI-2006)
pH (potencial de hidrógeno)	IMTA CAMT4-06 (NMX-AA-008-SCFI-2011)
Nitrógeno amoniacal (como N)	IMTA CAQAF6-67
Plomo	IMTA CAQAAA6-09 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Sodio	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)
Sólidos disueltos totales	IMTA CAQAF6-35 (NMX-AA-034-SCFI-2001)
sulfatos (como SO₄)	IMTA CAQAF6-37 (NMX-AA-074-SCFI-1981)
Substancias activas al azul del metileno (SAAM)	IMTA CAQAF6-33 (NMX-AA-039-SCFI-2001)
Trihalometanos totales	IMTA CAQAO-12
Yodo residual libre	IMTA CAQAL-58
Zinc	IMTA CAQAAA6-03 (NMX-AA-051-SCFI-2001)

3. Resultados y discusión

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados obtenidos dentro del presente trabajo. Se observa el microanálisis de datos y la Microscopia Electronica de Barrido (SEM) de cada uno de los materiales de acuerdo a la fase del proyecto. Al igual se

muestran los resultados de las caracterizaciones microbiológicas y químico – físicas de las pruebas que se realizaron.

3.1. Microscopia Electrónica de Barrido y Microanálisis de datos

3.1.1. Caña

En las siguientes imágenes se pueden observar las micrografías obtenidas por el SEM para el material de caña, al igual que el contenido elemental para cada punto de la muestra.

En cada una de las imágenes se indica la descripción de la fase para cada muestra evaluada, contemplando las fases de la experimentación.

En las imágenes 19 y 20 se observa la muestra de caña sin plata previo al proceso de filtración, y en las imágenes 21 y 22 se observa la muestra de caña sin plata posterior al proceso de filtración.

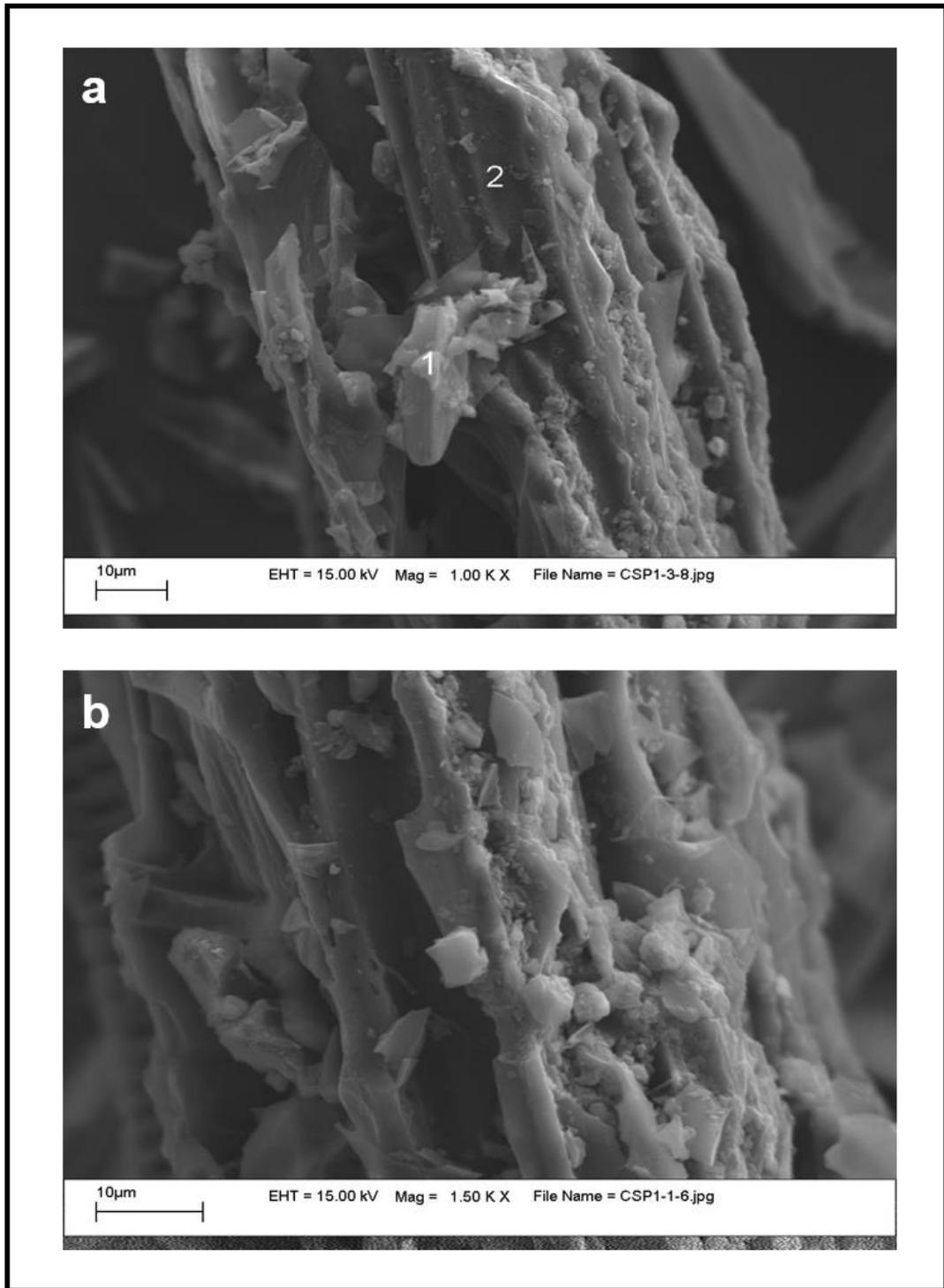


Figura 19. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración (a, b).

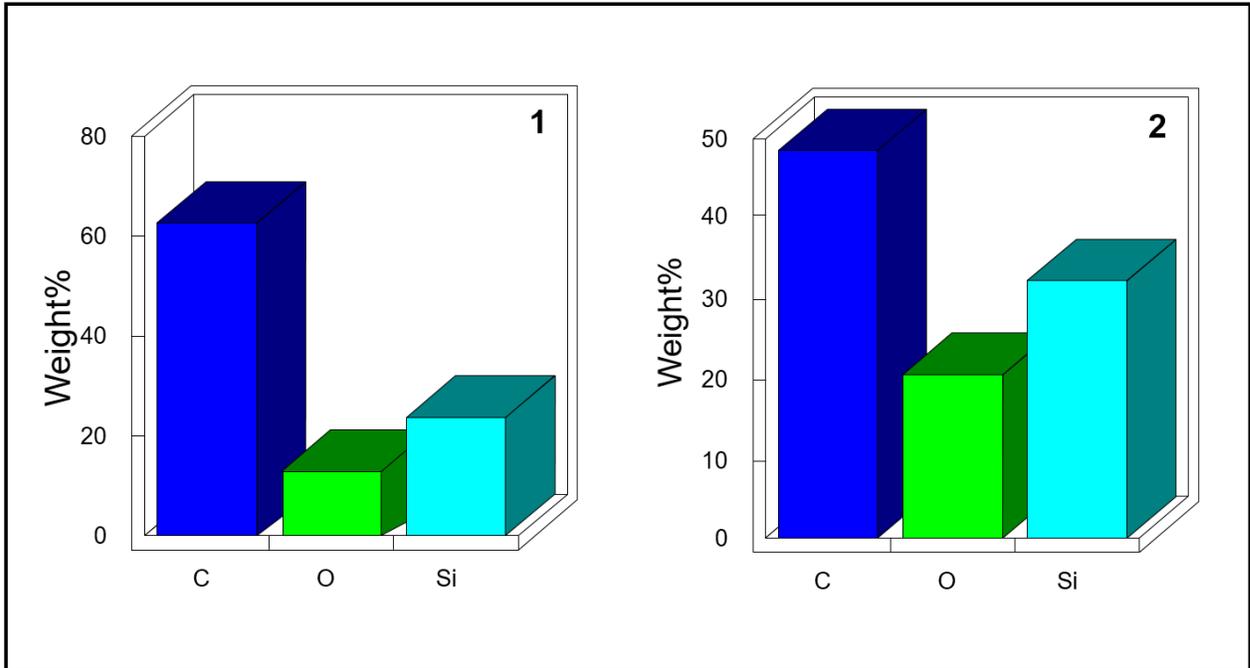


Figura 20. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 19, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración.

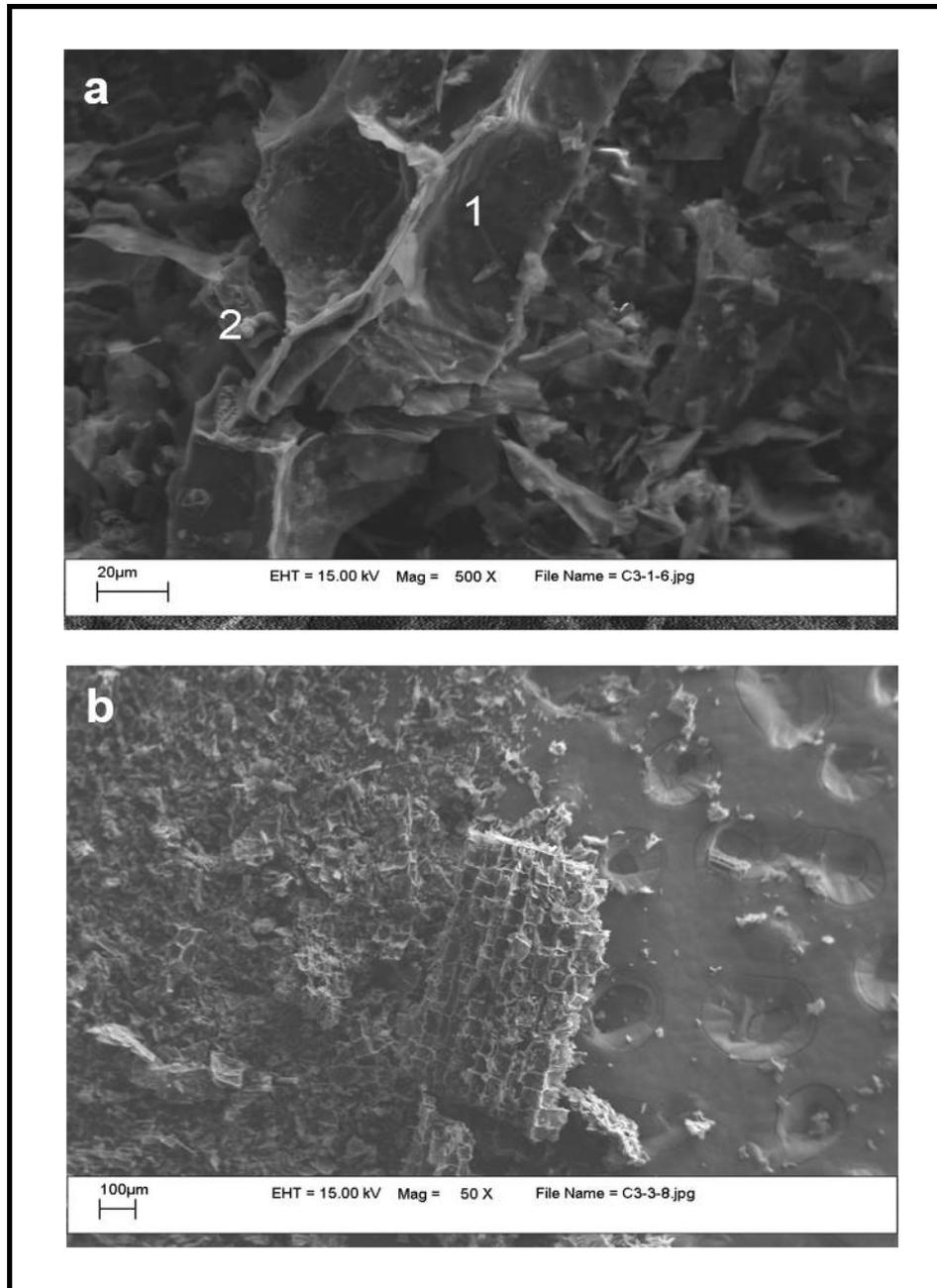


Figura 21. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h.}$ – sin plata – posterior al proceso de filtración (a, b).

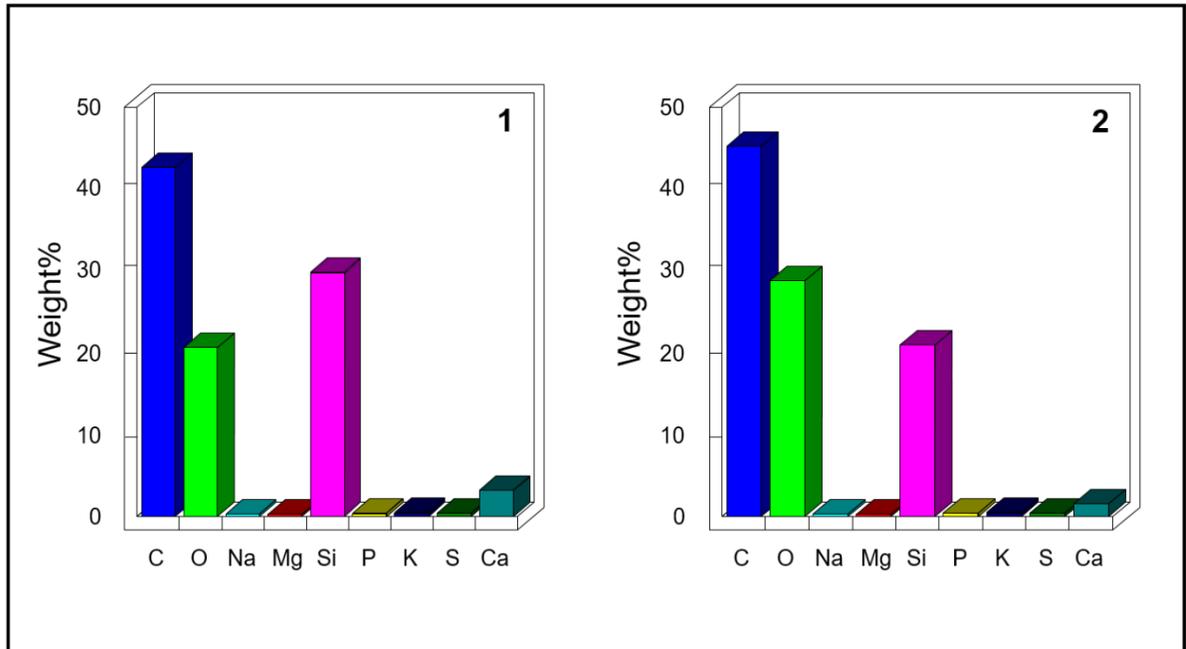


Figura 22. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 21, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración.

En las imágenes 23 y 24 se observa la muestra de caña con plata previo al proceso de filtración, y en las imágenes 25 y 26 se observa la muestra de caña con plata posterior al proceso de filtración.

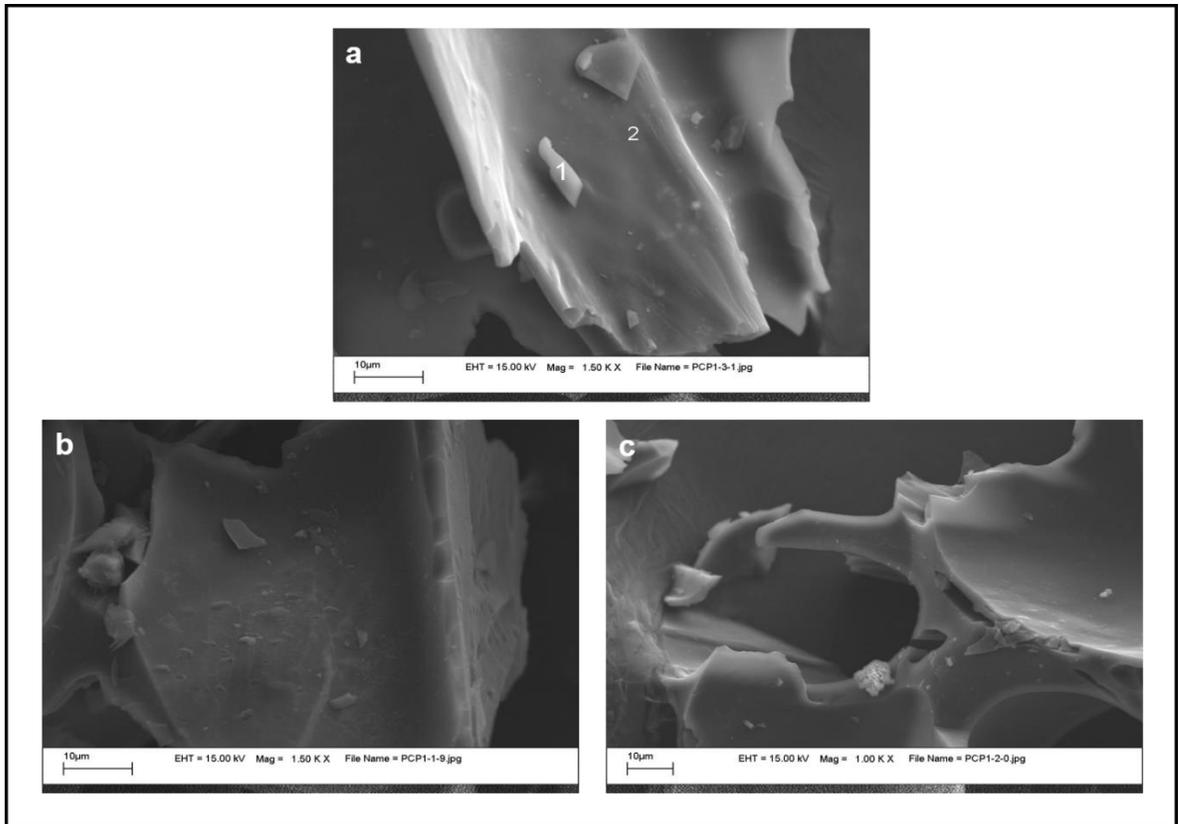


Figura 23. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración (a, b).

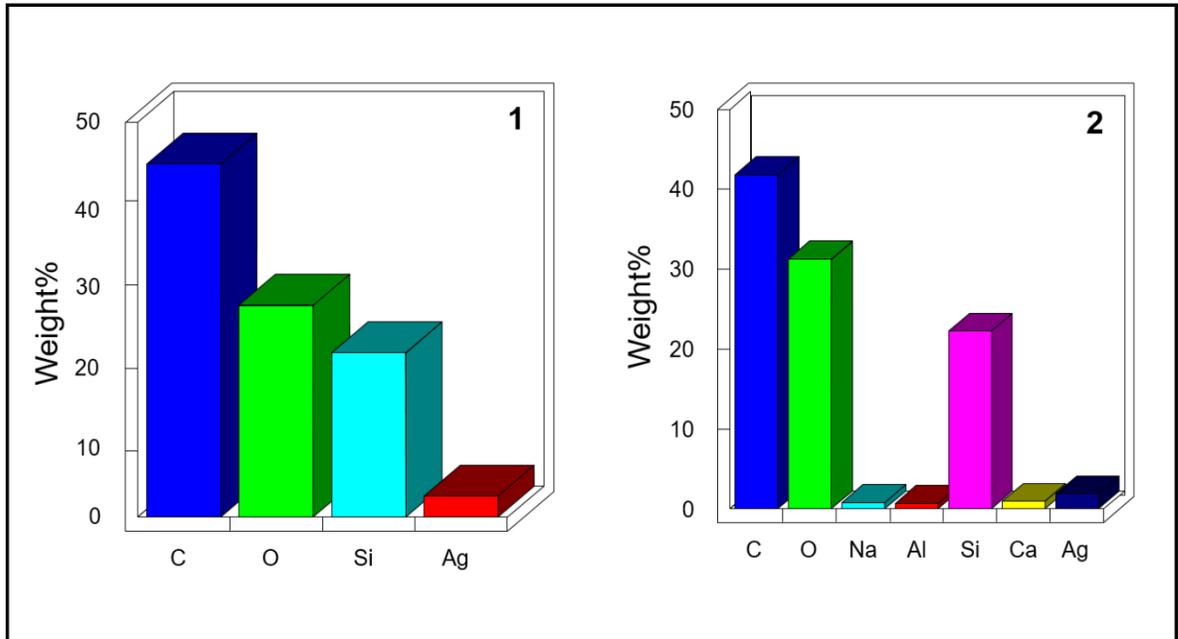
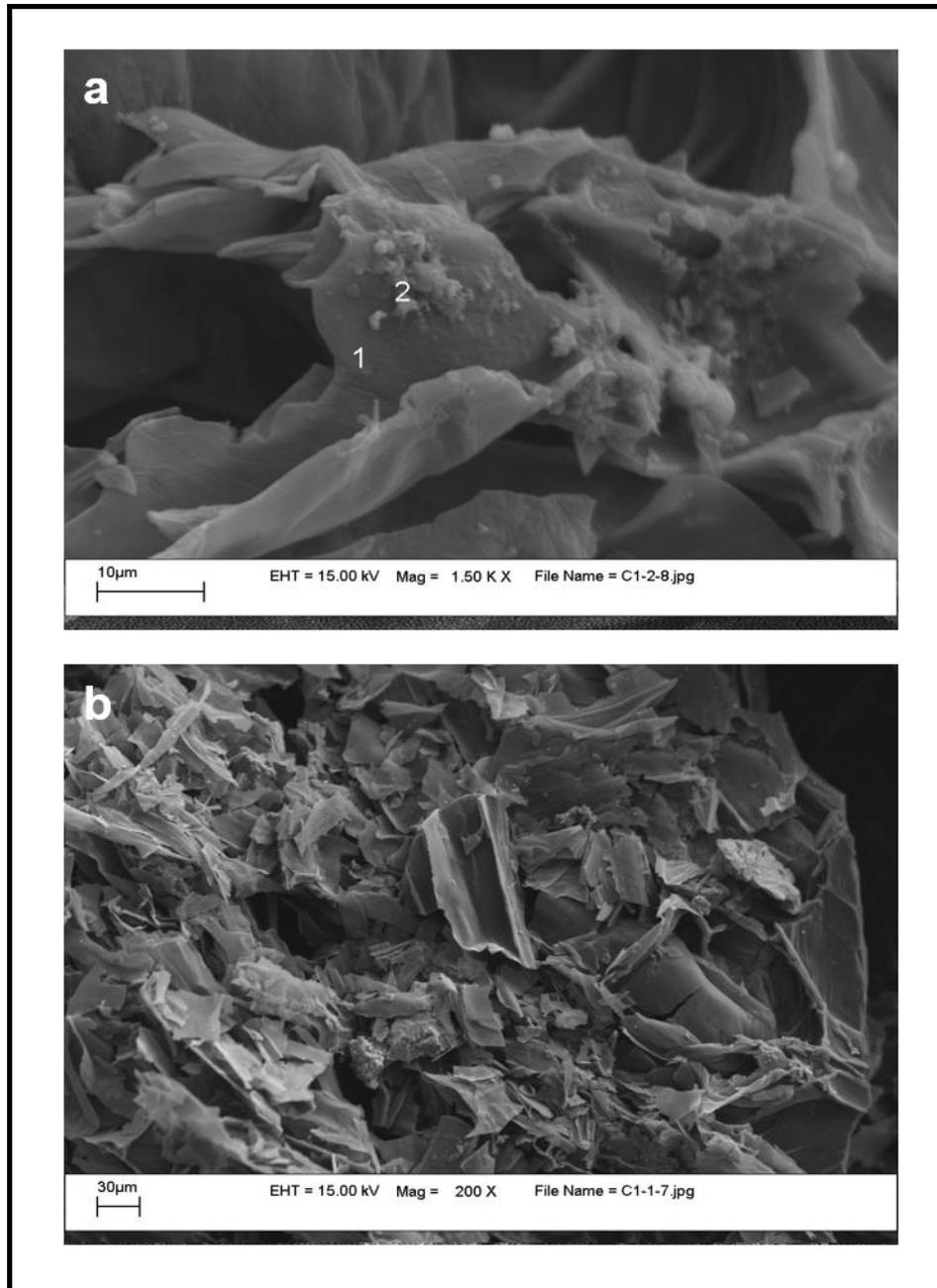


Figura 24. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 23, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración.



**Figura 25. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$.
– con plata – posterior al proceso de filtración (a, b).**

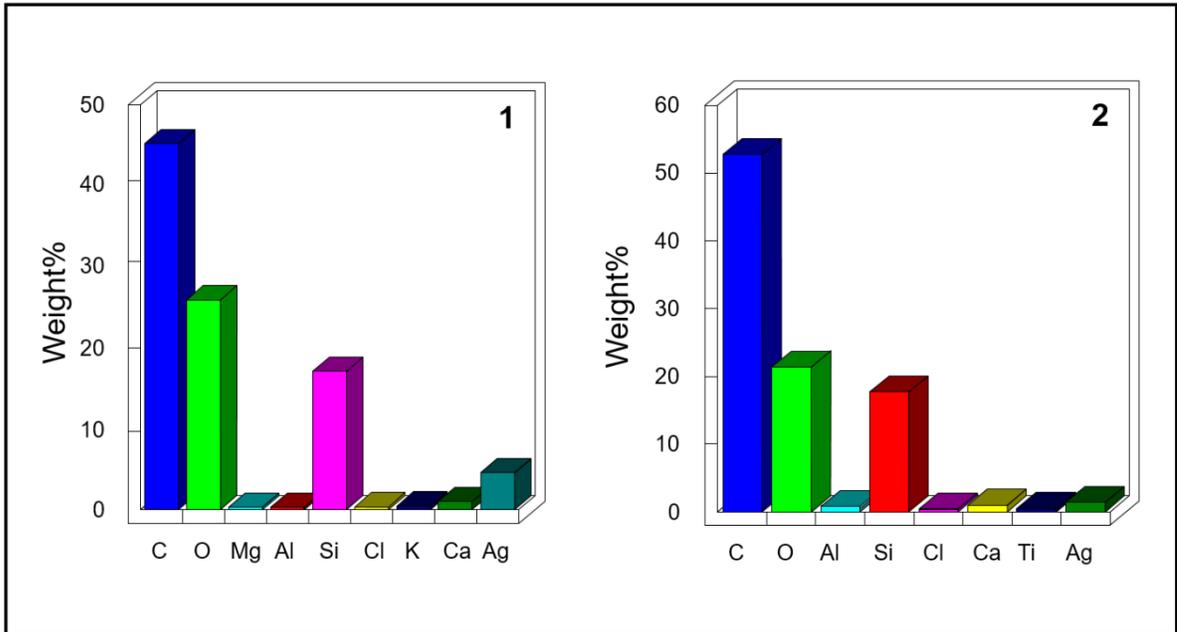


Figura 26. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 25, correspondiente a la estructura de la caña después de tratamiento con argón a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración.

3.1.2. Coco Carbonizado

En las siguientes imágenes se pueden observar las micrografías obtenidas por el SEM para el material de coco carbonizado, al igual que el contenido elemental para cada punto de la muestra.

En las imágenes 27 y 28 se observa la muestra de coco carbonizado sin plata previo al proceso de filtración, y en las imágenes 29 y 30 se observa la muestra de coco carbonizado sin plata posterior al proceso de filtración.

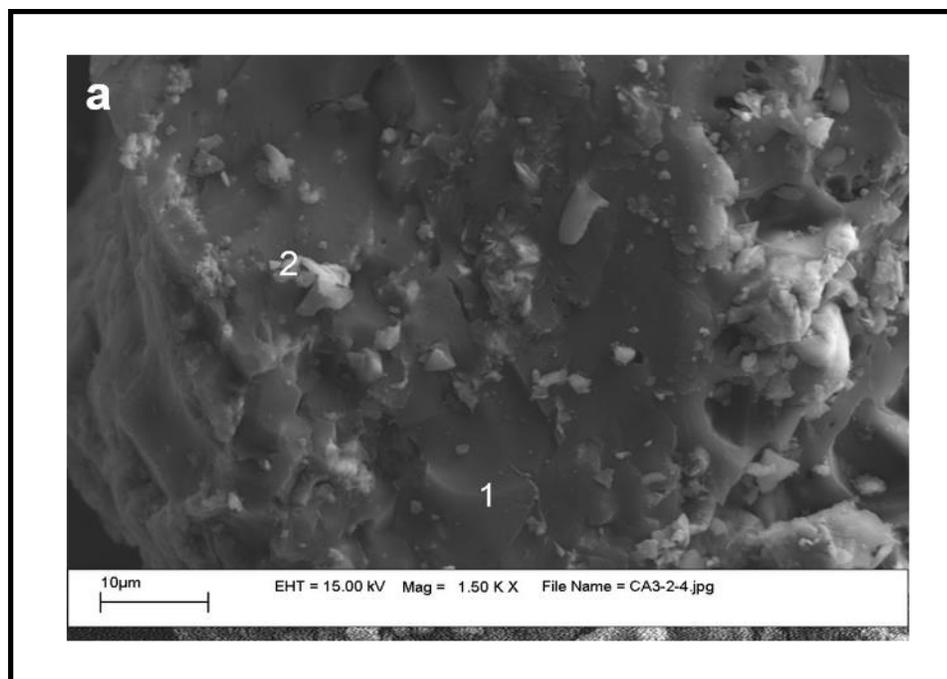


Figura 27. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración (a).

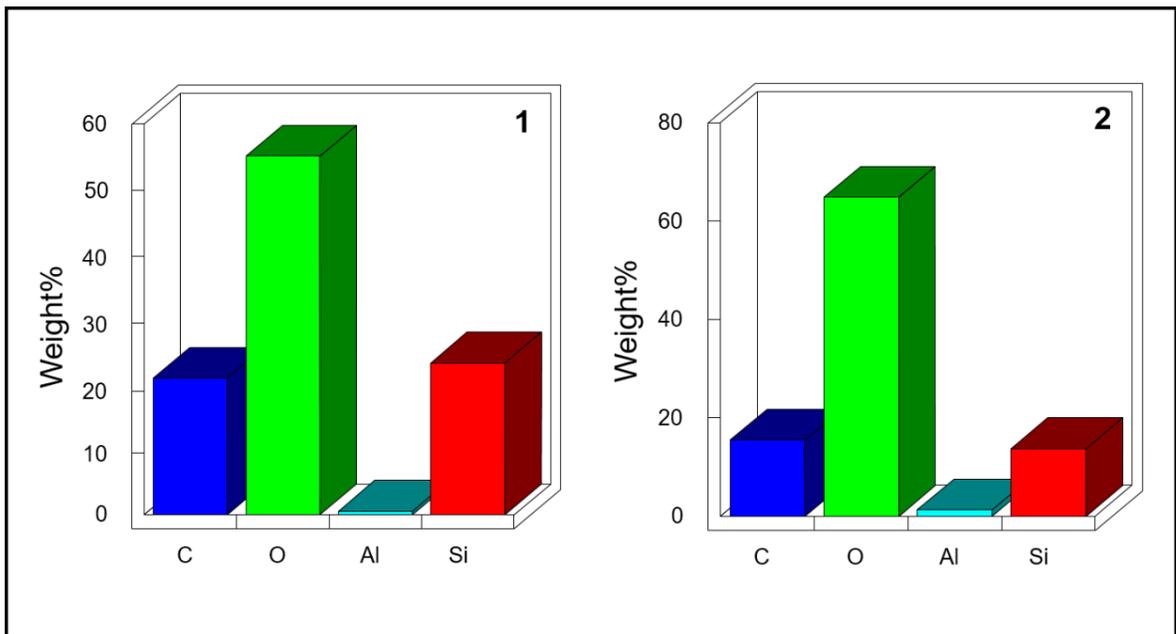


Figura 28. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 27, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración.

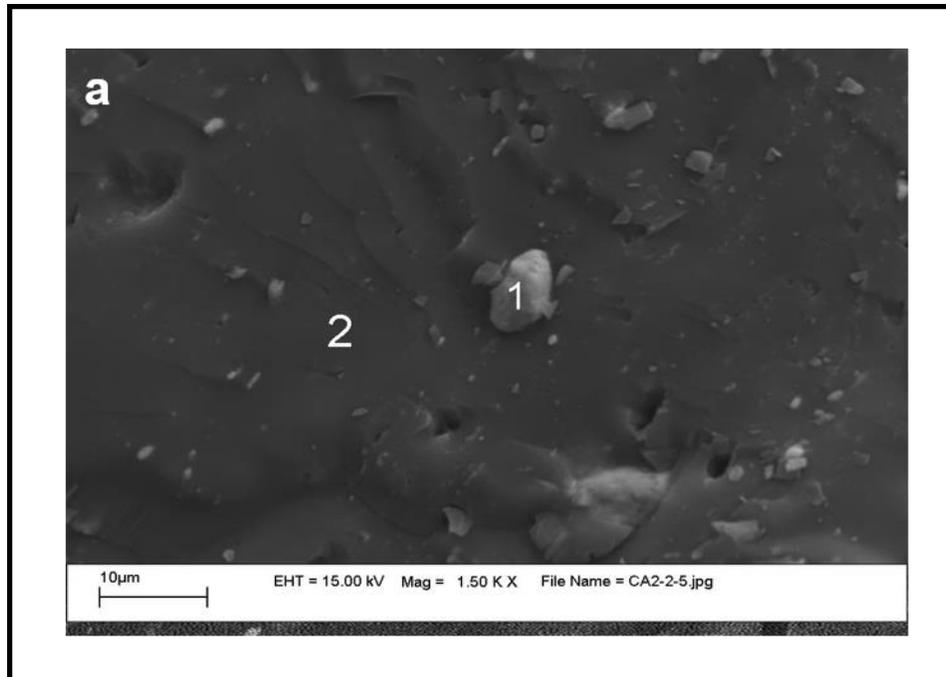


Figura 29. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración (a).

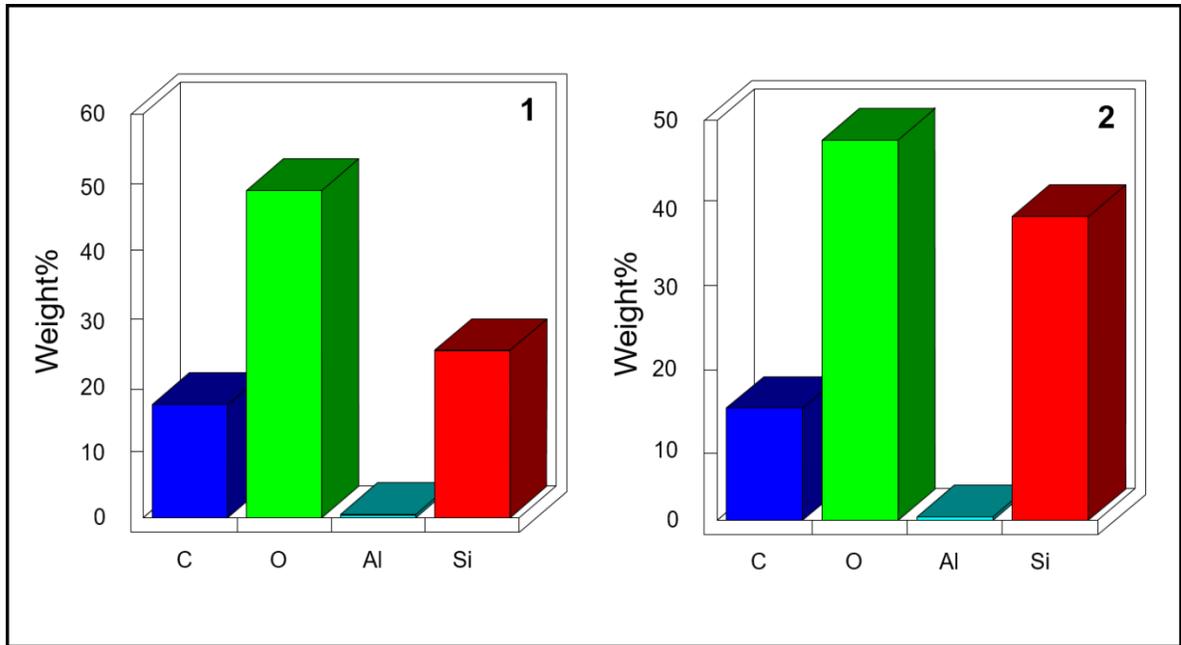


Figura 30, Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 29, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración.

En las imágenes 31 y 32 se observa la muestra de coco carbonizado con plata previo al proceso de filtración, y en las imágenes 33 y 34 se observa la muestra de coco carbonizado con plata posterior al proceso de filtración.

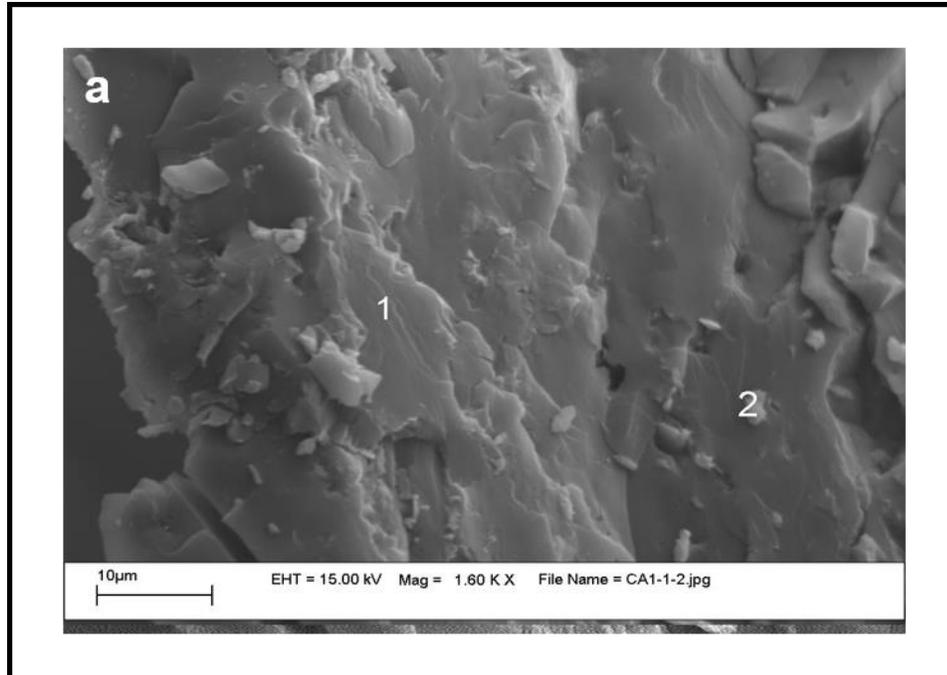


Figura 31. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ °C}$, $t_s = 6\text{ h.}$ – con plata – previo al proceso de filtración (a).

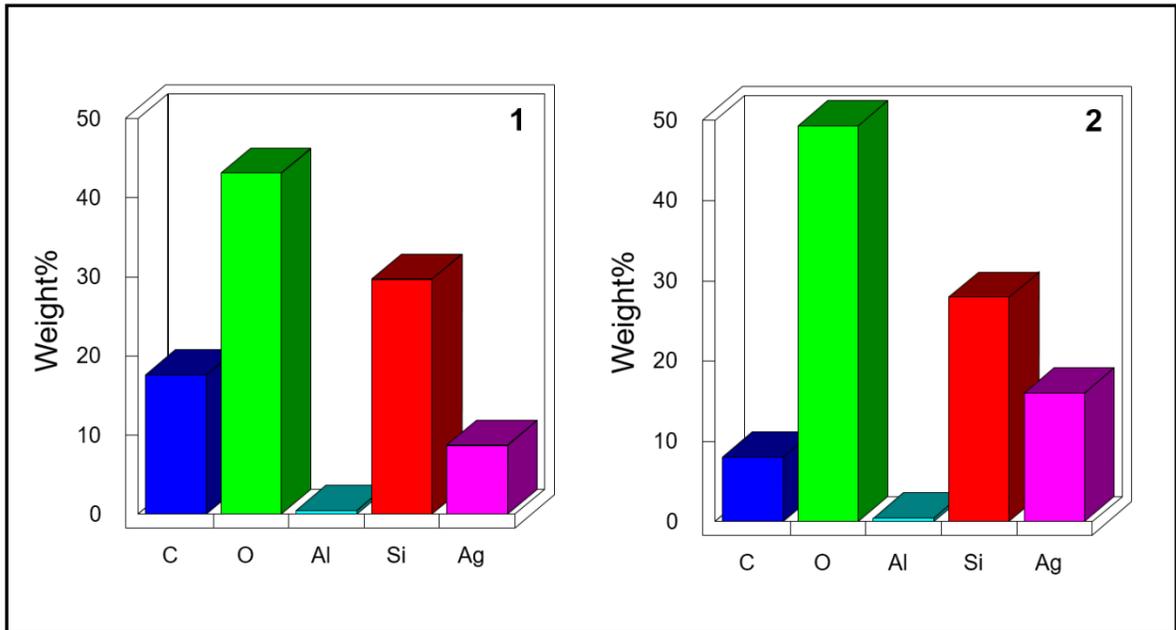


Figura 32. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 31, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración.

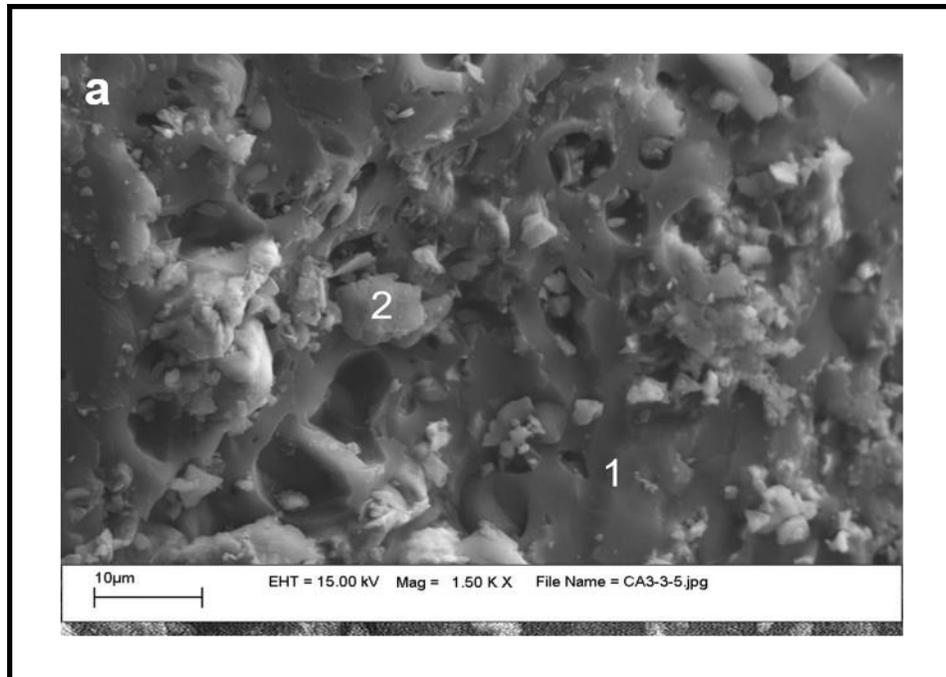


Figura 33. Imagen de SEM correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h.}$ – con plata – posterior al proceso de filtración (a).

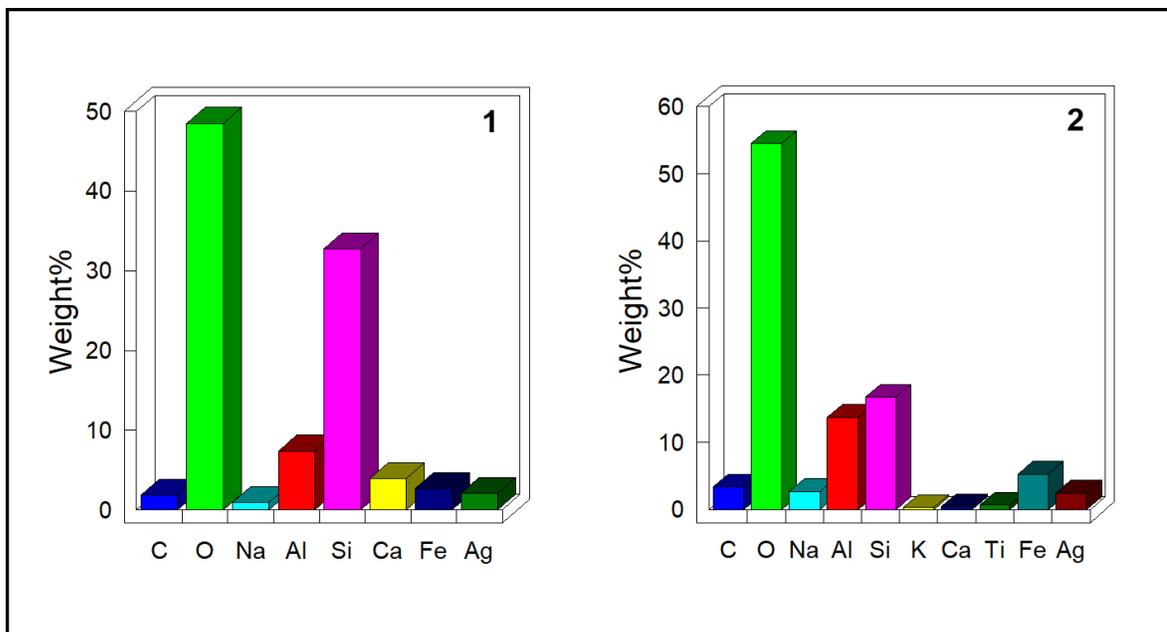


Figura 34. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 33, correspondiente a la estructura del coco después de tratamiento con aire a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 6\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración.

3.1.3. Cerámicas porosas

En las siguientes imágenes se pueden observar las micrografías obtenidas por el SEM para el material de cerámicas porosas, al igual que el contenido elemental para cada punto de la muestra.

En las imágenes 35 y 36 se observa la muestra de cerámica porosa sin plata previo al proceso de filtración, y en las imágenes 37 y 38 se observa la muestra de cerámica porosa sin plata posterior al proceso de filtración.

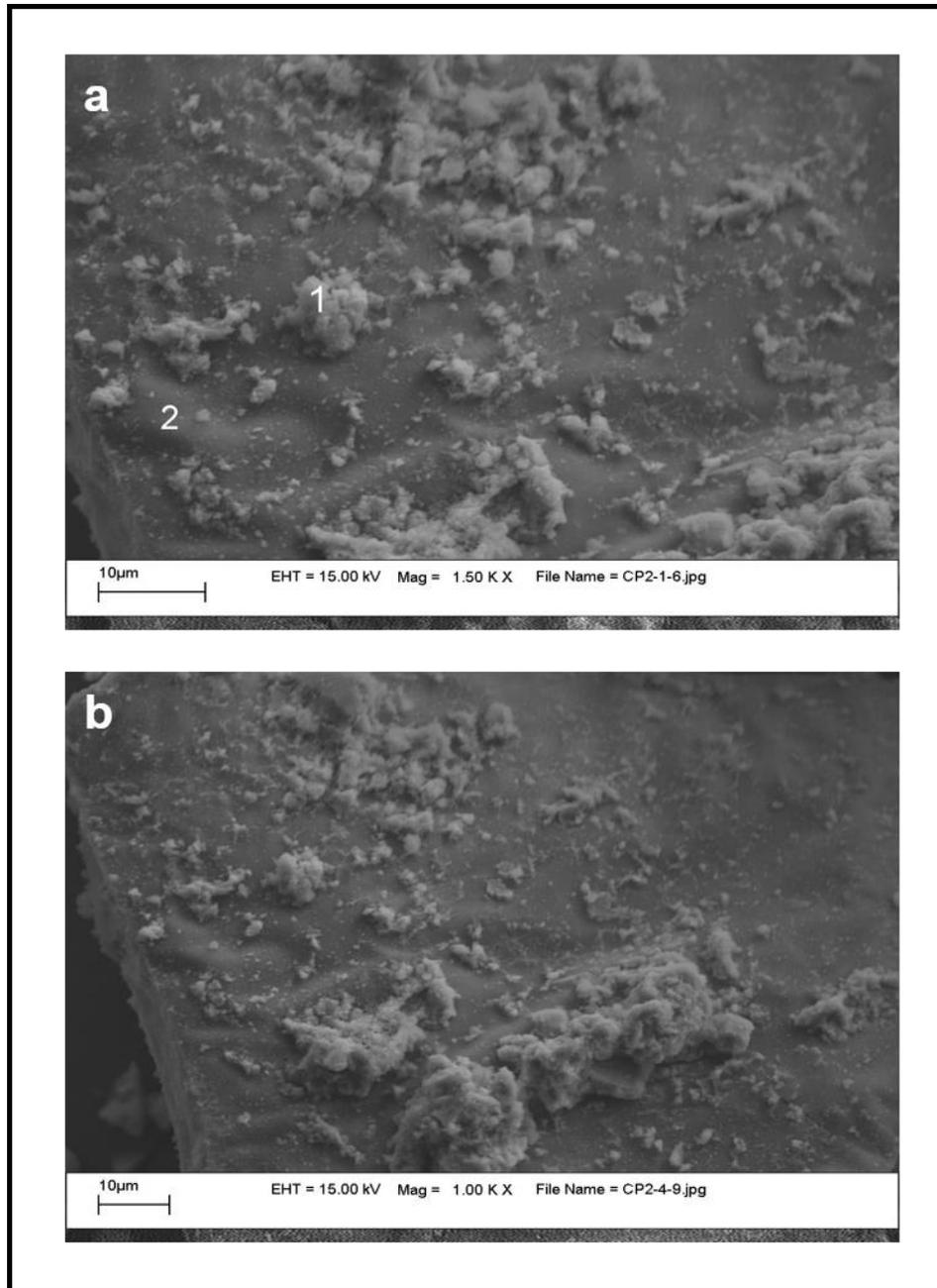


Figura 35. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración (a, b).

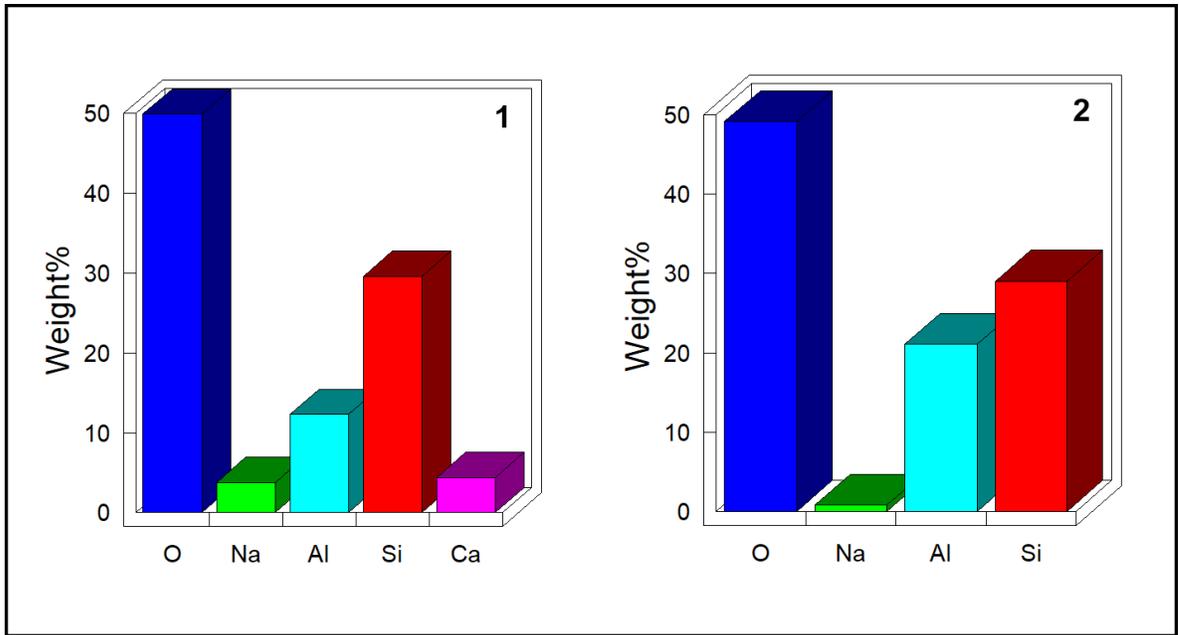


Figura 36. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 35, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – previo al proceso de filtración.

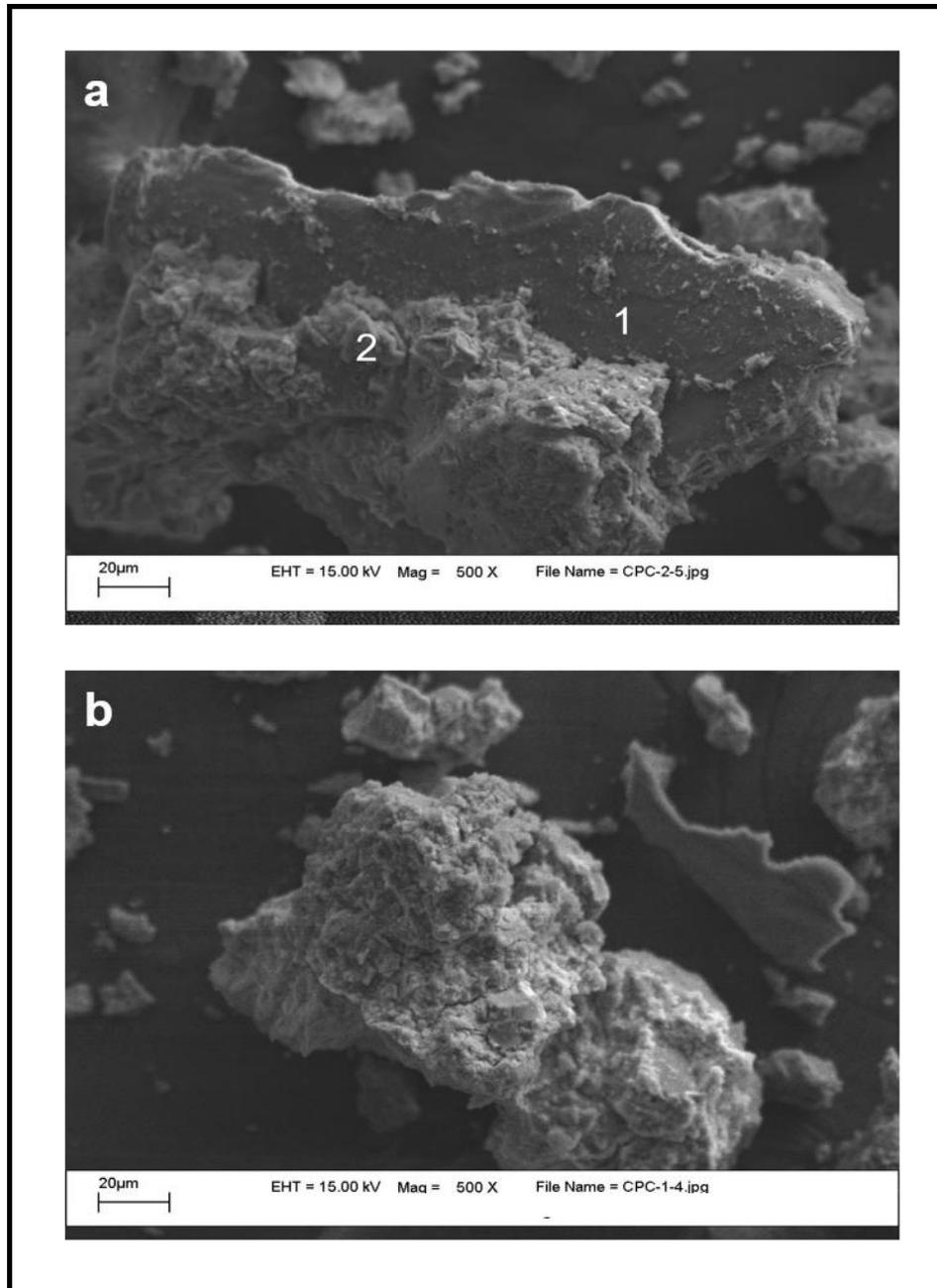


Figura 37. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración (a,b).

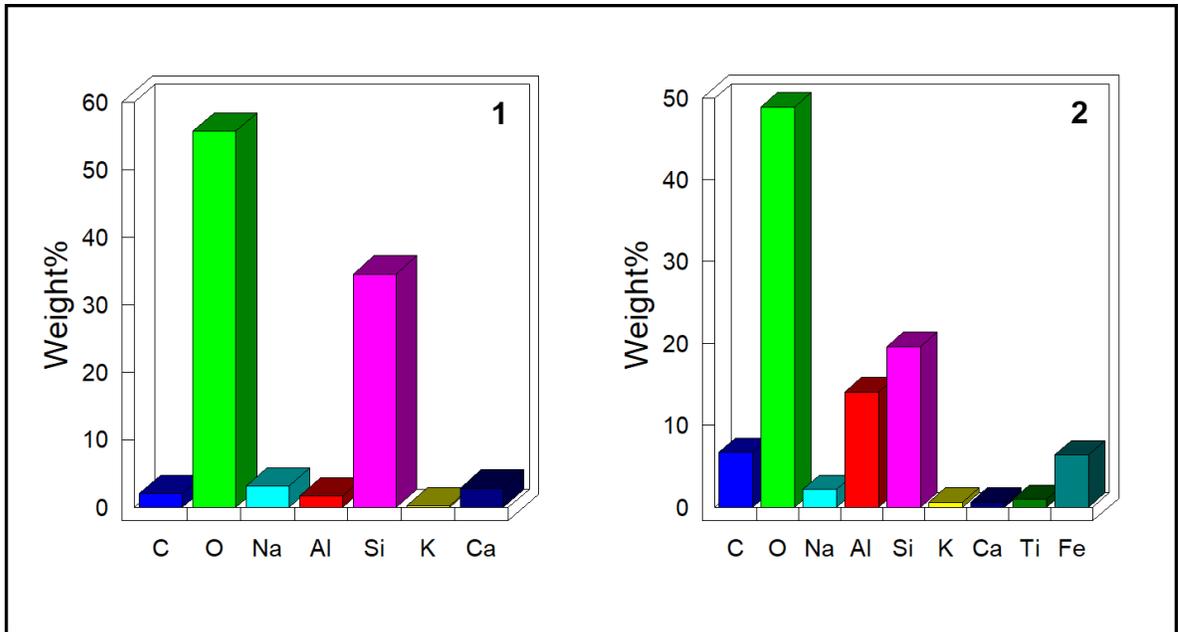


Figura 38. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 37, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – sin plata – posterior al proceso de filtración.

En las imágenes 39 y 40 se observa la muestra de cerámica porosa con plata previo al proceso de filtración, y en las imágenes 41 y 42 se observa la muestra de cerámica porosa con plata posterior al proceso de filtración.

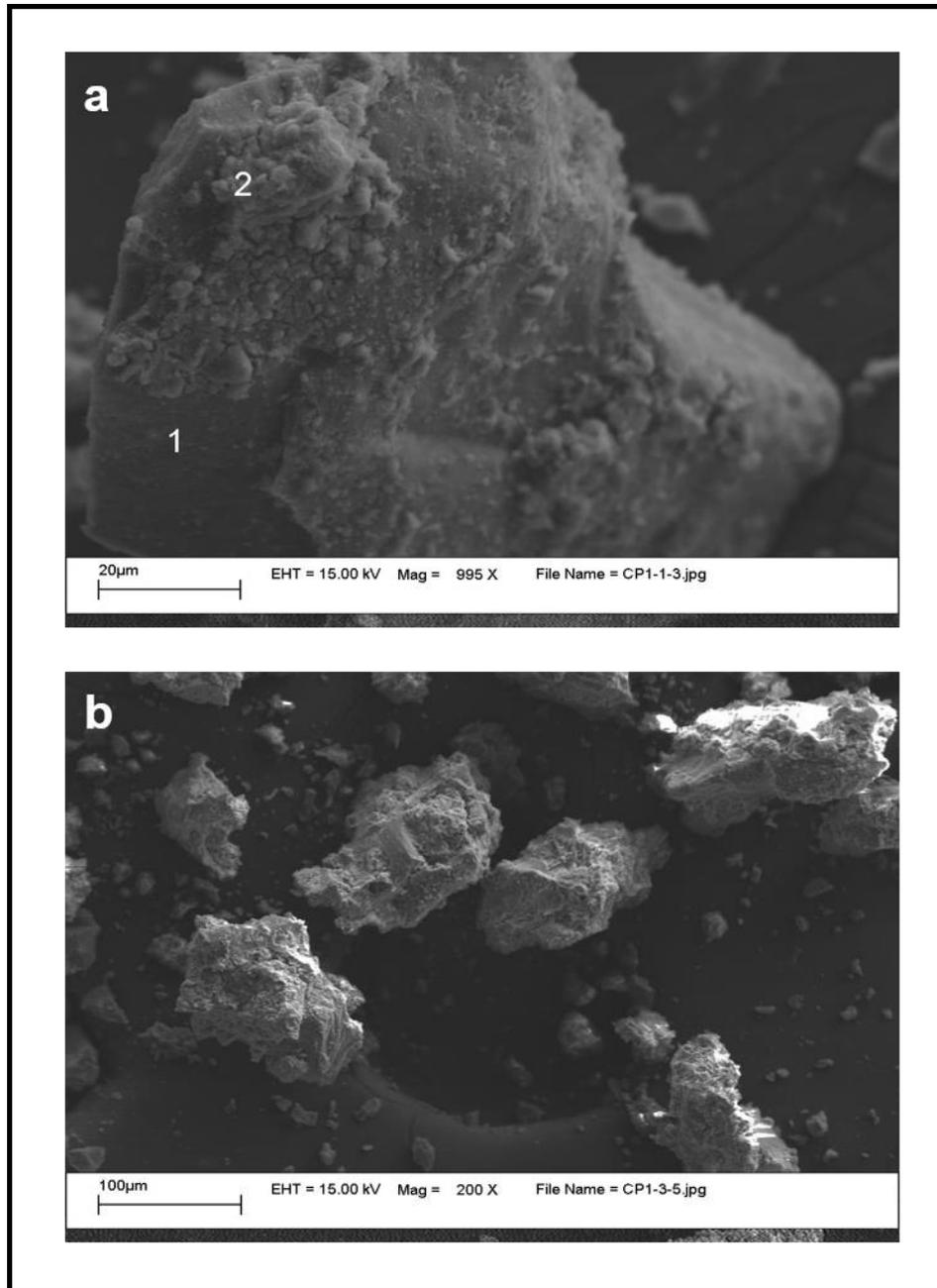


Figura 39. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración (a, b).

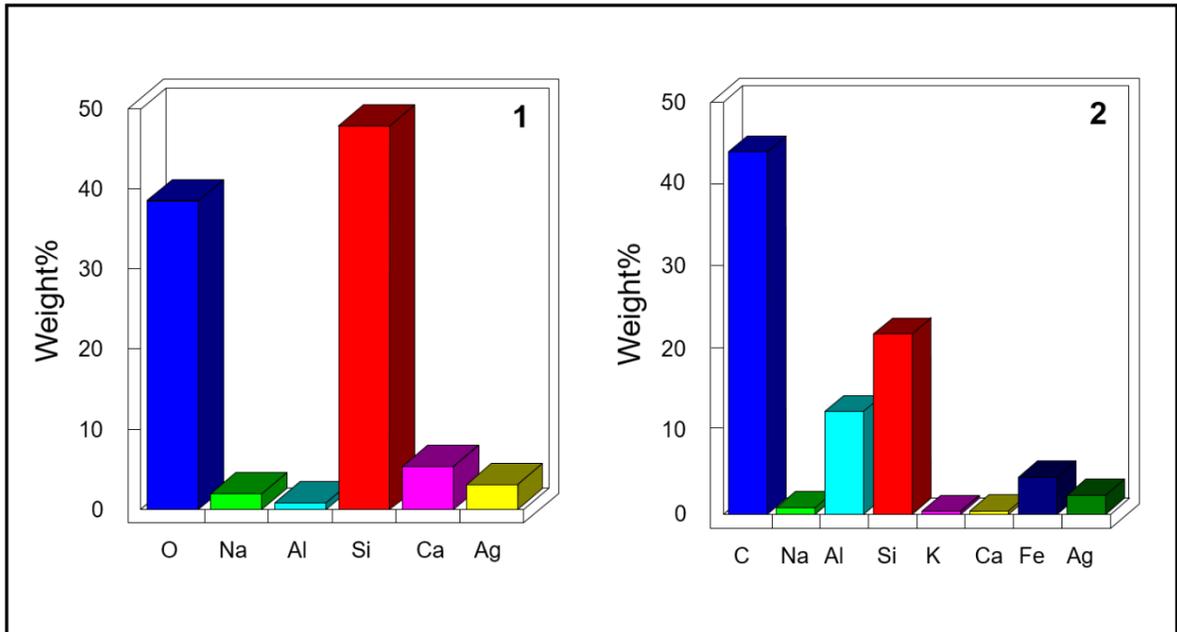


Figura 40. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 39, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – previo al proceso de filtración.

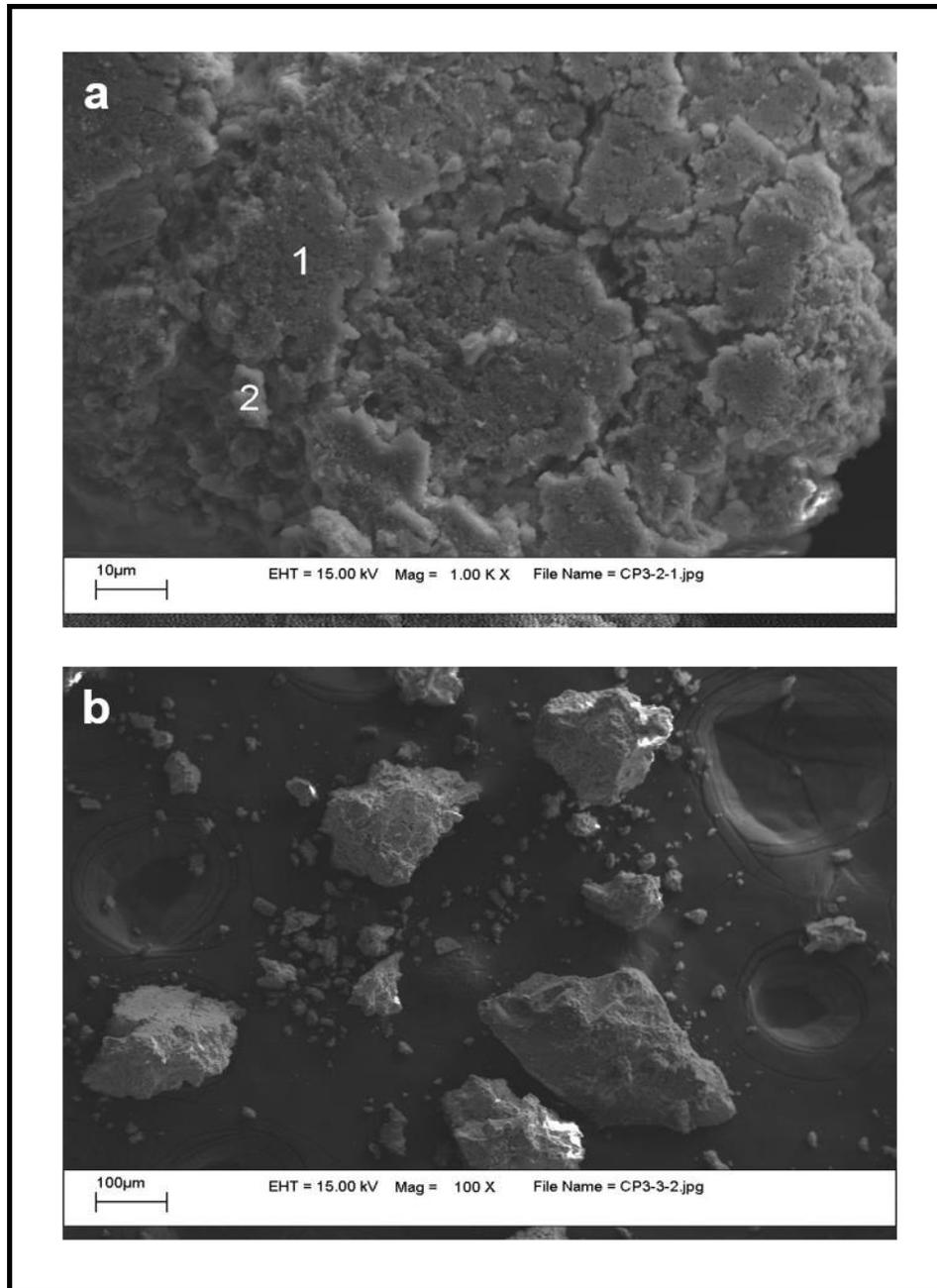


Figura 41. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración (a, b).

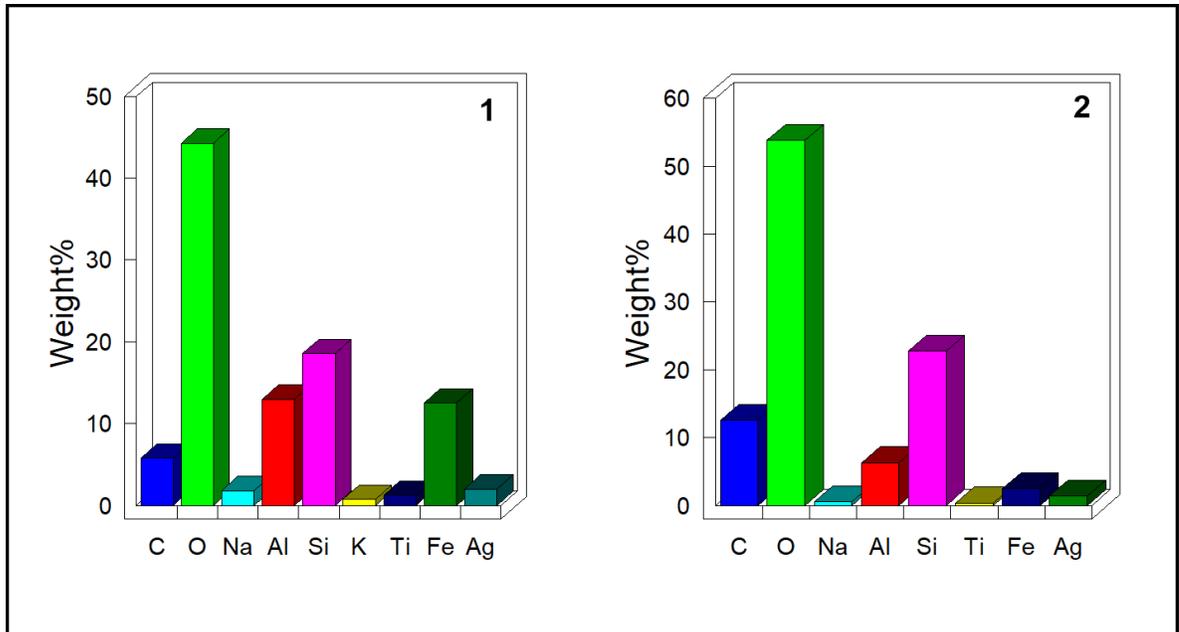


Figura 42. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 41, correspondiente a la estructura de cerámica, obtenida de la mezcla 40% en peso de vidrio, 60% en peso de arcilla y 1.5% de peso en unigel después de tratamiento a $T_s = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $t_s = 8\text{ h}$. – con plata – posterior al proceso de filtración.

3.1.4. Biosólidos

En las imágenes 42, 43, 44 y 45 se puede observar los resultados obtenidos en los biosólidos encontrados dentro de los filtros durante la operación de estos. En las imágenes 42 y 44 se pueden observar las micrografías tomadas respecto al SEM de dos muestras tomadas de manera aleatoriamente. Y en las imágenes 43 y 45 se pueden observar el contenido elemental para cada punto mostrado en las micrografías correspondientes al SEM para cada una de las muestras.

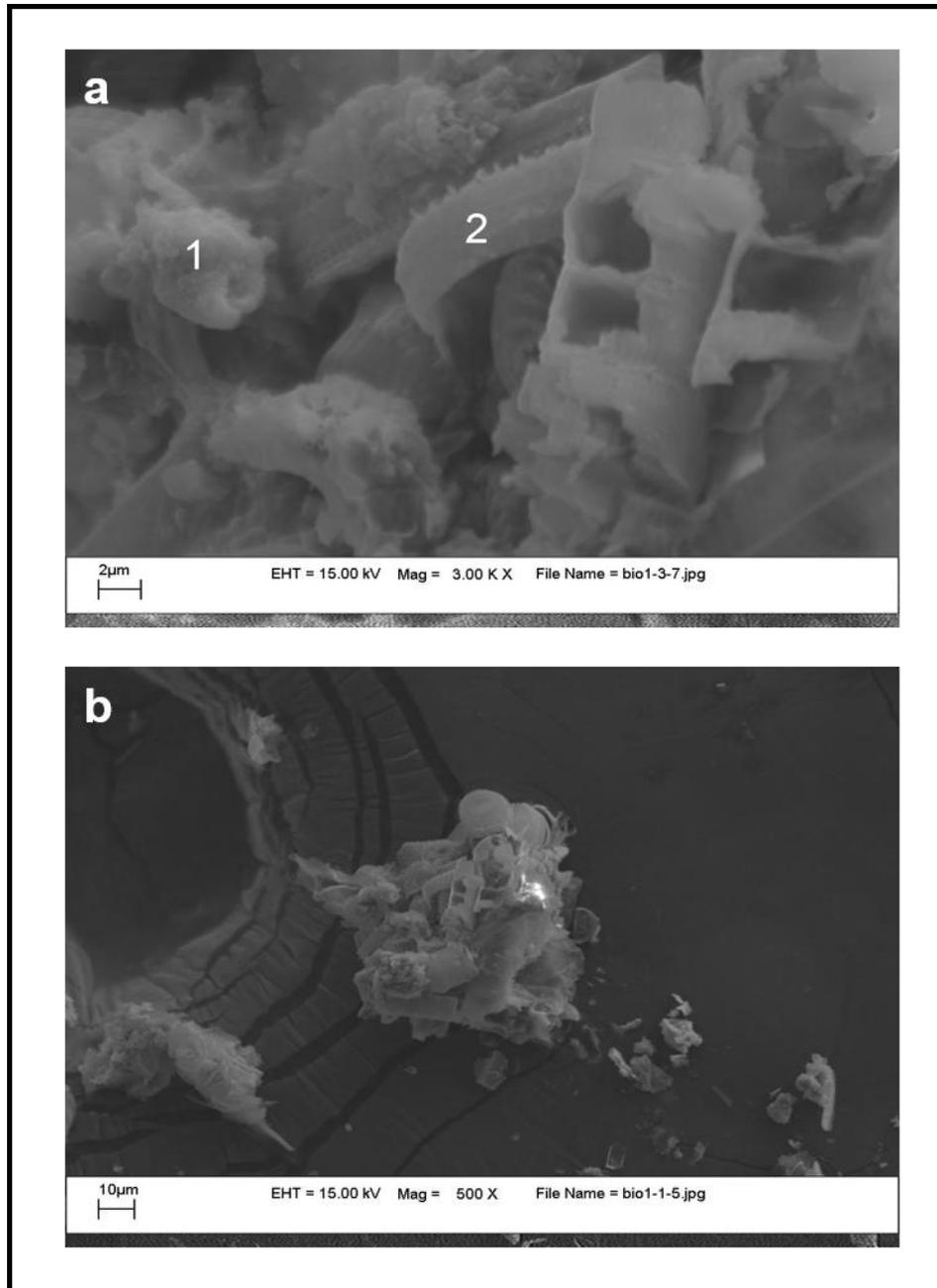


Figura 43. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de biosólidos retenidos en los poros de la cerámica posterior al proceso de filtración (a, b).

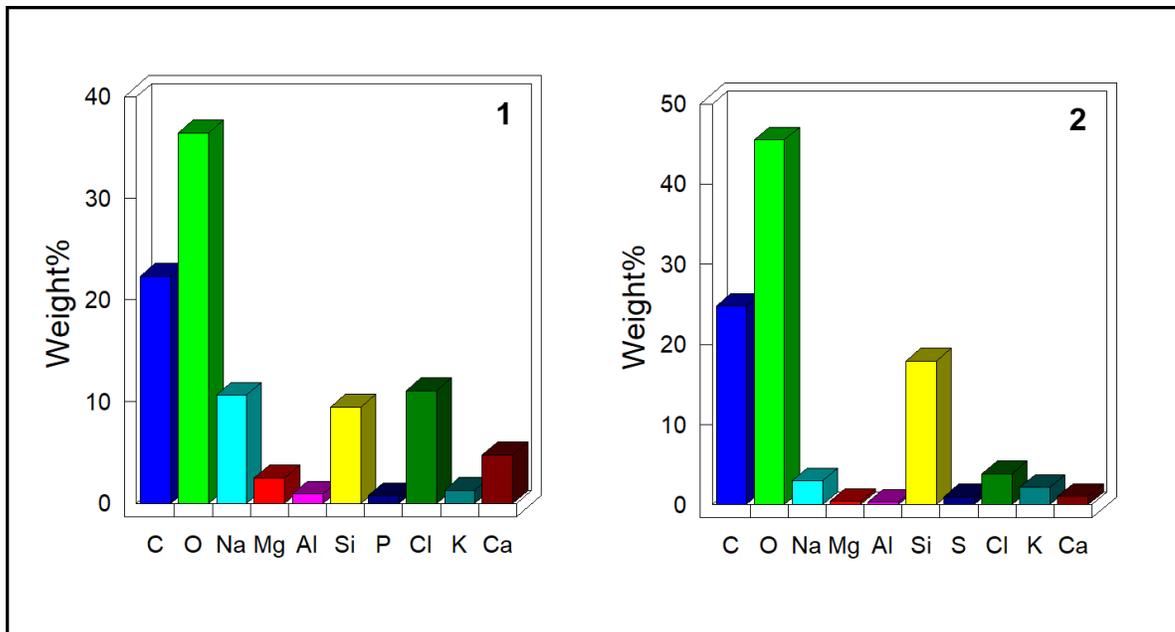


Figura 44. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 43, correspondiente a la estructura de biosólidos retenidos en los poros de la cerámica posterior al proceso de filtración.

Como se puede observar en la imagen 44, en el punto 2 de la figura “a”, se muestra claramente la presencia de microorganismos patógenos dentro de la muestra de agua utilizada en los filtros.

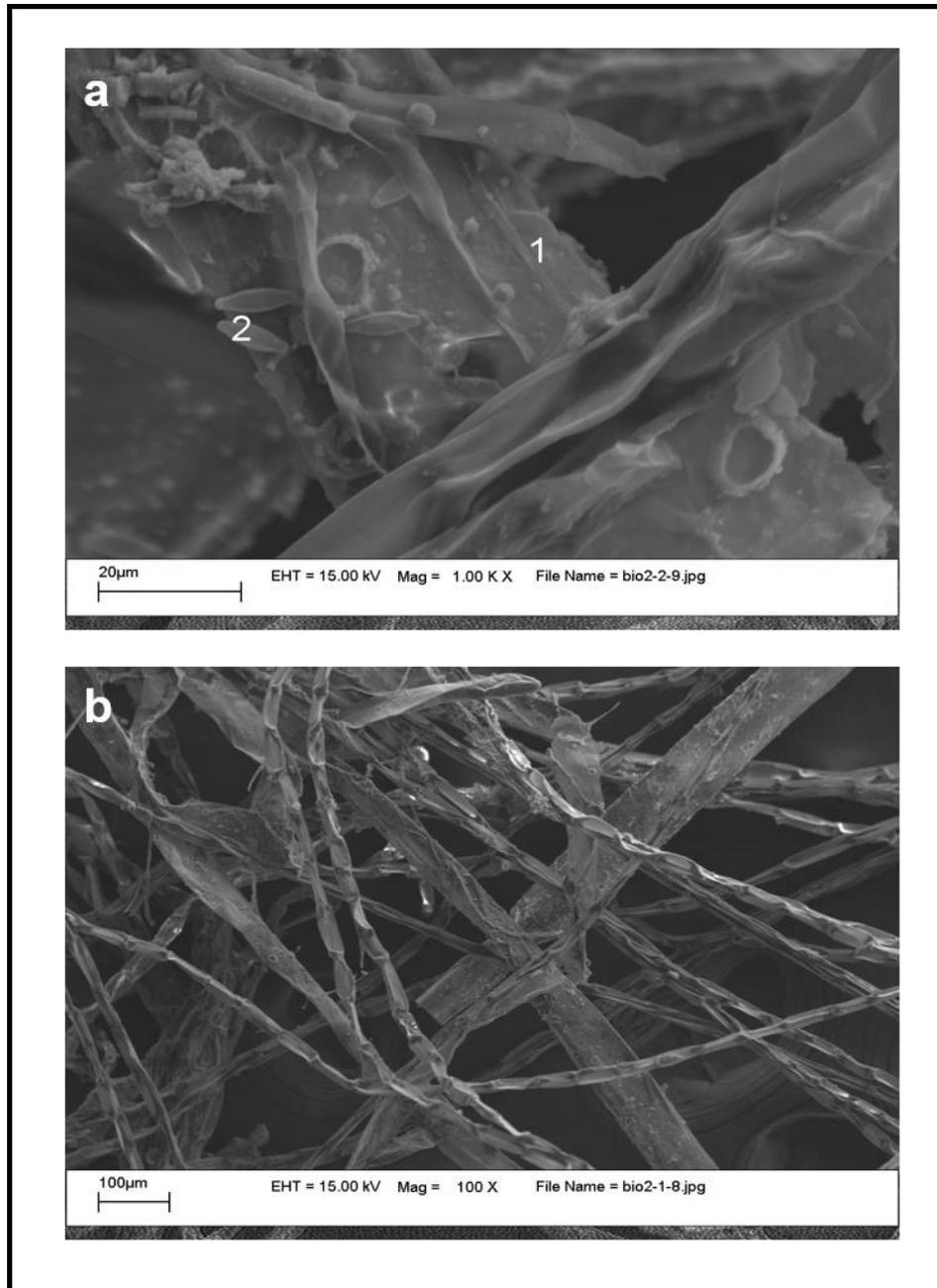


Figura 45. Imagen de SEM correspondiente a la estructura de biosólidos en tipo alga retenidos sobre la cerámica posterior al proceso de filtración (a, b).

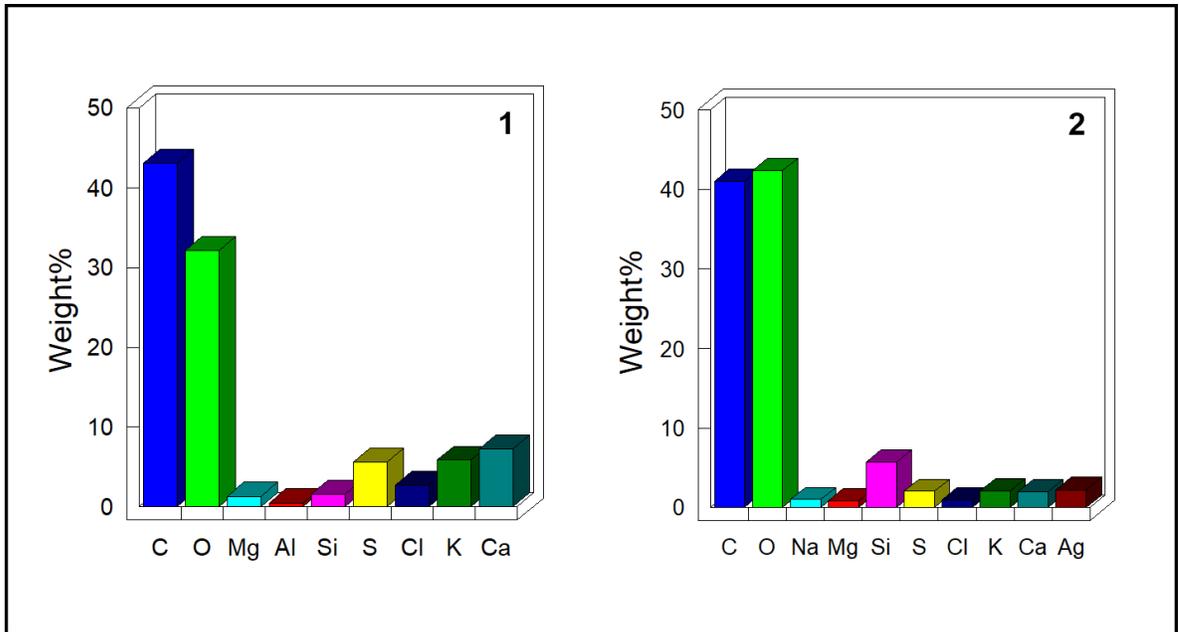


Figura 46. Porcentaje elemental en los lugares marcados en la Fig 45, correspondiente a la estructura de biosólidos en tipo alga retenidos sobre la cerámica posterior al proceso de filtración (a, b).

3.2. Resultados microbiológicos

Los resultados microbiológicos se componen por la caracterización de los coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli*, para la fase de prueba 1, 2 y 3. Las gráficas se hicieron conforme los días en los que se operaron los filtros contra el NMP de microorganismos patógenos presentes para cada prueba.

3.2.1. Coliformes totales

3.2.1.1. Fase de prueba 1

En la Figura 47 se muestra la gráfica del comportamiento para coliformes totales en la fase 1, donde se puede apreciar la entrada del agua y la salida del agua en el filtro. Dentro de los resultados, al momento de cuantificarlos para la entrada de agua, estos rebasaron los 2419.6 NMP, por lo que los resultados obtenidos como influente al filtro siempre sobrepasaron el valor máximo de cuantificación por el método utilizado.

Para la Figura 47 a pesar de que no se caracterizó su periodo de maduración del filtro. Se puede observar una disminución de contaminación microbiológica en el día 45 (día en el se empezó la caracterización), conforme llegó al día 70, el filtro alcanzo un porcentaje de remoción de más del 90%, y se mantuvo así hasta el día en que se dejó de operar el filtro (día 109).

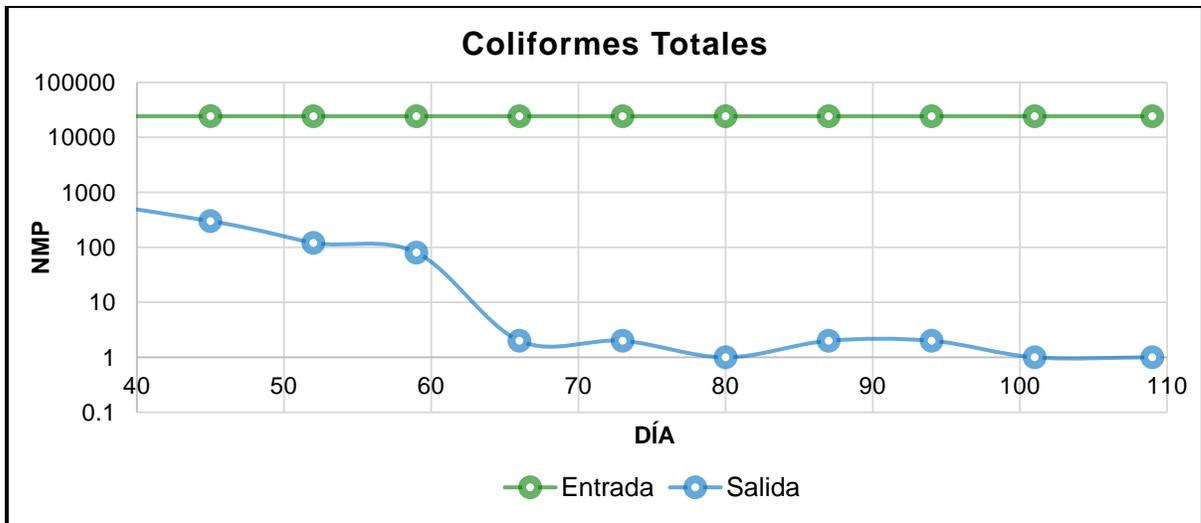


Figura 47. Gráfica del comportamiento de los coliformes totales en la fase 1.

3.2.1.2. Fase de prueba 2

Para la fase de prueba 2 mostrada en la Figura 48 se puede apreciar los resultados obtenidos para la entrada a los filtros, y las dos diferentes salidas, donde en un filtro se aplicó plata y en el otro no.

Revisando el resultado de la salida sin plata. Se puede apreciar que dentro los primeros 28 días (del día 0 al 28) no hubo mayor remoción de coliformes totales el cual se le conoce como periodo de estabilización por lo que los mecanismos de remoción aun no trabajan en su totalidad. En este tiempo también se considera que se estuvo formando la capa biológica, la cual es fundamental para el proceso de desinfección como mecanismo de remoción. Del día 28 y hasta el 35 hubo una eliminación considerable de los coliformes totales. Sin embargo fue hasta el día 63 de operación, que este llegó hasta un porcentaje de remoción mayor al 90%.

En el caso del filtro con plata, se puede observar que desde el principio de su operación, alcanzo más de un 50% de remoción de coliformes totales. Sin embargo como se observa en la gráfica, del día 49 al 77 existe una notable disminución de eficiencia, lo cual se puede decir con esto, que la plata que contenía el filtro, perdió su poder de desinfección. Por otro

lado, el filtro logro una eficiencia de remoción a partir del día 84, por lo cual indica, que a pesar de su pérdida de eficiencia debido a la plata, este logro empezar a formar su capa biológica.

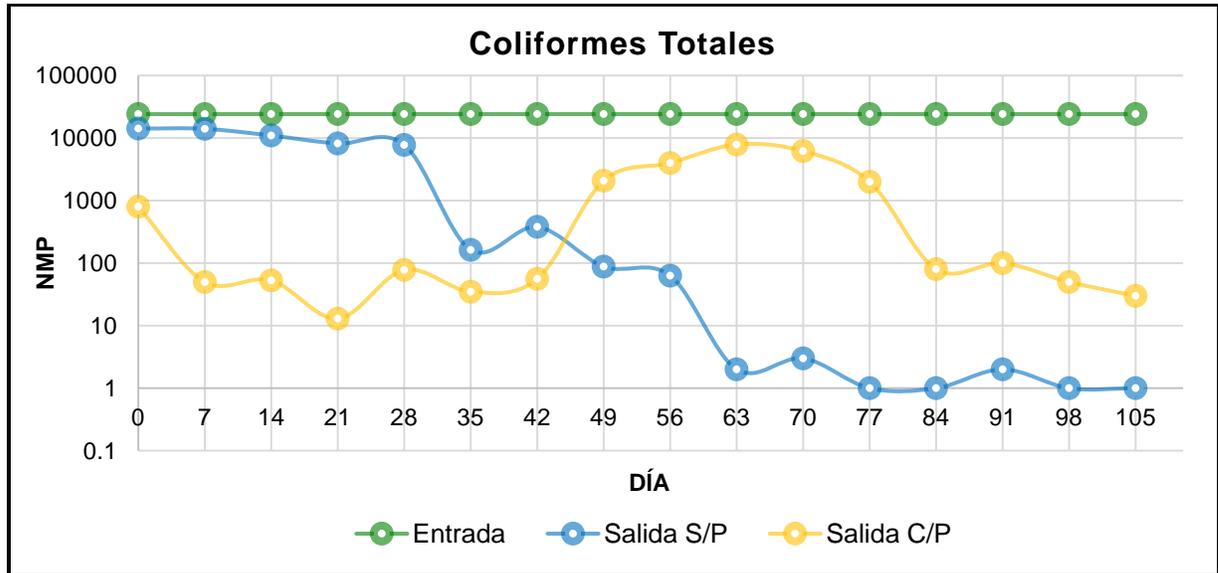


Figura 48. Gráfica del comportamiento de los coliformes totales en la fase 2.

3.2.1.3. Fase de prueba 3

En la Figura 49 se muestra de manera gráfica el comportamiento de los coliformes totales en la fase 3. En esta fase encontramos una entrada como en los otros casos, y dos diferentes salidas, que a pesar de que fueron del mismo filtro, esta fase midió la remoción de los contaminantes por etapas, la cual indica salida después de las cerámicas porosas (Salida CP) y la salida después del carbón carbonizado y caña (Salida C y CA). Y como se puede observar las cerámicas porosas alcanzaron el mayor nivel de remoción (más del 90%) en los días 63 y 70 que en comparación a la fase con carbón activado y caña (1 – 5%).

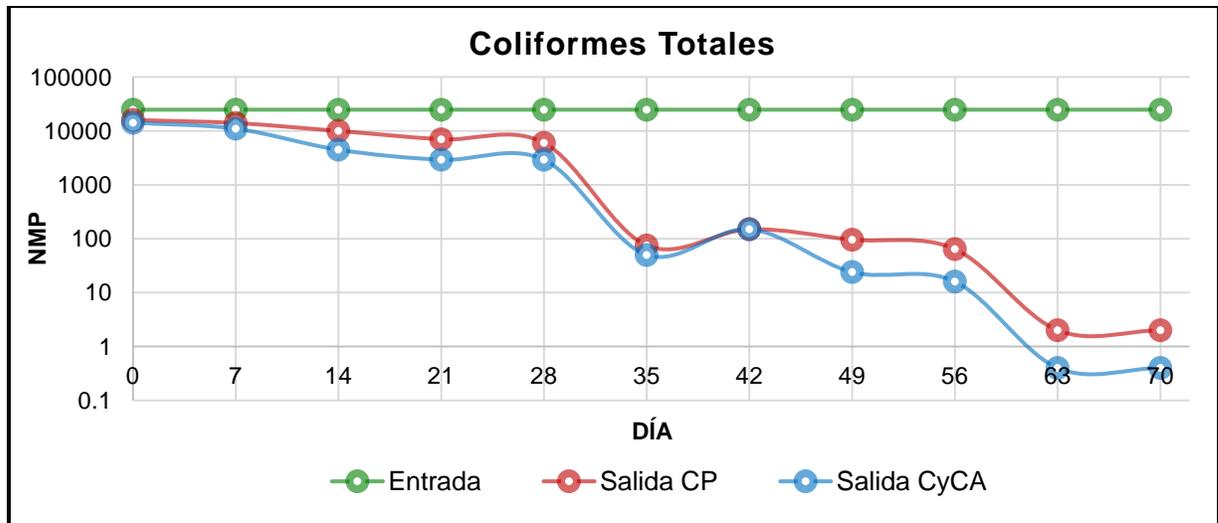


Figura 49. Gráfica del comportamiento de los coliformes totales en la fase 3.

3.2.2. Coliformes fecales

3.2.2.1. Fase de prueba 1

Como ya se explicó para la prueba de fase 1 para coliformes totales, la Figura 50 muestra la gráfica del comportamiento de los coliformes fecales en la fase 1, donde se puede apreciar la entrada del agua y la salida del agua en el filtro. Como se puede observar el comportamiento de la gráfica fue la misma para la Figura 47, que a pesar de que no se caracterizó su periodo de maduración del filtro. Se puede observar una disminución de coliformes fecales para el día 45 y que conforme al paso de los días de operación del filtro, la eficiencia de remoción fue aumentando, hasta alcanzar un porcentaje de remoción de más del 90% manteniéndose así hasta el día en que se dejó de operar el filtro (día 109).

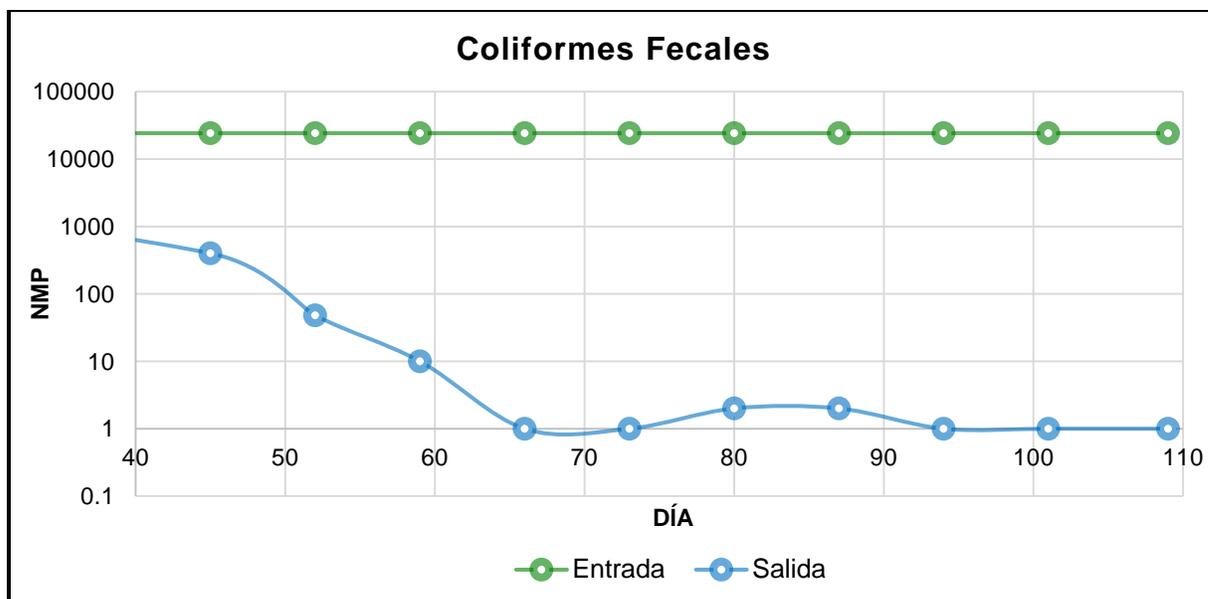


Figura 50. Gráfica del comportamiento de los coliformes fecales en la fase 1.

3.2.2.2. Fase de prueba 2

Para la fase de prueba 2 mostrada en la Figura 51 se pueden apreciar los resultados obtenidos para la entrada a los filtros, y las dos diferentes salidas, donde en un filtro se aplicó plata y en el otro no. Como se observa, se puede apreciar que se tuvo un comportamiento igual que para coliformes totales en la misma fase.

Donde para el filtro con plata tuvo porcentajes de remoción de más del 50% para los primero 42 días y después del día 77 de operación del filtro, causando que tuviera días con muy poca eficiencia (del día 49 al 70).

Y para el filtro sin plata alcanzaba su máximo porcentaje de remoción (hasta un 99%) para el día 63 de operación. Considerando que tuvo un comportamiento similar al de la fase 1 para coliformes totales.

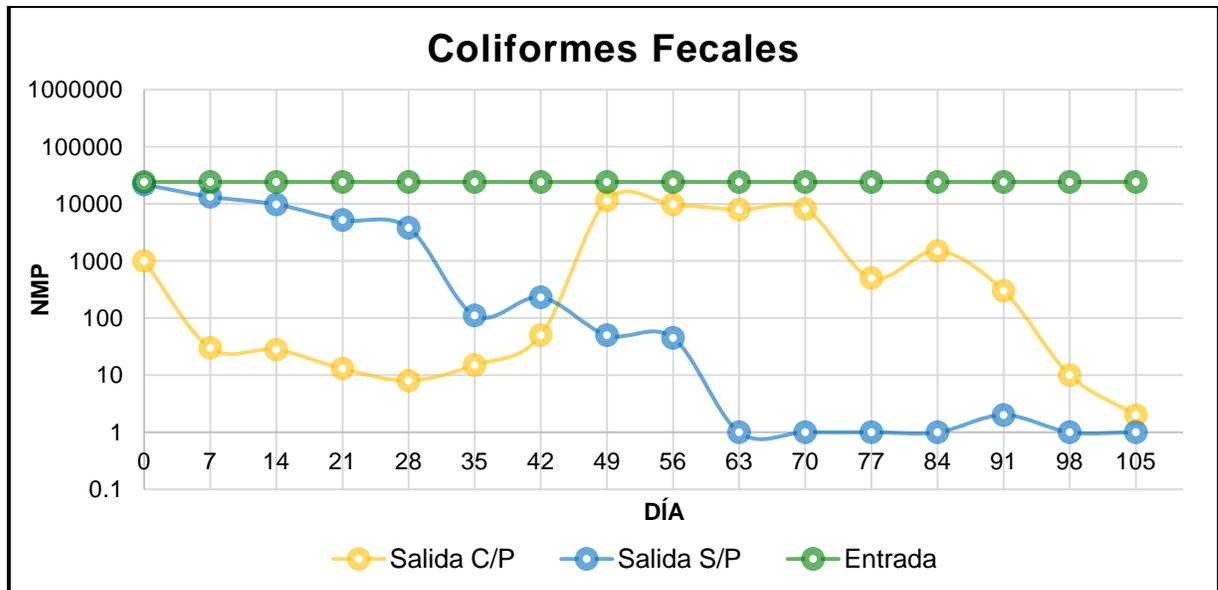


Figura 51. Gráfica del comportamiento de los coliformes fecales en la fase 2.

3.2.2.3. Fase de prueba 3

Al igual que con los coliformes totales para la misma fase (fase 3), el comportamiento fue similar obteniendo remociones de más del 90% para la salida CP y entre un 1 y 5% de remoción para la salida C y CA, probando la eficiencia en las cerámicas porosas y la mayor remoción de coliformes totales y fecales dentro la primera etapa de cerámicas porosas (Figura 52).

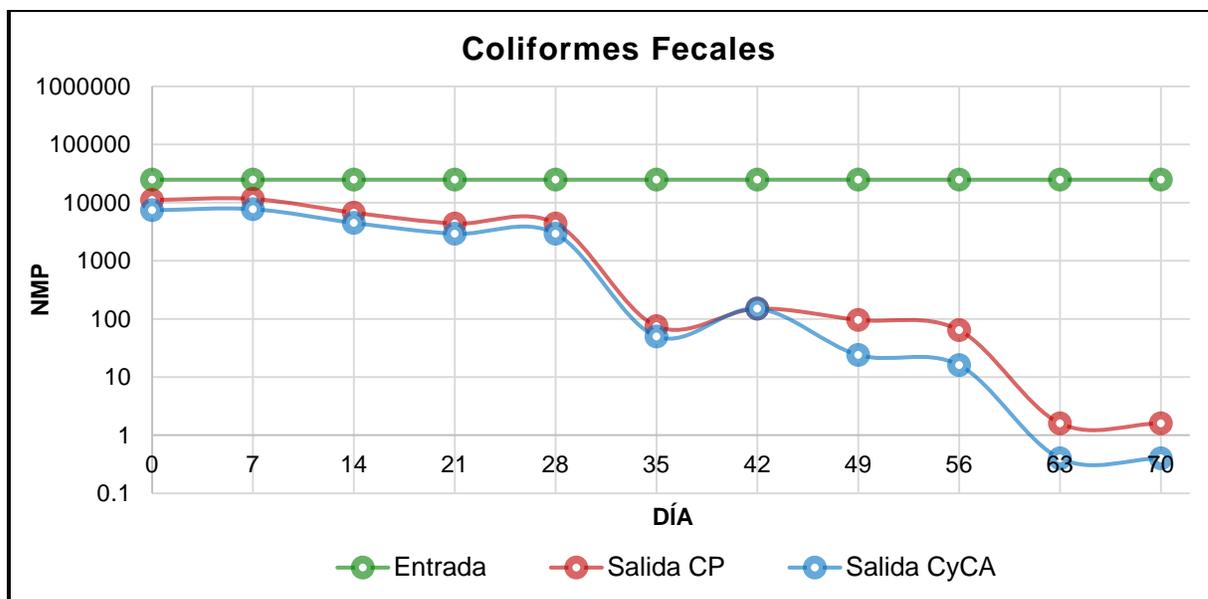


Figura 52. Gráfica del comportamiento de los coliformes fecales en la fase 3.

3.2.3. *E. Coli*

3.2.3.1. Fase de prueba 1

Como ya se observó en los resultados obtenidos para coliformes totales (Figura 47) y coliformes fecales (Figura 50) fueron muy buenos, por esta razón, los filtros de igual manera fueron buenos para la remoción de *E. Coli* (Figura 53). Se puede observar que para esta evaluación, la remoción fue de más de 90%, por esta razón se infiere que el filtro utilizado para esta fase (fase 1), logro exitosamente la remoción de los microorganismos patógenos en el agua contaminada.

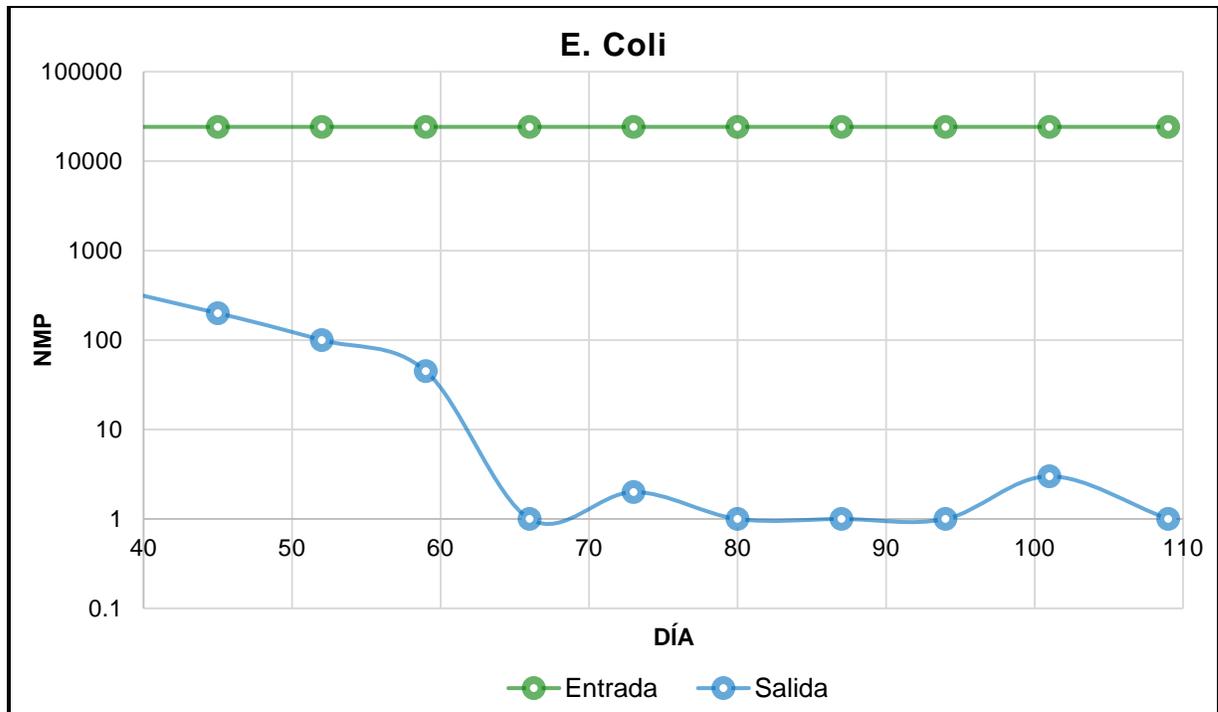


Figura 53. Gráfica del comportamiento de E. Coli en la fase 1.

3.2.3.2. Fase de prueba 2

En la Figura 54 se puede observar el comportamiento de *E. Coli* para la fase de prueba 2, que como ya se mencionó anteriormente, se usaron dos filtros, un filtro donde se le aplicó plata y uno donde no se le aplicó plata. Como se observa, el comportamiento fue similar al de los coliformes fecales en la misma fase.

Para el filtro con plata, se obtuvieron niveles de remoción de más del 50% del día 0 al 42 y después hubo una baja eficiencia (del día 42 al 49) de los filtros. Sin embargo para el día 77 de operación del filtro los niveles de remoción empezaron a subir hasta un 90%.

Y para el filtro sin plata se observa que no fue hasta el día 35 en el que alcanza porcentajes de remoción de más de 50%, y en el día 63 de operación del filtro, este alcanzó niveles de remoción de más del 90%.

Como se observa dentro de los 3 parámetros de microorganismos patógenos (coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli*), los comportamientos para los dos filtros fueron similares para esta fase (fase 2).

Con esto se puede deducir, que la plata coloidal fue un buen agente de desinfección, sin embargo no pudo eliminar en su totalidad y a largo plazo los microorganismos patógenos, lo cual se debe a la cantidad de estos, por otro lado podemos observar dentro de las tres graficas (Figura 48, 51 y 54) que el poder de desinfección de la plata disminuyo después de 6 semanas aproximadamente, lo cual llevo al filtro a un estado inicial de operación (a comparación del filtro sin plata), siendo así que el filtro formara su estado de maduración y formación de capa biológica, llevando su máximo porcentaje de remoción máximo después de 15 semanas (105 días de operación).

Si se hace una comparación del filtro sin plata coloidal, a pesar de que este no tuvo la misma eficiencia dentro de las primeras semanas (6 semanas) para la remoción de microorganismos patógenos, el filtro sin plata si alcanzo su máximo porcentaje de remoción en menos tiempo (día 63) en comparación con el filtro con plata (día 105).

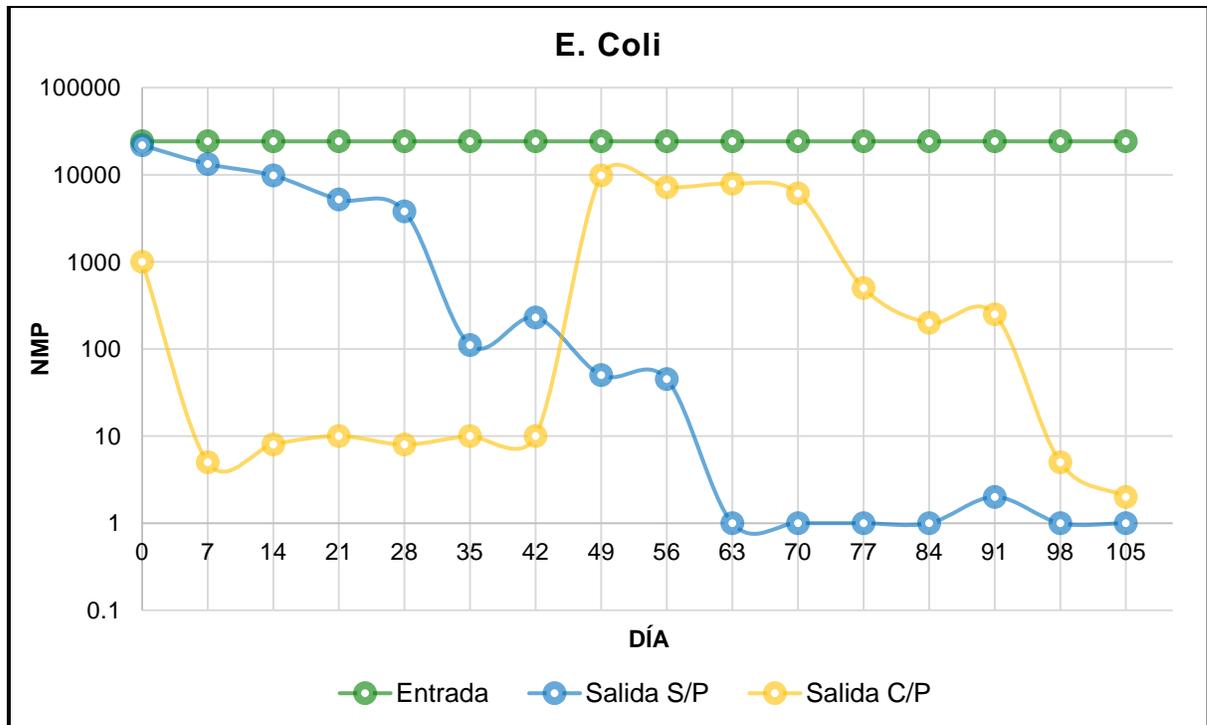


Figura 54. Gráfica del comportamiento de *E. Coli* en la fase 2.

3.2.3.3. Fase de prueba 3

Como se puede observar (Figura 55) al igual que con los coliformes totales y coliformes fecales, *E. Coli* tuvo un comportamiento muy similar para la fase 3. Por lo que la remoción para la salida en CP fue de más del 90%, y para la salida en C y CA fue de entre un 1 y 5%. Por estos resultados se puede decir que las cerámicas porosas probaron su eficiencia para la remoción y/o eliminación de coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli* mediante los mecanismos de remoción y desinfección, cumpliendo un buen desempeño para la formación de la capa biológica.

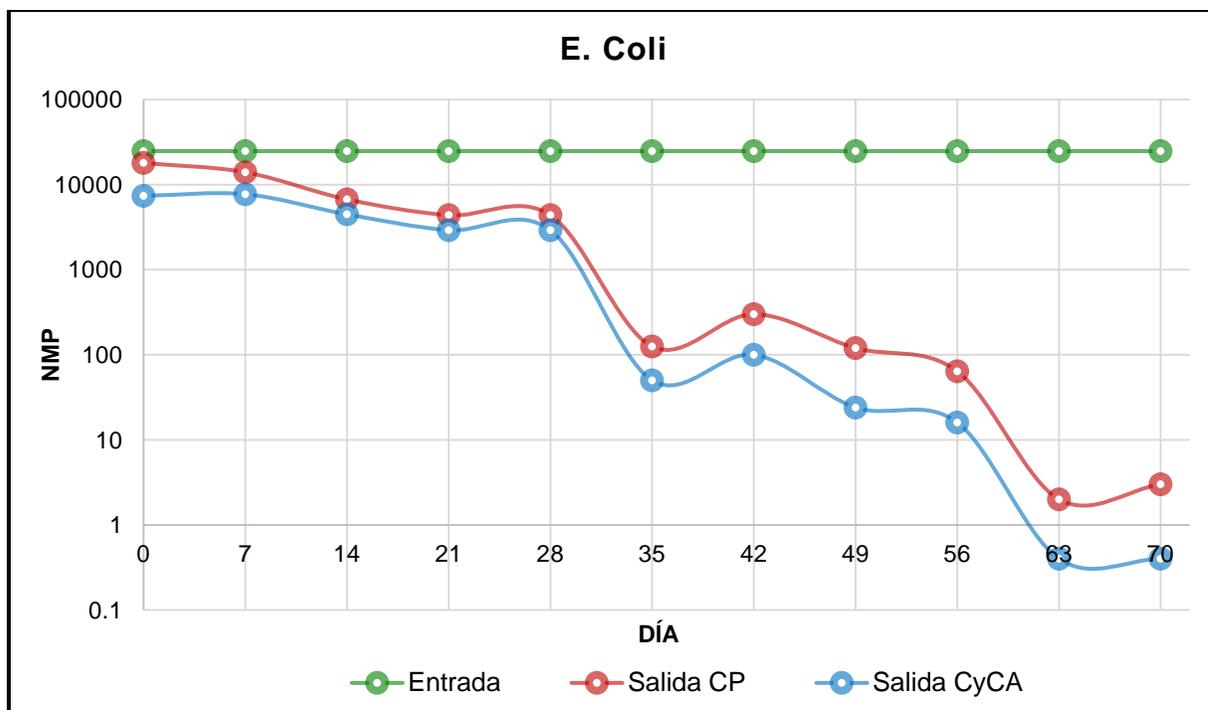


Figura 55. Gráfica del comportamiento de E. Coli en la fase 3.

3.3. Resultados físico – químicos

3.3.1. Turbiedad

En las siguientes figuras se muestra de manera gráfica el comportamiento de la turbiedad para cada una de las fases; fase 1 (Figura 56), fase 2 (Figura 59) y fase 3 (Figura 64).

3.3.1.1. Fase de prueba 1

En la Figura 56 se muestra de manera gráfica el comportamiento de la turbiedad para la prueba de fase 1. Como lo demuestran los resultados obtenidos, es evidente la eficiencia del filtro para la eliminación de turbidez en el agua. Como se puede observar, para la entrada del filtro, los valores de turbidez sobrepasaban los LMP, y para la salida de este, sus reducciones eran más del 50% dentro los primeros 20 días de operación, y después del día 20 hasta el final de su operación (día 109) alcanzo porcentajes de remoción de más del 90%.

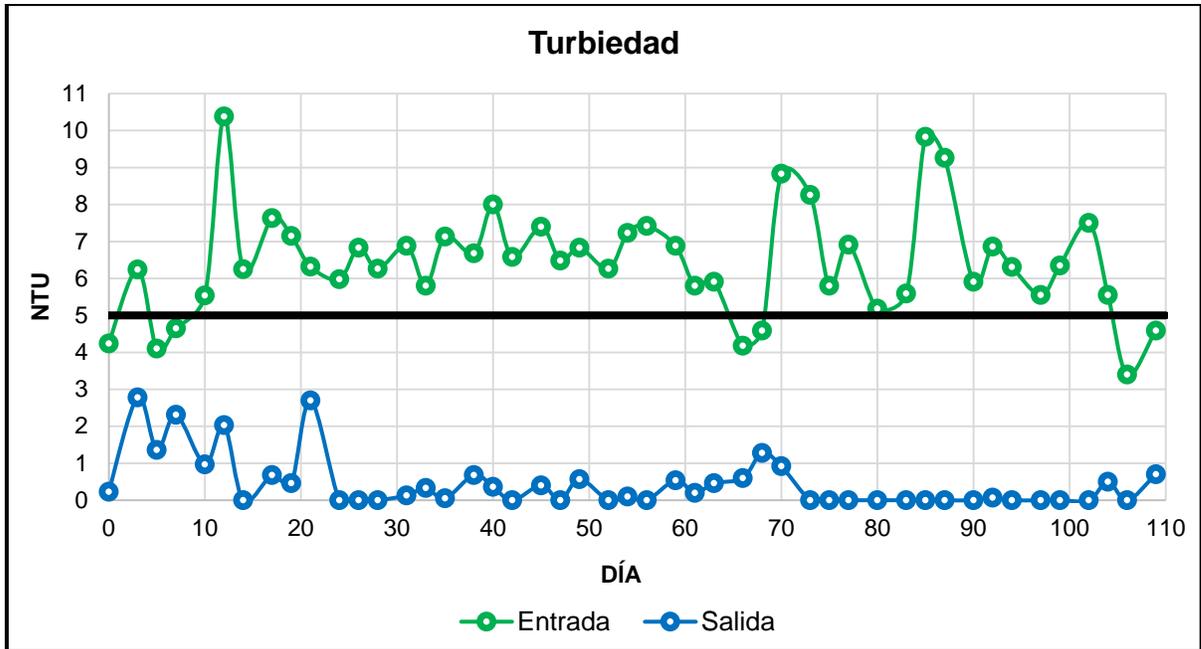


Figura 56. Gráfica del comportamiento de la turbiedad en la fase 1.

En las siguientes figuras se puede observar la efectividad del filtro para eliminación de la turbidez en el agua contaminada. En la Figura 57 son fotos tomadas aleatoriamente de muestras de agua en la entrada al filtro con cerámicas porosas de distintos días en los que se operó el filtro y en la Figura 58 se puede observar el agua de salida del filtro.



Figura 57. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 1.



Figura 58. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 1.

3.3.1.2. Fase de prueba 2

Para la Figura 59 se percibe el comportamiento de la turbidez para la fase 2, donde se muestran los resultados del agua que entro a los filtros y las salidas de estos, como ya se sabe, en un filtro se utilizó plata y en otro no se usa esta.

Al igual que los resultados de la prueba de fase, la eliminación de la turbidez con los filtros (ambos) fue un éxito, eliminando más del 50% de turbidez dentro de los primeros 25 días. Y un porcentaje de remoción de más del 90% para los siguientes días y hasta el final de la operación de los filtros. Se puede observar que tanto para el filtro con plata y sin plata fue un éxito la remoción de turbidez en el agua desde el día 0 y hasta el día 105, aprobando los LMP de la NOM-127-SSA1-1994.

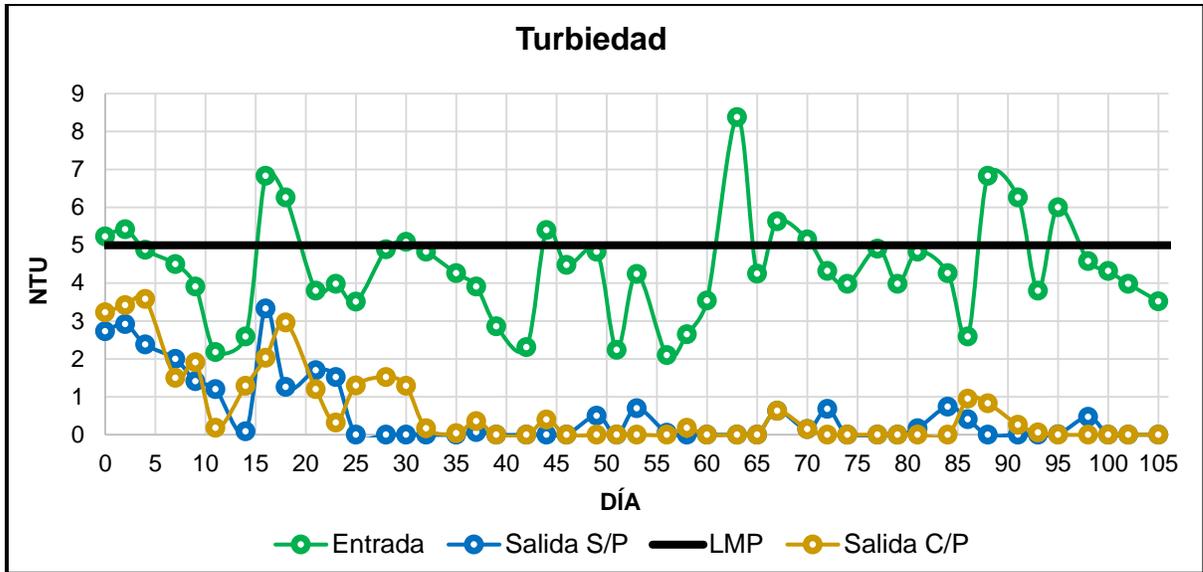


Figura 59. Gráfica del comportamiento de la turbiedad en la fase 2.

En las siguientes figuras se observa la manera en la que los filtros eliminaron la turbidez en el agua contaminada de manera afectiva. En las Figuras 60 y 61 para el filtro que trabajo sin plata coloidal y las Figuras 62 y 63 para el filtro que trabajo con plata, las imágenes mostradas fueron de días aleatorios durante los días de operación de los filtros en esta fase.



Figura 60. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 2 (sin plata coloidal).

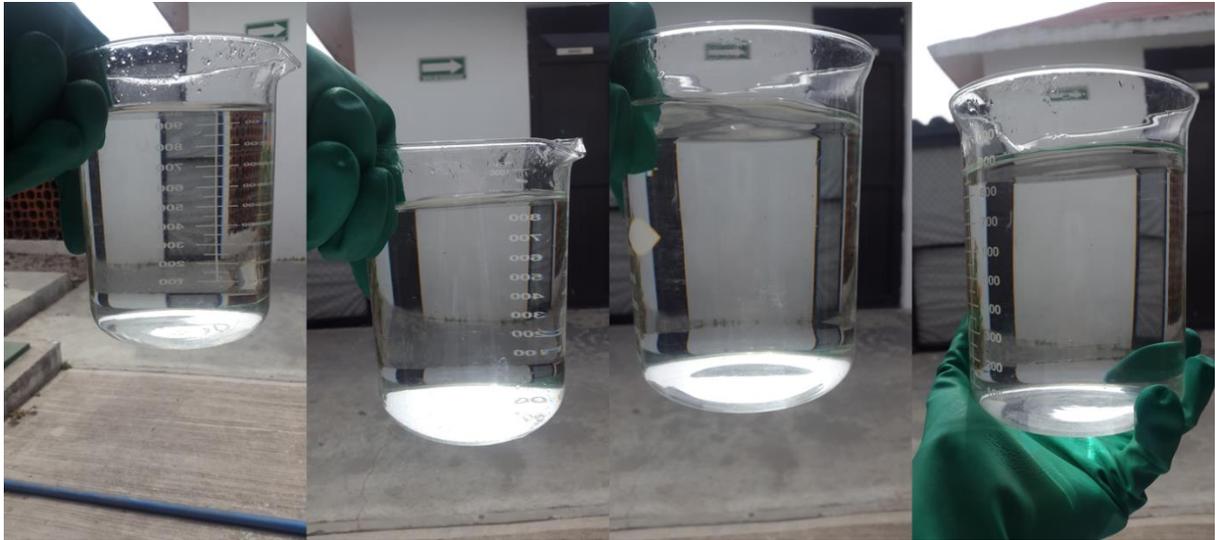


Figura 61. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 2 (sin plata coloidal).



Figura 62. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 2 (con plata coloidal).



Figura 63. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 2 (con plata coloidal).

3.3.1.3. Fase de prueba 3

En la Figura 64 se muestra de manera gráfica el comportamiento de la turbiedad para la prueba de fase 3. Al igual que en la fase 1, se demuestra la eficiencia del filtro para remoción de turbidez en el agua. En esta fase se observó la remoción de los contaminantes por etapas, la cual indica la entrada y salida después de las cerámicas porosas (Salida CP) y después del coco carbonizado y caña (Salida C y CA). Y como se puede observar en la gráfica, el mayor porcentaje de remoción se llevó en las cerámicas porosas, eliminando de un 50% a un 90% de turbidez, mientras que el coco carbonizado y caña eliminaron el resto de la remoción (20% a 5%).

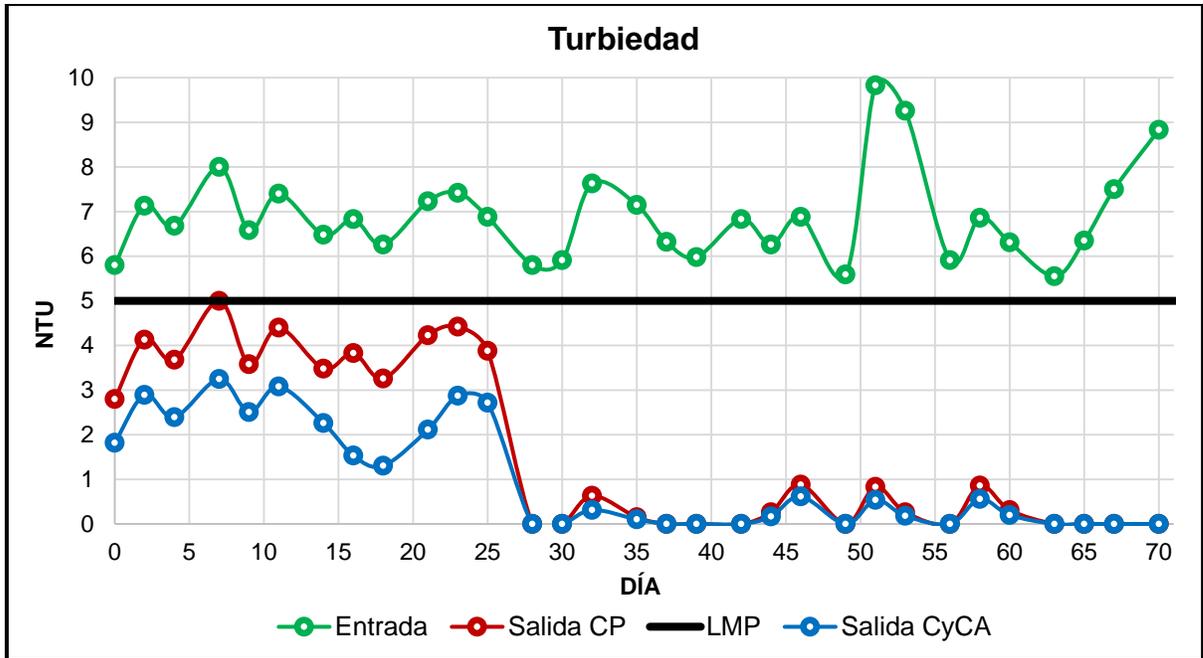


Figura 64. Gráfica del comportamiento de la turbiedad en la fase 3.

En las siguientes Figuras 65 y 66 se puede observar la eficacia del filtro para eliminación de la turbidez en el agua problema. Las fotos fueron tomadas aleatoriamente durante el tiempo de operación del filtro, para la entrada al filtro de cerámicas porosas y salida del mismo.



Figura 65. Muestras del agua problema a la entrada del filtro en la fase 3.



Figura 66. Muestras del agua problema a la salida del filtro en la fase 3.

3.3.2. pH

En las siguientes Figuras se muestra de manera gráfica el comportamiento del pH para cada una de las fases; fase1 (Figura 67), fase 2 (Figura 68) y fase 3 (Figura 69).

3.3.2.1. Fase de prueba 1

En la Figura 67 se muestra de manera gráfica el comportamiento del pH para la prueba de fase 1. La grafica muestra como en la entrada del filtro el agua contiene un pH bajo en promedio al LMP durante todo su periodo de operación del filtro. Sin embargo en la salida del filtro, el agua presenta en su mayoría un pH dentro de los LMP. Por lo cual con este resultado se puede demostrar que en la prueba de fase gracias al filtro y sus reacciones dentro de este, el pH cambia. Los resultados no demuestran ninguna tendencia hacia la conducta del pH, por lo que se opina es que no depende del pH de entrada, sino de todos los componentes que vienen con el agua.

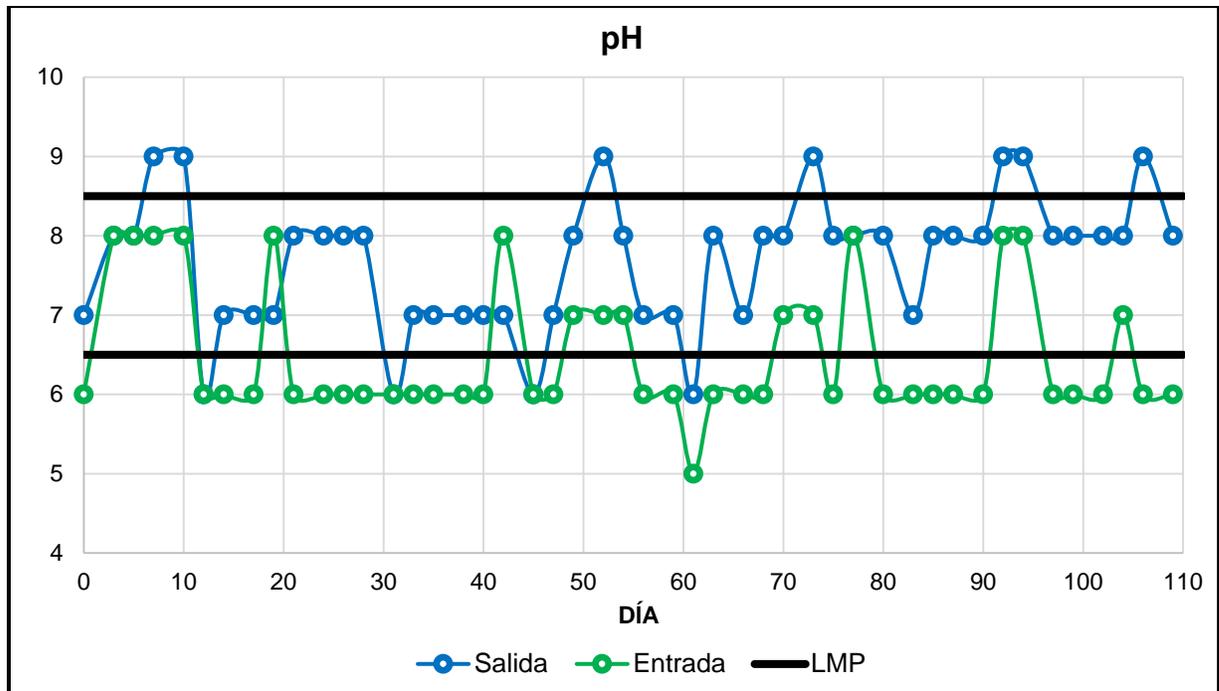


Figura 67. Gráfica del comportamiento del pH en la fase 1.

3.3.2.2. Fase de prueba 2

En la siguiente Figura 68 se observa el comportamiento del pH para la prueba de fase 2. En esta gráfica, se encuentra la entrada a dos filtros, y la salida de 1 con plata y 2 sin plata.

Observando el comportamiento de la entrada del agua a los filtros, los resultados obtenidos fueron entre un valor de 6 a 8. Para los resultados obtenidos en la salida del filtro que no contenía plata se puede observar que los valores del pH subieron estando en su mayoría dentro del LMP, por lo cual se asemeja un poco al comportamiento del filtro de la prueba de fase 1. Por otro lado, el comportamiento del agua de salida en el filtro con plata fue diferente, ya que dentro los primeros 45 días de operación el pH se mantuvo bajo o sin cambios a comparación de la entrada. Pasando los 45 días este aumento siendo que en su mayoría estuviera dentro de los LMP.

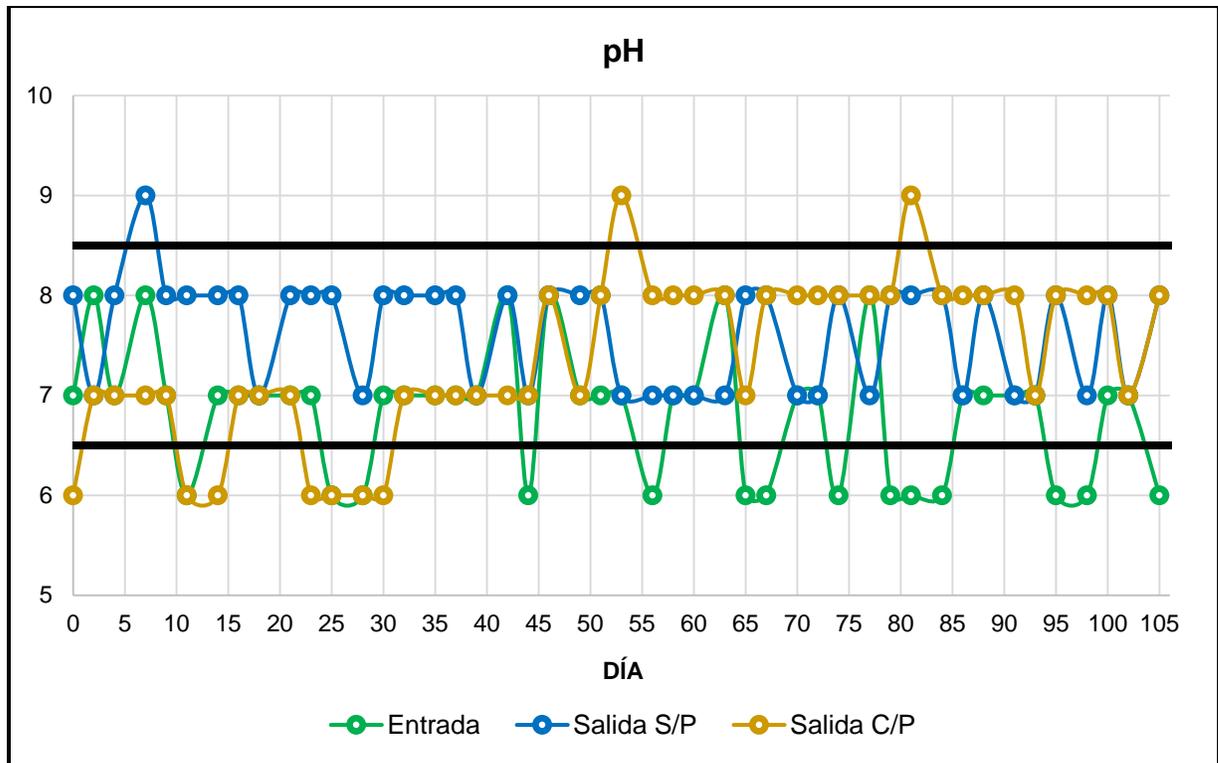


Figura 68. Gráfica del comportamiento del pH en la fase 2.

3.3.2.3. Fase de prueba 3

En la Figura 69 se muestra de manera gráfica el comportamiento del pH para la prueba de fase 3. En la gráfica se encuentran los resultados obtenidos para la entrada de agua al filtro, y las dos salidas del filtro, la primero pasando por las cerámicas porosas y la segunda salida pasando por el carbón activado.

La grafica muestra como en la entrada del filtro el agua contiene en promedio un pH bajo a los LMP durante todo su periodo de operación del filtro. Como se puede observar no hubo diferencia en las dos salidas del filtro (visualmente se ve una diferencia sin embargo se colocó así para la distinción de las salidas). Por lo que los resultados indicaron, se demuestra que en esta prueba de fase 3 el cambio del pH surge dentro de la primera etapa del filtro (cerámicas porosas).

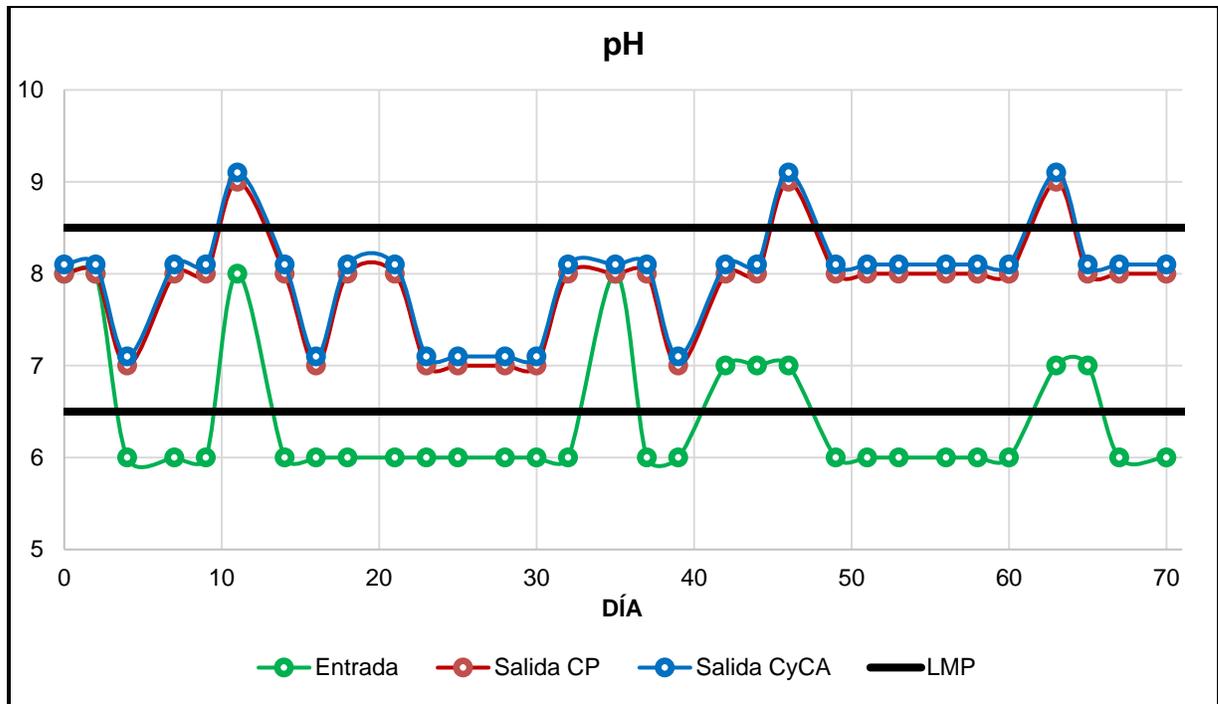


Figura 69. Gráfica del comportamiento del pH en la fase 3.

3.3.3. Temperatura

En las siguientes figuras se muestra de manera gráfica el comportamiento de la temperatura para cada una de las fases; 1 (Figura 70), 2 (Figura 71) y 3 (Figura 72).

3.3.3.1. Fase de prueba 1

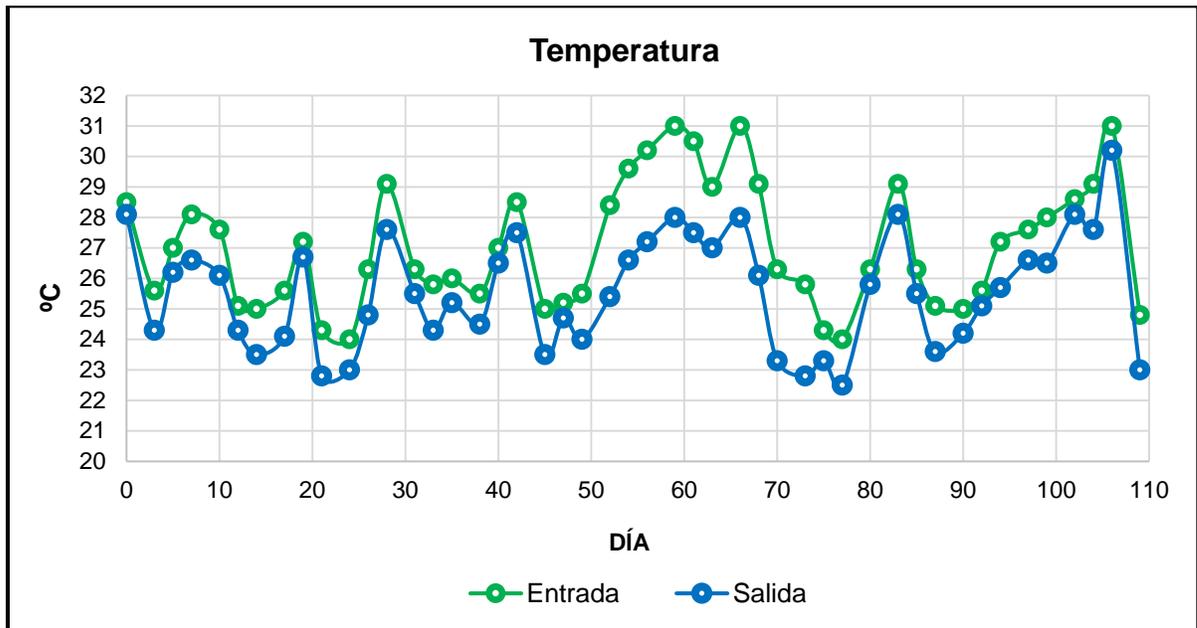


Figura 70. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la fase 1.

3.3.3.2. Fase de prueba 2

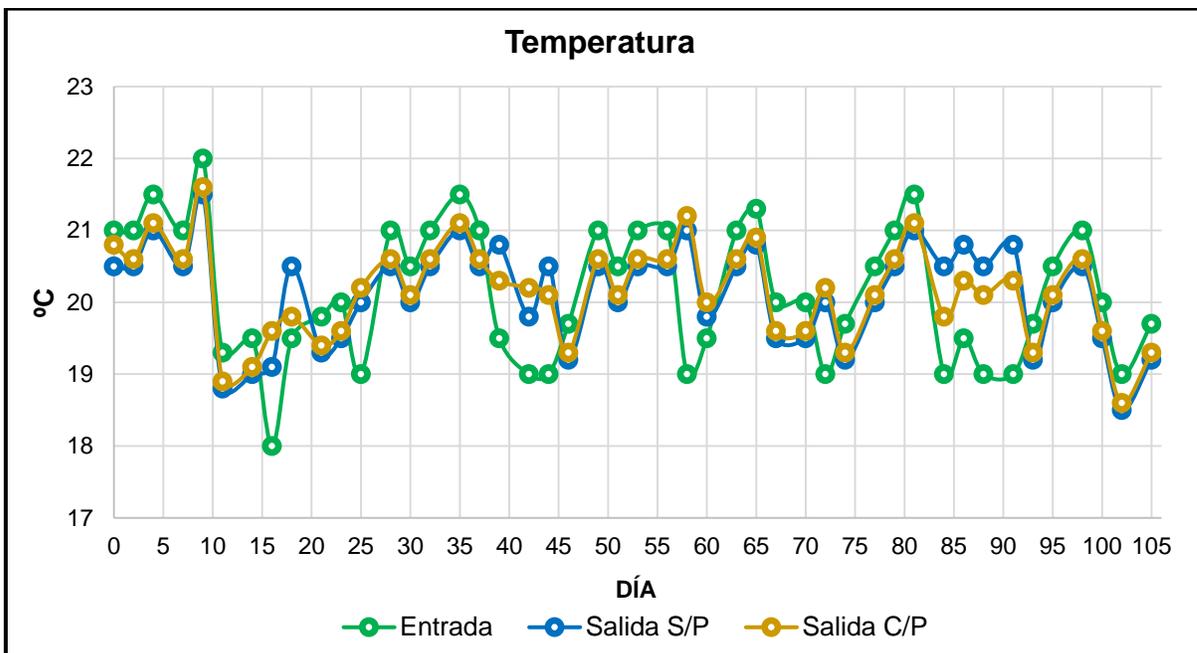


Figura 71. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la fase 2.

3.3.3.3. Fase de prueba 3

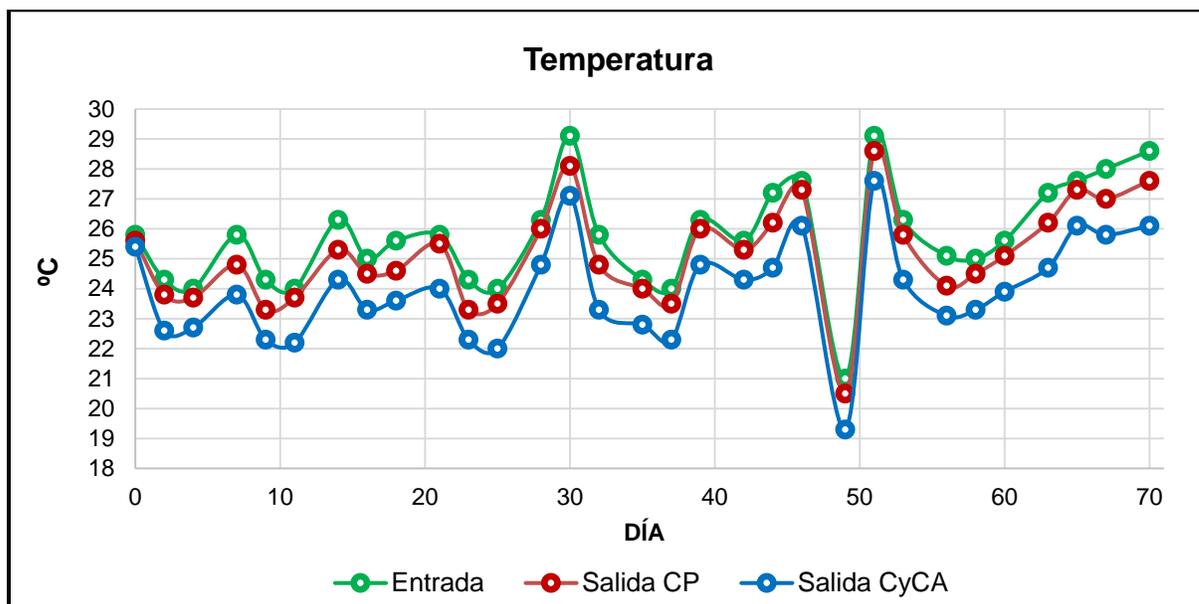


Figura 72. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la fase 3.

Como se observa en las figuras, no hubo un comportamiento importante en la temperatura, aunque si cambio la temperatura de la entrada a comparación de la salida para cada fase, este no fue drástico, por lo que se indica que las reacciones o algún comportamiento dentro del filtro no alteró negativamente la temperatura del agua. Por otro lado, la NOM-127-SSA1-1994 no tiene ningún LMP marcado para la temperatura del agua.

3.3.4. Caracterización físico - química (NOM-127-SSA1-1994) para elementos y compuestos, físicas y organolépticas, plaguicidas e hidrocarburos aromáticos para la prueba de fase 1.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos solamente para la prueba de fase 1. Estos resultados muestran la caracterización físico – química en base a los parámetros que exige la NOM-127-SSA1-1994 el cual se divide en elementos y compuestos (Tabla 17), físicas y organolépticas (Tabla 18), plaguicidas (Tabla 19) e hidrocarburos aromáticos (Tabla 20).

En cada una de las tablas, se observa la característica que se evaluó, las unidades en las que se obtuvieron, la cantidad que se encontró en la entrada del filtro, la cantidad que se obtuvo al momento de salir del filtro y LMP dado por la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 17. Caracterización físico – química para elementos y compuesto química.

Elementos y compuestos				
Característica	Unidades	Entrada	Salida: Prueba 1	LMP
Aluminio	mg/L	0.15	0.1	0.2
Arsénico	mg/L	0.035	0.027	0.05
Bario	mg/L	<0.5	<0.5	0.7
Cadmio	mg/L	<0.0010	<0.0010	0.005
Cianuros (como CN⁻)	mg/L	<0.020	<0.020	0.07
Cloro residual libre	mg/L	<0.01	<0.01	0.2 - 1.5
Cloruros (como Cl⁻)	mg/L	35.5	28.6	250
Cobre	mg/L	<0.05	<0.05	2
Cromo total	mg/L	<0.005	<0.005	0.05
Dureza total (como CaCO₃)	mg/L	230	89.2	500
Fenoles o compuestos fenólicos	mg/L	<0.0145	<0.0145	0.3
Hierro	mg/L	<0.01	<0.01	0.3
Fluoruros (como F⁻)	mg/L	0.85	0.2	1.5
Manganeso	mg/L	<0.05	<0.05	0.15
Mercurio	mg/L	<0.001	<0.001	0.001
Nitratos (como N)	mg/L	12.6	9.91	10
Nitritos (como N)	mg/L	0.08	0.02	1
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	----	7	9	6.5-8.5
Nitrógeno amoniacal (como N)	mg/L	0.425	0.258	0.5
Plomo	mg/L	<0.005	<0.005	0.01

Sodio	mg/L	58.052	74.158	200
Sólidos disueltos totales	mg/L	1220	621	1000
sulfatos (como SO₄)	mg/L	23.5	21.8	400
Substancias activas al azul del metileno (SAAM)	mg/L	0.26	0.32	0.5
Trihalometanos totales	mg/L	<0.0007	<0.0007	0.2
Yodo residual libre	mg/L	0.11	0.06	0.2-0.5
Zinc	mg/L	<0.1	<0.1	5

Tabla 18. Caracterización físico – química para físicas y organolépticas.

Físicas y organolépticas				
Característica	Unidades	Influente	Efluente: Prueba 1	LMP
Color	Cobalto-Platino	25	12	20
Olor y sabor	S/U	NA	NA	Agradable

Tabla 19. Caracterización físico – química para plaguicidas.

Plaguicidas				
Característica	Unidades	Influente	Efluente: Prueba 1	LMP
Aldrín y dieldrín separados o combinados)	µg/L	<0.01	<0.01	0.03
Clordano (total de isómeros)	µg/L	<0.01	<0.01	0.2
DDT (total de isómeros)	µg/L	<0.01	<0.01	1
Gamma-HCH (lindano)	µg/L	<0.01	<0.01	2
Hexaclorobenceno	µg/L	<0.01	<0.01	1

Heptacloro y epóxido de heptacloro	µg/L	<0.01	<0.01	0.03
Metoxicloro	µg/L	<0.01	<0.01	20
2,4-D	µg/L	<0.6	<0.6	30

Tabla 20. Caracterización físico – química para hidrocarburos aromáticos.

Hidrocarburos aromáticos				
Característica	Unidades	Influente	Efluente: Prueba 1	LMP
Benceno	µg/L	<0.6	<0.6	10
Etilbenceno	µg/L	<0.62	<0.62	300
Tolueno	µg/L	<0.45	<0.45	700
Xileno (tres isómeros)	µg/L	<0.54	<0.54	500

Como se observó en las 4 tablas (Tabla 17, 18, 19 y 20), los parámetros no sobrepasaron los LMP, teniendo en cuenta que desde su entrada no sobrepasaban los límites. Sin embargo el uso del filtro ayudo en su mayoría a disminuir las cantidades para cada uno de estos.

Se notó que el único parámetro que sobrepaso el LMP fue el pH, considerando que dentro del filtro ocurren muchas reacciones tantas como químicas y microbiológicas, esto puede disparar la alcalinidad del agua.

En otros casos como para plaguicidas e hidrocarburos aromáticos se mantuvieron cantidades tan bajas para poder percibirse dentro del método utilizado. Esto se presencié en la entrada al filtro como en la salida de este.

3.4. Resultados de caudales

En las siguientes figuras, se muestra de manera gráfica el comportamiento del caudal (mL/min) en cada prueba de fase al paso de los días de experimentación.

3.4.1. Fase de prueba 1

En esta grafica (Figura 73) se observa cómo se mantuvo el caudal durante toda la operación del filtro, sin embargo solo hubo un día en el que el caudal disminuyo 100 mL/min, se descarta la saturación de sólidos, debido que aunque disminuyo, no fue decreciendo, si no después tomo su caudal promedio a los otros días, esto quiere decir que la posibilidad por la cual pudo disminuir el caudal, fue la obstrucción física dentro del tubo y/o filtro.

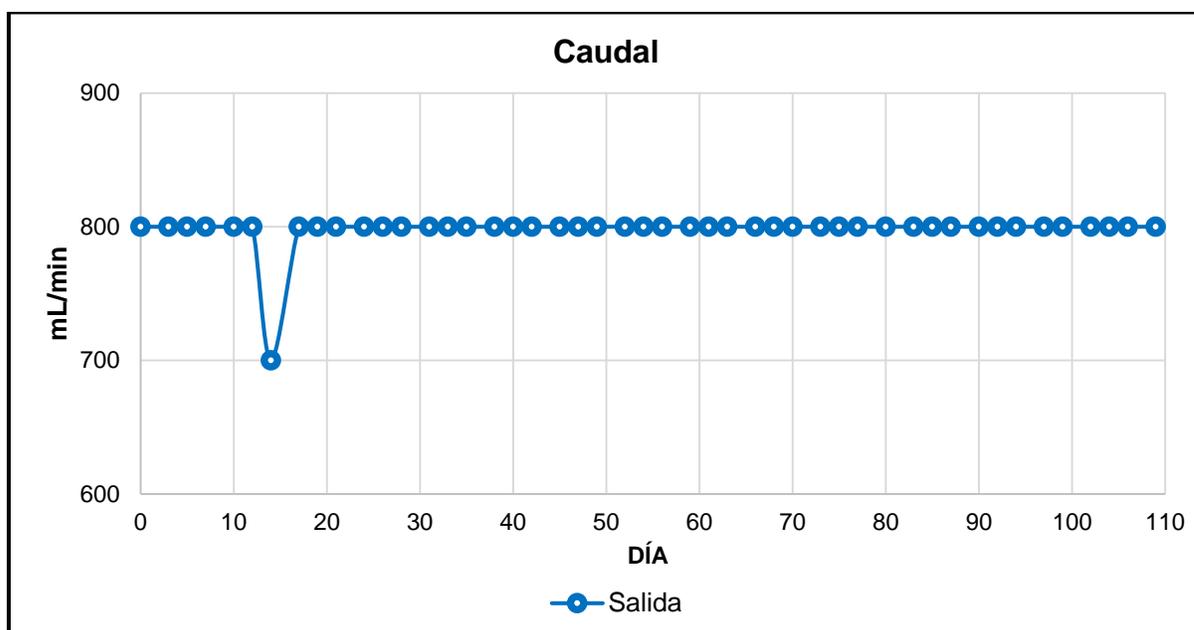


Figura 73. Gráfica del comportamiento del caudal en la fase 1.

3.4.2. Fase de prueba 2

En esta grafica (Figura 74) se pueden observar dos caudales. El filtro donde no se le aplico la plata coloidal se observa cómo se mantuvo el caudal en promedio de 300 mL/min, sin embargo durante los días 10 al 25, el caudal se mantuvo alto a comparación del promedio (350 mL/min), no obstante pasando el día 25 su caudal retomo el promedio. Y el filtro donde sí se aplicó la plata coloidal mantuvo un caudal de 800 mL/min durante toda la operación del filtro.

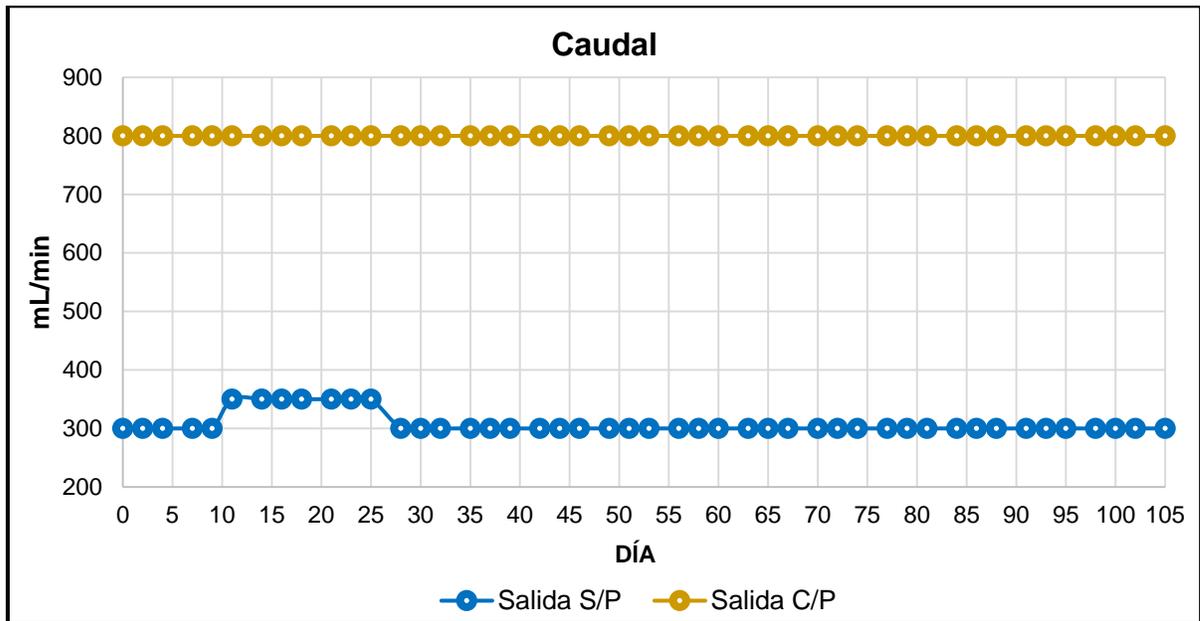


Figura 74. Gráfica del comportamiento del caudal en la fase 2.

En esta prueba de fase 2 se puede notar la diferencia entre caudales, aunque ninguna disminuyo por separado, se puede decir que el comportamiento del caudal en los filtros no cambia significativamente. Sin embargo se obtuvo un mayor caudal en el filtro con plata coloidal que el que no tenía plata coloidal. Sin indicios de que un filtro pudo ir mas cargado de solidos que obstruyeran el paso, todo indica que se debió al acomodo físico de los materiales dentro del filtro.

3.4.3. Fase de prueba 3

En la Figura 75, se muestra el comportamiento del filtro en dos pasos conforme la experimentación de la prueba de la fase 3. Se puede observar que mantuvo un caudal de 900 mL/min durante toda la operación del filtro para las dos etapas del filtro.

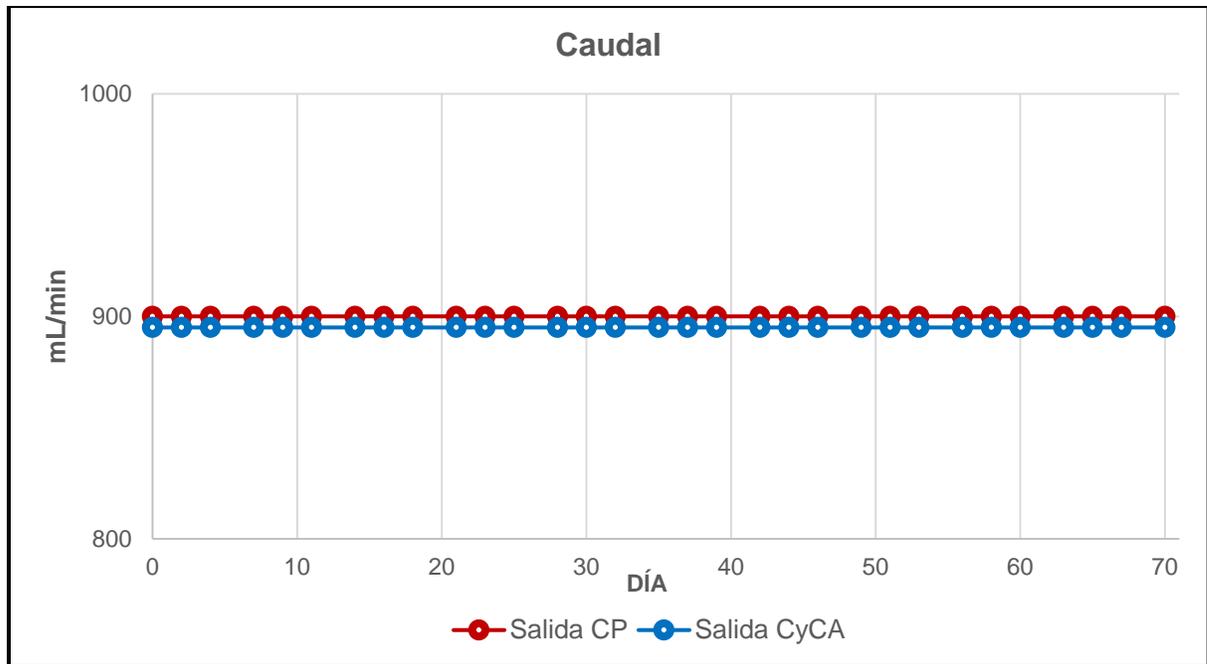


Figura 75. Gráfica del comportamiento del caudal en la fase 3.

4. Conclusiones

- El filtro para la fase 1 tuvo eficiencias de remoción del 50 al 99.9% para coliformes totales (Figura 47), del 54 al 99.9% para coliformes fecales (Figura 50) y del 50 al 99.9% para E. Coli (Figura 53).
- El filtro sin plata para la fase 2 obtuvo eficiencias de remoción del 20 al 99.9% para coliformes totales (Figura 48), del 1 al 99.9% para coliformes fecales (Figura 51), y del 1 al 99.9% para E. Coli (Figura 54). Tomando en cuenta desde su operación día 0.
- El filtro para la fase 1 (Figura 56) y los dos filtros analizados para la fase 2 y 3 (Figura 59 y 64) demostraron una eficiencia de remoción de turbiedad, de entre un 50% hasta un 99%, comprobando la efectividad de las cerámicas porosas como utilización para la eliminación de la turbiedad en el agua.
- De acuerdo a la caracterización físico - química (Tabla 17, 18, 19 y 20) que se realizó para la prueba de fase 1, el filtro mostro niveles inferiores a los LMP marcados en la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo mucho de los contaminantes que se incluían en el agua, venían por debajo de los LMP.
- El filtro utilizado para la prueba de fase 1 mantuvo sus parámetros bajo el LMP que marca la NOM-127-SSA1-1994 para la caracterización de elementos y compuestos (excepto el pH), físicas y organolépticas, plaguicidas e hidrocarburos aromáticos, tomando en cuenta que al pasar el filtro estas características disminuyeron en algunos casos.
- Los filtros utilizados en este trabajo, no pudieron estabilizar el pH, por lo cual se concluye que fue debido a las diferentes reacciones químicas y microbiológicas que se produjeron dentro del filtro.

- Los filtros no presentaron pérdidas significativas en sus caudales. Tomando en cuenta que tuvieron días largos de operación, no presentaron grandes cambios. Los pequeños y únicos cambios que se presentaron, se estima que fueron debido al acomodo físico del material, con esto también podemos decir que el material seleccionado para este trabajo posiblemente necesite mayor tiempo de operación para que este se sature y pierda caudal.
- Los filtros no alteran la temperatura del agua de manera significativa, a pesar de que si existieron cambios, estos no son drásticos. Aunque la NOM-127-SSA1-1994 no establezca LMP para la temperatura, se concluye que el agua saliente de los filtros es promedio a que se tiene un consumidor.
- El comportamiento observado para pH en las diferentes fases (Figura 67, 68 y 69) demuestran que el filtro ayuda a estabilizar en promedio el pH. Sin embargo, los resultados no demuestran ninguna tendencia hacia la conducta del pH, por lo que se opina es, que no depende del pH con el cual entra el agua al filtro, sino de otros componentes que interactuaran con el agua como contaminantes físico – químicos y/o microbiológicos.
- De acuerdo a los resultados microbiológicos para la fase 2, donde se compara la eficiencia de dos filtros con cerámicas porosas, un filtro con plata y otro filtro sin plata, se concluye que la plata coloidal funciona como un buen agente de desinfección para los primeros 42 días de operación del filtro, por lo que después de perder poder de desinfección llevo al filtro a un estado inicial de operación (a comparación del filtro sin plata), siendo así que el filtro formara su estado de maduración y formación de capa biológica, llevando su máximo porcentaje de remoción máximo después de 105 días de operación.
- Para la comparación de los filtros en la fase 2, el filtro sin plata coloidal alcanzo más rápido su máximo porcentaje de remoción (día 63 de operación) a comparación del filtro con plata coloidal el cual alcanzo su máximo porcentaje de remoción hasta el

día 105 de operación. Lo cual concluye que para fines de desinfección bajo la NOM-127-SSA1-1994, el filtro operado sin plata coloidal es el más eficiente.

- Como se observó en las Figuras 49, 52 y 55, se demuestró un porcentaje de remoción en la salida CP de más del 90% y para la salida CA de entre un 1 y 5% de remoción para coliformes totales (Figura 49), coliformes fecales (Figura 52) y *E. Coli* (Figura 55). Por lo tanto se puede comprobar que para este estudio las cerámicas porosas resultaron efectivas para la remoción y/o eliminación de los microorganismos patógenos analizados en este estudio, mediante los diferentes mecanismos de remoción y desinfección. Estas figuras también consideran que las cerámicas porosas son un excelente material filtrante, para la retención de microorganismos patógenos, como para la formación de capa biológica y su actividad eficiente de desinfección.
- De acuerdo a los resultados de este estudio, se puede concluir que el uso de filtros cerámicos porosos como lecho filtrante puede ser tomado en cuenta como material filtrante para estudios futuros, de acuerdo a su efectividad para la remoción de microorganismos patógenos como coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli*, y características físico – químicas (NOM-127-SSA1-1994).

5. Recomendaciones

- Si se desea utilizar caña como material filtrante, se recomienda reconsiderar la fabricación de esta para la obtención de un buen producto.
- Para investigaciones futuras, se recomienda utilizar un contenedor más grande, esto, para poder hacer uso de una mayor cantidad de agua.
- Aunque el filtro probó eliminar una gran cantidad de características de tipo microbiológicas (coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli*) como lo marca la NOM-127-SSA1-1994, se recomienda no hacer uso de esta tecnología hasta tener más estudios y análisis de su veracidad.
- Así como se usó la plata coloidal como desinfectante adicional al filtro, se recomienda hacer análisis y estudios para otros tipos de desinfectantes.
- Ya que en este estudio se utilizó el agua residual como agua problema, se recomienda hacer análisis y estudios para saber el comportamiento del filtro con un agua menos contaminada.
- La caracterización del pH no estuvo dentro del LMP que marca la NOM-127-SSA1-1994, se concluyó que pudo haber sido debido a las diferentes reacciones que ocurrieron al momento de operar el filtro. Sin embargo no se conoce exactamente qué reacción o reacciones fueras las causantes de esto. Por eso se recomienda hacer estudios específicos para conocer el motivo, y ya sea poder atacarlo o modificarlo para obtener resultados dentro los LMP.
- Respecto a la ineficiencia del filtro probado con plata coloidal para fines de la NOM-127-SSA1-1994, se recomienda hacer estudios, con mayor concentración de plata y/o mayor tiempo de exposición a esta.

6. Referencias

1. Acosta, R. S., (2008). Saneamiento ambiental e higiene de alimentos. Argentina. 49-51.
2. Aike, B. A., Stauber C. E., Ortiz G. M. y Sobsey M. D., (2011). An assessment of continued use and health impact of the concrete biosand filter in Bonao, Dominican Republic. Istanbul, Turkey.
3. Ali, B. S., Mahmood, Q., Bahadar N. M. y Nawaz S. A., (2011). Improvement of drinking water quality by using plant biomass through household biosand filter – a decentralized approach. Abbottabad, Pakistan.
4. Agua Enviro, (2005). Full Scale Trials of Recycled Glass as Tertiary Filter Media for Wastewater Treatment. Banbury, UK.
5. Arango, A. R., (2001). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. Bogotá. 61-63. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n2/61_%2066%20biofiltraci%C3%B3n.pdf.
6. Ávila, S., Estupiñán T. S., Gómez P. A. y Arcos M. A., (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Bogotá. 69-78. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf.
7. Baumgartner, J., Murcott S. y Ezzati M., (2007). Reconsidering “Appropriate Technology”: The effects of operating conditions on the bacterial removal performance of two household drinking-water filter systems. USA.
8. Baitalik, S. y Kayal N., (2017). Internacional Ceramics; Processing and properties of cordierite-silica bonded porous SiC ceramics. India.

9. Belibi, B. P., Nguemtchouin M. M. G., Rivallin M., Nsami J. N., Sieliechi J., Cerneaux S., Ngassoum M. B. y Cretin M., (2015). Internacional Ceramics; Microfiltration ceramic membranes from local Cameroonian clay applicable to water treatment. Camerún y Francia.
10. Brady, J. B., y Boardman, S. J., (1995), Journal of Geoscience Education; Introducing mineralogy students to X-ray diffraction through optical diffraction experiments using lasers. USA.
11. Brady, J. B., Newton, R. M., y Boardman, S. J., (1995), Journal of Geoscience Education; New uses for powder X-ray diffraction experiments. USA.
12. Brožek-Mucha, Z., (2014). BioMed Research International; Scanning Electron Microscopy and X-Ray microanalysis for chemical and morphological characterisation of the inorganic component of gunshot residue: Selected problems. USA.
13. Buelna, G., Garzón Z. M. y Moeller C. G., (2011). Los biofiltros de empaque orgánico: una alternativa simple, robusta y eficiente para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. México. 540-511.
14. Camacho, A., Giles M., Ortegón A., Palao., Serrano B. y Velázquez O., (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP). Facultad de Química, UNAM. México.
15. Center for Disease Control and Prevention (CDC), (2013). Antibiotic resistance threats in the United States. USA. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <https://www.cdc.gov/drugresistance/threat-report-2013/>.

16. Choi, H. J., Kim J. U., Kim H. S., Kim S. H. y Lee M. H., (2015). Internacional Ceramics; Effect of sintering temperature in preparation of granular ceramic filter. Korea.
17. Comisión Nacional de Energía Atómica, (2013). Seguridad, ambiente y calidad. Argentina. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: http://www.cnea.gov.ar/politica_ambiental/el_problema_del_agua.php.
18. Comisión Nacional del Agua, (2012). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Edición 2012. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-40-12.pdf>.
19. Container Recycling Institute, (2011). Glass is 100% recyclable and can be recycled endlessly without loss in quality or purity - something few food and beverage packaging options can claim. USA.
20. Clean Washington Center, (1997). Crushed Glass as a Filter Medium for the Onsite Treatment of Wastewater. Washington, USA.
21. Delgado, H. y Pérez W., (2009). Biofiltros domiciliarios, Filtros biológicos para la remoción de nutrientes de aguas grises. Nicaragua. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.ideassonline.org/public/pdf/BrochureBiofiltro.pdf>.
22. De Bonis, A., Cultrone G., Grifa C., Langella A., Leone A. P., Mercurio M. y Morra V., (2017). Internacional Ceramics; Different shades of red: The complexity of mineralogical and physico-chemical factors influencing the colour of ceramics. Italia y España.

23. Díaz, C. D., Quentin E., Jiménez M. C., Alberich V. E., Garrido H., López V. C.M. y García P. D., (2007). Agua potable para comunidades rurales, reusó y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticos. México-España. 224-228.
24. Díaz, C., García P. D. y Solís M. S., (2000). Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora. México. 129-134.
25. Di-Bernardo, L., (1993). Métodos y técnicas de tratamiento de aguas, filtración. Argentina. 178-187.
26. Dryden aqua, (2013). Activated filter media made from green glass. UK.
27. Eliche-Quesada, D. y Corpas-Iglesias F. A., (2014). Internacional Ceramics; Utilisation of spent filtration earth or spent bleaching earth from the oil refinery industry in clay products. España.
28. Environmental Protection Agency, (2000). Decentralized systems technology fact sheet types of filters. Washington, EUA.
29. Foorginezhad, S. y Zerafat M. M., (2017). International Ceramics; Microfiltration of cationic dyes using nano-clay membranes. Irán.
30. García-Ten, J., Orts M. J., Saburit A. y Silva G., (2015). Internacional Ceramics; Thermal conductivity of traditional ceramics: Part II: Influence of mineralogical composition. España.
31. Goldstein, G. I., Newbury D. E., Echlin P., Joy D. C., Fiori C. y Lifshin E., (1981). Scanning Electron Microscopy and X-Ray microanalysis. USA. 65-70, 111-113.
32. Gomella, C. y Guerree H., (1997). Tratamiento de aguas para abastecimiento.

Barcelona: Técnicos y Asociados S.A. España. 111-113. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://books.google.com/books?id=W9sMqDIwMTMC&pg=PA111&dq=definicion+d e+filtracion&hl=es&sa=X&ei=ivOOUp63EcygsATL2YC4Bg&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=definicion%20de%20filtracion&>.

33. Gomella, C. y Guerrée H., (1997). Tratamiento de aguas para abastecimiento público. España.
34. González, A. y Figueroa R., (2000). Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano. México. 1-3, 5-11.
35. Gröttrup, J., Schütt F., Smazna D., Lupan O., Adlung R. y Mishra Y. K., (2017). Internacional Ceramics; Porous ceramics based on hybrid inorganic tetrapodal networks for efficient photocatalysis and water purification. Alemania.
36. Hammel, E. C., Ighodaro O. L. R. y Okoli O. I., (2014). Internacional Ceramics; Processing and properties of advanced porous ceramics: An application based review. USA.
37. Harley, P. K., (2004). Microbiología. España. 129-134, 683, 851-858, 1005-1012. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://books.google.com.mx/books?id=TLpzh5HQYvgC&pg=PA170&dq=filtro+lento +de+arena&hl=es419&sa=X&ei=w4iVUs7fGZTJsQS7nYKwBw&ved=0CC0Q6AEw AA#v=onepage&q=filtro%20lento%20de%20arena&>.
38. Hluchy, M.M., (1999), Journal of Geoscience Education; The value of teaching X-ray techniques and clay mineralogy to undergraduates. USA.

39. Instituto Nacional de Ecología, (2013). Biofiltración. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/396/biofiltra.html>.
40. Ivanets, A. I., Ratko A. I., Azarova T. A., Azarov S. M, Khowaiter S. H. A., Harbi O. A., Shemchonok S. V., Dobysh V. A., Tarasevich V. A., Agabekov V. E. y Ratko A. A., (2014). International Ceramics; Preparation and properties of microfiltration membranes base don natural crystalline SiO₂. Bielorrusia.
41. Jiménez, A. B., Vázquez V. S., García S. L., (2014). Estudio comparativo para la remoción de microorganismos indicadores en filtros biológicos de arena, vidrio y mixto. México. 112-115.
42. John, M. C., Timothy J. W., Kenneth C. S., Catherine C. W., John F. G., Sukhminder K. S., Susan B., Mark S., Greg L. y Stephen B. W., (2007). Epidemiology; Water quality indicators and the risk of illness at beaches with nonpoint sources of fecal contamination. 27-35.
43. Khadijah H. S., Dzarfan O. M. H., Matsuura T., Rahman M. A., Harun Z., Jaafar J. y Nomura M., (2017). Internacional Ceramics; Fabrications and applications of low cost ceramic membrane from kaolin: A comprehensive review. Malasia, Canadá y Japón.
44. Kosterz, G., (1989). High-Tech Ceramics. USA. 76-81.
45. Longo, E., Cavalcante L. S., Volanti D. P., Gouveia A. F., Longo V. M., Varela J. A., Orlandi M. O., y Andrés J., (2013). Scientific Reports; Direct in situ observation of the electron-driven synthesis of Ag filaments on α -Ag₂WO₄ crystals. USA.

46. Lenntech, (2013). Filtros de sedimentos. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.lenntech.es/filtros-y-filtracion/filtro-de-sedimentos.htm>.
47. Lenntech, (2013). Historia del tratamiento de agua potable. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>.
48. Lenntech, (2013). Introducción, desinfección del agua. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/introduccion/introduccion-desinfeccion-agua.htm>.
49. Lozano, W. R., (2003). Fibrofiltración lenta, filtración lenta en medios fibrosos. Bogotá. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/fibro.pdf>.
50. Lundina, M. G., (1957). Dehydration of clay. Scientific Research Insitute of Construction. Rusia. 323-324.
51. Mahassen, B. A., Nouredine H., Rodriguez M. A. y Srasra E., (2017). Internacional Ceramics; Macroporous ceramic supports from natural clays. Improvement by the use of activated clays. Tunéz y España.
52. Mahimood, Q., Ali B. S., Bahadar N. M., Nawaz S. A. y Zeb B. S., (2011). Development of low housegold drinking water treatment system for the earthquake affected communities in northerm Pakistan. Pakistan.
53. Maier, M. R., Pepper I. I. y Gerba P. C., (2000). Environmental microbiology. USA. 445-454, 485-496.

54. Milheiro, F. A. C., Freire M. N., Silva A. G. P. y Holanda J. N. F., (2005). Internacional Ceramics; Densification behaviour of a red firing Brazilian kaolinitic clay. Brazil.
55. Morales, C., (2006). Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro. Guatemala. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc657/doc657contenido.pdf>.
56. Mosser, D. A. A., Moreno B., y García C. B., (2003). Microbiología de los alimentos. España. 143-414.
57. Organización Mundial de la Salud, (2012). Progreso sobre el agua potable y el saneamiento. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es/index.html.
58. Organización Mundial de la Salud, (2013). Enfermedades diarreicas. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs330/es/>.
59. Organización Panamericana de la Salud, (2003). Mejoramiento de las condiciones ambientales (agua y saneamiento). Lima.
60. Organización Panamericana de la Salud, (2010). Saneamiento rural y salud/Guía para acciones a nivel local. Bolivia. 19-20.
61. Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004). Manual para análisis básicos de calidad del agua bebida. Lima. 5-10, 15-24.

62. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (2011). Agua y saneamiento; Evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública. USA.
63. Orella, J. A., (2005). Abastecimiento de agua potable. Argentina. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_05_Abastecimiento_de_Agua_Potable.pdf.
64. Palmour, H., Spriggs R. M. y Uskokovic D. P., (1989). Science of sintering. USA. 182-189.
65. Pérez, F. J. y Urrea M. M., (2011) Abastecimiento de aguas, filtración. España. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6023/mod_resource/content/1/Tema_08_FILTRACION.pdf.
66. Piédrola, G., Domínguez M., Cortina P., Gállica R., Sierra A. y Saena M., (1988). Medicina preventiva y salud pública. España. 40-45.
67. Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe, (2006). Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Nicaragua. 9-24.
68. Rich, P. R. (2003). Biochemical Society Transactions ; The molecular machinery of Keilin's respiratory chain. USA.
69. Rojas, R., (2002). Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. Organización Mundial de la Salud; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y Organización Panamericana de la Salud.

70. Secretaría de Salubridad y Asistencia, (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "salud ambiental, Agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad Y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". México.
71. Secretaría de Salud, (2000). MODIFICACIÓN a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>.
72. Snagy-sangam, K. T., (2008). Development and implementation of household level intermittent slow sand filters for rural areas to mitigate water-related diseases. USA.
73. Stokes, D. J., (2008). Principles and practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM). UK. 1-19, 23-26.
74. Suzuki, E., (2002). Journal of Microscopy; High-resolution scanning electron microscopy of immunogold-labelled by the use of thin plasma coating of osmium. Japan.
75. Terpstra, R. A., Pex P. y Vries A., (1995). Ceramic processing. USA. 89-90, 221-224.
76. Tomsia, A. P. y Glaeser A. M., (1998). Ceramic microstructures. USA. 358-362, 512-518.
77. Valderrama, J. O., (2002). Información tecnológica. Chile. 18. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <http://books.google.com/books?id=3YgLuMnXM0AC&pg=PA18&dq=biofiltros&hl=>

es&sa=X&ei=VfeOUuKiFcyskAen4HIDg&sqi=2&ved=0CDMQ6AEwAQ#v=onepage&q=biofiltros&.

78. Vivek, R., Thangam R., Muthuchelian K., Gunasekaran P. y Kaveri K. (2012). Process Biochemistry. Green biosynthesis of silver nanoparticles from *Annona squamosa* leaf extract and its in vitro cytotoxic effect on MCF-7 cells.
79. Weber, W. J., (1997). Control de calidad del agua, procesos físico - químicos. España. 70-73.
80. WebMD (2015). Colloidal Silver. USA. Consulta redes internacionales, dirección electrónica: <https://www.webmd.com/vitamins-supplements/ingredientmono-779-colloidal%20silver.aspx?activeingredientid=779&activeingredientname=colloidal%20silver>
81. Witt, V. y Reiff M. F., (1993). La desinfección del agua a nivel casero en zonas urbanas marginales y rurales. USA.
82. Youmoue, Fongang R. T. T., Sofack J. C., Kamseu E., Melo U. C., Tonle K. I., Leonelli C. y Rossignol S., (2017). Internacional Ceramics; Design of ceramic filters using Clay/Sawdust composites: Effect of pore network on the hydraulic permeability. Camerún, Francia e Italia.

7. Apéndices

7.1. Métodos de análisis para materiales

7.1.1. Difracción de rayos X en polvos

Como método, la difracción de rayos X es atractiva debido a su velocidad y facilidad de rendimiento, y porque requiere solo pequeñas cantidades del material, no es destructiva y también puede usarse para realizar análisis de manera cuantitativa de mezclas polimineraleas. La difracción de rayos X en polvo es una técnica analítica rápida utilizada principalmente para la identificación de fases de un material cristalino y puede proporcionar información sobre las dimensiones de las celdas unitarias. (BRADY, 1995).

7.1.1.1. Principios fundamentales

Max von Laue, 1912, descubrió que las sustancias cristalinas actúan como rejillas de difracción tridimensionales para longitudes de onda de rayos X similares a la separación de planos en una red cristalina.

La difracción de rayos X se basa en la interferencia constructiva de rayos X monocromáticos y una muestra cristalina. Estos rayos X son generados por un tubo de rayos catódicos, filtrados para producir radiación monocromática, colimados para concentrarse y dirigirse hacia la muestra. La interacción de los rayos incidentes con la muestra produce interferencia constructiva (y un rayo difractado) cuando las condiciones satisfacen la Ley de Bragg ($n\lambda = 2d \sin \theta$). Esta ley relaciona la longitud de onda de la radiación electromagnética con el ángulo de difracción y el espaciamiento reticular en una muestra cristalina. Estos rayos X difractados son luego detectados, procesados y contados. Al escanear la muestra a través de un rango, todas las direcciones de difracción posibles de la red deben alcanzarse debido a la orientación aleatoria del material en polvo. La conversión de los picos de difracción a espaciamientos D permite la identificación del mineral ya que cada mineral tiene un conjunto de espaciamientos D únicos. Típicamente,

esto se logra mediante la comparación de espaciamentos D con patrones de referencia estándar.

7.1.1.2. Aplicaciones

La difracción de rayos X en polvo es la más ampliamente utilizada para la identificación de materiales cristalinos desconocidos (por ejemplo, minerales, y compuestos inorgánicos).

Incluyen:

- Caracterizar materiales cristalinos.
- Identificar minerales de grano fino como arcillas y arcillas de capa mixta que son difíciles de determinar ópticamente.
- Determinar las dimensiones de la celda unidad.
- Medir la pureza de la muestra.
- Determinar cantidades modales de minerales (análisis cuantitativo).
- Caracterizar muestras de películas delgadas.
- Realizar medidas de textura, como la orientación de los granos, en una muestra policristalina.

7.1.1.3. Fortalezas

- Técnica poderosa y rápida (<20 min) para la identificación de un mineral desconocido.
- En la mayoría de los casos, proporciona una determinación mineral inequívoca.
- Se requiere una preparación de muestra mínima.
- Las unidades están ampliamente disponibles.
- La interpretación de los datos es relativamente sencilla.

7.1.1.4. Limitaciones

- El material homogéneo y monofásico es el mejor para la identificación de un desconocido.
- Debe tener acceso a un archivo de referencia estándar de compuestos inorgánicos.
- Requiere décimas de gramo de material que se debe moler en polvo.
- Para materiales mixtos, el límite de detección es ~ 2% de la muestra.

7.1.2. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Un microscopio electrónico de barrido (SEM) es un tipo de microscopio electrónico que produce imágenes de una muestra al explorar la superficie con un haz de electrones enfocado. Los electrones interactúan con los átomos en la muestra, produciendo varias señales que contienen información sobre la topografía y composición de la superficie de la muestra. El haz de electrones se escanea en un patrón de escaneo de trama, y la posición del rayo se combina con la señal detectada para producir una imagen. El SEM puede lograr una resolución mejor que 1 nanómetro. Las muestras se pueden observar en alto vacío en SEM convencional, o en condiciones de bajo vacío o húmedo en presión variable o SEM ambiental. (GOLDSTEIN, 1981).

El modo SEM más común es la detección de electrones secundarios emitidos por átomos excitados por el haz de electrones. La cantidad de electrones secundarios que se pueden detectar depende, entre otras cosas, de la topografía de la muestra. Al escanear la muestra y recoger los electrones secundarios que se emiten utilizando un detector especial, se crea una imagen que muestra la topografía de la superficie.

7.1.2.1. Principios y capacidades

Para Hluchy, 1999, las señales utilizadas por un microscopio electrónico de barrido para producir una imagen son el resultado de las interacciones del haz de electrones con átomos a varias profundidades dentro de la muestra. Se producen varios tipos de señales,

incluidos los electrones secundarios (SE), los electrones reflejados o retrodispersados (BSE), los rayos X característicos y la luz (catodoluminiscencia (CL)), la corriente absorbida (corriente de la muestra) y los electrones transmitidos.

En las imágenes electrónicas secundarias, los electrones secundarios se emiten desde muy cerca de la superficie de la muestra. En consecuencia, el SEM puede producir imágenes de muy alta resolución de una superficie de muestra, revelando detalles de menos de 1 nm de tamaño. Los BSE son electrones de haz que se reflejan desde la muestra mediante dispersión elástica emergen de lugares más profundos dentro de la muestra, y en consecuencia, la resolución de las imágenes de BSE es menor que las imágenes de SE. Sin embargo, la BSE se usa a menudo en SEM analítico junto con los espectros hechos a partir de los rayos X característicos, porque la intensidad de la señal BSE está fuertemente relacionada con el número atómico Z de la muestra.

Se emiten rayos X característicos cuando el haz de electrones elimina un electrón de caparazón interno de la muestra, lo que hace que un electrón de mayor energía llene la caparazón y libere energía. Estos rayos X característicos se utilizan para identificar la composición y medir la abundancia de elementos en la muestra.

Debido al haz de electrones muy estrecho, las micrografías SEM tienen una gran profundidad de campo que produce un aspecto tridimensional característico útil para comprender la estructura superficial de una muestra, SUZUKI, 2002. Es posible una amplia gama de ampliaciones, desde aproximadamente 10 veces (aproximadamente el equivalente a un potente lente de mano) a más de 500,000 veces (aproximadamente 250 veces el límite de aumento de los mejores microscopios de luz).

7.1.2.2. Preparación de la muestra

Las muestras para SEM deben estar preparadas para resistir las condiciones de vacío y el haz de electrones de alta energía, y deben ser de un tamaño que se ajuste a la etapa de la muestra. Las muestras generalmente se montan de forma rígida en un portamuestras

o base usando un adhesivo conductor. El SEM se utiliza ampliamente para el análisis de defectos de las obleas semiconductoras, y los fabricantes desarrollan instrumentos que pueden examinar cualquier parte de una oblea semiconductora de 300 mm.

Las muestras no conductoras recolectan carga cuando son escaneadas por el haz de electrones, y especialmente en el modo de imagen secundaria de electrones, esto causa fallas de escaneo y otros artefactos de imagen. Para las imágenes convencionales en el SEM, las muestras deben ser eléctricamente conductoras, al menos en la superficie, y estar conectadas a tierra para evitar la acumulación de carga electrostática. Los objetos metálicos requieren poca preparación especial para SEM, excepto para la limpieza y el montaje conductivo. Los materiales no conductores usualmente están recubiertos con un recubrimiento ultra fino de material eléctricamente conductor, depositado en la muestra ya sea por recubrimiento por pulverización catódica de bajo vacío o por evaporación a alto vacío. Los materiales conductores en uso actual para el revestimiento de muestras incluyen oro, plata, aleación de paladio, platino, iridio, tungsteno, cromo, osmio y grafito.

7.2. Pruebas para la cuantificación de microorganismos indicadores

7.2.1. La prueba del Número Más Probable (NMP)

La prueba NMP permite la detección de la presencia y la estimación de números de coliformes en una muestra problema.

Según Camacho, et al, 2009, para la determinación de microorganismos coliformes totales por el método NMP, se fundamenta en la capacidad que este grupo tiende a fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares. Esta determinación consta de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa.

En la fase presuntiva el medio de cultivo utilizado es el caldo lauril sulfato de sodio el cual permite la recuperación de los microorganismos que se encuentren presentes en la

muestra y que sean capaces de utilizar a la lactosa como fuente de carbono. En la fase presuntiva el caldo lauril sulfato de sodio es colocado en un conjunto de tubos de ensayo de diferentes diluciones de agua. Por lo general, de tres a cinco tubos de ensayo, preparados por dilución respectivamente.

Durante la fase confirmativa se emplea como medio de cultivo caldo de bilis verde brillante el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar tanto las sales biliares como el verde brillante.

La determinación del NMP de microorganismos coliformes fecales se realiza a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva y se fundamenta en la capacidad de las bacterias para fermentar la lactosa y producir gas cuando son incubados a una temperatura de $44.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 a 48 h. Una vez que los tubos positivos han sido identificados y registrados, es posible estimar el número total de coliformes de la muestra original.

La búsqueda de *E. Coli* se realiza a partir de los tubos positivos de caldo EC, los cuales se siembran por agotamiento en medios selectivos y diferenciales (agar Mac Conkey y agar eosina azul de metileno) y posteriormente realizando las pruebas bioquímicas básicas a las colonias típicas.

7.2.2. La prueba de Filtro por Membrana (FM)

De acuerdo a Jiménez, et al, 2014, la prueba FM permite la determinación del número de coliformes en una muestra, siendo más fácil de realizar que la prueba NMP, ya que requiere un menor número de tubos de ensayo y menos mano de obra. En esta técnica, una cantidad de agua se hace pasar a través de un filtro de membrana, atrapando las bacterias en su superficie. Esta membrana se coloca entonces en una almohadilla absorbente delgada que ha sido saturada con un medio específico diseñado para permitir el crecimiento y la diferenciación de los microorganismos que se buscan.

Para las bacterias coliformes, el filtro se incuba a 35°C durante 18 a 24 horas. El éxito del método depende del uso de diferencial efectiva o medios selectivos que pueden facilitar la identificación de las colonias bacterianas que crecen en la superficie del filtro de membrana. Para determinar el número de bacterias coliformes en una muestra de agua, se enumeran las colonias que contienen un brillo verde.

7.2.3. Prueba de Presencia-Ausencia (P-A) y método Colilert/Quanti-Tray

7.2.3.1. Prueba de P-A

Según Jiménez, et al, 2014, la prueba de P-A no es una prueba cuantitativa, pero responden al saber si el microorganismo está presente en una muestra o no. Esta prueba fue diseñada específicamente para la P-A de *E. Coli* y coliformes en agua potable, ya sea tratada o sin tratar. Se utiliza en una prueba de P-A un único tubo de caldo lauril sulfato de sodio tal como se utiliza en la prueba de NMP.

Varios métodos enzimáticos han sido desarrollados, los cuales permiten la detección simultánea de bacterias coliformes totales y *E. Coli* en el agua potable. El ensayo puede ser P (presencia) en una simple prueba o un ensayo de NMP. El sistema de Colilert es uno de los ensayos que se basa en que el total de bacterias coliformes producen la enzima B-galactosidasa, la cual, hidroliza el sustrato o-nitrofenil-BD-galactopiranosido (ONPG) a nitrofenol amarillo. Y que *E. Coli* se puede detectar al mismo tiempo mediante la incorporación de un sustrato fluorogénico, glucurónido de 4-methylumbelliferoyl, que produce un producto fluorescente después de la interacción con la enzima B-glucuronidasa que se encuentra en *E. Coli* pero no en otros coliformes.

En cuanto se obtenga el producto final se detecta con un una lámpara ultravioleta de onda larga. Esta prueba es llevada a cabo mediante la adición de la muestra a una única solución que contienen ingredientes en polvo la cual consta de sales o sustratos enzimáticos específicos que sirven como la única fuente de carbono para el organismo. Después se incuban por 24 horas, y las muestras positivas para coliformes totales se vuelven amarillas, mientras que las muestras positivas para *E. Coli* se tornan fluorescentes bajo la iluminación de la lámpara en la oscuridad.

7.2.3.2. Colilert/Quanti-Tray

Para Jiménez, et al, 2014, el método Colilert 18/Quanti-Tray es una prueba diseñada que detecta simultáneamente los coliformes totales y *E. Coli* en agua. Se basa en el reactivo de DST que se mezcla con 100 ml de muestra y se incuban ya sea como una prueba de P-A o una prueba de NMP. Cuando las bacterias coliformes metabolizan, el indicador nutriente ONPG torna a la muestra de color amarilla. Cuando *E. Coli* metaboliza un segundo nutriente indicador, la muestra presenta fluorescencia bajo la iluminación de una lámpara UV, como en la prueba de P-A.

Este método está diseñado para producir recuentos bacterianos cuantitativos de las muestras en 100 ml utilizando reactivos de DST. La mezcla de reactivos-muestra se añade a una bolsa Quanti-Tray que luego se sella en un aparato (Quanti-Tray sellador) antes de la incubación. El sellador es un instrumento de rodillo caliente con motor diseñado para sellar una bolsa Quanti-Tray.

La bolsa tiene un contenido con un número de pocillos, se hace un conteo de pocillos chicos y pocillos grandes positivos con presencia de coliformes y *E. Coli* y con la ayuda de una tabla (Figura 76 y 77) se determina el NMP de bacterias coliformes y/o *E. Coli* respectivamente.

# Pocillos Grandes Positivos		IDEXX Quanti-Tray*/2000 Tabla, número más probable # Pocillos pequeños positivos																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	<1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.3	24.3
1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.1	8.1	10.1	11.1	12.1	13.2	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	19.3	20.4	21.4	22.4	23.5	24.5	25.6	26.6
2	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.3	14.3	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.6	21.6	22.7	23.7	24.8	25.8	26.9
3	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.3	11.3	12.4	13.4	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	19.7	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	26.1	27.1	28.2
4	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.4	11.4	12.5	13.5	14.6	15.6	16.7	17.8	18.8	19.9	21.0	22.0	23.1	24.2	25.3	26.3	27.4	28.5	29.6
5	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5	11.5	12.6	13.7	14.7	15.8	16.9	17.9	19.0	20.1	21.2	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.7	28.8	29.9	31.0
6	6.3	7.4	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.9	16.0	17.0	18.1	19.2	20.3	21.4	22.5	23.6	24.7	25.8	26.9	28.0	29.1	30.2	31.3	32.4
7	7.5	8.5	9.6	10.7	11.8	12.8	13.9	15.0	16.1	17.2	18.3	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.3	29.4	30.5	31.6	32.8	33.9
8	8.6	9.7	10.8	11.9	13.0	14.1	15.2	16.3	17.4	18.5	19.6	20.7	21.8	22.9	24.1	25.2	26.3	27.4	28.6	29.7	30.8	32.0	33.1	34.3	35.4
9	9.8	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3	16.4	17.6	18.7	19.8	20.9	22.0	23.2	24.3	25.4	26.6	27.7	28.9	30.0	31.2	32.3	33.5	34.6	35.8	37.0
10	11.0	12.1	13.2	14.4	15.5	16.6	17.7	18.9	20.0	21.1	22.3	23.4	24.6	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.5	32.7	33.8	35.0	36.2	37.4	38.6
11	12.2	13.4	14.5	15.6	16.8	17.9	19.1	20.2	21.4	22.5	23.7	24.8	26.0	27.2	28.3	29.5	30.7	31.9	33.0	34.2	35.4	36.6	37.8	39.0	40.2
12	13.5	14.6	15.8	16.9	18.1	19.3	20.4	21.6	22.8	23.9	25.1	26.3	27.5	28.6	29.8	31.0	32.2	33.4	34.6	35.8	37.0	38.2	39.5	40.7	41.9
13	14.8	16.0	17.1	18.3	19.5	20.6	21.8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.4	32.6	33.8	35.0	36.2	37.5	38.7	39.9	41.2	42.4	43.6
14	16.1	17.3	18.5	19.7	20.9	22.1	23.3	24.5	25.7	26.9	28.1	29.3	30.5	31.7	33.0	34.2	35.4	36.7	37.9	39.1	40.4	41.6	42.9	44.2	45.4
15	17.5	18.7	19.9	21.1	22.3	23.5	24.7	25.9	27.2	28.4	29.6	30.9	32.1	33.3	34.6	35.8	37.1	38.4	39.6	40.9	42.2	43.4	44.7	46.0	47.3
16	18.9	20.1	21.3	22.6	23.8	25.0	26.2	27.5	28.7	30.0	31.2	32.5	33.7	35.0	36.3	37.5	38.8	40.1	41.4	42.7	44.0	45.3	46.6	47.9	49.2
17	20.3	21.6	22.8	24.1	25.3	26.6	27.8	29.1	30.3	31.6	32.9	34.1	35.4	36.7	38.0	39.3	40.6	41.9	43.2	44.5	45.8	47.2	48.5	49.8	51.2
18	21.8	23.1	24.3	25.6	26.9	28.1	29.4	30.7	32.0	33.3	34.6	35.9	37.2	38.5	39.8	41.1	42.4	43.8	45.1	46.5	47.8	49.2	50.5	51.9	53.2
19	23.3	24.6	25.9	27.2	28.5	29.8	31.1	32.4	33.7	35.0	36.3	37.6	39.0	40.3	41.6	43.0	44.3	45.7	47.1	48.4	49.8	51.2	52.6	54.0	55.4
20	24.9	26.2	27.5	28.8	30.1	31.5	32.8	34.1	35.4	36.8	38.1	39.5	40.8	42.2	43.6	45.0	46.4	47.8	49.2	50.5	51.9	53.3	54.7	56.1	57.6
21	26.5	27.9	29.2	30.5	31.8	33.2	34.5	35.9	37.3	38.6	40.0	41.4	42.8	44.1	45.5	46.9	48.4	49.8	51.2	52.6	54.1	55.5	56.9	58.4	59.9
22	28.2	29.5	30.9	32.3	33.6	35.0	36.4	37.7	39.1	40.5	41.9	43.3	44.8	46.2	47.6	49.0	50.5	51.9	53.4	54.8	56.3	57.8	59.3	60.8	62.3
23	29.9	31.3	32.7	34.1	35.5	36.8	38.3	39.7	41.1	42.5	43.9	45.4	46.8	48.3	49.7	51.2	52.7	54.2	55.6	57.1	58.6	60.2	61.7	63.2	64.7
24	31.7	33.1	34.5	35.9	37.3	38.8	40.2	41.7	43.1	44.6	46.0	47.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.0	56.5	58.0	59.5	61.1	62.6	64.2	65.8	67.3
25	33.6	35.0	36.4	37.9	39.3	40.8	42.2	43.7	45.2	46.7	48.2	49.7	51.2	52.7	54.2	55.8	57.3	58.9	60.5	62.0	63.6	65.2	66.8	68.4	70.0
26	35.5	36.9	38.4	39.9	41.4	42.8	44.3	45.9	47.4	48.9	50.4	52.0	53.5	55.1	56.7	58.2	59.8	61.4	63.0	64.7	66.3	67.9	69.6	71.2	72.9
27	37.4	38.9	40.4	42.0	43.5	45.0	46.5	48.1	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0	57.6	59.2	60.8	62.4	64.1	65.7	67.4	69.1	70.8	72.5	74.2	75.9
28	39.5	41.0	42.6	44.1	45.7	47.3	48.8	50.4	52.0	53.6	55.2	56.8	58.5	60.2	61.8	63.5	65.2	66.9	68.6	70.3	72.0	73.7	75.5	77.3	79.0
29	41.7	43.2	44.8	46.4	48.0	49.6	51.2	52.8	54.5	56.1	57.8	59.5	61.2	62.9	64.6	66.3	68.0	69.8	71.5	73.3	75.1	76.9	78.7	80.5	82.4
30	43.9	45.5	47.1	48.7	50.4	52.0	53.7	55.4	57.1	58.8	60.5	62.2	64.0	65.7	67.5	69.3	71.0	72.9	74.7	76.5	78.3	80.2	82.1	84.0	85.9
31	46.2	47.9	49.5	51.2	52.9	54.6	56.3	58.1	59.8	61.6	63.3	65.1	66.9	68.7	70.5	72.4	74.2	76.1	78.0	79.9	81.8	83.7	85.7	87.6	89.6
32	48.7	50.4	52.1	53.8	55.6	57.3	59.1	60.9	62.7	64.5	66.3	68.2	70.0	71.9	73.8	75.7	77.6	79.5	81.5	83.5	85.4	87.5	89.5	91.5	93.6
33	51.2	53.0	54.8	56.5	58.3	60.2	62.0	63.8	65.7	67.6	69.5	71.4	73.3	75.2	77.2	79.2	81.2	83.2	85.2	87.3	89.3	91.4	93.6	95.7	97.8
34	53.9	55.7	57.6	59.4	61.3	63.1	65.0	67.0	68.9	70.8	72.8	74.8	76.8	78.8	80.8	82.9	85.0	87.1	89.2	91.4	93.5	95.7	97.9	100.2	102.4
35	56.8	58.6	60.5	62.4	64.4	66.3	68.3	70.3	72.3	74.3	76.3	78.4	80.5	82.6	84.7	86.9	89.1	91.3	93.5	95.7	98.0	100.3	102.6	105.0	107.3
36	59.8	61.7	63.7	65.7	67.7	69.7	71.7	73.8	75.9	78.0	80.1	82.3	84.5	86.7	88.9	91.2	93.5	95.8	98.1	100.5	102.9	105.3	107.7	110.2	112.7
37	62.9	65.0	67.0	69.1	71.2	73.3	75.4	77.6	79.8	82.0	84.2	86.5	88.8	91.1	93.4	95.8	98.2	100.6	103.1	105.6	108.1	110.7	113.3	115.9	118.6
38	66.3	68.4	70.6	72.7	74.9	77.1	79.4	81.6	83.9	86.2	88.6	91.0	93.4	95.8	98.3	100.8	103.4	106.0	108.6	111.2	113.9	116.6	119.4	122.2	125.0
39	70.0	72.2	74.4	76.7	78.9	81.3	83.6	86.0	88.4	90.9	93.4	95.9	98.4	101.0	103.6	106.3	109.0	111.8	114.6	117.4	120.3	123.2	126.1	129.2	132.2
40	73.8	76.2	78.5	80.9	83.3	85.7	88.2	90.8	93.3	95.9	98.5	101.2	103.9	106.7	109.5	112.4	115.3	118.2	121.2	124.3	127.4	130.5	133.7	137.0	140.3
41	78.0	80.5	83.0	85.5	88.0	90.6	93.3	95.9	98.7	101.4	104.3	107.1	110.0	113.0	116.0	119.1	122.2	125.4	128.7	132.0	135.4	138.8	142.3	145.9	149.5
42	82.6	85.2	87.8	90.5	93.2	96.0	98.8	101.7	104.6	107.6	110.6	113.7	116.9	120.1	123.4	126.7	130.1	133.6	137.2	140.8	144.5	148.3	152.2	156.1	160.2
43	87.6	90.4	93.2	96.0	98.9	101.9	105.0	108.1	111.2	114.5	117.8	121.1	124.6	128.1	131.7	135.4	139.1	143.0	147.0	151.0	155.2	159.4	163.8	168.2	172.8
44	93.1	96.1	99.1	102.2	105.4	108.6	111.9	115.3	118.9	122.3	125.9	129.6	133.4	137.4	141.4	145.5	149.7	154.1	158.5	163.1	167.9	172.7	177.7	182.9	188.2
45	99.3	102.5	105.8	109.2	112.6	116.2	119.8	123.6	127.4	131.4	135.4	139.6	143.9	148.3	152.9	157.6	162.4	167.4	172.6	178.0	183.5	189.2	195.1	201.2	207.5
46	106.3	109.8	113.4	117.2	121.0	125.0	129.1	133.3	137.6	142.1	146.7	151.5	156.5	161.6	167.0	172.5	178.2	184.2	190.4	196.8	203.5	210.5	217.8	225.4	233.3
47	114.3	118.3	122.4	126.6	131.0	135.4	140.1	145.0	150.0	155.3	160.7	166.4	172.3	178.5	185.0	191.8	198.9	206.4	214.2	222.4	231.0	240.0	249.5	259.5	270.0
48	123.9	128.4	133.1	137.9	143.0	148.3	153.9	159.7	165.8	172.2	178.9	186.0	193.5	201.4	209.7	218.2	227.2	236.8	246.9	257.3	268.0	278.3	289.1	310.0	328.2
49	135.5	140.8	146.4	152.3	158.5	165.0	172.0	179.3	187.2	195.6	204.6	214.3	224.7	235.9	248.1	261.3	275.5	290.9	307.6	325.5	344.8	365.4	387.3	410.6	435.2

06-03202-03 7/15 *

# Pocillos Grandes Positivos	# Pocillos pequeños positivos																																															
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48																								
0	25.3	26.4	27.4	28.4	29.5	30.5	31.5	32.6	33.6	34.7	35.7	36.8	37.8	38.9	40.0	41.0	42.1	43.1	44.2	45.3	46.3	47.4	48.5	49.5																								
1	26.6	27.7	28.7	29.8	30.8	31.9	32.9	34.0	35.0	36.1	37.2	38.2	39.3	40.4	41.4	42.5	43.6	44.7	45.7	46.8	47.9	49.0	50.1	51.2																								
2	27.9	29.0	30.0	31.1	32.2	33.2	34.3	35.4	36.5	37.5	38.6	39.7	40.8	41.9	43.0	44.0	45.1	46.2	47.3	48.4	49.5	50.6	51.7	52.8																								
3	29.3	30.4	31.4	32.5	33.6	34.7	35.8	36.8	37.9	39.0	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5	45.6	46.7	47.8	48.9	50.0	51.2	52.3	53.4	54.5																								
4	30.7	31.8	32.8	33.9	35.0	36.1	37.2	38.3	39.4	40.5	41.6	42.7	43.8	44.9	46.0	47.1	48.2	49.3	50.4	51.5	52.6	53.7	54.8	55.9																								
5	32.1	33.2	34.3	35.4	36.5	37.6	38.7	39.8	40.9	42.0	43.1	44.2	45.3	46.4	47.5	48.6	49.7	50.8	51.9	53.0	54.1	55.2	56.3	57.4																								
6	33.5	34.7	35.8	36.9	38.0	39.2	40.3	41.4	42.6	43.7	44.8	46.0	47.1	48.3	49.4	50.6	51.7	52.9	54.1	55.2	56.4	57.6	58.7	59.9																								
7	35.0	36.2	37.3	38.4	39.6	40.7	41.9	43.0	44.2	45.3	46.5	47.7	48.8	50.0	51.2	52.3	53.5	54.7	55.9	57.1	58.3	59.4	60.6	61.8																								
8	36.6	37.7	38.9	40.0	41.2	42.3	43.5	44.7	45.9	47.0	48.2	49.4	50.6	51.8	53.0	54.1	55.3	56.5	57.7	59.0	60.2	61.4	62.6	63.8																								
9	38.1	39.3	40.5	41.6	42.8	44.0	45.2	46.4	47.6	48.8	50.0	51.2	52.4	53.6	54.8	56.0	57.2	58.4	59.7	60.9	62.1	63.4	64.6	65.8																								
10	39.7	40.9	42.1	43.3	44.5	45.7	46.9	48.1	49.3	50.6	51.8	53.0	54.2	55.5	56.7	57.9	59.2	60.4	61.7	62.9	64.2	65.4	66.7	67.9																								
11	41.4	42.6	43.8	45.0	46.3	47.5	48.7	49.9	51.2	52.4	53.7	54.9	56.1	57.4	58.6	59.9	61.2	62.4	63.7	65.0	66.3	67.5	68.8	70.1																								
12	43.1	44.3	45.6	46.8	48.1	49.3	50.6	51.8	53.1	54.3	55.6	56.8	58.1	59.4	60.7	62.0	63.2	64.5	65.8	67.1	68.4	69.7	71.0	72.4																								
13	44.9	46.1	47.4	48.6	49.9	51.2	52.5	53.7	55.0	56.3	57.6	58.9	60.2	61.5	62.8	64.1	65.4	66.7	68.0	69.3	70.7	72.0	73.3	74.7																								
14	46.7	48.0	49.3	50.5	51.8	53.1	54.4	55.7	57.0	58.3	59.6	60.9	62.3	63.6	64.9	66.3	67.6	68.9	70.3	71.6	73.0	74.4	75.7	77.1																								
15	48.6	49.9	51.2	52.5	53.8	55.1	56.4	57.8	59.1	60.4	61.8	63.1	64.5	65.8	67.2	68.5	69.9	71.3	72.6	74.0	75.4	76.8	78.2	79.6																								
16	50.5	51.8	53.2	54.5	55.8	57.2	58.5	59.9	61.2	62.6	64.0	65.3	66.7	68.1	69.5	70.9	72.3	73.7	75.1	76.5	77.9	79.3	80.8	82.2																								
17	52.5	53.9	55.2	56.6	58.0	59.3	60.7	62.1	63.5	64.9	66.3	67.7	69.1	70.5	71.9	73.3	74.8	76.2	77.6	79.1	80.5	82.0	83.5	84.9																								
18	54.6	56.0	57.4	58.8	60.2	61.6	63.0	64.4	65.8	67.2	68.6	70.1	71.5	73.0	74.4	75.8	77.3	78.8	80.3	81.8	83.3	84.8	86.3	87.8																								
19	56.8	58.2	59.6	61.0	62.4	63.9	65.3	66.8	68.2	69.7	71.1	72.6	74.1	75.5	77.0	78.5	80.0	81.5	83.0	84.6	86.1	87.6	89.2	90.7																								
20	59.0	60.4	61.9	63.3	64.8	66.3	67.7	69.2	70.7	72.2	73.7	75.2	76.7	78.2	79.8	81.3	82.8	84.4	85.9	87.5	89.1	90.7	92.2	93.8																								
21	61.3	62.8	64.3	65.8	67.3	68.8	70.3	71.8	73.3	74.9	76.4	77.9	79.5	81.1	82.6	84.2	85.8	87.4	89.0	90.6	92.2	93.8	95.4	97.1																								
22	63.8	65.3	66.8	68.3	69.8	71.4	72.9	74.5	76.1	77.6	79.2	80.8	82.4	84.0	85.6	87.2	88.9	90.5	92.1	93.8	95.5	97.1	98.8	100.5																								
23	66.3	67.8	69.4	71.0	72.5	74.1	75.7	77.3	78.9	80.5	82.2	83.8	85.4	87.1	88.8	90.4	92.1	93.8	95.5	97.2	98.9	100.6	102.4	104.1																								
24	68.9	70.5	72.1	73.7	75.3	77.0	78.6	80.3	81.9	83.6	85.2	86.9	88.6	90.3	92.0	93.8	95.5	97.2	99.0	100.7	102.5	104.3	106.1	107.9																								
25	71.7	73.3	75.0	76.6	78.3	80.0	81.7	83.3	85.1	86.8	88.5	90.2	92.0	93.7	95.5	97.3	99.1	100.9	102.7	104.5	106.3	108.2	110.0	111.9																								
26	74.6	76.3	78.0	79.7	81.4	83.1	84.8	86.6	88.4	90.1	91.9	93.7	95.5	97.3	99.2	101.0	102.9	104.7	106.6	108.5	110.4	112.3	114.2	116.2																								
27	77.6	79.4	81.1	82.9	84.6	86.4	88.2	90.0	91.9	93.7	95.5	97.4	99.3	101.2	103.1	105.0	106.9	108.8	110.8	112.7	114.7	116.7	118.7	120.7																								
28	80.8	82.6	84.4	86.3	88.1	89.9	91.8	93.7	95.6	97.5	99.4	101.3	103.3	105.2	107.2	109.2	111.2	113.2	115.3	117.3	119.3	121.4	123.5	125.6																								
29	84.2	86.1	87.9	89.8	91.7	93.7	95.6	97.5	99.5	101.5	103.5	105.5	107.5	109.5	111.6	113.7	115.7	117.8	120.0	122.1	124.2	126.4	128.6	130.8																								
30	87.8	89.7	91.7	93.6	95.6	97.6	99.6	101.6	103.7	105.7	107.8	109.9	112.0	114.2	116.3	118.5	120.6	122.8	125.1	127.3	129.5	131.8	134.1	136.4																								
31	91.6	93.6	95.6	97.7	99.7	101.8	103.9	106.0	108.2	110.3	112.5	114.7	116.9	119.1	121.4	123.6	125.9	128.2	130.5	132.9	135.3	137.7	140.1	142.5																								
32	95.7	97.8	99.9	102.0	104.2	106.3	108.5	110.7	113.0	115.2	117.5	119.8	122.1	124.5	126.8	129.2	131.6	134.0	136.5	139.0	141.5	144.0	146.6	149.1																								
33	100.0	102.2	104.4	106.6	108.9	111.2	113.5	115.8	118.2	120.5	122.9	125.4	127.8	130.3	132.8	135.3	137.8	140.4	143.0	145.6	148.3	150.9	153.7	156.4																								
34	104.7	107.0	109.3	111.7	114.0	116.4	118.9	121.3	123.8	126.3	128.8	131.4	134.0	136.6	139.2	141.9	144.6	147.4	150.1	152.9	155.7	158.6	161.5	164.4																								
35	109.7	112.2	114.6	117.1	119.6	122.2	124.7	127.3	129.9	132.6	135.3	138.0	140.8	143.6	146.4	149.2	152.1	155.0	158.0	161.0	164.0	167.1	170.2	173.3																								
36	115.2	117.8	120.4	123.0	125.7	128.4	131.1	133.9	136.7	139.5	142.4	145.3	148.3	151.3	154.3	157.3	160.3	163.6	166.8	170.0	173.3	176.6	179.9	183.3																								
37	121.3	124.0	126.8	129.6	132.4	135.3	138.2	141.2	144.2	147.3	150.3	153.5	156.7	159.9	163.1	166.5	169.8	173.2	176.7	180.2	183.7	187.3	191.0	194.7																								
38	127.9	130.8	133.8	136.8	139.9	143.0	146.2	149.4	152.6	155.9	159.2	162.6	166.1	169.6	173.2	176.8	180.4	184.2	188.0	191.8	195.7	199.7	203.7	207.7																								
39	135.3	138.5	141.7	145.0	148.3	151.7	155.1	158.6	162.1	165.7	169.4	173.1	176.9	180.7	184.7	188.7	192.7	196.8	201.0	205.3	209.6	214.0	218.5	223.0																								
40	143.7	147.1	150.6	154.2	157.8	161.5	165.3	169.1	173.0	177.0	181.1	185.2	189.4	193.7	198.1	202.5	207.1	211.7	216.4	221.1	226.0	231.0	236.0	241.1																								
41	153.2	157.0	160.9	164.8	168.9	173.0	177.2	181.5	185.8	190.3	194.8	199.5	204.2	209.1	214.0	219.1	224.2	229.4	234.8	240.2	245.8	251.5	257.2	263.1																								
42	164.3	168.6	172.9	177.3	181.9	186.5	191.3	196.1	201.1	206.2	211.4	216.7	222.2	227.7	233.4	239.2	245.2	251.3	257.5	263.8	270.3	276.9	283.6	290.5																								
43	177.5	182.3	187.3	192.4	197.6	202.9	208.4	214.0	219.8	225.8	231.8	238.1	244.5	251.0	257.7	264.6	271.7	278.9	286.3	293.8	301.5	309.4	317.4	325.7																								
44	193.6	199.3	205.1	211.0	217.2	223.5	230.0	236.7	243.6	250.8	258.1	265.6	273.3	281.2	289.4	297.8	306.3	315.1	324.1	333.3	342.8	352.4	362.3	372.4																								
45	214.1	220.9	227.9	235.2	242.7	250.4	258.4	266.7	275.3	284.1	293.3	302.6	312.3	322.3	332.5	343.0	353.8	364.9	376.2	387.9	399.8	412.0	424.5	437.4																								
46	241.5	250.0	258.9	268.2	277.8	287.8	298.1	308.8	319.9	331.4	343.3	355.5	368.1	381.1	394.5	408.3	422.5	437.1	452.0	467.4	483.3	499.6	516.3	533.5																								
47	280.9	292.4	304.4	316.9	330.0	343.6	357.8	372.5	387.7	403.4	419.8	436.6	454.1	472.1	490.7	509.9	529.8	550.4	571.6	593.8	616.7	640.5	665.3	691.0																								
48	344.1	360.9	378.4	396.8	416.0	436.0	456.9	478.6	501.2	524.7	549.3	574.8	601.5	629.4	658.6	689.3	721.5	755.6	791.5	829.7	870.4	913.9	960.6	1011.2																								
49	461.1	488.4	517.2	547.5	579.4	613.1	648.8	686.7	727.0	770.1	816.4	866.4	920.8	980.4	1046.2	1119.9	1203.3	1299.7	1413.6	1533.1	1732.9	1988.3	2419.6	>2419.6																								

Figura 77. IDEXX Quanti-Tray*/200 Tabla, NMP para la cuantificación de coliformes totales y E. Coli por el método Colilert 24 horas. Primera parte (# Pocillos pequeños positivos 25-48).

7.3. Análisis por equipo multiparamétrico

7.3.1. pH

Material

Vaso de precipitado de 1000 ml

500 de agua destilada

Pizeta

Multiparamétrico portátil HI 9829

Procedimiento

1. Calibración del equipo.
 - 1.1. Prender el equipo, llevarlo al modo de calibración y quitar el capuchón del sensor.
 - 1.2. Enjuagar con agua destilada el sensor del equipo y eliminar el exceso de agua cuidadosamente sin tocar el electrodo.
 - 1.3. Introducir el sensor en la primera solución buffer (pH 4.01) y esperar 1 minuto aproximadamente hasta que se estabilice.
 - 1.4. Presionar botón "OK".
 - 1.5. Enjuagar con agua destilada el sensor del equipo y eliminar el exceso de agua cuidadosamente sin tocar el electrodo.
 - 1.6. Introducir el sensor en la segunda solución buffer (pH 7.00) y esperar 1 minuto aproximadamente hasta que se estabilice.
 - 1.7. Presionar botón "OK".
 - 1.8. Enjuagar con agua destilada el sensor del equipo y eliminar el exceso de agua cuidadosamente sin tocar el electrodo.
 - 1.9. Introducir el sensor en la tercera solución buffer (pH 10.01) y esperar 1 minuto aproximadamente hasta que se estabilice.
 - 1.10. Presionar botón "OK".
 - 1.11. Esperar que el equipo de la indicación para poder hacer las lecturas.

- 1.12. Enjuagar con agua destilada el sensor del equipo y eliminar el exceso de agua cuidadosamente sin tocar el electrodo.
2. Preparación de la muestra
 - 2.1. Poner de 800 a 900 ml de muestra en el vaso de precipitado. Suficiente para que el sensor quede por debajo del agua, y desempeñe una buena lectura.
3. Colocar el sensor del multiparamétrico portátil dentro del vaso, sin tocar las paredes y en una mezcla homogénea.
4. Presionar el botón de "OK" (esperar a que el equipo se estabilice).
5. Tomar la lectura en cuanto el equipo estabilice los datos, para mayor certitud.
6. Tomar el valor del pH que se indique en la pantalla del equipo.
7. Lavar con agua destilada el sensor del equipo y eliminar el exceso de agua cuidadosamente sin tocar el electrodo.

7.3.2. Temperatura

Material

Vaso de precipitado de 1000 ml

500 de agua destilada

Pizeta

Multiparamétrico portátil HI 9829

Procedimiento

1. Preparación de la muestra
 - 1.1. Poner de 800 a 900 ml de muestra en un vaso de precipitado. Suficiente para que el sensor quede por debajo de agua, y desempeñe una buena lectura.
2. Colocar el sensor del multiparamétrico portátil dentro del vaso, sin tocar las paredes y en una mezcla homogénea.
3. Presionar el botón de "OK" (esperar a que el equipo se estabilice).
4. Tomar la lectura en cuanto el equipo estabilice los datos, para mayor certitud.

5. Tomar el valor de la temperatura que se indique en la pantalla del equipo.
(Revisar cuidadosamente las unidades).
6. Lavar con agua destilada el sensor del equipo y eliminar el exceso de agua cuidadosamente sin tocar el electrodo.

7.3.3. Turbidez

Material

Vaso de precipitado de 1000 ml
500 de agua destilada
Pizeta
Multiparamétrico portátil HI 9829

Procedimiento

1. Preparación de la muestra
 - 1.1. Poner de 800 a 900 ml de muestra en un vaso de precipitado.
Suficiente para que el sensor quede por debajo de agua, y desempeñe una buena lectura.
2. Colocar el sensor del multiparamétrico portátil dentro del vaso, sin tocar las paredes y en una mezcla homogénea.
3. Presionar el botón de "OK" (esperar a que el equipo se estabilice).
4. Tomar la lectura en cuanto el equipo estabilice los datos, para mayor certitud.
5. Tomar el valor de la turbidez que se indique en la pantalla del equipo.
(Revisar cuidadosamente las unidades).
6. Lavar con agua destilada el sensor del equipo y eliminar el exceso de agua cuidadosamente sin tocar el electrodo.

7.4. Preparación, instalación y operación del filtro

7.4.1. Lavado del material

Herramientas

Cubetas de 15 a 20 L

Guantes

Lona

Materiales

Agua del grifo

Coco carbonizado

Caña

Cerámicas porosas

Procedimiento

1. Se colocó el material por separado (coco carbonizado, caña y cerámicas porosas) para enjuagarlo con agua de grifo dentro de la cubeta.
2. Se utilizó la mano y con movimientos envolventes se revolvió el material dentro de la cubeta.
3. Se repitió el proceso hasta que el agua de la cubeta saliera limpia.
4. Se loco el material sobre una lona y se dejó secar.



Figura 78. Material utilizado para la preparación e instalación del filtro con cerámicas porosas.

7.4.2. Llenado del filtro

Herramientas

Vaso de precipitado de 1000 ml

Guantes

Materiales

Coco carbonizado

Caña

Cerámica porosa (1 mm de porosidad)

Cerámica porosa (2 mm de porosidad)

Cerámica porosa (3 mm de porosidad)

Agua de grifo

Procedimiento

1. Se aseguró que el tubo de salida se encontrara limpio y libre de obstrucciones.

2. Se aseguró que la parte interior del filtro estuviera limpia (libre de aceite, polvo y/o suciedad).
3. Primero, se colocó el coco carbonizado.
4. Segundo, se colocó la caña.
5. Tercero, se colocaron las cerámicas porosas.
6. Cuarto, se llenó el filtro con agua hasta su límite.



Figura 79. Montado del filtro.

7.4.3. Enjuagado del filtro

Herramientas

Cubetas de 15 a 20 L

Guantes

Materiales

20 L de agua destilada

Procedimiento

1. Se vaciaron 5 litros de agua destilada dentro del filtro.
2. Se vació completamente (Figura 80).
3. Se repitió el procedimiento el paso 1 y 2 (Figura 81).
4. Se reutilizó el agua utilizada.
5. Se continuó haciendo esto, hasta que el agua del filtro saliera limpia. Esto hasta que el efluente presentara una turbidez menor a 50 NTU (Figura 82).



Figura 80. Enjuagado del filtro.



Figura 81. Repetición del enjuagado del filtro.



Figura 82. Enjuagado del filtro, prueba de eficiencia.

7.4.4. Prueba del caudal

Herramientas

Cronómetro

Vaso de precipitado de 1000 ml

Materiales

5 L de agua

Procedimiento

1. Se llenó el contenedor del filtro con agua hasta el tope (5 L).
2. Se colocó el vaso de precipitado debajo del tubo de salida para recolectar el agua filtrada.
3. Se midió la cantidad de mL en un tiempo de 1 minuto (Figura 83).

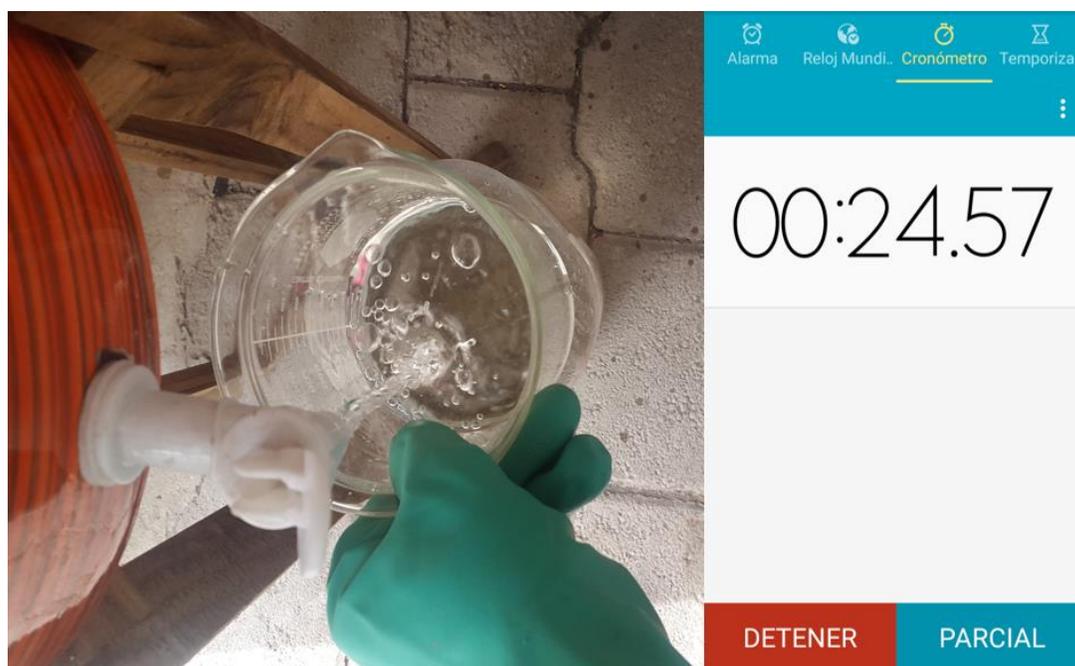


Figura 83. Medición del caudal en el filtro.