

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

---

---



Estudio técnico para la implementación de un método de determinación de organismos coliformes para los análisis de rutina de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza

TESIS

Que para obtener el Título de:  
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

Francisco Xavier Zavaleta Ramírez

Director

I.Q. Consuelo Matías Garduño

Asesor

M. A. I. Agustín Flores Luna



Ciudad de México, 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

*Dentro de esta dedicatoria no quiero decir que unos fueron más y otros menos. Todos tienen una importancia tal que si aparecen o no en este trabajo, ustedes saben bien que formarán parte de mi vida y que no me alcanzarán las palabras ni el tiempo para agradecerles todo lo que han hecho por mí.*

*A mis Padres:*

*Silvia y Moisés. A ustedes que no solo tuvieron esa confianza y afecto, sino también la paciencia con la cual me han sabido sacar adelante, en los buenos y malos ratos, en la abundancia y la carencia. Ustedes son lo que le da sentido a este trabajo y para ustedes va este logro.*

*A mis Hermanos:*

*Angie y Tahel. Ustedes con los que he pasado muchos momentos de risas y enojos que espero poder tener por mucho más tiempo. Por su apoyo en todo momento, esto también va por ustedes.*

*A Sol:*

*Por siempre estar ahí en los buenos y malos momentos, por nuestras risas y ocurrencias. Por ese apoyo incondicional. Porque esto es para salir adelante juntos y estar listos para lo que venga. Recuerda. Tú, Yo y el resto del mundo.*

*A mis sobrinos:*

*Pao y Emi. Que este logro los inspire a conseguir todos sus objetivos. Ustedes le dan alegría a mis momentos familiares.*

*Al trio ternura:*

*Jonardo, Tahel y yo. Para que esto nos motive a sacar adelante todos nuestros proyectos. Gracias por todos los momentos de risas, discusiones, ocurrencias y de buena música. Los quiero un chingo locous.*

*A Agustin:*

*Que gracias a su apoyo logré encontrar el camino para poder tener un buen futuro. Gracias por tus enseñanzas y confianza.*

*A la I.Q. Consuelo Matías Garduño*

*Por sus enseñanzas tanto en mi formación académica, como en la elaboración de este trabajo.*

*A la Chupitropa:*

*Por hacer más amena mi estancia en la escuela. Ayudarme en todo lo que me causara problemas, por esas idas a la Maroma, Deivis, Cantabria. Por esos reencuentros en los que nunca paramos de reir.*

*A los Ocelotes FESZ:*

*Por enseñarme un camino diferente para formar carácter, disciplina y orden. Por esos viajes y por ser mucho mas que un equipo. Una Familia.*

*A todos mis maestros:*

*A todos aquellos que aportaron un granito de arena para construir todos mis logros tanto académicos como personales.*

### **Dedicatoria**

*Este trabajo esta dedicado principalmente a mi familia. Sin ellos este trabajo no tendría el sentido que tiene. Gracias a mis padres, hermanos, sobrinos y pareja, que fueron mi fuente de inspiración y gracias a su presión e insistencia se pudo finalizar.*

*A la Máxima Casa de Estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México la cual me abrió las puertas desde mi etapa de educación media superior en la Escuela Nacional Preparatoria no. 5 "José Vasconcelos" donde nació mi amor por la institución, hasta mi etapa de educación superior en la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" en donde se confirmó este sentimiento hacia la Máxima Casa de Estudios.*

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POR MI RAZA, HABLARÁ EL ESPÍRITU.**

**¡MÉXICO, PUMAS, UNIVERSIDAD!**

## Tabla de Contenidos

I.	RESUMEN.....	1
II.	INTRODUCCION.....	3
III.	JUSTIFICACION.....	7
IV.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
V.	OBJETIVOS.....	9
	MARCO TEÓRICO.....	10
1.	CAPÍTULO 1. CALIDAD DEL AGUA.....	11
1.1	GENERALIDADES.....	11
1.2	Condiciones físicas.....	13
1.3	Condiciones Químicas.....	14
1.4	Características biológicas.....	16
1.5	Elementos de microbiología y bacteriología.....	19
1.6	Microbiología del agua.....	20
1.7	Patógenos bacterianos.....	23
1.8	Temperatura y crecimiento de los microorganismos.....	25
1.9	Clasificación y propiedades de los bacilos entéricos.....	25
1.10	El grupo coliforme.....	26
1.11	Escherichia.....	27
1.12	Coliforme total, Coliforme Fecal y E. Coli.....	29
1.13	Esterilización.....	29
1.14	Problemática del agua contaminada con microorganismos patógenos.....	30
1.15	Problemática del agua purificada en México.....	31
1.16	Problemática del agua purificada en la FES Zaragoza.....	33
2.	CAPÍTULO 2 REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE LA CALIDAD DE AGUA.....	34
2.1	Normatividad del agua.....	37
2.2	Otras Normas.....	38
2.3	Normatividad Mexicana del Agua.....	39
2.4	Normas Oficiales Mexicanas (NOM).....	39
2.5	Normas Mexicanas (NMX).....	39
2.6	Examen Bacteriológico del Agua.....	42
2.7	Criterios de calidad bacteriana.....	43
2.8	Disposiciones de la EPA de Estados Unidos sobre la calidad del agua potable.....	45
2.9	Análisis del grupo coliforme.....	45
2.10	Regla de los Coliformes Totales.....	46
2.11	Importancia de la detección del grupo coliforme en el agua.....	46
2.12	Procesos unitarios en los que se puede eliminar bacterias patógenas.....	47
2.13	Eliminación de bacterias.....	49
3.	CAPÍTULO 3.....	51
	PLANTA PURIFICADORA DE LA FES ZARAGOZA.....	51
3.1	Tipos de plantas de purificación.....	51
3.2	El agua purificada en la UNAM.....	53
3.3	Tratamiento del agua en la FES Zaragoza.....	55
3.4	Naturaleza del agua cruda.....	56
3.5	Proceso de purificación.....	60
3.6	Planta Purificadora Campus I.....	61

3.7	Planta Purificadora Campus II.....	63
3.8	Descripción del Proceso de Purificación .....	64
3.9	Proceso de la planta Purificadora de Campus I .....	69
3.10	Proceso de la Planta Purificadora de Campus II .....	71
3.11	Análisis rutinarios para el control de calidad del agua de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza .....	72
3.12	Análisis de coliformes en la FES Zaragoza .....	73
4.	CAPÍTULO 4 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ORGANISMOS COLIFORMES.....	76
4.1	Toma de Muestra de aguas para uso y consumo humano.....	76
4.2	Manejo de Muestras .....	78
4.3	Identificación y Control de Muestras .....	79
4.4	Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli - Método del número más probable en tubos múltiples .....	80
4.5	Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva - Método de filtración en membrana. ....	86
4.6	Metodos rápidos aprobados internacionalmente .....	93
4.6.1.	Colilert®.....	94
4.6.2	Colitag™.....	96
4.6.3.	Compact Dry EC.....	98
5.	CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	102
6.	CAPITULO 6 RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	115
VI.	PERSPECTIVAS .....	117
VII.	Lista de referencias.....	119
VIII.	Anexos.....	122

## Lista de tablas

Tabla 1.1 Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas reguladoras del agua de consumo humano.....	5
Tabla 1.1 Requerimientos nutricionales de los microorganismos.....	19
Tabla 1.2 Principales enfermedades bacterianas transmitidas por el agua.....	24
Tabla 1.3 Valores guía para la calidad bacteriológica del agua potable.....	26
Tabla 2.1 Normas Oficiales Mexicanas vigentes para todo tipo de agua. ....	39
Tabla 2.2 Normas que sustentan nuestro proyecto.....	40
Tabla 2.3 Límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano. ....	41
Tabla 2.4 Modificaciones a la NOM-127-SSA-1994.....	42
Tabla 2.5 Requerimientos de muestreo para suministros de agua potable (Dcto 2105/83) .....	43
Tabla 2.6 Valores guía para la calidad bacteriológica.....	43
Tabla 3.1 Recomendaciones sobre requisitos de tratamiento del agua cruda .....	51
Tabla 3.2 Procesos de purificación de agua .....	52
Tabla 3.3 Población Escolar de licenciatura 2000-2010 .....	56
Tabla 3.4 Parametros de calidad de “FES Zaragoza Toma domiciliaria Campo 1” correspondientes al día 2/02/2017.....	58
Tabla 3.5 Parametros de calidad de “FES Zaragoza CisternaCampo 1” correspondientes al día 2/02/2017.....	58
Tabla 3.6 Parametros de calidad de “FES Zaragoza Toma domiciliaria Clínica” correspondientes al día 2/02/2017.....	59
Tabla 3.7 Parametros de calidad de “FES Zaragoza Cisterna Clínica” correspondientes al día 2/02/2017.....	59
Tabla 3.8 Equipos que conforman las plantas furificadoras y funcion.....	61
Tabla 4.1 Método de interpretación de muestras.....	97
Tabla 5.1 Ventajas y desventajas del método de NMP – Tubos Múltiples. ....	105
Tabla 5.2 Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método NMP – Tubos Múltiples .....	105
Tabla 5.3 Ventajas y desventajas del método de Filtración en Membrana.....	107
Tabla 5.4 Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Filtración en Membrana.....	107
Tabla 5.5 Ventajas y desventajas del método Colilert®.....	108
Tabla 5.6 Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Colilert®.....	109
Tabla 5.7 Ventajas y desventajas del método Colitag™.....	110
Tabla 5.8 Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Colitag™.....	110
Tabla 5.9 Ventajas y desventajas del método Compact Dry EC.....	112
Tabla 5.10 Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Compact Dry.....	112

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Bacteria Coliforme .....	27
Figura 1.2 Escherichia Coli.....	28
Figura 1.3 Diagrama Causa – Problema de la Contaminación del agua de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza.....	35
Figura 3.1 Vista frontal de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza Campus 2.....	54
Figura 3.2 Vista frontal de un bebedero instalado en la FES Zaragoza Campus II .....	55
Figura 3.3 Antiguo Edificio de Gobierno .....	57
Figura 3.4 Cisterna ubicada en el Antiguo Edificio de Gobierno .....	57
Figura 3.5 Tren de tratamiento de la Planta Purificadora Campus II de la FES Zaragoza, UNAM.....	60
Figura 3.6 Vista frontal de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza Campus I.....	62
Figura 3.7 Ubicación de la Planta Purificadora y los nueve bebederos de Campus I.....	62
Figura 3.8 Planta Purificadora de la FES Zaragoza Campus II.....	63
Figura 3.9 Ubicación de la Planta Purificadora y los nueve bebederos de Campus II.....	64
Figura 3.10 Diagrama del proceso de Purificación del agua .....	65
Figura 3.11 Pretratamiento con Hipoclorito de Sodio.....	66
Figura 3.12 Filtración por lecho profundo en la Planta Purificadora .....	66
Figura 3.13 Filtración por carbón activado.....	67
Figura 3.14 Filtración pulidora .....	67
Figura 3.15 Desinfección por Luz UV .....	68
Figura 3.16 Desinfección por ozono .....	68
Figura 3.17 Purificación (bactericida) .....	69
Figura 4.1 Procedimiento del método NMP – Tubos Múltiples.....	83
Figura 4.2 Inoculación de muestra de agua.....	84
Figura 4.3 Evaluación de pruebas Presuntiva y Confirmativa en la Determinación por NMP de Coliformes Totales y Fecales.....	85
Figura 4.4 Procedimiento del Método Filtro en Membrana.....	89
Figura 4.5 Filtración en membrana .....	91
Figura 4.6 Confirmación de presencia de coliformes .....	93
Figura 4.7 Metodo Colilert®.....	94
Figura 4.8 Procedimiento del Método Colilert®.....	95
Figura 4.9 Procedimiento del método Colitag™.....	97
Figura 4.10 Resultados de la prueba Colitag™.....	97
Figura 4.11 Procedimiento del Método Compact Dry.....	99
Figura 4.12 Aplicación de muestra en Compact Dry .....	100
Figura VI.1 Plan de Corrección en caso de presencia de Organismos Coliformes en el suministro de agua de los bebederos de la FES Zaragoza.....	117

## I. RESUMEN

La presente tesis abarca un estudio detallado de los aspectos técnicos que ayudaron en la selección del método adecuado para la determinación de organismos Coliformes Totales y Fecales dentro de las actividades rutinarias de análisis en la Planta Purificadora de la FES Zaragoza campus II, ya que, a la fecha de elaboración de este trabajo, el monitoreo rutinario de la calidad del agua generada por la Planta Purificadora de agua no consideraba el análisis microbiológico de la misma.

Como antecedente, dentro de los grandes proyectos impulsados por la Carrera de Ingeniería Química se tiene uno, que fue la implementación y operación de Plantas Purificadoras de agua en cada uno de los 2 campus de la FES Zaragoza, durante el periodo de 2010 a 2014 conforme al Programa Ambiente Saludable, Seguro y Sustentable.

Como beneficio de la implementación de este proyecto fue la disminución de la compra de bebidas embotelladas, lo cual representó un fuerte apoyo para la economía de los estudiantes, académicos, trabajadores y demás comunidad que frecuenta las instalaciones de la FES Zaragoza.

A través de cuestionarios, encuestas y diferentes métodos de investigación se observó que la comunidad de esta facultad desconoce la calidad de esta agua purificada. Con lo que se dio a la tarea de investigar diversos métodos de análisis, ya fueran físicos, químicos y microbiológicos, y se enfocó puntualmente en estos últimos, los cuales tienen vital importancia en el agua purificada, ya que, al ser de consumo humano, deben cumplir con estrictos límites de calidad. Específicamente se enfocó en el análisis de organismos Coliformes Totales y Fecales, con los cuales se puede guiar para conocer el grado de inocuidad del agua que se consume, y así atacar el problema completamente.

La conclusión a la que se llegó gracias a este trabajo, es que hablando tanto técnica como económicamente, se tienen dos opciones viables, de entre las cuales se sobrepone el uso del método Colilert® el cual demostró tener una inversión baja y una serie de cualidades

técnicas que facilitarán el análisis de organismos coliformes en el agua de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza. El otro análisis seleccionado, es una segunda opción en caso de que la Carrera de Ingeniería Química esté obligada estrictamente a realizar los análisis correspondientes a las Normas Oficiales Mexicanas. Este sería el análisis por medio de la técnica del Número Más Probable – Tubos Múltiples.

## II. INTRODUCCION

La presente investigación corresponde a la propuesta de implementación de métodos microbiológicos para la identificación de microorganismos Coliformes Totales y Fecales (considerados patógenos e indicadores de contaminación) en el agua purificada que se suministra en los bebederos de la FES Zaragoza.

Es importante comprender de lo general a lo particular los requerimientos en cuanto a la calidad del agua, la importancia de ésta en el consumo humano en zonas urbanas y finalmente en lo particular conocer los análisis que se podrían realizarse al agua que se consume en la FES Zaragoza, para garantizar su confiabilidad.

Por lo tanto, en el capítulo 1 “Calidad del agua” se describen las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, haciendo énfasis en éstas últimas, que son de gran importancia, y por tanto son el principal tema de esta investigación.

En el capítulo 2 “Normatividad del agua” se describen los diferentes requerimientos normativos que rigen la calidad del agua para el consumo humano, destacando ciertas normas nacionales las cuales son la principal herramienta de nuestra investigación.

En el capítulo 3 “La Planta Purificadora de la FES Zaragoza” se describen principalmente las actividades de operación de las Plantas Purificadoras de agua de la FES Zaragoza, la distribución de los bebederos, enfocándonos en los procesos de desinfección.

En el capítulo 4 “Métodos de análisis de Organismos Coliformes” se describen los métodos de análisis microbiológico del agua disponibles (tanto normativos como alternativos) para seleccionar el método más viable de uso rutinario en términos su practicidad y economía. Dentro de este análisis nos enfocamos en el requerimiento de material, equipo y reactivos, el procedimiento y el informe de los resultados. Todos ellos descritos en diagramas describen de forma fácil y eficiente el proceso.

En el capítulo 5 “Discusión de resultados” se realiza el análisis técnico y económico de los métodos de análisis microbiológico del agua disponibles (tanto normativos como alternativos) para seleccionar el método más viable de uso rutinario en términos su practicidad y economía.

Finalmente, en el capítulo 6 “Resultados y Conclusiones” se muestra la selección del método las conclusiones y recomendaciones en caso de que se detecten organismos coliformes en el agua.

Este trabajo ayudará en los análisis rutinarios, el control de la calidad del agua, y garantizará el grado de inocuidad y pureza del agua proveniente de esta Planta Purificadora, y en caso de detectarse alguna anomalía se podrán tomar acciones para corregir todo error, con lo cual se reafirma la eficacia de los proyectos impulsados por la carrera de Ingeniería Química

Cabe mencionar que con la finalidad de garantizar en el mayor grado deseable la inocuidad del agua destinada al consumo público, la mayoría de los países incluido Mexico han establecido normas de purificación, con criterios diferentes, pero unánimes en la exigencia de determinadas características físicas, químicas y microbiológicas, que se describen más adelante.

Durante los pasados años el incremento de la conciencia pública sobre los temas de medio ambiente ha originado que los consumidores estén preocupados acerca de la calidad del agua de consumo humano. Esto está reflejado en un incremento de las ventas de agua embotellada y de sistemas de tratamiento doméstico. Debido a la falta de conocimiento, los consumidores generalmente interpretarán sus riesgos y seguridad de una manera emocional y psicológica en vez de científica. Esto ha llevado a poner una considerable presión sobre las empresas del agua para que realicen frecuentemente estrictos tratamientos y medidas de control para reducir la concentración de un parámetro en particular.

Uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la industria del agua es el comprender cómo perciben los consumidores la calidad del agua, por qué no les gusta beber agua del grifo y, finalmente, educar al consumidor acerca de la calidad del agua y las funciones reguladoras de las empresas del agua<sup>1</sup>.

Bajo el aspecto microbiológico, la elección de gérmenes indicadores de contaminación, esencial para la interpretación de la calidad de las aguas objeto de examen, ha sido y es motivo de debate bajo la luz que proporcionan las nuevas técnicas analíticas, los medios de cultivo mas selectivos y el mejor conocimiento epidemiológico, que permiten conceder a cada indicador bacteriano el crédito de confianza que real y verdaderamente merece.

Con el fin de tener controlado este aspecto, se tienen laboratorios que se especializan en este tema, los cuales se rigen por normas en las cuales se establecen límites que se tienen que cumplir para que sea aceptable para uso y consumo humano.

En la tabla I.1. podemos observar las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas que nos ayudarán en la elaboración de este trabajo.

Tabla I.1  
Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas reguladoras del agua de consumo humano

Norma	Título
NOM-014-SSA1-1993	Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
NOM-041-SSA1-1993	Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias
NOM-112-SSA1-1994	Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.
NOM-127-SSA1-1994	Salud ambiental – Agua para uso y consume humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
NOM-160-SSA1-1995	Bienes y servicios. Buenas practices para la producción y venta de agua purificada.
NOM-179-SSA1-1998	Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.
NOM-201-SSA1-2015	Productos y servicios. Agua y hielo para consume humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.
NMX-AA-42-1987	Calidad del agua – Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia

<sup>1</sup>Gray, N.F. (1994). *Drinking Water Quality Problems and solutions*. Ed. John Wiley and sons. Inglaterra.

---

	coli presuntiva.
NMX-AA-102-SCFI-2006	Calidad del agua – Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y escherichia coli presuntiva – método de filtración en membrana (cancela a la nmx-aa-102-1987).

---

Estas normas son las que regulan los límites permisibles y las técnicas de los distintos parámetros a tomar en cuenta en la calidad del agua, así como la frecuencia en las que deben ser realizados dichos análisis.

En base a estos lineamientos, técnicas y normatividades se sustentará este Proyecto.

### III. JUSTIFICACION

El mexicano por derecho constitucional debe tener acceso a un medio ambiente sano, tanto para su desarrollo como para su bienestar, y lo que nos trae principalmente a este tema es que se tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico.

Durante mi estadia en la Facultad de Estudios Superiores “Zaragoza” de la Universidad Nacional Autónoma de Mexico se desarrolló e implementó un proyecto en el cual se instalaron bebederos los cuales están a disposición de la comunidad estudiantil, trabajadores, académicos y publico en general que accede a las instalaciones. Al realizar mi servicio social en la Planta de tratamiento de aguas residuales “Cerro de la Estrella” surgió la idea de implementar técnicas para el análisis microbiológico del agua que se consume en dichos bebederos ya que no se cuenta con un control de esta índole en la Facultad. Se realizará un estudio técnico y económico para poder implementar estas técnicas en un futuro, empezando por la determinación de coliformes totales y fecales (E. Coli).

La finalidad de esta tesis es facilitar que se lleven a cabo los análisis bacteriológicos de las muestras que se analizan en esta planta, ya que no se cuenta con aplicación de técnicas de análisis correspondientes a este tema, todo esto con base a las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, así como las Normas Mexicanas vigentes, para así cumplir con la calidad que nosotros como sociedad tenemos derecho a recibir.

Una vez elegidos los métodos y técnicas de análisis, se tiene que realizar un presupuesto en el que se incluyan los costos de equipo, material, y reactivos necesarios para su implementación.

En base a este estudio se elegirán las técnicas adecuadas tomando en cuenta la vigencia dentro de las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas, los gastos de la inversión y los gastos generados en un año de implementación.

#### **IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La FES Zaragoza, a través de sus diferentes programas de salud, acertó en enfocarse en un problema como era el excesivo consumo de agua embotellada. Se enfocó en diseñar e implementar el proyecto de la Planta Purificadora, el cual fue un gran paso, ya fuese para el beneficio de la comunidad de la Facultad, así también como para apoyo a los alumnos de la carrera de Ingeniería Química al tener una opción más para realizar su servicio social, necesario para avanzar en su carrera académica.

El problema que se pretende atacar con este proyecto es la gran incógnita de la mayoría de los integrantes de la comunidad zaragozana en general, la calidad del agua purificada. Se tiene conocimiento de los dos parámetros que se analizan en esta planta, el pH y el cloro residual.

Dentro de los muchos parámetros que se pueden analizar, se enfocará en uno de carácter microbiológico que es la enumeración de bacterias Coliformes.

Éste será un paso adelante para reafirmar el potencial y alcance de la carrera de Ingeniería Química en la FES Zaragoza.

## **V. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Seleccionar el método adecuado de análisis de coliformes totales y fecales para la implementación de éste en las actividades de control de calidad de la Planta Purificadora del Campus II de la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" de la Universidad Nacional Autónoma de México para dar cumplimiento a la 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."

### **Objetivos particulares**

- Investigar los diferentes métodos de análisis de coliformes totales y fecales, para tener conocimiento del equipo, material y reactivos utilizados en cada uno que permita seleccionar aquel que sea confiable, práctico y económico.
- Generar la información necesaria para la toma de decisión en relación de la implementación del método de determinación de coliformes seleccionado en los análisis rutinarios.
- Realizar un estudio técnico de estos métodos, para facilitar la selección del método más viable.
- Identificar el método más conveniente para el análisis de coliformes totales y fecales, para la implementación dentro de las actividades de control de calidad de la Planta Purificadora del Campus II de la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" de la Universidad Nacional Autónoma de México.

# MARCO TEORICO

## CAPÍTULO 1

# CALIDAD DEL AGUA



# **MARCO TEÓRICO**

## **1. CAPÍTULO 1.**

### **CALIDAD DEL AGUA**

#### **1.1 GENERALIDADES**

La calidad del agua no es un criterio absoluto. Depende del uso que se le pretenda dar y se puede calificar como de buena o mala calidad.

Independientemente de su uso, la calidad del agua radica principalmente en los materiales y sustancias que lleva disueltos o en suspensión y los organismos que ahí se encuentran. Esto significa que para determinar la calidad del agua necesitamos conocer algunas características que afectan su posible uso como, por ejemplo, el oxígeno que tiene disuelto, la cantidad de partículas suspendidas, la cantidad y tipo de sales disueltas, la presencia y concentración de compuestos tóxicos y las bacterias y otros tipos de microorganismos.

Cuando el agua contiene materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales o domésticos que alteran sus características naturales se dice que está contaminada.

Debido a que los ríos y lagos frecuentemente se encuentran en las “partes bajas” de las cuencas, es fácil imaginarse que la calidad del agua que tienen depende, en gran parte, de los usos que se les da a los terrenos que se encuentran alrededor y de los desechos que directamente echan las fábricas y los sistemas de drenaje de las ciudades y pueblos cercanos.

Como la calidad del agua depende del uso que se le pretende dar, resulta complicado definir una forma única de medir su calidad. En general se puede hablar de dos métodos: los que utilizan como referencia parámetros físicos y químicos, y los que emplean algunos atributos biológicos como especies indicadoras o características de los ecosistemas naturales que permiten evaluar que tan alterado se encuentra un cierto cuerpo de agua.

Los métodos más utilizados, principalmente por su facilidad y su aplicación más general son los basados en parámetros físicos y químicos como, por ejemplo, la concentración de oxígeno disuelto, la concentración de compuestos con nitrógeno y fósforo (como los nitratos y los fosfatos) y el contenido de materiales tóxicos como los 100 metales pesados. De uso más reciente son los llamados indicadores biológicos que utilizan ya sea especies individuales o bien comunidades completas, bajo la premisa de que los indicadores biológicos -como los peces, invertebrados, algas y protozoarios- son capaces de detectar y responder a los cambios de diversas variables ambientales -no sólo químicas-, que resultan en la degradación de los recursos acuáticos.

Uno de los atributos de los indicadores biológicos es que los organismos son capaces de responder a la contaminación intermitente (como derrames accidentales), misma que pudiera ser pasada por alto en un programa de toma de muestras químicas; pueden también integrar los efectos de varios contaminantes simultáneamente y además son capaces de responder a la aparición de elementos contaminantes nuevos e insospechados.<sup>2</sup>

En nuestro país la evaluación de la calidad del agua se realiza por medio de la Red Nacional de Monitoreo (RNM), que cuenta con 620 estaciones en ríos, lagos, lagunas costeras y acuíferos. En cada estación se cuantifican parámetros físicos, químicos y biológicos que sirven para evaluar la calidad del agua. Los tres indicadores más utilizados son: la concentración de coliformes fecales, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la concentración de fosfatos y de nitratos, ya que todos ellos están muy relacionados con las principales fuentes de contaminación de las aguas en nuestro país.

Un factor de presión muy importante para la calidad del agua son las descargas de aguas residuales utilizadas para las labores de limpieza y servicios sanitarios provenientes de las áreas urbanas y rurales. El indicador de contaminación asociado a estas descargas es la presencia de un grupo de bacterias conocidas como coliformes. Las coliformes se

---

<sup>2</sup>Cabo, de la Puente, Catalán. (1972). *Bacteriología y potabilidad del agua*. Ed. Autoedición. España.

introducen en gran número al medio ambiente a través de las heces de humanos y animales, por tal motivo suele considerarse que la mayoría de las coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Aunque su presencia no indica forzosamente contaminación fecal, ya que existen también bacterias coliformes de vida libre, se considera que su ausencia es un buen indicador de que el agua es bacteriológicamente segura.<sup>3</sup>

## 1.2 Condiciones físicas

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles.<sup>4</sup>

- **Turbidez:** La turbidez de un agua depende de la cantidad de materia suspendida en ella y se determina por la menor o mayor transparencia de la muestra de agua. La turbidez la causa principalmente la arcilla. Según los Standars americanos (1962) para agua sin tratar, la turbidez no debe ser superior a cinco unidades en la escala silíceo.
- **Color:** El color es debido a materias disueltas o en estado coloidal. Ese color se designa como verdadero. El color aparente es debido a materias en suspensión; ese color desaparece al sedimentarse las partículas.
- **Olor y sabor:** Los sabores básicos son: salado, dulce, ácido, amargo. Los olores, solo se pueden descubrir por analogía en otros, por ejemplo: olor a pescado, a tierra, etc.

Las aguas para consumo no deben tener ni sabor ni olor alguno.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup>[http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/05\\_serie/yelmedioambiente/4\\_agua\\_v08.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/05_serie/yelmedioambiente/4_agua_v08.pdf)

<sup>4</sup>[https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_potable.pdf](https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_potable.pdf)

<sup>5</sup>Silva, Luis. (1974). *Diseño de plantas de purificación de aguas*. Ed. U.S.T.A. Colombia.

### 1.3 Condiciones Químicas

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Por ejemplo, el hierro y el manganeso en pequeñas cantidades no solo causan color, también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico y óxido de manganeso dentro de las tuberías de agua.<sup>4</sup>

- **Plomo:** Sustancia tóxica que se puede presentar por la fumigación de los terrenos o por disolución de tuberías domiciliarias por aguas ácidas.  
El efecto sobre el organismo es acumulativo y el ser humano que consuma frecuentemente esta sustancia sufre de saturnismo, enfermedad que puede ser mortal.
- **Fluor:** Consumido el fluor por el hombre en dosis altas, puede llegar a producir la muerte. Dosis mayores al máximo establecido, causan manchas en el esmalte de los dientes.
- **Arsénico:** El arsénico puro no es soluble, pero los compuestos son muy solubles. Es un elemento muy venenoso que en dosis de 5 p.p.m. o mayores causan la muerte si su consumo es prolongado.
- **Selenio:** Los síntomas de envenenamiento son similares a los de arsénico.
- **Cromo:** Puede presentarse en aguas que reciben residuos industriales de plantas de niquelado y cromado.
- **Cobre:** Las cantidades que pueden presentarse en las aguas naturales son muy pequeñas. La presencia de cobre en los análisis practicados a muestras de agua en acueductos existentes, es debido a disolución de las tuberías de cobre (donde se usan), por aguas ácidas.
- **Hierro y Manganeso combinados:** La limitante recomendada no es debida a consideraciones fisiológicas, sino más bien a inconvenientes en algunas industrias como las de lavandería por el manchado de la ropa, la coloración de los artefactos de cocina y baño, que toman coloración violeta muy desagradable.

Las aguas superficiales, ordinariamente tienen contenidos muy bajos de hierro, en cambio las subterráneas ordinariamente contienen cantidades apreciables de hierro.

- **Magnesio:** Es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, no se encuentra puro sino las sales de magnesio.

Es un elemento indispensable para la vida humana. Es un elemento que se considera como no tóxico, en dosis altas puede causar diarreas. Las concentraciones muy altas que las haría tóxicas, son prácticamente impotables debido al sabor.

- **Zinc:** La presencia de Zinc en las aguas, es debido principalmente al óxido de Zinc procedente del galvanizado de las tuberías.

- **Cloruros:** Tampoco son nocivos a la salud en concentraciones altas producen efecto laxante.

- **Dureza:** La dureza puede ser:

a) Temporal o carbonatada. Producida por: Carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio; al calentar agua, las sales precipitan.

b) Permanente. La producida por sulfatos de calcio y magnesio los cuales no se precipitaban al hervir el agua.

La clasificación según el grado de dureza expresada en p.p.m. de carbonato de calcio es:

Dureza menor de 50 p.p.m. .... Muy Blanda

Dureza entre 50 y 100 p.p.m. .... Blanda

Dureza entre 100 y 200 p.p.m. .... Dura moderada

Dureza entre 200 y 300 p.p.m. .... Dura

Dureza mayor de 300 p.p.m. .... Muy dura

- **Nitratos:** Los nitratos son la última etapa de transformación aerobia de la materia orgánica; por lo cual, la presencia de nitratos es un índice de posible contaminación con aguas negras.

La presencia de las diversas sustancias indicadas como nocivas, en cantidades superiores a las permitidas, es motivo para desechar un agua como fuente de abastecimiento, a menos que se haga un estudio económico que demuestre su remoción se justifica.

- **Alcalinidad:** Es debida al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de calcio, magnesio, sodio y potasio.
- **p.H.:** Es un índice de la acidez o alcalinidad del agua. Un valor del p.H.= 7 corresponde a un agua neutra (no es ni ácida y tampoco es alcalina). Valores superiores a 7 corresponden a aguas alcalinas, con un valor máximo de p.H. = 14. Valores inferiores, corresponden a aguas ácidas.

Las aguas que se despachen para el consumo en ningún caso deben ser ácidas sino mas bien ligeramente alcalinas, para que no corroan las tuberías, y por el contrario se les forme una película protectora de carbonato de calcio.<sup>5</sup>

## 1.4 Características biológicas<sup>4</sup>

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces.

El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. De la misma manera los crustáceos se incrementan y por lo tanto los peces de idéntica manera.

La biodiversidad de un agua natural indica la poca probabilidad de que la misma se encuentre contaminada. Sin embargo para que el agua se destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene.

De toda la población biológica de las aguas naturales vamos a indicar aquellas que tienen significación en la Ingeniería Sanitaria y en especial a la potabilización de aguas.

Del reino vegetal, los microorganismos mas importantes desde el punto de vista de la Ingeniería Sanitaria son las algas y bacterias aunque la presencia de hongos, mohos y levaduras es un índice de la existencia de materia orgánica en descomposición.

- **Algas:** las algas contienen fundamentalmente clorofila necesaria para las actividades fotosintéticas y por lo tanto necesitan la luz solar para vivir y reproducirse. La mayor concentración se da en los lagos, lagunas, embalses, remansos de agua y con menor abundancia en las corrientes de agua superficiales. Las algas a menudo tienen pigmentos de colores que nos permite agruparlas en familias:
  - **Clorofíceas:** como su nombre lo indica son de color verde. Algunas de ellas son de los géneros Eudorina, Pandorina y Volvox. Existen especies unicelulares y multicelulares y en grandes concentraciones, algunas de ellas generan olores ícticos (de pescado o pasto) al agua y toma una coloración verdosa.
  - **Cianofíceas:** también son mono o multicelulares, son las algas azul verdosas. Algunas de ellas comunican al agua olores muy desagradables y suelen desarrollarse con tal abundancia que cubre los embalses con una nata, siendo la más característica de ella el género Anabaena.
  - **Bacilofíceas o diatomeas:** generalmente se presentan como monocelulares, son de color amarillo verdoso y a menudo dan olores aromáticos o ícticos. Son típicos los géneros Asterionella, Navículo, Sybedra y Fragilaria.
- **Bacterias:** las llamadas bacterias son de los géneros Sphaerotilus y Crenothrix, relacionadas con el hierro y el manganeso del agua y del género Beggiatoa del grupo de las bacterias sulfurosas. Las bacterias que se pueden encontrar en el agua son de géneros muy numerosos, pero veremos aquí las que son patógenas para el hombre, las bacterias coliformes y los estreptococos que se utilizan como índice de contaminación fecal. Recordemos que según necesiten o no oxígeno libre para vivir se las llama aerobias o anaerobias, existe un tercer tipo que se

desarrolla mejor en presencia de oxígeno, pero pueden vivir en medios desprovistos del mismo y se las denomina anaerobias facultativas.

- **Bacterias propias del agua:** son frecuentes las de género Pseudomonas, Serratia, Flavobacterium y Achromobacterium, en general dan coloración al agua como, por ejemplo, rojo, amarillo anaranjado, violeta, etc.
  - **Bacterias del suelo:** son arrastradas por el agua de lluvia a los cursos superficiales en gran mayoría son aerobias, pertenecientes al género Bacillus y otras que tienen un papel preponderante en la oxidación de materia orgánica y sales minerales.
  - **Bacterias intestinales:** los organismos mas comunes que se encuentran en el tracto intestinal son de los géneros Clostridium, Streptococos, Salmonella, Espirilos, Bacteriófagos, Coliformes, Shigelia y también merecen citarse las Vibrio cholerae y la Leptospira.
- 
- **Hongos, mohos y levaduras:** Pertenecen al grupo de bacterias, pero no contienen clorofila y en general son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en consecuencia dependen de la materia orgánica para su nutrición.

Del reino animal nos encontramos los siguientes, que tienen importancia significativa:

- **Protozoarios:** de todos los que pueden encontrarse en el agua, el más importante por su toxicidad es la Endamoeba histolytica que produce la disentería amibiana.
- **Moluscos:** son importantes el género de caracoles ya que son huéspedes intermedios de los gusanos de la clase Trematoda del grupo Platelminfos.
- **Artrópodos:** los que son importante son las clases Crustácea, Insecta y Arácnida y desde el punto de vista sanitario el crustáceo del agua Cyclops que es vector del huanzo Nematelminto.
- **Platelminfos:** el mas importante es el Equinococcus granulosus que produce la enfermedad llamada hidatidosis.
- **Helminfos:** se incluyen los anélidos y los traquelmitos que comprenden los rotíferos y los Nematelmintos entre los cuales hay varias especies patógenas para el hombre: Dracunculus mendinensis, Ascaris lumbricoides, Trichuris trichiura, Enterovius vermicularis, Necator americanus y Ancylostoma duodenale.

Por último un gran número de animales o vegetales microscópicos que flotan libremente en el agua y reciben el nombre genérico de plancton, el cual tiene importancia para juzgar la calidad sanitaria del agua.

## 1.5 Elementos de microbiología y bacteriología<sup>6</sup>

Todo organismo debe encontrar su medio ambiente las unidades estructurales y la fuente de energía necesarias para formar y mantener su estructura y organización. Dichos materiales son llamados nutrientes. Casi todos los organismos vivos requieren los siguientes nutrientes.

- Fuente de carbono
- Fuente de energía
- Fuente de nitrógeno
- Agua
- Fuente mineral

Resumiendo, puede decirse que organismos heterotróficos son aquellos que obtienen el carbono solamente de compuestos orgánicos, es decir que viven a expensas de materia orgánica; por otra parte, organismos autotróficos son aquellos que utilizan CO<sub>2</sub> como fuente de carbono, es decir que viven a expensas de materia inorgánica.

En términos de sus requerimientos de oxígeno, se acostumbra clasificar a los microorganismos como aerobios y anaerobios. Los aerobios son aquellos que requieren oxígeno libre para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales; los anaerobios son aquellos que pueden utilizar fuentes de oxígeno diferentes de la de oxígeno libre. (Romero, 1999)

Tabla 1.1  
Requerimientos nutricionales de los microorganismos

		AUTOTRÓFICOS		HETEROTRÓFICOS	
		Fotosintéticos	Quimiosintéticos		
Fuente de carbon	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		Comps.	Orgánicos.

<sup>6</sup>Romero, Jairo Alberto. (1999). *Calidad del agua*. Ed. Alfaomega. México.

				Carbohidratos, ácidos orgánicos, cetonas, aldehídos, parafinas.
Fuente de energía	Luz solar	Comps. oxidables	Inorgánicos	Comps. Orgánicos. Carbohidratos, ácidos orgánicos, cetonas, aldehídos, parafinas.
Fuente de nitrógeno		NH <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , N <sub>2</sub>		Norg. Ninorg
Fuente mineral		Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Cu, Co, Mo, Zn, P, S		
Agua	-----			
Factores accesorios de crecimiento		Ninguno		Tal vez

*Romero, Jairo Alberto. "Calidad del agua". Ed. Alfaomega. México, 1999. p. 150*

El termino facultativo se aplica a aquellos organismos que tienen capacidad de vivir bajo más de un conjunto específico de condiciones ambientales; así, por ejemplo, facultativos anaerobios son aquellos microorganismos que pueden sobrevivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno libre.

Desde otro punto de vista, se conoce como bacteria saprofita a aquella que vive a expensas de materia orgánica muerta; como parásito a aquel organismo que vive a expensas de otro (huésped) del cual obtiene sus nutrientes. Dentro de los parásitos se distingue a los patógenos, que son aquellos que producen enfermedad.

## 1.6 Microbiología del agua<sup>6</sup>

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y materia fecal.

La clasificación de las bacterias y otros microorganismos es complicada, por cuanto existe incontable variedad de microorganismos diferentes en cuanto a sus propiedades metabólicas y estructurales. Algunos microorganismos se parecen a las plantas, mientras que otros son parecidos a los animales y hay todavía otros totalmente diferentes al resto de todas las demás formas de vida.

Como ejemplo de los procesos de clasificación, consideremos los microorganismos en términos de sus actividades: tendremos bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. La anaerobia necesita oxígeno para vivir. El oxígeno es tóxico para una anaerobia. Las facultativas pueden vivir con y sin oxígeno.

Debido a que las bacterias tienen tantas formas, una clasificación o descripción adecuada precisa la aplicación sistemática de procedimientos que permita desarrollar, aislar e identificar las variedades individuales. Estos procedimientos son muy técnicos y especializados. En último extremo, las bacterias se caracterizan basándose en la experiencia y en la observación. Afortunadamente se han establecido ciertos criterios para ayudar en este proceso:

1. Forma
2. Tamaño y estructura
3. Actividades químicas
4. Tipos de nutrientes necesarios
5. Forma de energía que utilizan
6. Condiciones físicas necesarias para su desarrollo
7. Posibilidad de causar enfermedad (patógenos y no patógenos)
8. Comportamiento ante la tinción de Gram

La transmisión a través del agua de organismos patógenos ha sido la fuente más grave de epidemias de algunas enfermedades. Entre las enfermedades más conocidas cuyos gérmenes pueden ser transmitidos por el agua están las siguientes:

- a. De origen bacterial
  1. Fiebre tifoidea (*Salmonella typhi*)
  2. Fiebre paratifoidea (*Salmonella paratyphi*)
  3. Cólera (*Vibrio cholera*)
  4. Tularemia (*Brucella tularensis*)
  5. Disentería bacilar (*Shigella* spp.)
  6. Gastroenteritis (*Salmonella* spp.)
  7. Enfermedad de Weil (*Leptospira icterohaemorrhagiae*)

## 8. Infecciones del oído

(*Pseudomonas aeruginosa*)

Las seis primeras son casi siempre el resultado de contaminación fecal. La enfermedad de Weil ocurre esporádicamente entre trabajadores de alcantarillado; el reservorio de la infección son las ratas. Los gérmenes pueden introducirse al hombre a través de heridas pequeñas de la piel, la boca y la nariz. Infecciones del oído por *Pseudomonas aureginosa* se han encontrado en bañistas de aguas contaminadas.

### b. Protozoos patógenos

Disentería amibiana	( <i>Entamoeba histolytica</i> )
Giardiasis	( <i>Giardia lamblia</i> )
Meningoencefalitis	( <i>Naegleria gruberi</i> )
Criptosporidiosis	( <i>Cryptosporidium</i> )

La amibiasis es una importante causa de morbilidad y mortalidad, particularmente entre los infantes. La infección se establece, en general, en el colon; con formas más severas en el hígado y el cerebro. La giardiasis es una enfermedad diarreica severa causada por el protozoo *Giardia lamblia*. El trofozoito, forma móvil o estado vegetativo de crecimiento del organismo, establece la infección en el intestino delgado y después de un periodo de crecimiento se enquista, en respuesta al sistema inmunológico y a los cambios en el intestino del huésped. Los individuos infectados pueden arrojar los quistes en sus excrementos, durante años, sin observar síntomas de la enfermedad.

La meningoencefalitis amébrica primaria es causada por el protozoo *Naegleria fowleri*; el trofozoito tiene acceso a través de los senos nasales de la amiba migra a través del nervio olfatorio al cerebro y sus meninges, estableciendo una infección generalmente fatal

### c. Virus

Los principales virus asociados con el agua son:

Gastroenteritis viral  
Diarrea viral

Hepatitis infecciosa  
Virus del polio (3 tipos)  
Virus Adeno (32 tipos)  
Virus Echo (34 tipos)  
Virus Coxsackie, grupo A (26 tipos)  
Virus Coxsackie, grupo B (6 tipos)  
Virus Reo (3 tipos)

El virus más importante asociado con epidemias de origen hídrico es la hepatitis infecciosa. Los demás son todos factores potenciales de epidemias de origen hídrico pues son arrojados en los excrementos humanos, aunque no existen pruebas evidentes de su diseminación en suministros de agua, hasta la fecha.

Los virus del grupo Adeno, generalmente, causan enfermedades del tracto respiratorio o los ojos; aunque no se ha comprobado su diseminación en piscinas. Tanto los virus Echo como los Coxsackie deben también considerarse como agentes potenciales de enfermedades transmisibles por el agua. Los virus del polio causan poliomielitis parálisis y meningitis aséptica; los virus Coxsackie producen herpangina, meningitis aséptica, parálisis pleurodinia y miocarditis infantil aguda; los virus Echo originan meningitis, fiebre y erupciones, diarrea y enfermedades respiratorias. Los virus no se pueden cultivar en medios artificiales en el laboratorio como se hace con las bacterias, pues deben desarrollarse sobre células vivas y su estudio requiere técnicas especializadas.

## **1.7 Patógenos bacterianos<sup>7</sup>**

La materia fecal contiene más de  $10^{12}$  bacterias por gramo. El contenido bacterial de las heces representan aproximadamente el 9% por peso de muestra húmeda. Las bacterias del agua residual han sido caracterizadas y distribuidas en los siguientes grupos

1.- Bacterias Gram-negativas anaerobias facultativas (Aeromonas, Plesiomonas, Vibrio, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella y Shigella).

---

<sup>7</sup>Bitton, Gabriel. (1994). *Wastewater microbiology*. Ed. Willey-Liss Inc. EUA.

2.- Bacterias Gram-negativas aerobias (*Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium* y *Acinetobacter*).

3.- Bacterias Gram-positivas formadoras de esporas (*Bacillus* spp).

4.- Bacterias Gram-positivas de esporas (*Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Rhodococcus*).

Una compilación de las bacterias más importantes que pueden ser patógenos para los humanos y que pueden ser transmitidas directa o indirectamente por la vía del agua se muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2  
Principales enfermedades bacterianas transmitidas por el agua

<b>Agente bacteriano</b>	<b>Enfermedad principal</b>	<b>Deposito principal</b>	<b>Principal zona afectada</b>
<b>Salmonella typhi</b>	Fiebre tifoidea	Heces humanas	Tracto gastrointestinal
<b>Salmonella paratyphi</b>	Fiebre paratifoidea	Heces humanas	Tracto gastrointestinal
<b>Shigella</b>	Disentería bacilar	Heces humanas	Intestino delgado
<b>Vibrio cholerae</b>	Colera	Heces humanas	Tracto gastrointestinal
<b>Enteropathogenic E. coli</b>	Gastroenteritis	Heces humanas	Tracto gastrointestinal
<b>Yersinia enterocolitica</b>	Gastroenteritis	Heces humanas/animales	Tracto gastrointestinal
<b>Campylobacter jejuni</b>	Gastroenteritis	Heces humanas/animales	Tracto gastrointestinal
<b>Legionella pneumophila</b>	Enfermedad respiratoria aguda (enfermedad del legionario)	Aguas termales enriquecidas	Pulmones
<b>Mycobacterium tuberculosis</b>	Tuberculosis	Exudados respiratorios humanos	Pulmones
<b>Leptospira</b>	Leptospirosis (enfermedad de Weil)	Heces y orina animales	Generalizada
<b>Bacterias oportunistas</b>	Variable	Aguas naturales	Principalmente tracto gastrointestinal

*Bitton, Gabriel. "Wastewater microbiology". Ed. Willey-Liss Inc. EUA, 1994. p. 82*

## 1.8 Temperatura y crecimiento de los microorganismos<sup>8</sup>

Las temperaturas restrictivas para el crecimiento de cualquier forma viviente se encuentran generalmente entre el punto de congelación del agua y la temperatura a la cual se inactiva a los componentes celulares. Este intervalo comprende prácticamente desde valores inferiores a los 0 °C hasta un máximo de 65 a 75 °C. El límite de temperatura que permite crecimiento de las células eucarióticas complejas es generalmente más estrecho que el anterior, pues las células procarióticas son más versátiles, estando los valores extremos de temperatura que permiten el crecimiento bacteriano entre -7.5 y +75°C. Las bacterias pueden clasificarse según su temperatura óptima, que generalmente se toma como aquella a la cual se produce el máximo crecimiento. Las bacterias psicrófilas son aquellas formas con un óptimo de temperatura igual o inferior a 15 °C y con un intervalo de crecimiento comprendido entre los 0 y los 20 °C. En la naturaleza se encuentran a menudo en los climas más fríos, en los suelos congelados y en el agua; tienen cierta importancia, por crecer en alimentos refrigerados y otros productos. En el extremo opuesto se encuentran las bacterias termófilas, cuya temperatura óptima supera los 45°C, soportando un máximo de unos 75°C, soportando un máximo de unos 75°C. Estos microorganismos pueden hallarse en el suelo y en el agua particularmente en los de mayores temperaturas ambientales. Las bacterias mesófitas son aquellas cuya temperatura óptima alcanza valores medios, generalmente de unos 37°C; La gran mayoría de las bacterias se engloban dentro de este grupo. La mayor parte de las bacterias patógenas, si no todas, son mesófilas y su temperatura óptima se halla con frecuencia próxima a la del huésped natural.

## 1.9 Clasificación y propiedades de los bacilos entéricos

La diferenciación y caracterización de los bacilos entéricos o enterobacteriáceas, se basan en una variedad de reacciones bioquímicas y de cultivo, así como en la estructura antigénica; estas bacterias son mejor conocidas según estos criterios convencionales que cualquier otro grupo de microbios.

---

<sup>8</sup>Freeman, Bob. (1989). *Burrows, Textbook of Microbiology*. Ed. McGraw Hill. EUA.

Una diferenciación primaria útil puede basarse en la fermentación de la lactosa, que se relaciona de manera aproximada con la patogenicidad. Las bacterias coliformes fermentan este carbohidrato con rapidez, formando ácido y gas en 24 horas, en tanto que las bacterias de otros grupos fundamentalmente patógenos no la fermentan

Entre los bacilos entéricos más destacables tenemos la Salmonella, Citrobacter, Shigella, Klebsiella, Aerobacter, Escherichia, entre otros.

## 1.10 El grupo coliforme<sup>1</sup>

El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aerobias y facultativas anaerobias, Gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un periodo de 48 horas a 35°C (o 37°C).

El número de organismos coliformes en los excrementos humanos es muy grande; la excreción diaria por habitante varía entre  $125 \times 10^9$  y  $400 \times 10^9$ . Su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de la ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos. En aguas residuales la relación de organismos coliformes con organismos entéricos patógenos es muy grande, del orden  $10^6/L$ .

Tabla 1.3  
Valores guía para la calidad bacteriológica del agua potable.

Organismos	Guía
Toda el agua destinada para consumo	
E. coli o bacterias coliformes termotolerantes * +	No deben detectarse en ninguna muestra de 100 mL.
Agua tratada entrante al sistema de distribución	
E. coli o bacterias coliformes termotolerantes	No deben detectarse en ninguna muestra de 100 mL.
Bacterias coliformes totales	No deben detectarse en ninguna muestra de 100 mL.
Agua tratada dentro del sistema de distribución	
E. coli o bacterias coliformes termotolerantes	No deben detectarse en ninguna muestra de 100 mL.
Bacterias coliformes totales	No deben detectarse en ninguna muestra de 100 mL. En caso de grandes grandes suministros donde son examinadas suficientes muestras, no deben presentarse en el 95% de las muestras tomadas a lo largo de un periodo de 12 meses.

Se deben tomar acciones inmediatas de investigación en caso de detectar E. coli o bacterias totales coliformes. La mínima acción en caso de bacterias totales coliformes es repetir el muestreo; si se vuelven a detectar estas bacterias, la causa debe ser determinada por investigaciones adicionales inmediatas.

\*A pesar de que el E. coli es el indicador más preciso de contaminación fecal, el conteo de bacterias coliformes termotolerantes es una alternativa aceptable. Si es necesario, se deben llevar a cabo pruebas confirmatorias. Las bacterias coliformes totales no son indicadores aceptables de la calidad sanitaria de

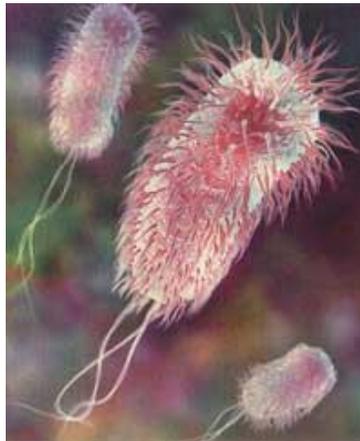
suministros de agua rural, particularmente en áreas tropicales donde muchas de las bacterias de insignificancia sanitaria son recurrentes en casi todos los suministros sin tratamiento.

+ Es conocido que la contaminación fecal esta extendida en todos los suministros de agua rural de países en desarrollo. Bajo estas condiciones, la agencia de vigilancia nacional debe establecer objetivos de termino medio para el mejoramiento progresivo del suministro de agua.

Gray, N.F. "Drinking Water Quality Problems and solutions". Ed. John Wiley and sons. Inglaterra, 1994.

Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos sino también pueden originarse en animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente, o de una combinación de las tres fuentes. Aunque no es posible distinguir entre coliformes de origen humano o animal, existe un ensayo espacial para diferenciar entre coliformes fecales y coliformes del suelo.

Figura 1.1  
Bacteria Coliforme



Fuente:[http://coli.usal.es/Web/demo\\_fundacua/demo2/FiltraMembColiT\\_auto.html](http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html) (Revisado el dia 23 de junio de 2017)

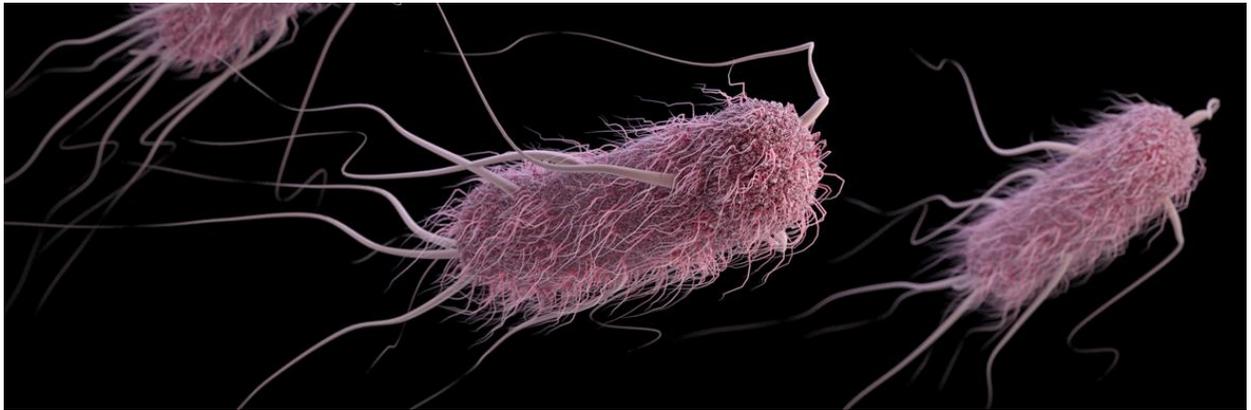
## 1.11 Escherichia<sup>8</sup>

Escherichia coli, uno de los primeros bacilos entéricos descritos y cultivados, es un habitante normal del tracto intestinal del hombre y de los animales. En este lugar, E. coli es raramente responsable de gastroenteritis, pero es una causa bastante frecuente de infecciones del tracto urinario y de septicemia y meningitis neonatal.

La E. coli está asociada con por lo menos cuatro tipos de enfermedad entérica humana: enteropatogénica, enterotoxigénica, enteroinvasora y hemorrágica. Las cepas

enteropatógenas producen diarrea, con mayor frecuencia en lactantes, por mecanismos desconocidos. Estos microorganismos se reconocen mediante pruebas serológicas y pertenecen a un grupo limitado de serotipos específicos. Si bien muchas de estas cepas producen factores desconocidos de patogénesis, son capaces de causar diarrea en voluntarios normales. La ocurrencia de diarrea debido a *E. coli* enteropatógena parece haber decrecido marcadamente en los últimos 20 años.

Figura 1.2  
Escherichia Coli



Fuente: <https://www.cdc.gov/ecoli/index.html> (revisado el 23 de junio de 2017)

Las cepas enterotoxigénicas de *E. coli* causan diarrea secretora por la elaboración de enterotoxinas termolábiles y/o termoestables. Los factores de adherencia a superficies son también importantes y parecen ser requeridos por los microorganismos para adherirse a la mucosa intestinal donde elaboran la o las toxinas. Las cepas enterotoxigénicas de *E. coli* producen típicamente diarrea líquida y están a menudo implicadas en casos de diarrea del viajero. La importancia de la *E. coli* enterotoxigénica en la enfermedad diarreica en los EE. UU. Es desconocida debido a la falta de métodos prácticos para la detección de enterotoxinas.

Las cepas enteroinvasoras de *E. coli* causan una enfermedad disenteroide similar a la infección por *Shigella*. Estas cepas de *E. coli* invaden las células mucosales, causando su destrucción, con desprendimiento de áreas del revestimiento de la mucosa. Típicamente, los pacientes con diarrea por *E. coli* enteroinvasora tienen deposiciones con sangre, mucus y leucocitos polimorfonucleares. Se considera que las cepas enteroinvasoras de *E. coli* son menos frecuentes que las enterotoxigénicas, pero en los EE. UU. se desconoce la

verdadera importancia de las *E. coli* enteroinvasoras ya que no se dispone de un ensayo adecuado para su empleo en los laboratorios clínicos que permita detectar esas cepas. La reciente asociación de un plásmido de alto peso molecular con invasividad podría proveer un marcador útil para la detección de estos microorganismos.

La colitis hemorrágica es una infección entérica recientemente reconocida, debida a cepas de *E. coli* de un serotipo específico, 0157:H7. Estas cepas causan una diarrea severa caracterizada por sangre bien visible en las heces.

### **1.12 Coliforme total, Coliforme Fecal y *E. Coli*<sup>9</sup>**

Entre las características más destacables de estos tres tipos de coliformes se tienen las siguientes:

- **Organismos coliformes totales**

Organismos aerobios o anaerobios facultativos capaces de crecer a 35 °C en un medio líquido de lactosa, con producción de ácido y gas en un período de 48 h.

- **Organismos coliformes fecales (termotolerantes)**

Organismos coliformes como los que describen a los organismos coliformes totales los cuales tienen las mismas propiedades fermentativas en un periodo de 24 h a 44,5 °C ± 0,2 °C.

- ***Escherichia coli* (*E. coli*)**

Organismos coliformes fecales (termotolerantes), los cuales además producen indol a partir de triptófano en un lapso de 24 h a 44,5 °C ± 0,2 °C.

### **1.13 Esterilización<sup>6</sup>**

En el sentido bacteriológico esterilización significa la acción que logre la completa ausencia de microorganismos capaces de crecimiento; por consiguiente, la esterilización

---

<sup>9</sup>Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. *Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli-Método del número más probable en tubos múltiples* (Cancela a la NMX-AA-42-1987).

requiere que todos los organismos presentes en un material determinado sean incapaces de reproducción. Factores por considerar en la aplicación de cualquier agente de esterilización son la tasa de mortalidad del organismo que se ha de destruir, el tiempo de exposición al agente letal y el tamaño inicial de la población de organismos.

En el laboratorio la esterilización es un proceso necesario para poder realizar los ensayos bacteriológicos, para identificar especies de organismos y para asegurar que no se introduzca ninguna contaminación a la muestra sometida a análisis.

### **1.14 Problemática del agua contaminada con microorganismos patógenos<sup>10</sup>**

Para calmar la sed del hombre, el agua potable debe ser pura y tener buen sabor. Por lo tanto, debe encontrarse libre de organismos patógenos; de sustancias venenosas o fisiológicamente indeseables; y por otra parte debe ser atractiva a los sentidos. En el comienzo histórico del abastecimiento comunal del agua en los países de escaso desarrollo, fueron sumamente peligrosos los brotes recurrentes de fiebres entéricas, atribuibles a los aprovisionamientos de agua potable. Para que el agua sea aceptable y útil en términos generales, ha llegado a adquirir máxima importancia el que el agua sea microbiológicamente segura para su consumo doméstico e industrial.

Sin embargo, aún hoy en día, las fallas humanas y mecánicas, ya sea por separado o combinadas, disminuyen las barreras establecidas contra la infección, y contaminan los suministros de agua que por largo tiempo se han reconocido como seguros. Es por esto que el cuidado del agua aún constituye la responsabilidad más esencial e indiscutible de las autoridades respectivas: desde ingenieros, y personal en general, hasta el empleado de más reciente ingreso.

Un ejemplo de negligencia en el manejo de las aguas lo constituye el brote de fiebre tifoidea que apareció en Croydon (Londres), Inglaterra, en 1937. En este caso, un

---

<sup>10</sup> Fair, Gordon. (1979). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. Ed. Limusa. México.

trabajador que resultó ser un portador de fiebre tifoidea y que no obedeció las reglas sanitarias durante el trabajo en el tiro de un pozo, contaminó el suministro y causó 341 casos de tifoidea, con 43 muertes. Puede mencionarse como otro ejemplo, el brote de fiebre tifoidea en Rochester, N.Y., en 1940. Aproximadamente 30 000 casos de enteritis leve y 5 casos de fiebre tifoidea fueron la consecuencia de abrir inadvertidamente una válvula que servía como conexión de emergencia entre el abastecimiento industrial contaminado de la ciudad y su suministro de agua potable.

En las aguas existen cinco clases de organismos capaces de infectar al ser humano: bacterias, protozoarios, helmintos, virus y hongos. Algunos de estos completan su ciclo de vida al pasar a través de un portador acuático intermedio. Otros son simplemente transportados por el agua de un hombre a otro hombre, con gran riesgo para ellos mismos. Como ejemplos de portadores acuáticos pueden mencionarse ciertas especies de moluscos que evacúan larvas productoras de la esquistosomiasis, y un minúsculo crustáceo que hospeda al agente infectante de la dracontiasis. Como ejemplo de organismos que diseminan enfermedades a través del agua como componente en la vía fecal-oral, están las bacterias del cólera y de la fiebre tifoidea; durante el siglo XIX los primeros sistemas de aguas y aguas residuales transportaban y diseminaban estas bacterias. Debido a su distribución geográfica, la esquistosomiasis y la dracontiasis reciben el nombre de enfermedades tropicales y aunque en el agua se encuentran hongos parasitarios, parece que no infecta al hombre a través de ella.

### **1.15 Problemática del agua purificada en México.**

México dispone aproximadamente el 0.1% del total de agua dulce disponible a nivel mundial, lo que determina que un porcentaje importante del territorio esté catalogado como zona semidesértica.

El agua es necesaria para todas las formas de vida, es un elemento crucial para el funcionamiento de los ecosistemas y la provisión de servicios ambientales de los que dependemos para sobrevivir y es un factor estratégico para el desarrollo del país.

México recibe alrededor de 1,489 mil millones de metros cúbicos al año de agua en forma de precipitación, de los cuales el 67% cae entre junio y septiembre, sobre todo en la región sur-sureste (Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco), donde se recibe 49.6% de la lluvia.

De este total 73% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, 22% escurre por los ríos o arroyos y 6% se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos.

Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, México tiene 471.5 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable por año y está considerado como un país con baja disponibilidad de agua.

Un aspecto importante a considerar en la disponibilidad de agua es el incremento de la población y su concentración en zonas urbanas. Según estimaciones de Conapo, entre 2012 y 2030 la población del país se incrementará en 20.4 millones de personas. Además, para 2030, aproximadamente 75 por ciento de la población estará en localidades urbanas. El incremento de la población ocasionará la disminución del agua renovable per cápita a nivel nacional.

En 2012, con una población de 117 millones de habitantes, la disponibilidad natural media por habitante se calculaba en 4,028 metros cúbicos por año. Se estima que para 2030, con el aumento de la población y el deterioro de los cuerpos de agua descenderá hasta 3,430 metros cúbicos por habitante por año.

Otro aspecto significativo es el incremento del consumo de agua per cápita: en 1955, cada mexicano consumía alrededor de 40 litros al día; se calcula que en 2012 el consumo aumentó a 280 litros por persona al día.<sup>11</sup>

En México hay un manejo inadecuado de los recursos hídricos y un servicio deficiente, advierten especialistas, quienes aseguran que el suministro suele ser insuficiente, irregular y de baja calidad.

---

<sup>11</sup> [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722\\_mexico\\_consumo\\_agua\\_embotellada\\_jp](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722_mexico_consumo_agua_embotellada_jp)

El abastecimiento de agua se da por tres vías: la red de servicio público, la compra de agua embotellada (desde los 325 mililitros hasta los garrafones de 20 litros) y las pipas (camiones cisterna que suelen contener 10.000 litros).

Según cifras de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), a fines de 2013 —últimos datos disponibles— la cobertura de agua potable a nivel nacional era de 92,3% (95,4% en zonas urbanas y 81,6% en zonas rurales).

De acuerdo a datos de la consultora Euromonitor International, México fue el año pasado el principal consumidor de agua embotellada en el mundo. Cada mexicano tomó 163,5 litros. De esta forma, los hogares terminan desembolsando entre 5% y 10% de sus ingresos en agua embotellada.<sup>12</sup>

## **1.16 Problemática del agua purificada en la FES Zaragoza**

El proyecto de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza es relativamente nuevo. Gracias a éste los alumnos tienen acceso a un agua que debe de cumplir con las diferentes normas internacionales y, sobre todo, nacionales las cuales deben ser monitoreadas regularmente, según el parámetro a revisar.

Gracias a las entrevistas y encuestas realizadas al coordinador del proyecto, los operadores de la Planta Purificadora y a la comunidad en general que frecuenta las instalaciones de la Facultad, obtuvimos respuestas a las dudas de calidad que tienen todos los consumidores. ¿Qué criterios se toman para regular la calidad del agua? ¿A qué norma esta sujeta esta calidad? ¿Qué importancia le dan los consumidores a esta calidad? Y la más importante, la que le da sentido a esta investigación, ¿Crees tú que el agua proveniente de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza tiene una calidad confiable? Muchos dieron una respuesta negativa a esta pregunta, llegando la mayor parte de estas personas a la conclusión de que ésta necesitaba tener análisis que determinaran su estado libre de microorganismos patógenos. La importancia de este

---

<sup>12</sup> <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/>

trabajo radica en una manera practica, eficaz y viable para realizar un analisis microbiológico de manera óptima al agua potable proveniente de la Planta Purificadora.

En la Figura 1.3 se muestran los factores principales que influyen en la contaminación del agua de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza.

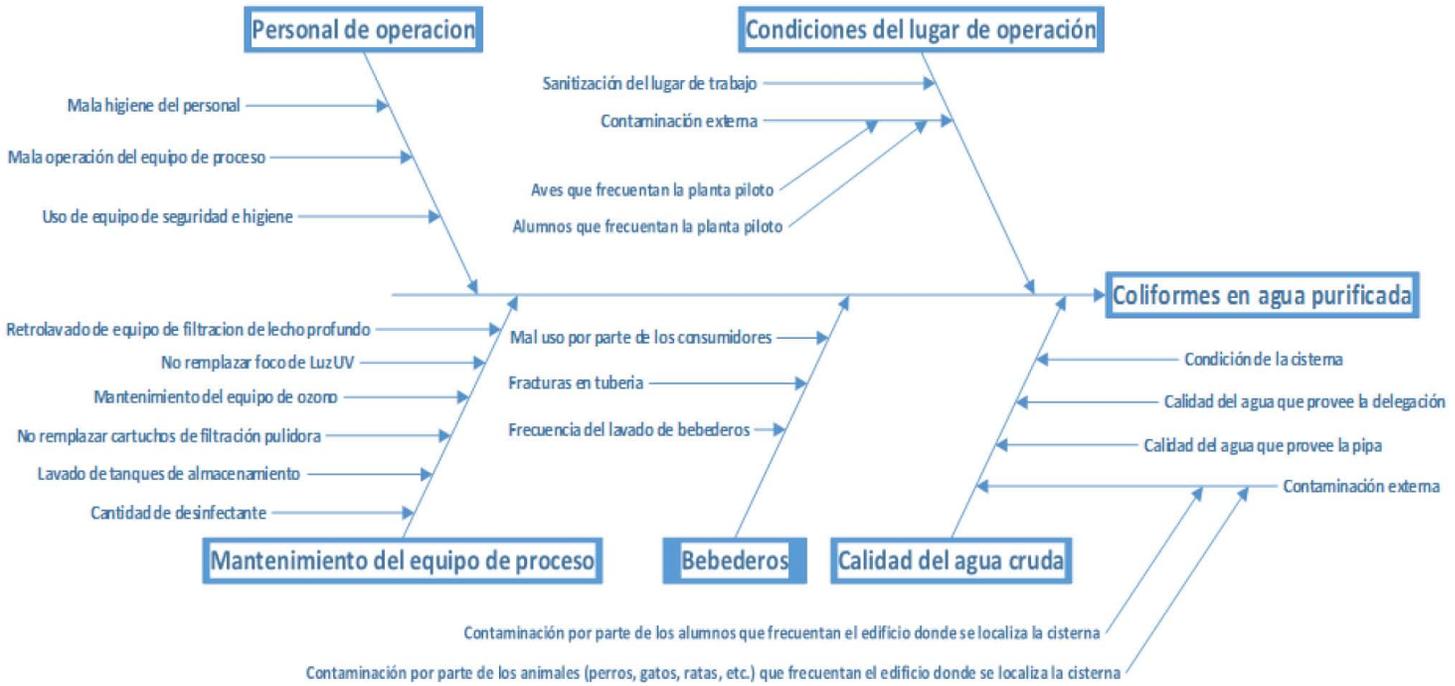


Diagrama Causa – Problema de la Contaminación del agua de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza Figura 1.3

# CAPÍTULO 2

## REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE LA CALIDAD DEL AGUA



## 2. CAPÍTULO 2

# REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE LA CALIDAD DE AGUA

### 2.1 Normatividad del agua<sup>13</sup>

Antes de 1914, Estados Unidos no contaba con un conjunto consistente de reglamentos con respecto al agua potable. Este año el Congreso promulgó el Safe Drinking Water Act (SDWA), donde se pide a la EPA el establecimiento de normas nacionales uniformes para el agua potable en ese país, los departamentos estatales de salud pública son los responsables de asegurar que se cumplan los reglamentos nacionales u otros más estrictos (si acaso existen).

La promulgación de la ley llevo a la EPA a la emisión de normas para el agua potable, por ejemplo: los niveles (concentraciones) máximos de contaminantes (NMC). Estas normas limitan la cantidad de cada sustancia que puede contener un agua tratada. En la actualidad hay más de 80 NMC. Todos los NMC se establecen con base en valores que protejan la salud humana. Con respecto a la mayor parte de los contaminantes los límites se determinan evaluando riesgos por cáncer y otros padecimientos que se deban a la exposición a una sustancia en el agua potable. La EPA establece los NMC para productos cancerígenos determinando el nivel que limite el riesgo adicional de cáncer para un individuo de 1:10 000 y 1:1 000 000. En cuanto a contaminantes microbiológicos que constituyan una amenaza inmediata, las normas se establecen de tal modo que se proteja la salud humana.

Con base en esta ley, la EPA ha promulgado dos tipos de normas con respecto al agua potable. La primera, ya descrita, la forman normas primarias que se elaboraron para proteger la salud humana e incluyen los NMC. El segundo tipo, o normas secundarias de

---

<sup>13</sup> Davis, Mackenzie. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. Ed. McGraw Hill. México.

agua para beber, se basa en el objetivo de proporcionar agua estéticamente agradable. Los NMC secundarios (NMCS) son recomendaciones, y como tales no son obligatorios.

En 1996 el presidente Clinton firmó las Safe Drinking Water Amendments, que se incorporaron a la ley. Esas enmiendas obligan a que los servicios de agua proporcionen información más completa a sus clientes acerca de la calidad del agua. Se piden informes de confianza del consumidor que documenten la fuente del agua potable de cada persona, vigilen los resultados y proporcionen información acerca de las preocupaciones con la salud relacionadas con violaciones a la SDWA. Además, las enmiendas promueven mayor participación del público y subrayan la protección de fuentes de agua, enfocándose más en la identificación de causas potenciales de contaminación de fuentes de agua potable antes de que presenten problemas. Asimismo, esa ley federal requiere hoy la certificación de los operadores de las plantas.

La EPA no ha definido un NMC para algunos contaminantes, sino que detalló una técnica específica de tratamiento. Con respecto a esos contaminantes se usa la notación TT (técnica de tratamiento) en lugar de un NMC. Las técnicas de tratamiento son procesos específicos para tratar el agua, por ejemplo: coagulación, filtración, ablandamiento con cal e intercambio iónico.

## **2.2 Otras Normas<sup>11</sup>**

Aunque la EPA ha establecido concentraciones máximas de contaminantes posibles en aguas potables, los gobiernos estatales en Estados Unidos pueden exigir el cumplimiento de reglamentos más estrictos. Además, otras agencias, como la American Water Works Association (AWWA) o la Organización Mundial de la Salud, tienen su propio conjunto de recomendaciones o metas. En Europa las normas las establece la Unión Europea.

## 2.3 Normatividad Mexicana del Agua

En cuanto a la normatividad mexicana éstas están regidas por instituciones y organismos gubernamentales dentro de los cuales destacan la Secretaría de Salud (SSA), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), entre otras.

Entre las normas que rigen el agua tenemos las Normas Oficiales Mexicanas y las Normas Mexicanas.

## 2.4 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)<sup>14</sup>

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las Dependencias de la Administración Pública Federal, que establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

## 2.5 Normas Mexicanas (NMX)<sup>15</sup>

Las Normas Mexicanas (NMX) son regulaciones técnicas de aplicación voluntaria expedidas por la Secretaría de Economía, las cuales prevén para un uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) referentes al agua son las que se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1  
Normas Oficiales Mexicanas vigentes para todo tipo de agua.

NOM	Título
-----	--------

<sup>14</sup> <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-oficiales-mexicanas>

<sup>15</sup> <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-mexicanas-del-sector-ambiental>

<b>NOM-041-SSA1-1993</b>	Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.
<b>NOM-120-SSA1-1994</b>	Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas.
<b>NOM-127-SSA1-1994</b>	Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
<b>NOM-130-SSA1-1995</b>	Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
<b>NOM-131-SSA1-1995</b>	Bienes y servicios. Alimentos para lactantes y niños de corta edad. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
<b>NOM-160-SSA1-1999</b>	Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada.
<b>NOM-179-SSA1-1998</b>	Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.
<b>NOM-041-SSA1-1998</b>	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Equipos de tratamiento de tipo doméstico. Requisitos sanitarios.
<b>NOM-201-SSA1-2002</b>	Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.

Dado a que nosotros nos centraremos en el análisis de Coliformes Totales y Fecales de dos tipos de agua (potable y purificada), nos limitaremos a lo estipulado en las Normas Oficiales Mexicanas, y Normas Mexicanas que se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2  
Normas que sustentan nuestro proyecto

Norma	Título
NOM-014-SSA1-1993	Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
NOM-041-SSA1-1993	Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias
NOM-112-SSA1-1994	Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.
NOM-127-SSA1-1994	Salud ambiental – Agua para uso y consume humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
NOM-160-SSA1-1995	Bienes y servicios. Buenas practices para la producción y venta de agua purificada.
NOM-179-SSA1-1998	Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.
NOM-201-SSA1-2015	Productos y servicios. Agua y hielo para consume humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.
NMX-AA-42-1987	Calidad del agua – Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva.
NMX-AA-102-SCFI-2006	Calidad del agua – Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y escherichia coli presuntiva – método de filtración en membrana (cancela a la nmx-aa-102-1987).

En la tabla 2.3 se muestran los límites máximos permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano los cuales se especifican en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3  
Límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano.<sup>16</sup>

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>LÍMITE PERMISIBLE</b>
<b>Organismos coliformes totales</b>	2 NMP/100 mL 2 UFC/ 100 mL
<b>Organismos coliformes fecales</b>	No detectable NMP/100mL Cero UFC/100 mL
<b>Color</b>	20 unidades de color verdadero en la escala de platino – cobalto
<b>Olor y sabor</b>	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
<b>Turbiedad</b>	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o un equivalente en otro método.
<b>Aluminio</b>	0.20
<b>Arsénico</b>	0.05
<b>Bario</b>	0.70
<b>Cadmio</b>	0.005
<b>Cianuros (como CN-)</b>	0.07
<b>Cloro residual libre</b>	0.2 - 1.5
<b>Cloruros (como Cl-)</b>	250.00
<b>Cobre</b>	2.00
<b>Cromo total</b>	0.05
<b>Dureza total (como CaCO<sub>3</sub>)</b>	500.00
<b>Fenoles o compuestos fenólicos</b>	0.001
<b>Fierro</b>	0.30
<b>Fluoruros (como F-)</b>	1.50
<b>Manganeso</b>	0.15
<b>Mercurio</b>	0.001
<b>Nitratos (como N)</b>	10.00
<b>Nitritos (como N)</b>	0.05
<b>Nitrógeno amoniacal (como N)</b>	0.50
<b>pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH</b>	6.5 – 8.5
<b>Plaguicidas en microgramos/l: Aldrin y dieldrín (separados o combinados)</b>	0.03
<b>Clordano (total de isómeros)</b>	0.3
<b>DDT (total de isómeros)</b>	1.00
<b>Gamma-HCH (lindano)</b>	2.00
<b>Hexaclorobenceno</b>	0.01
<b>Heptacloro y epóxido de heptacloro</b>	0.03
<b>Metoxicloro</b>	20.00
<b>2, 4 – D</b>	50.00
<b>Plomo</b>	0.025
<b>Sodio</b>	200.00
<b>Sólidos disueltos totales</b>	1000.00

<sup>16</sup>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.*

<b>Sulfatos (como SO4=)</b>	400.00
<b>Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)</b>	0.50
<b>Trihalometanos totales</b>	0.20
<b>Zinc</b>	5.00
<b>Radiactividad alfa global</b>	0.1
<b>Radiactividad beta global</b>	1.0

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994, "Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

En el año 2000 se realizó una modificación a los parámetros establecidos en la tabla 2.3, con lo que las modificaciones quedan de la manera descrita en la tabla 2.4

Tabla 2.4  
Modificaciones a la NOM-127-SSA-1994

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>LÍMITE PERMISIBLE ANTES DE LA MODIFICACIÓN</b>	<b>MODIFICACIÓN</b>
<b>Organismos coliformes totales</b>	2 NMP/100 mL 2 UFC/ 100 mL	Ausencia o no detectables
<b>Organismos coliformes fecales</b>	No detectable NMP/100mL Cero UFC/100 mL	Ausencia o no detectables

Con estas modificaciones se llegó a la conclusión de que no es necesario hacer un análisis cuantitativo, sino uno cualitativo en el cual solo se determine su presencia/ausencia.

## 2.6 Examen Bacteriológico del Agua<sup>6</sup>

El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias. El examen bacteriológico de abastecimientos de agua, no implica la búsqueda directa de los gérmenes patógenos. El ensayo se basa en el supuesto de que todas las aguas contaminadas con las de cloaca son potencialmente peligrosas. Por consiguiente, el control sanitario del agua se hace con métodos bacteriológicos para determinar la presencia de contaminación fecal. Los ensayos para determinación de patógenos no se usan rutinariamente debido a que detectarlos en diluciones altas es muy difícil y además se encuentran en número muy inferior al de las bacterias entéricas las cuales tienen una tasa de mortalidad mucho más lenta.

El examen bacteriológico del agua usualmente involucra dos ensayos; la estimación del número de bacterias de acuerdo con el conteo total en placa y la determinación, más significativa, de la presencia o ausencia de miembros del grupo coliforme.

## 2.7 Criterios de calidad bacteriana<sup>6</sup>

En general, se han recomendado los siguientes criterios de calidad bacteriológica; en aguas para uso agrícola con restricciones, el conteo promedio de coliformes fecales debe ser menor de 5000/100 mL; en aguas para riego sin restricciones, la concentración de coliformes fecales debe ser menor de 100/100mL, y en aguas para consumo humano, el conteo de coliformes debe ser menor de 1/ 100 mL o 2.2/100 mL según la tabla de NMP.

Los requerimientos de muestreo y las normas de calidad bacteriológica para abastecimientos de agua se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5  
Requerimientos de muestreo para suministros de agua potable (Dcto 2105/83)

Análisis	Frecuencia		
	Población servida	No. Mínimo de muestras por mes	Intervalo máximo entre muestras
<b>FISICO-QUIMICOS</b>	<2.500	1	1 mes
<b>pH, color, turbiedad,</b>	2.500 – 10.000	4	1 semana
<b>alcalinidad, cloruros,</b>	10.001 – 50.000	8	4 días
<b>sulfatos, hierro, dureza</b>	50.001 – 100.000	12	3 días
<b>y cloro residual</b>	>100.000	30	1 día
<b>BACTERIOLOGICO</b>	<2.500	2	1 mes
<b>Número más probable</b>	2.500 – 10.000	8	1 mes
<b>de coliformes o conteo</b>	10.001 – 100.000	10 + 1 por c/1.000 hab.	4 días
<b>sobre filtro membrana</b>	100.001 – 500.000	90 + 1 por c/10.000 hab.	1 día
	500.001 – 1.000.000	140 + 2 por c/100.000 hab.	1 día
	>1.000.000	340 + 40 por c/1.000.000 hab	1 día

Romero, Jairo Alberto. "Calidad del agua". Ed. Alfaomega. México, 1999. p. 161

En la tabla 2.6 se incluyen los valores guía para calidad bacteriológica recomendados por la OPS-OMS.

Tabla 2.6  
Valores guía para la calidad bacteriológica

Organismo	Unidad	Valor guía	Observaciones
<b>A. Agua distribuida por tuberías</b>			
<b>A.1 Agua sometida a tratamiento que entra en el sistema de distribución</b>			
<b>Bacterias coliformes fecales</b>	Numero/100mL	0	Turbiedad <1 UTN; para
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100mL	0	la desinfección con cloro,

es preferible un pH < 8,0;  
0,2 a 0,5 mg/mL de cloro residual libre después del contacto durante 30 minutos (tiempo mínimo)

<b>A.2 Agua no sometida a tratamiento que entra en el sistema de distribución</b>			
<b>Bacterias coliformes fecales</b>	Numero/100mL	0	En el 98% de las muestras examinadas durante el año, cuando se trata de grandes sistemas de abastecimiento y se examinan suficientes muestras. Ocasionalmente en algunas muestras, pero no en muestras consecutivas
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100mL	0	
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100mL	3	
<b>A.3 Agua en el sistema de distribución</b>			
<b>Bacterias coliformes fecales</b>	Numero/100mL	0	En el 95% de las muestras examinadas durante el año, cuando se trata de grandes sistemas de abastecimiento y se examinan suficientes muestras. Ocasionalmente en alguna muestra, pero no en muestras consecutivas
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100mL	0	
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100mL	3	
<b>B. Agua no distribuida por tuberías</b>			
<b>Bacterias coliformes fecales</b>	Numero/100mL	0	No debe ocurrir en forma repetida; cuando el hecho sea frecuente y no se pueda mejorar la protección sanitaria, si es posible se deberá buscar otra fuente
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100mL	10	
<b>C. Agua embotellada</b>			
<b>Bacterias coliformes fecales</b>	Numero/100mL	0	La fuente debe estar exenta de contaminación fecal
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100MI	0	
<b>D. Abastecimiento de agua en situaciones de emergencia</b>			
<b>Bacterias coliformes fecales</b>	Numero/100MI	0	Aconseje al público hervir el agua cuando el agua no se ajusta a los valores
<b>Bacterias coliformes</b>	Numero/100MI	0	

Romero, Jairo Alberto. "Calidad del agua". Ed. Alfaomega. México, 1999. p. 163

Muchos microorganismos patógenos y parásitos son comúnmente hallados en aguas residuales domésticas, así también en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

## **2.8 Disposiciones de la EPA de Estados Unidos sobre la calidad del aguapotable<sup>11</sup>**

En los Estados Unidos se valora la calidad del suministro público de agua de acuerdo con las Interim Primary Drinking Water Regulations, emitidas en 1975 por la Environmental Protection Agency (EPA) Estas disposiciones fijan un número mínimo de muestras que deben estudiarse cada mes y establecen el número máximo de microorganismos coliformes (Nivel Máximo de Contaminación, NMC) permisible en 100 mL. de agua terminal. También obligan a que los análisis se hagan en un laboratorio autorizado.

## **2.9 Análisis del grupo coliforme<sup>10</sup>**

La determinación bacteriológica más frecuente estima la cantidad de microorganismos del grupo coliforme, el cual incluye dos géneros: *Escherichia coli* y *Aerobacter aerogenes*. El nombre del grupo se deriva de la palabra colon. Aunque *E. coli* es habitante común del tracto intestinal, el *Aerobácter* es usual en el suelo, las hojas y los granos; a veces causan infecciones del tracto urinario. El análisis de estos microorganismos se llama análisis de coliformes totales, y fue el que se seleccionó por las siguientes razones:

1. El grupo de organismos coliformes suele habitar los tractos intestinales de los humanos y otros mamíferos. Por consiguiente, la presencia de coliformes es un índice de la contaminación fecal.
2. Aun en individuos enfermos en fase aguda, la cantidad de organismos coliformes que se expulsan por las heces es muchas veces mayor que la de los organismos patógenos. Las grandes cantidades de coliformes facilitan más su cultivo que el de los organismos patógenos.
3. El grupo de organismos coliformes sobrevive periodos relativamente largos en aguas naturales, pero no se reproduce bien en este ambiente. Así, la presencia de coliformes en el agua implica contaminación fecal, más que crecimiento del organismo debido a condiciones ambientales favorables. Estos organismos

sobreviven también mejor en agua que la mayor parte de las bacterias patógenas. Eso significa que la ausencia de coliformes es una indicación razonablemente segura de que no hay patógenos presentes.

4. El cultivo de organismos del grupo coliforme es relativamente fácil. Por tanto, los laboratoristas no requieren equipo caro para realizar las pruebas.

## **2.10 Regla de los Coliformes Totales<sup>17</sup>**

La Regla de Coliformes Totales (TCR) fue promulgada en junio de 1989. Se aplica a todos los sistemas públicos de agua. Esta regla establece tanto los objetivos máximos de niveles de contaminantes como los niveles máximos de contaminantes para los niveles de coliformes totales en el agua potable. Para sistemas que toman 40 o más muestras al mes, no más del 5,0% de las muestras pueden ser coliformes totales positivas. Para aquellos sistemas que recogen menos de 40 muestras, no más de una muestra puede ser coliforme total positivo. Si un sistema excede el nivel máximo de contaminantes, debe notificar al estado y al público. La norma también sugiere que las acciones han sido tomadas por los sistemas de agua para evitar o eliminar la contaminación microbiana. Además, la norma detalla el tipo y la frecuencia de las pruebas que los sistemas de agua deben realizar. Para los sistemas que recolectan menos de cinco muestras al mes, una inspección in situ y una encuesta sanitaria deben ser realizadas por el estado o por un agente aprobado por el estado.

## **2.11 Importancia de la detección del grupo coliforme en el agua**

Para asegurar la salud de la población, al agua potable se le exige que no contenga microorganismos patógenos. Como no es práctico examinar todos éstos, se recurre a la detección de bacterias del grupo coliforme, indicativas de la contaminación de animales, y de la bacteria *E. coli*, indicativa de contaminación fecal.<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> Xie, Yuefeng. (2004). *Disinfection Byproducts in drinking water. Formation, analysis, and control*". Ed. Lewis Publishers. Estados Unidos.

<sup>18</sup> Vega de Kuyper, Juan. (2007). *Química del Medio Ambiente*. Ed. Alfaomega. Chile.

El tracto intestinal del hombre contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillo conocidas como organismos coliformes. Cada persona evacua de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias. Los organismos coliformes no son dañinos al hombre y, de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales.

Los organismos patógenos son evacuados por los seres humanos que se vean afectados con alguna enfermedad o que sean portadores de alguna enfermedad en particular. Los organismos patógenos que normalmente pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del sistema gastrointestinal, tales como la fiebre tifoidea, disentería, diarrea y, en ciertas partes del mundo, el cólera

Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y aguas contaminadas son pocos y difíciles de aislar, el organismo coliforme, que es más numeroso y de determinación más sencilla, se utiliza como organismo indicador. La presencia de organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades

Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El uso de los coliformes como organismos indicadores es problemática debido a que la *Aerobacter* y ciertas especies de *Escherichia* pueden crecer en el suelo. Por tanto, la presencia de coliformes no siempre significa contaminación con residuos humanos. Parece ser que las *Escherichia Coli* (*E. Coli*) son totalmente de origen fecal. Es difícil determinar la *E. coli* sin incluir los coliformes del suelo; como resultado de ello, todo el grupo coliforme se utiliza como indicador de la contaminación fecal.<sup>19</sup>

## **2.12 Procesos unitarios en los que se puede eliminar bacterias patógenas**

---

<sup>19</sup>Metcalf-Eddy. (1977). *Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal*. Ed. Labor. España.

### 1.1.1. Almacenamiento<sup>2</sup>

La radiación ultravioleta es otro proceso natural importante. Destruye las bacterias nocivas y algunos organismos patógenos esto en sistemas de almacenamiento en contacto directo con la radiación solar.

### 1.1.2. Clarificación<sup>2</sup>

Aquí los flóculos formados por la adición del coagulante y la floculación se eliminan por sedimentación. El proceso es diferente del proceso de sedimentación normal encontrada en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales donde el agua fluye lentamente a lo largo o a través de un tanque permitiendo a las partículas sedimentarse. En el tratamiento del agua, el agua fluye hacia arriba desde la base del tanque. Los flóculos, los cuales son más pesados que el agua, sedimentan hacia el fondo, de modo que el operador debe equilibrar la velocidad de sedimentación frente al caudal en dirección ascendente del manto grueso de lodos. Hay una capa de agua clara el agua limpia en la superficie rebasa una simple canaleta y se dirige hacia la siguiente etapa del proceso de tratamiento. Estos tanques se denominan clarificadores y son muy efectivos. Conforme los flóculos suben a través del manto se sucede otra floculación, la cual incrementa la densidad del flóculo. Para mantener el manto de lodos a la altura requerida, y que se retengan más lodos del tanque. La eliminación de lodos a la altura requerida y que se retengan más lodos del tanque. La eliminación de los lodos, o sangrado como normalmente se le denomina, se puede realizar en continuo o a intervalos. Los lodos son una mezcla concentrada de todas las impurezas encontradas en el agua, especialmente bacterias, virus, y quistes de protozoos.

### 1.1.3. Desinfección<sup>6</sup>

Aunque los filtros lentos de arena son muy eficaces para eliminar bacterias, y el proceso de coagulación es bueno para eliminar virus, el agua final contiene virus patógenos y bacterias que necesitan ser eliminadas o destruidas. En la práctica es imposible esterilizar el agua, para matar todos los microorganismos presentes debido a la alta concentración de productos químicos requeridos, harían del agua muy desagradable y posiblemente peligrosa de beber. Por lo tanto el agua se desinfecta, en lugar de esterilizarla, utilizando

uno de los métodos de desinfección como son la cloración, ozono o la radiación ultravioleta para asegurar que los patógenos se mantienen en un nivel de seguridad. De los tres métodos de desinfección la cloración es, con mucho, el método más empleado.

## 2.13 Eliminación de bacterias

Una de las maneras más efectivas de eliminar bacterias del agua es por el almacenamiento en depósitos. Durante la primavera y el verano, la luz solar, aumenta las temperaturas y los factores biológicos aseguran que ocurra la reducción entre el 90 y el 99.8% de E. coli. El porcentaje de reducción es menor durante el otoño y el invierno debido a que los principales mecanismos de eliminación son menos efectivos, de modo que la reducción esperada cae entre el 75 y el 98%. La menor reducción ocurre cuando los fepositos son agitados para prevenir la estratificación. El mayor descenso en E. coli ocurre durante la primera semana, aunque cuanto más tiempo está el agua almacenada mayor será la reducción total.<sup>20</sup>

Las bacterias son eliminadas por un número de procesos constituyentes del tratamiento del agua, especialmente coagulación, filtración sobre arena y filtración en carbón activo. La coagulación utilizando alumbre elimina alrededor del 90% de las bacterias indicadoras de contaminación fecal y alrededor de 60-70% de la cuenta total de bacterias, aunque estos datos varían ampliamente de una planta de tratamiento a otra. La filtración rápida sobre arena no es segura y es errática a no ser que el agua esté coagulada primero. Por el contrari, la filtración lenta sobre arena es capaz de eliminar hasta el 99.5% de los coliformes, aunque su rendimiento es generalmente peor en invierno. El carbón activo está siendo utilizado ampliamente para controlar el sabor y el olor en el agua potable, así como para eliminar un amplio rango de microcompuestos. Sin embargo, estos filtros pueden llegar a estar abundantemente colonizados por microorganismos heterotróficos. El diseño de planta de tratamiento más efectivo para eliminar patógenos es la filtración rápida y lenta sobre arena, seguida de cloración o tratamiento de precloración seguido de coagulación, sedimentación, filtración rápida sobre arena y post-cloracion.<sup>2</sup>

---

<sup>20</sup> Denny, S., Broberg, P. and Whitmore, T. (1990) *Microbiological hazards in water supplies*. Report F R 0114, Foundation for Water Research, Marlow.

# CAPÍTULO 3

## PLANTA PURIFICADORA DE LA FES ZARAGOZA



### 3. CAPÍTULO 3.

## PLANTA PURIFICADORA DE LA FES ZARAGOZA

### 3.1 Tipos de plantas de purificación<sup>21</sup>

La Calidad del agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra; por ello, el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable también varía. Dependiendo de la calidad del agua cruda, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económica requiere un estudio de ingeniería cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida. Como no existe una norma o fórmula que permita determinar el tipo de planta requerido para tratar un agua, es necesario realizar los estudios de tratabilidad. Se han formulado criterios generales de tratamiento de agua cruda, según la calidad de la fuente, los cuales sirven como guía. La Tabla 3.1 resume las recomendaciones sobre requisitos de tratamiento del USPHS (United States Public Health Service Commissioned) en relación con la calidad bacteriológica del agua cruda.

Tabla 3.1  
Recomendaciones sobre requisitos de tratamiento del agua cruda

Grupo	Tipo de tratamiento	Contenido de bacterias coliformes
I	Ninguno	Limitado a aguas subterráneas no sujetas a ningún tipo de contaminación.
II	Cloración	Promedio en cualquier mes 50/100 mL.
III	Completo con filtración rápida en arena y poscloración	Promedio en cualquier mes 5000/100 mL sin exceder este valor en más del 20% de las muestras examinadas en cualquier mes.
IV	Tratamiento adicional: presedimentación y precloración	Promedio en cualquier mes 5000/100 mL pero excediendo este valor en más del 20% de las muestras analizadas en cualquier mes, y sin exceder de 20000/100 mL. en más del 5% de las muestras examinadas en cualquier mes

Romero, Jairo. "Potabilización del agua". Ed Alfaomega. México, 1999. Pag. 16

<sup>21</sup>Romero, Jairo. (1999). *Potabilización del agua*. Ed Alfaomega. México.

En la Tabla 3.2 se resumen los procesos de purificación de agua más usados de la actualidad.

Tabla 3.2  
Procesos de purificación de agua

<b>PROCESO</b>	<b>PROPÓSITO</b>
<b>TRATAMIENTO PRELIMINAR</b>	
<b>Cribado</b>	Remoción de desechos grandes que pueden obstruir o dañar los equipos de la planta.
<b>Pretratamiento químico</b>	Remoción eventual de algas y otros elementos acuáticos que causan sabor, olor y color.
<b>Presedimentación</b>	Remoción de grava, arena, limo y otros materiales sedimentables.
<b>Aforo</b>	Medida del agua cruda por tratar.
<b>TRATAMIENTO PRINCIPAL</b>	
<b>Aireación</b>	Remoción de olores y gases disueltos; adición de oxígeno para mejorar sabor.
<b>Coagulación/Floculación</b>	Conversión de sólidos no sedimentables en sólidos sedimentables.
<b>Sedimentación</b>	Remoción de sólidos sedimentables.
<b>Ablandamiento</b>	Remoción de dureza.
<b>Filtración</b>	Remoción de sólidos finos, flóculo en suspensión y la mayoría de los microorganismos.
<b>Adsorción</b>	Remoción de sustancias orgánicas y color.
<b>Estabilización</b>	Prevención de incrustaciones y corrosión.
<b>Fluoración</b>	Prevención de caries dental.
<b>Desinfección</b>	Exterminio de organismos patógenos.

*Romero, Jairo. "Potabilización del agua". Ed Alfaomega. México, 1999. Pag. 18*

El agua debe purificarse para que esté siempre libre de todo organismo patógeno, es decir, que sea biológicamente segura. La desinfección es efectiva para dicho propósito si el agua carece de material suspendido. La posibilidad de que los microorganismos patógenos, especialmente los virus, se encuentren embebidos dentro de un recubrimiento protector del material que produce turbiedad en el agua hace necesario, para una buena desinfección, la remoción previa de la turbiedad.

El Comité sobre virus de la AWWA recomienda, para una desinfección apropiada, mantener niveles de turbiedad menores de 1UTJ. Lo anterior supondría, por lo tanto, como tratamiento mínimo para aguas de consumo, la filtración y la desinfección.

## 3.2 El agua purificada en la UNAM<sup>22</sup>

Los recursos hídricos en México y el mundo presentan problemas de escasez y mala calidad, los cuales son agravados por el cambio climático global, afectando a la salud humana y a los ecosistemas naturales. Por ello urgen políticas públicas y proyectos específicos para un manejo sostenible del agua, donde es relevante la formación ambiental de la población y la participación de múltiples actores de los gobiernos, la sociedad civil, los usuarios y la academia.

La Universidad Nacional Autónoma de México tiene el irrenunciable compromiso de buscar soluciones a los grandes problemas nacionales, distinguiéndose por generar propuestas para un manejo integral del agua. Al respecto, se ha establecido la Red del Agua UNAM y su Programa de Manejo, Uso y Reúso de Agua (PUMAGUA). Particularmente, se están empleando los propios espacios universitarios para mostrar a la sociedad la manera en que se puede hacer un manejo integral del agua, particularmente en Ciudad Universitaria.

Esto es particularmente relevante en el oriente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México porque son más apremiantes los problemas de escasez y contaminación. La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FESZ) también contribuye en este compromiso por el cuidado del agua. En su Plan de Desarrollo Institucional 2010-2014, a través de su Programa Ambiente Saludable, Seguro y Sustentable, se incluyen como objetivos evaluar y reducir el consumo de agua, así como promover su conocimiento, valoración y uso eficiente. Para lograr estos objetivos, la FESZ ha establecido en su *campus* universitario varios proyectos, entre los que destacan:

- Establecimiento de una red de consumo de agua purificada, integrada por bebederos y Planta Purificadora, tanto en campo uno como en campo dos.
- Análisis químico y físico del agua potable en todas sus instalaciones.

---

<sup>22</sup> [http://www.agua.unam.mx/noticias/2012/unam/not\\_unam\\_marzo01.html](http://www.agua.unam.mx/noticias/2012/unam/not_unam_marzo01.html)

En las instalaciones del campus II, específicamente en la planta piloto de Ingeniería Química, se encuentra ya en operación un sistema purificador de agua que dota del recurso a la red de bebederos con una calidad que cumple perfectamente con las normas nacionales. Gracias a este servicio, los estudiantes no tienen que consumir refrescos o aguas embotelladas, por lo que se reduce la proporción de desechos sólidos y se fomenta una cultura alimenticia más sana.

Figura 3.1  
Vista frontal de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza Campus 2



Foto tomada el 22 de junio de 2017 (Zavaleta, 2017)

El monitoreo del agua de la Planta Purificadora se realiza diariamente con pruebas rápidas y quincenalmente con un análisis de laboratorio, para determinar las características físicas, biológicas y químicas del agua, de acuerdo con las normas mexicanas. Se determina la calidad en la entrada y salida de la Planta Purificadora y en tres puntos de la red de bebederos, estas acciones favorecen el mantenimiento y aseguramiento de calidad en el sistema. Por otro lado, el agua de lluvia se analiza para identificar sus características, así como los cambios estacionales que sufre. En esta actividad participan alumnos y profesores de las carreras de Química Farmacéutico Biológica y Biología.

Estos proyectos se emplean como recursos didácticos para la sensibilización y la formación ambiental de la comunidad universitaria y representan escenarios profesionales

donde alumnos y profesores desarrollan sus trabajos, al mismo tiempo que representan ejemplos para que la población de la zona aledaña y el resto de la comunidad los tome como ejemplo y sean susceptibles de replicarse a escala regional o nacional.

De esta manera, los proyectos y acciones de la FES Zaragoza fomentan el desarrollo de modelos de gestión integrada de los recursos hídricos, contribuyendo con el cumplimiento de sus funciones sustantivas de formación profesional, investigación y difusión de la cultura ambiental.

Figura 3.2  
Vista frontal de un bebedero instalado en la FES Zaragoza Campus II



Foto tomada el día 22 de junio de 2017 (Zavaleta, 2017)

### **3.3 Tratamiento del agua en la FES Zaragoza**

Al pasar de los años la FESZ ha ido aumentando su población estudiantil rápidamente (Tabla 3.3) Con este aumento, la demanda de agua embotellada se ha visto incrementada. Con sólo echar un vistazo dentro de los contenedores, basureros y botes de reciclaje, podemos darnos una idea del consumo de los estudiantes. Esta facultad se

ha puesto en la vista de los medios y toda la comunidad estudiantil como una “Facultad Promotora de Salud”, con lo cual la Carrera de Ingeniería Química optó por desarrollar un proyecto, con el cual se buscará combatir este problema. Se construyeron dos Plantas Purificadoras de agua, la cual sería la responsable de distribuir a través de una red de bebederos el tan vital líquido.

Tabla 3.3  
Población Escolar de licenciatura 2000-2010

Ciclo escolar	Primer ingreso			Reingreso			Población total
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	
1999-2000 <sup>a</sup>	688	944	1,632	1,834	2,597	4,431	6,063
2000-2001 <sup>a</sup>	565	1,017	1,582	1,762	2,531	4,293	5,875
2001-2002	616	1,096	1,712	2,081	3,064	5,145	6,857
2002-2003	663	1,151	1,814	2,148	3,376	5,524	7,338
2003-2004	587	1,172	1,759	2,183	3,662	5,845	7,604
2004-2005	690	1,196	1,886	2,173	3,929	6,102	7,988
2005-2006	733	1,302	2,035	2,213	4,107	6,320	8,355
2006-2007	754	1,282	2,036	2,291	4,276	6,567	8,603
2007-2008	865	1,320	2,185	2,426	4,347	6,773	8,958
2008-2009	881	1,435	2,316	2,643	4,436	7,079	9,395
2009-2010	901	1,467	2,368	2,793	2,793	7,387	9,755

<sup>a</sup> Incluye nivel técnico

Fuente: UNAM, Agenda Estadística, 2000-1010.<sup>23</sup>

### 3.4 Naturaleza del agua cruda<sup>24</sup>

La FES Zaragoza cuenta con dos campus, cada uno con su propia Planta Purificadora. El agua cruda alimentada a cada Planta Purificadora es un factor importante a considerar en la optimización del proceso de purificación de agua, la calidad de la materia prima en este caso el agua potable suministrada por la delegación Iztapalapa está dentro de los parámetros de la NOM-127-SSA1-1994, en Campus I el agua llega directamente de la línea publicapor ello el suministro y la calidad son constantes, Campus II muestra una situación diferente, el agua es suministrada y almacenada en la cisterna ubicada debajo del Antiguo Edificio de Gobierno (Figura 3.3), debido a este almacenamiento de paso la calidad del agua de Campus II es menor a la de Campus I. Los fabricantes de plantas purificadoras recomiendan alimentar agua potable dentro de los parámetros de la NOM-127-SSA1-1994. Sin embargo, a pesar de que la delegación

<sup>23</sup> [http://www.estadistica.unam.mx/series\\_inst/reportes\\_institucionales/web/anexo\\_estadistico\\_fesar.htm](http://www.estadistica.unam.mx/series_inst/reportes_institucionales/web/anexo_estadistico_fesar.htm)

<sup>24</sup> González, Juan. (2014). *Optimización al proceso de purificación del agua suministrada a los bebederos de la FES Zaragoza* (tesis de licenciatura). UNAM, México.

Iztapalapa suministre agua potable bajo los parámetros de dicha norma en Campus II el almacenamiento de paso en la cisterna (Figuras 3.3) hace bajar la calidad del agua.

Figura 3.3  
Antiguo Edificio de Gobierno



Foto tomada el día 22 de junio de 2017 (Zavaleta, 2017)

Figura 3.4  
Cisterna ubicada en el Antiguo Edificio de Gobierno



Foto Tomada el día 22 de junio de 2017 (Zavaleta, 2017)

Se solicitaron al organismo responsable del control de la calidad del agua (SACMEX) los datos correspondientes de ambos campus, aunque solo se recibieron los del campus I, los cuales se muestran las tablas 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

Tabla 3.4

Parametros de calidad de "FES Zaragoza Toma domiciliaria Campo 1" correspondientes al dia 2/02/2017

PARÁMETROS	RESULTADOS		LÍMITE PERMISIBLE NOM-127-SSA1-1994	NORMA O MÉTODO DE PRUEBA
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	N.E	mg/L	Ausencia	EPA METHOD 6010-C
<b>COLIFORMES FECALES</b>	Ausencia	Col/100 mL.	Ausencia	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>COBRE</b>	Ausencia	Col/100 mL.	2.0	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>BROMODICLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>DIBROMOCLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>BROMOFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>CLOROFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>Ph</b>	7.52	UpH	6.5-8.5	NMX-AA-038-SCFI-2011
<b>TURBIEDAD</b>	0.8	UNT	5	SM-2540B, D, 21 <sup>TH</sup> , 2015
<b>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES</b>	424	mg/L	1000	SM 5540 C,21 <sup>TH</sup> ,2015
<b>SAAM</b>	<0.025	mg/L	0.50	EPA 354.1-1971
<b>NITRITOS (como N)</b>	0.14	mg/L	1.0	EPA METHOD 6010-C
<b>BARIO</b>	N.E	mg/L	0.7	EPA METHOD 6010-C
<b>CADMIO</b>	N.E	mg/L	0.005	EPA METHOD 6010-C
<b>CROMO</b>	N.E	mg/L	0.05	EPA METHOD 6010-C
<b>PLOMO</b>	N.E	mg/L	0.01	EPA METHOD 6010-C
<b>ZINC</b>	N.E	mg/L	5	EPA METHOD 6010-C
<b>ALUMINIO</b>	N.E	mg/L	0.2	EPA METHOD 6010-C
<b>FIERRO</b>	<0.100	mg/L	0.3	NMX-AA-051-SCFI-2011
<b>MANGANESO</b>	<0.100	mg/L	0.15	NMX-AA-051-SCFI-2011

Fuente, Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua, SACMEX, 2017

Tabla 3.5

Parametros de calidad de "FES Zaragoza Cisterna Campo 1" correspondientes al dia 2/02/2017

PARÁMETROS	RESULTADOS		LÍMITE PERMISIBLE NOM-127-SSA1-1994	NORMA O MÉTODO DE PRUEBA
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	N.E	mg/L	Ausencia	EPA METHOD 6010-C
<b>COLIFORMES FECALES</b>	Ausencia	Col/100 mL.	Ausencia	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>COBRE</b>	Ausencia	Col/100 mL.	2.0	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>BROMODICLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>DIBROMOCLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>BROMOFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>CLOROFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>Ph</b>	7.78	UpH	6.5-8.5	NMX-AA-038-SCFI-2011
<b>TURBIEDAD</b>	0.75	UNT	5	SM-2540B, D, 21 <sup>TH</sup> , 2015
<b>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES</b>	424	mg/L	1000	SM 5540 C,21 <sup>TH</sup> ,2015
<b>SAAM</b>	<0.025	mg/L	0.50	EPA 354.1-1971
<b>NITRITOS (como N)</b>	0.14	mg/L	1.0	EPA METHOD 6010-C
<b>BARIO</b>	N.E	mg/L	0.7	EPA METHOD 6010-C
<b>CADMIO</b>	N.E	mg/L	0.005	EPA METHOD 6010-C
<b>CROMO</b>	N.E	mg/L	0.05	EPA METHOD 6010-C
<b>PLOMO</b>	N.E	mg/L	0.01	EPA METHOD 6010-C
<b>ZINC</b>	N.E	mg/L	5	EPA METHOD 6010-C
<b>ALUMINIO</b>	N.E	mg/L	0.2	EPA METHOD 6010-C

<b>FIERRO</b>	<0.100	mg/L	0.3	NMX-AA-051-SCFI-2011
<b>MANGANESO</b>	<0.100	mg/L	0.15	NMX-AA-051-SCFI-2011

Fuente, Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua, SACMEX, 2017

Tabla 3.6

Parametros de calidad de "FES Zaragoza Toma domiciliaria Clínica" correspondientes al dia 2/02/2017

<b>PARÁMETROS</b>	<b>RESULTADOS</b>		<b>LÍMITE PERMISIBLE NOM-127-SSA1-1994</b>	<b>NORMA O MÉTODO DE PRUEBA</b>
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	N.E	mg/L	Ausencia	EPA METHOD 6010-C
<b>COLIFORMES FECALES</b>	Ausencia	Col/100 mL.	Ausencia	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>COBRE</b>	Ausencia	Col/100 mL.	2.0	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>BROMODICLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>DIBROMOCLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>BROMOFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>CLOROFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>Ph</b>	7.94	UpH	6.5-8.5	NMX-AA-038-SCFI-2011
<b>TURBIEDAD</b>	0.63	UNT	5	SM-2540B, D, 21 <sup>TH</sup> , 2015
<b>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES</b>	472	mg/L	1000	SM 5540 C,21 <sup>TH</sup> ,2015
<b>SAAM</b>	<0.025	mg/L	0.50	EPA 354.1-1971
<b>NITRITOS (como N)</b>	0.14	mg/L	1.0	EPA METHOD 6010-C
<b>BARIO</b>	N.E	mg/L	0.7	EPA METHOD 6010-C
<b>CADMIO</b>	N.E	mg/L	0.005	EPA METHOD 6010-C
<b>CROMO</b>	N.E	mg/L	0.05	EPA METHOD 6010-C
<b>PLOMO</b>	N.E	mg/L	0.01	EPA METHOD 6010-C
<b>ZINC</b>	N.E	mg/L	5	EPA METHOD 6010-C
<b>ALUMINIO</b>	N.E	mg/L	0.2	EPA METHOD 6010-C
<b>FIERRO</b>	<0.100	mg/L	0.3	NMX-AA-051-SCFI-2011
<b>MANGANESO</b>	<0.100	mg/L	0.15	NMX-AA-051-SCFI-2011

Fuente, Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua, SACMEX, 2017

Tabla 3.7

Parametros de calidad de "FES Zaragoza Cisterna Clínica" correspondientes al dia 2/02/2017

<b>PARÁMETROS</b>	<b>RESULTADOS</b>		<b>LÍMITE PERMISIBLE NOM-127-SSA1-1994</b>	<b>NORMA O MÉTODO DE PRUEBA</b>
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	N.E	mg/L	Ausencia	EPA METHOD 6010-C
<b>COLIFORMES FECALES</b>	Ausencia	Col/100 mL.	Ausencia	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>COBRE</b>	Ausencia	Col/100 mL.	2.0	SM 922 B22 <sup>ND</sup> , 2012
<b>BROMODICLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>DIBROMOCLOROMETANO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>BROMOFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>CLOROFORMO</b>	N.E	mg/L		EPA 826C-2006,REV.03
<b>Ph</b>	7.88	UpH	6.5-8.5	NMX-AA-038-SCFI-2011
<b>TURBIEDAD</b>	0.56	UNT	5	SM-2540B, D, 21 <sup>TH</sup> , 2015
<b>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES</b>	420	mg/L	1000	SM 5540 C,21 <sup>TH</sup> ,2015
<b>SAAM</b>	<0.025	mg/L	0.50	EPA 354.1-1971
<b>NITRITOS (como N)</b>	0.18	mg/L	1.0	EPA METHOD 6010-C
<b>BARIO</b>	N.E	mg/L	0.7	EPA METHOD 6010-C
<b>CADMIO</b>	N.E	mg/L	0.005	EPA METHOD 6010-C
<b>CROMO</b>	N.E	mg/L	0.05	EPA METHOD 6010-C

<b>PLOMO</b>	N.E	mg/L	0.01	EPA METHOD 6010-C
<b>ZINC</b>	N.E	mg/L	5	EPA METHOD 6010-C
<b>ALUMINIO</b>	N.E	mg/L	0.2	EPA METHOD 6010-C
<b>FIERRO</b>	<0.100	mg/L	0.3	NMX-AA-051-SCFI-2011
<b>MANGANESO</b>	<0.100	mg/L	0.15	NMX-AA-051-SCFI-2011

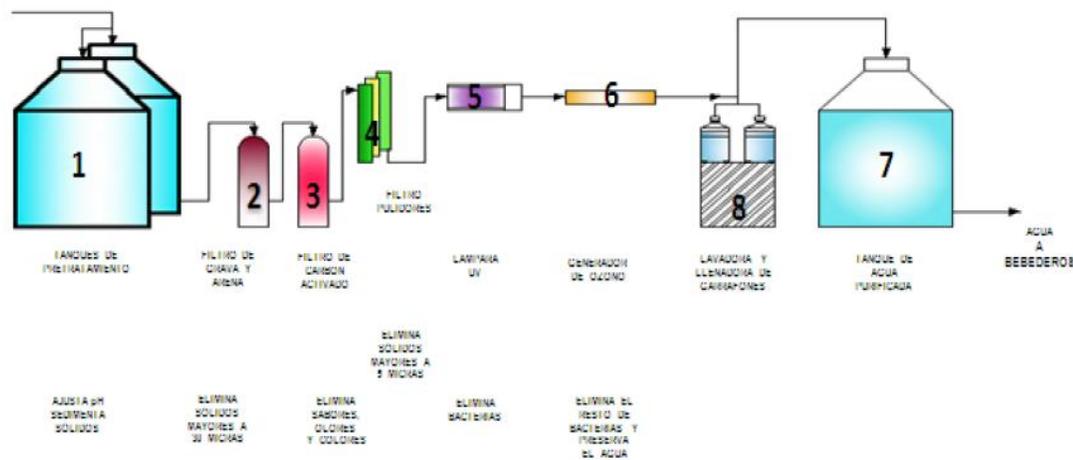
Fuente, Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua, SACMEX, 2017

Estos resultados fueron entregados personalmente por parte del M.A. Luis Arturo Correa Camacho, subdirector de control de la calidad del agua, y el Biol. Mario Melchor Méndez, Jefe de la Unidad de Análisis Instrumental y muestreo de SACMEX, en el Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua, ubicado en Av. División del Norte 3330, Col. Ciudad Jardín, en la delegación Coyoacán.

### 3.5 Proceso de purificación<sup>25</sup>

La planta esta ubicada en el Edificio de Tecnologías, específicamente dentro de la planta piloto de la carrera de Ingeniería Química de la FES Zaragoza. Esta cuenta con un tren de tratamiento en las cuales se destacan las operaciones unitarias ilustradas en la Figura 3.5.

Figura 3.5  
Tren de tratamiento de la Planta Purificadora Campus II de la FES Zaragoza, UNAM.



(Osorio & Romero, 2012)

<sup>25</sup>Osorio, Janet, & Romero, Mónica (2012). *Análisis del tratamiento y operación de la Planta Purificadora de agua en la FES Zaragoza Campus II* (tesis de licenciatura). UNAM, México.

En la tabla 3.8 se muestran los diferentes equipos que conforman el proceso de purificación de agua de ambos campus.

Tabla 3.8  
Equipos que conforman las plantas furificadoras y funcion

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>TAG</b>	<b>Función</b>
<b>Dos</b>	Tanque de Polietileno de Alta Densidad	TQ-01	Almacenar el agua cruda durante el proceso.
		TQ-02	Almacenar el agua purificada lista para distribución a bebederos.
<b>Dos</b>	Sistema hidroneumático	GA-01	Mantiene la presión en el agua durante el proceso y llenado de TQ-02.
		GA-02	Mantiene la presión en las líneas de distribución, además de mantener la presión en la recirculación hacia TQ-01
<b>Uno</b>	Filtro de Lecho Profundo	FL-01	Remueve las partículas en suspensión, subproductos de la desinfección, entre otros.
<b>Uno</b>	Filtro de Carbón Activado	FC-01	Remueve color, olor, sabor, cloro residual, subproductos de la desinfección, ayuda a dar frescura al agua.
<b>Tres</b>	Filtro pulidor	FP-01	Retiene partículas insolubles de hasta 5 micras.
		FP-02	Retiene partículas insolubles de hasta 5 micras.
		FP-03	Retiene partículas insolubles de hasta 5 micras.
<b>Uno</b>	Lámpara de luz UV	BA-01	Desinfección avanzada, elimina microorganismos restantes de la desinfección inicial.
<b>Uno</b>	Generador de ozono	BA-02	Desinfección avanzada, elimina microorganismos restantes de la desinfección inicial, funciona como conservador
<b>Uno</b>	Llenadora de Garrafrones	s/t	Llena garrafrones de agua purificada, muestreo en planta.
<b>Uno</b>	Tarja de acero inoxidable	s/t	Limpieza general y de garrafrones.

(González, 2014)

### 3.6 Planta Purificadora Campus I<sup>23</sup>

En Campus I la Planta Purificadora se encuentra dentro de un cobertizo de lámina de 25m<sup>2</sup> ubicado entre los edificios A-1, A-4 y Edificio de Gobierno, Pegada a la reja de la calle Batallon de Zacapoaxtla. La Planta Purificadora esta conformada por los equipos mencionados en la tabla 3.8.

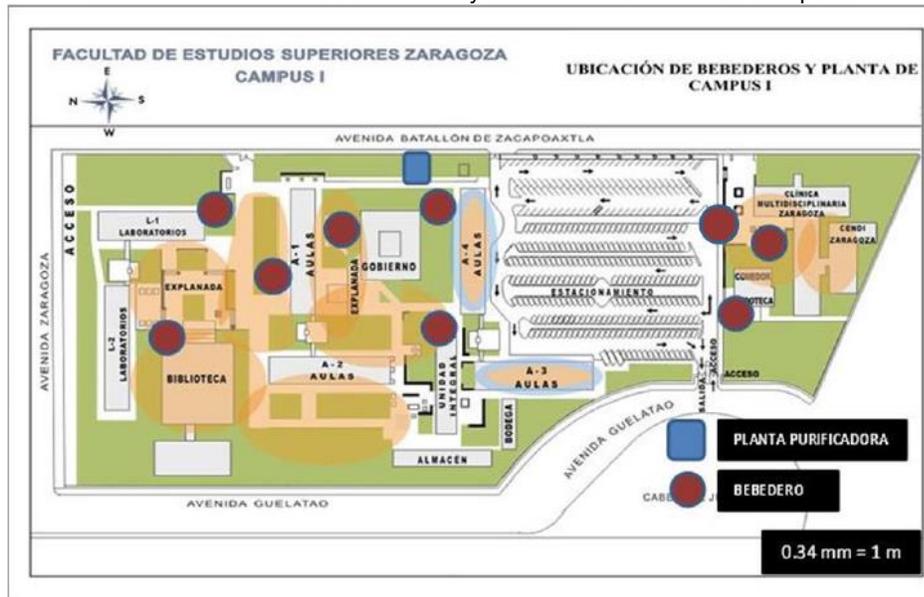
Figura 3.6  
Vista frontal de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza Campus I



(Gonzalez,2014)

La Planta Purificadora está conectada a la red de distribución, conformada por nueve bebederos los cuales se encuentran distribuidos en todo el Campus como se muestra en la Figura 3.6.

Figura 3.7  
Ubicación de la Planta Purificadora y los nueve bebederos de Campus I



(González, 2014)

### 3.7 Planta Purificadora Campus II<sup>23</sup>

La Planta Purificadora de Campus II, se encuentra ubicada dentro de la Planta Piloto de Ingeniería Química, dentro del Edificio de Tecnologías. En base al desnivel del terreno el Edificio de Tecnologías se encuentra en la parte elevada de Campus II. La Planta Purificadora está conformada por los mismos equipos de la Planta de Campus I, mencionados en la Tabla 3.8

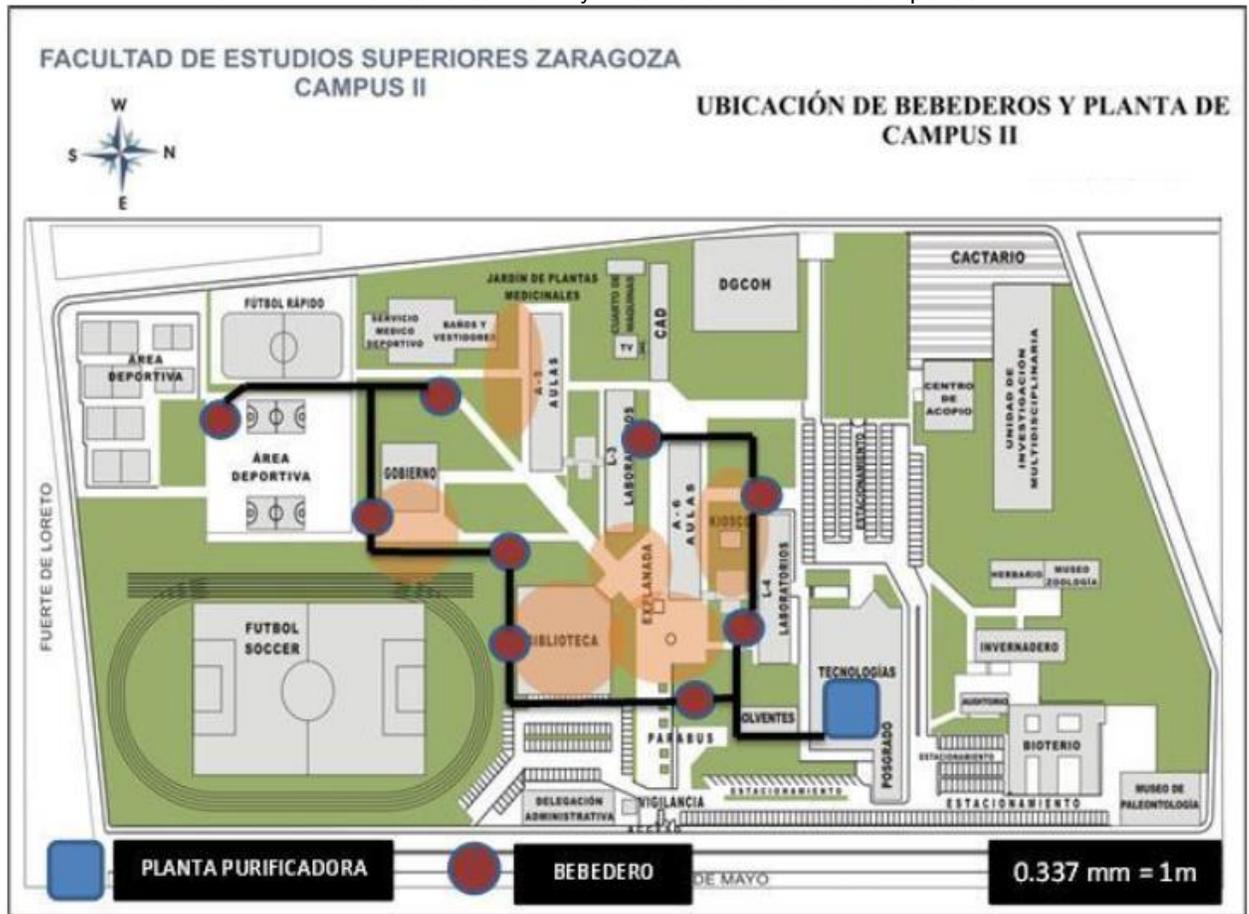
Figura 3.8  
Planta Purificadora de la FES Zaragoza Campus II



Foto tomada el 22 de junio de 2017 (Zavaleta, 2017)

La Planta Purificadora de Campus II, se encuentra conectada a una red de distribución conformada por nueve bebederos. En Campus II el desnivel generado por el terreno ayuda a la distribución de agua, y gracias a esto en algunos casos no es necesario tener el Sistema hidroneumático prendido, en comparación con Campus I.

Figura 3.9  
Ubicación de la Planta Purificadora y los nueve bebederos de Campus II.

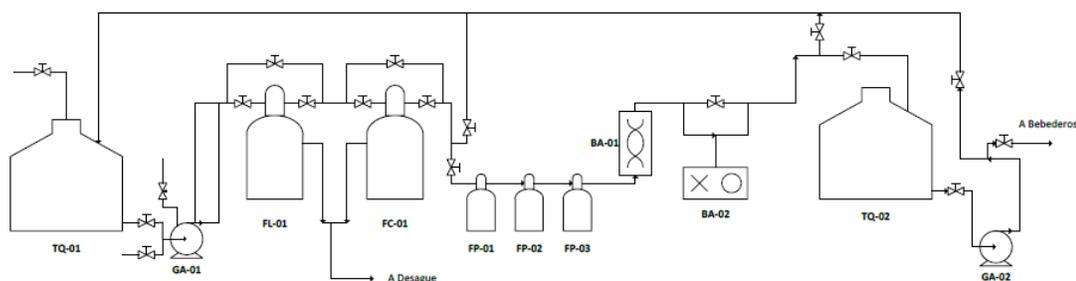


(González, 2014)

### 3.8 Descripción del Proceso de Purificación<sup>23</sup>

El proceso de purificación de agua de las plantas de la FESZ consta de siete etapas, un pretratamiento con hipoclorito de sodio (desinfección), filtración por lecho profundo (arena), filtración por carbon activado, filtración pulidora, luz UV, ozono (ozonificación), como última etapa se agrega un bactericida grado alimenticio.

Figura 3.10  
Diagrama del proceso de Purificación del agua



(González, 2014)

#### A. Pretratamiento con hipoclorito de sodio (desinfección)

La primera etapa del proceso es el pretratamiento, el cual es una desinfección con hipoclorito de sodio. Se agrega al agua cruda contenida en TQ-01 una solución al 13% de hipoclorito de sodio. Para saber la cantidad de hipoclorito de sodio a agregar, se consideran dos factores, el volumen de agua a preparar y la concentración del hipoclorito de sodio.

$$V_{NaClO} = \frac{2.5 \text{ p.p.m}}{C * 10000} * V_{H_2O}$$

Donde:

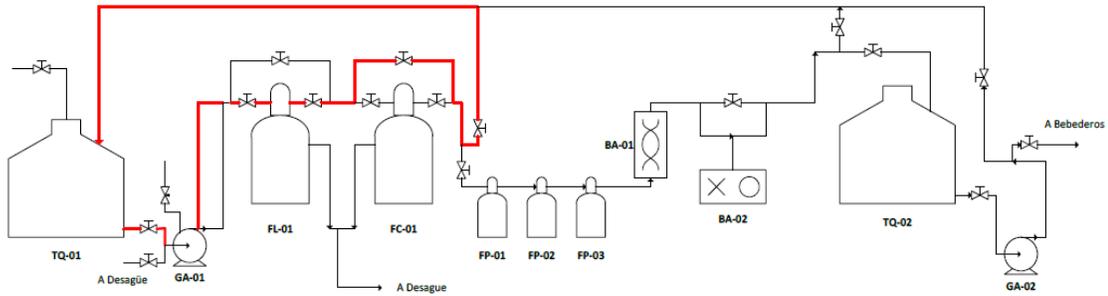
$V_{NaClO}$ : Volumen de NaClO en mililitros a la concentración C necesario para el volume de agua a preparar.

C: Concentración de NaClO.

$V_{H_2O}$ : Volumen de agua cruda en mililitros a desinfectar.

Para homogenizar el hipoclorito de sodio en toda el agua se pone a recircular el agua a través del filtro de lecho profundo, a su vez este filtro separa algunos compuestos generados por la reacción de desinfección.

Figura 3.11  
Pretratamiento con Hipoclorito de Sodio



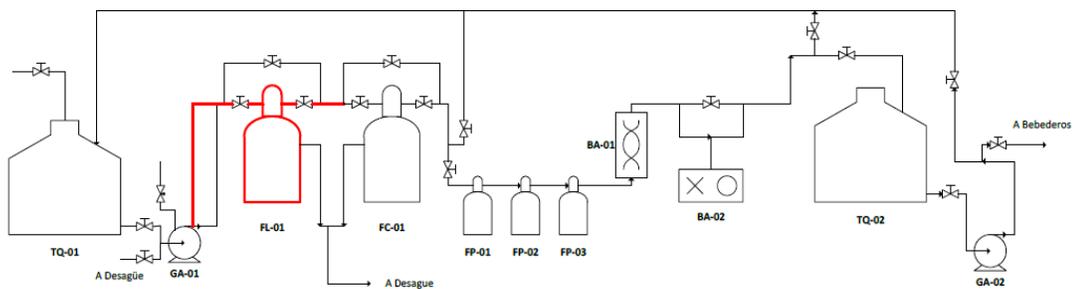
(González, 2014)

El pretratamiento está indicado cuando el nivel de cloro homogenizado en todo el volumen de agua es de 1.5 ppm.

#### B. Filtración por Lecho profundo

La filtración por lecho profundo se realiza mediante un filtro de arena (FL-01) de diferentes tamices, esto permite una mayor eficiencia en la operación unitaria de filtrado. En las Plantas Purificadoras de la FESZ esta operación se realiza durante el pretratamiento y durante el tratamiento completo.

Figura 3.12  
Filtración por lecho profundo en la Planta Purificadora



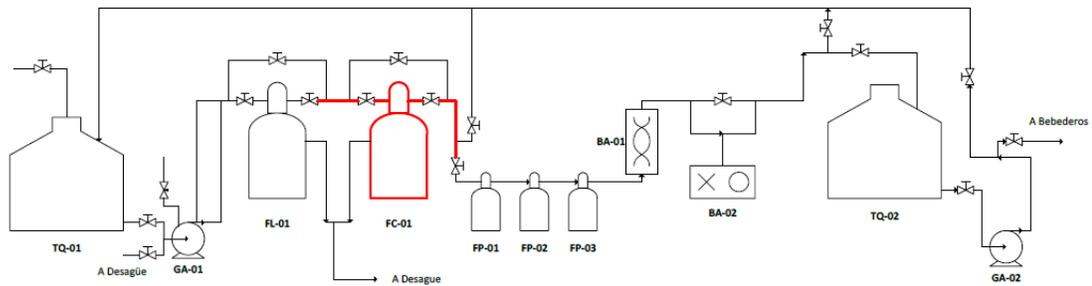
(González, 2014)

#### C. Filtración por Carbón activado

La filtración por carbón activado se realiza con un filtro de carbón activado (FC-01). Esta operación se lleva a cabo durante el tratamiento completo, sin embargo, el carbón activado se daña con el cloro arriba de 2.0 ppm, por ello esta operación se realiza sólo

cuando el pretratamiento termino y el cloro se encuentra en 1.5 ppm, su función es quitar color, olor, sabor, subproductos de la desinfección y cloro residual hasta 0 ppm.

Figura 3.13  
Filtración por carbón activado

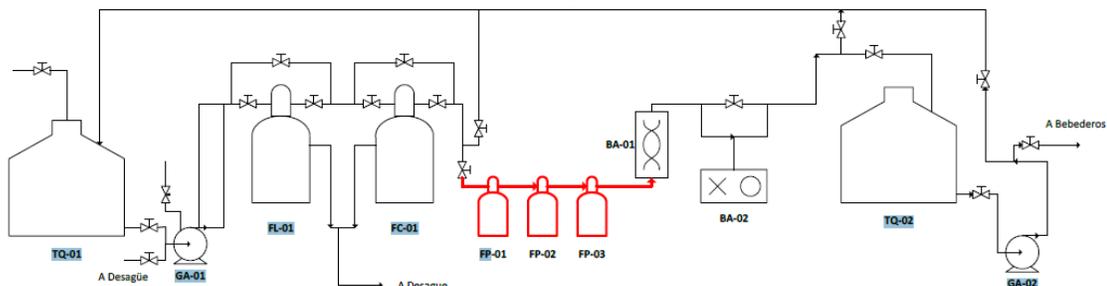


(González, 2014)

#### D. Filtración pulidora

Realizada mediante tres filtros pulidores (FP-01, FP-02, FP-03), su fin es retener partículas de tamaño mayor a cinco micras. Los filtros pulidores constan de una carcasa y un cartucho. Éste actúa como medio filtrante, al hacer pasar el agua por el filtro la presión para mover el flujo causa que las partículas se queden retenidas en el medio filtrante, dejando así un agua de mayor calidad. Se tiene un tren de tres filtros pulidores debido a la carga del primer filtro, al tener tres se garantiza la remoción de las partículas. Esta operación unitaria se realiza durante el tratamiento completo, sin embargo, puede realizarse en cualquier momento debido a la naturaleza de los medios filtrantes.

Figura 3.14  
Filtración pulidora

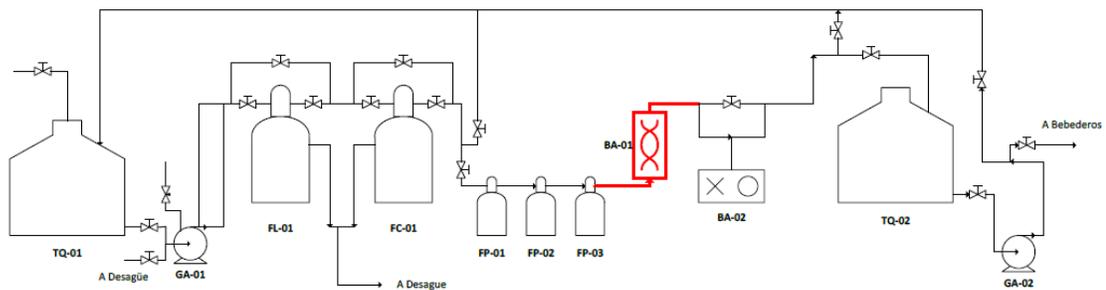


(González, 2014)

#### E. Desinfección por Luz UV

La desinfección por Luz UV (BA-01), es de mayor eficiencia que la desinfección por cloro, sin embargo, en las plantas de la FESZ se tiene como una desinfección secundaria. La materia orgánica que no fue eliminada por la desinfección con cloro será eliminada por la desinfección por luz UV, debido a que existe materia orgánica capaz de encapsularse y ser inerte a la desinfección con cloro. De esta forma al colocar la desinfección con UV después de la desinfección con cloro y después de retirar el cloro residual por medio de carbón activado, la materia orgánica restante es eliminada.

Figura 3.15  
Desinfección por Luz UV

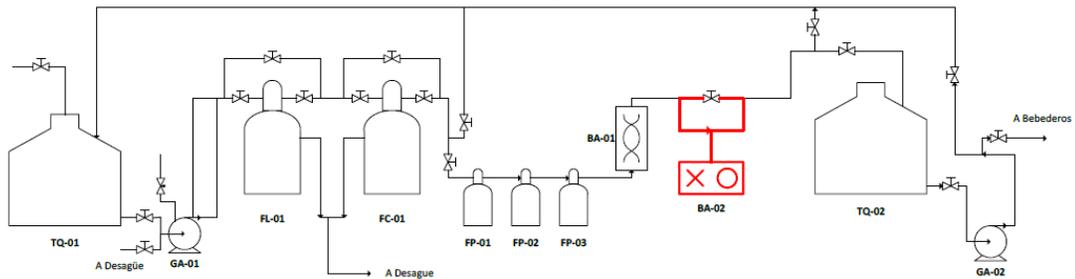


(González, 2014)

## F. Ozonificación

La ozonificación es una oxidación avanzada. El ozono es generado mediante un generador de ozono. Éste se conecta a la corriente eléctrica para generar un alto voltaje por el cual se hace pasar oxígeno obtenido del aire. Una vez generado el ozono, se mezcla con el aire, después es inyectado por un tubo venturi. La válvula colocada en la línea de proceso se encuentra estrangulada para garantizar el área de contacto óptima entre el ozono y el agua.

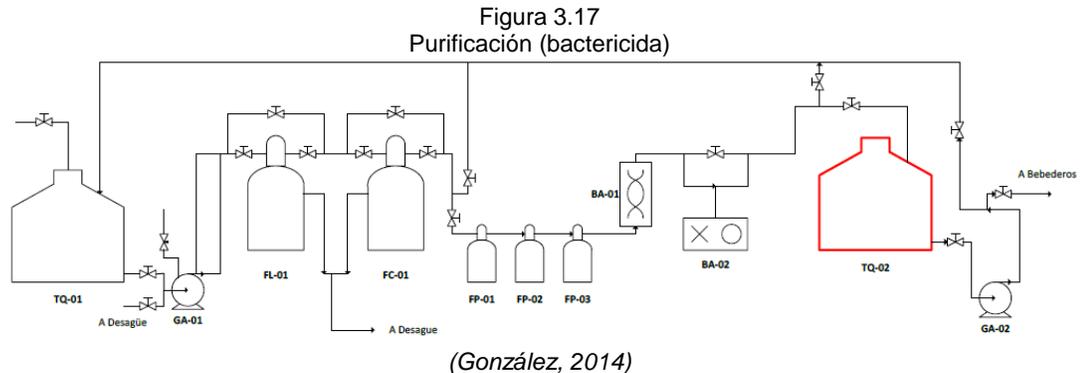
Figura 3.16  
Desinfección por ozono



(González, 2014)

G. Bactericida grado alimenticio.

Una vez que el agua ha pasado por todo el tratamiento y se encuentra en parámetros se le conoce como agua purificada. Como último paso, al llegar el agua purificada al tanque de alimentación (TQ-02, se agrega un bactericida grado alimenticio, con el fin de mantener el agua libre de bacterias durante su almacenamiento y distribución.



Éste es el proceso de purificación del agua, a grandes rasgos en ambas plantas. Aunque se emplea el mismo proceso en ambas plantas, la calidad del agua cruda es diferente, por lo que se deben tomar en cuenta ciertas medidas y criterios en base al uso de los equipos y los reactivos empleados.

A continuación, se muestra el tratamiento específico de cada Planta Purificadora.

### 3.9 Proceso de la planta Purificadora de Campus I<sup>23</sup>

En el caso de Campus I el proceso es más sencillo. Se inicia con el pretratamiento de hipoclorito de sodio. A su vez se realiza la filtración por lecho profundo. La cantidad de hipoclorito de sodio se calcula como se mencionó anteriormente. El tiempo de homogenización varía en función del volumen de agua. Cuando por heurística se sabe que ya se homogenizó, se realiza una prueba de cloro con ortotolidina, si la prueba indica que se encuentra la concentración de coloro en 1.5 ppm se procede a colocar la planta de tratamiento completo.

El tratamiento completo consiste en recircular el agua de TQ-01 al mismo TQ-01 por el filtro de lecho profundo, filtro de carbón activado, filtros pulidores, luz UV y Ozono. Al igual que en el pretratamiento el tiempo de homogenizado varía, cuando la prueba de ortotolidina da 0 ppm de cloro se procede a detener la circulación a TQ-01, para que el agua ya purificada pase al tanque de alimentación TQ-02.

Otro aspecto a considerar son las pruebas organolépticas al agua cruda y purificada, en caso de que el agua cruda llegue con un color café se procede a pasar el agua por el tratamiento completo sin realizar la cloración, esto con el fin de que el color generado por materia orgánica e inorgánica sea reducido o retirado completamente. En caso del agua purificada ya terminada, aunque el indicador de ortotolidina diga que se encuentra en 0 ppm, el agua no debe tener color, olor, sabor ni partículas suspendidas.

Por último, al tener el agua purificada en el TQ-02 y detener completamente el flujo hacia este se procede a agregar el bactericida grado alimenticio, es de suma importancia que el flujo de agua este detenido, ya que el bactericida está conformado por tensoactivos, los cuales generan la formación de espuma. Esto no afecta a las líneas de alimentación ya que mientras el agua este sin movimiento el bactericida se difunde por toda el agua en TQ-02. El tiempo de difusión del bactericida está dado por la cantidad de agua purificada, sin embargo, por heurística se conoce que el tensoactivo pierde su efecto de generar espuma a las cuatro horas, pasado este tiempo se puede volver a agregar agua purificada a TQ-02 o recircular el contenido de TQ-02 a TQ-01.

Al día siguiente el agua purificada restante en TQ-02 es recirculada a TQ-01 para volver a pasar por todo el tratamiento, con la excepción de que ahora la cloración se realizará a 1.5 ppm e inmediatamente se procederá a pasar por el tratamiento completo debido a que el agua se encuentra purificada, la cloración a 1.5 ppm simplemente es para tener el cloro residual, debido a esto se puede mandar por el proceso completo, el tiempo de recirculación está dado por los parámetros antes mencionado. Sin embargo, si el agua sobrante es poca, se procede a pasar el sobrante de TQ-02 a TQ-01 y combinar con agua cruda para preparación de otro lote.

### **3.10 Proceso de la Planta Purificadora de Campus II<sup>23</sup>**

En Campus II, el proceso de purificación de agua es más complejo debido a la naturaleza del agua. El agua cruda llega a la Planta Purificadora a través de la red de distribución de Campus II, esta a su vez es alimentada por agua potable por la delegación Iztapalapa, sin embargo, el problema de la naturaleza del agua de Campus II radica en la cisterna ubicada debajo del Antiguo Edificio de Gobierno. El agua de Campus II tiene un color más oscuro que la de Campus I, por ello su tratamiento es más complejo.

Durante el llenado de TQ-01 para lograr una homogenización más efectiva se agrega el hipoclorito de sodio, mediante el movimiento del flujo causado por la operación de pretratamiento, en conjunto con el movimiento causado mientras cae el agua cruda se genera una mejor homogenización, la cantidad de hipoclorito de sodio agregada es la necesaria para la cantidad a preparar, el flujo de agua cruda se detiene cuando se ha llegado a la cantidad a preparar.

El tiempo de pretratamiento es mayor al de Campus I, al igual para indicar el término de este se realiza prueba con ortotolidina, cuando se encuentre la concentración de cloro en 1.5 ppm se procede a colocar la planta en tratamiento completo.

La operación de tratamiento completo se realiza igual que en Campus I, recirculación mediante el filtro de lecho profundo, filtro de carón activado, filtros pulidores, luz UV, Ozono, el fin del tratamiento se indica cuando el cloro residual sea 0 ppm y las propiedades organolépticas del agua purificada se encuentren en parámetros.

Un punto de interés en Campus II son las propiedades organolépticas, ya que, debido a la naturaleza del agua, ésta puede no presentar color ni olor, sin embargo el sabor se verá afectado, para poder considerar el lote de agua purificada completo no debe haber sabor en él, para ello el lote se debe dejar más tiempo en la fase de tratamiento completo. Una forma sencilla de mostrar esto se muestra en los tiempos de cada fase entre Campus I y II.

Tomando como base de cálculo 2600 L de agua cruda el tiempo de pretratamiento en Campus I es de aproximadamente una hora, por el contrario, en Campus II es de aproximadamente cuatro horas. En la fase de tratamiento completo en Campus I el tiempo aproximado es de 3-4 horas, sin embargo, en campus II es de 8 horas. Teniendo para un total por lote de 2600 L un tiempo aproximado de 5 horas para Campus I, en contraparte en Campus II se tiene un tiempo aproximado de 12 horas. El tiempo de producción de un lote de agua purificada en Campus II muestra la importancia de la naturaleza del agua y las propiedades organolépticas.

Una vez terminado el lote se pasa el agua purificada a TQ-02, al detener el paso de agua se agrega el bactericida grado alimenticio. Al día siguiente igual que en Campus I el sobrante se recircula a TQ-01 y se decide en función de la cantidad si se reajusta con cloro residual y se pasa por todo el proceso o se combina con agua cruda para iniciar la preparación de otro lote.

### **3.11 Análisis rutinarios para el control de calidad del agua de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza**

Actualmente en la FES Zaragoza, el proyecto de la Planta Purificadora se encuentra operado por alumnos de la carrera de Ingeniería Química de la misma facultad, los cuales son encargados de la operación y mantenimiento básico de la Planta. Dentro de los análisis rutinarios que se realizan actualmente se encuentran la determinación de pH y cloro libre, los cuales se realizan con cada lote de agua purificada que se produce y distribuye. Debido a la demanda de este líquido en la Facultad, se producen de 1 a 2 lotes semanalmente. Los puntos de toma de muestra son, el tanque de almacenamiento de agua cruda, el tanque de almacenamiento del agua purificada y en cada uno de los bebederos. Para estos análisis se cuenta con instrumentos con los cuales se determina cualitativamente estos parámetros.

### 3.12 Analisis de coliformes en la FES Zaragoza

Algunos puntos a tomar en cuenta, son el mantenimiento y desinfección de la cisterna o tanque de almacenamiento del agua cruda, así como de la toma o boquilla de llenado.<sup>26</sup>

La frecuencia de análisis de análisis que se documenta en las normas, especificado organismos coliformes en agua purificada, será semanal, a diferencia de los parámetros ya aplicados rutinariamente.

En cuanto a los análisis a realizar, los sitios indicados para la toma de muestra son en la cisterna, en su defecto en el tanque de almacenamiento de agua cruda, y en la toma de salida, que será en el tanque de almacenamiento del agua purificada. Como análisis adicional y control de calidad del agua, se propone realizar tomas de muestras a los bebederos, uno a la semana.<sup>27</sup>

Para este trabajo se tomará en cuenta tres métodos para el recuento de coliformes, tanto para analizarlos individualmente como para tomar una decisión sobre la mejor opción para la implementación en los análisis de rutina de la Planta Purificadora. Dichos métodos serán:

1. Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli-Método del número más probable en tubos múltiples.
2. Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva-Método de filtración en membrana.
3. Metodos rápidos aprovados por los distintos organismos reguladores en cuanto al tema del agua.

---

<sup>26</sup>Norma Oficial Mexicana NOM-160-SSA1-1995. *Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada.*

<sup>27</sup>Norma Oficial Mexicana. NOM-014-SSA1-1993. *Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.*

De estas posibilidades se analizará los aspectos técnicos y económicos con respecto a los reactivos, material de laboratorio y equipo que se va a utilizar en dichos procedimientos.

# CAPÍTULO 4

## MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ORGANISMOS COLIFORMES



## **4. CAPÍTULO 4**

### **MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ORGANISMOS COLIFORMES**

#### **4.1 Toma de Muestra de aguas para uso y consumo**

##### **humano<sup>28</sup>**

La toma de las muestras de agua, tienen especificaciones puntuales, desde el material empleado para los envases, hasta la técnica correcta para evitar contaminación de las muestras, todo enfocado al tipo de agua, objeto de esta investigación.

##### **4.1.1. Material, Reactivos y Equipo de Muestreo**

###### **4.1.1.1. Envases para toma de muestra.**

- Para análisis bacteriológico. - Frascos de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado o tapa roscada, o frascos de polipropileno; resistentes a esterilización en estufa o autoclave o bolsas estériles con cierre hermético y capacidad de 125 ó 250 ml.
- Para análisis físico-químico. - Envases de plástico o vidrio inertes al agua de 2 l de capacidad como mínimo, con tapones del mismo material que proporcionen cierre hermético.

###### **4.1.1.2. Preparación de Envases para Toma de Muestras**

- Para análisis bacteriológico

---

<sup>28</sup>Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015. *Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.*

Para este tipo de análisis tenemos que tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Toma de muestra de agua sin cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min. Antes de la esterilización, con papel resistente a ésta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco.
  - Toma de muestra de agua con cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min, los cuales deben contener 0.1 ml de tiosulfato de sodio al 3% por cada 125 ml de capacidad de los mismos. Debe colocarse un papel resistente a ésta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco
- Para análisis físico-químico
- Los envases deben lavarse perfectamente y enjuagarse a continuación con agua destilada o desionizada.

#### **4.1.2. Procedimiento para Toma de Muestra**

- Para análisis bacteriológico.
- En bomba de mano o grifo del sistema de distribución.  
El agua de los grifos debe provenir directamente del sistema de distribución. No debe efectuarse toma de muestra en grifos que presenten fugas entre el tambor y el cuello, ya que el agua puede correr por la parte exterior del grifo y contaminar la muestra. Deben removerse los accesorios o aditamentos externos como mangueras, boquillas y filtros de plástico o hule antes de tomar la muestra.
    - 1) Debe limpiarse el orificio de salida con una torunda de algodón impregnada de solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 mg/l.

- 2) Debe dejarse correr el agua aproximadamente 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.
  - 3) Cerca del orificio de salida, deben quitarse simultáneamente el tapón del frasco y el papel de protección, manejándolos como unidad, evitando que se contaminen el tapón, o el papel de protección, o el cuello del frasco.
  - 4) Debe mantenerse el tapón hacia abajo para evitar contaminación y procederse a tomar la muestra sin pérdida de tiempo y sin enjuagar el frasco; se debe dejar el espacio libre requerido para la agitación de la muestra previa al análisis (aproximadamente 10% de volumen del frasco). Efectuada la toma de muestra, deben colocarse el tapón y el papel de protección al frasco.
- En captación de un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento.
- 1) Deben lavarse manos y antebrazos con agua y jabón,
  - 2) Debe quitarse el papel de protección evitando que se contamine, y
  - 3) Sumergir el frasco en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, abrir y enderezar a continuación con el cuello hacia arriba (en todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción); si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco en contracorriente. Efectuada la toma de muestra debe colocarse el tapón, sacar el frasco del agua y colocar el papel de protección.

## **4.2 Manejo de Muestras<sup>25</sup>**

Las muestras tomadas como se indicaron anteriormente deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4 y 10°C, cuidando de no congelar las muestras.

El periodo máximo que debe transcurrir entre la toma de muestra y el análisis es:

- Para análisis bacteriológico 6 horas.
- Para análisis físico-químico, el periodo depende de la preservación empleada para cada parámetro.

### **4.3 Identificación y Control de Muestras**

Para la identificación de las muestras deben etiquetarse los frascos y envases con la siguiente información:

- Número de registro para identificar la muestra, y
- Fecha y hora de muestreo.

Para el control de la muestra debe llevarse un registro con los datos indicados en la etiqueta del frasco o envase referida anteriormente, así como la siguiente información:

- Identificación del punto o sitio de muestreo,
- Temperatura ambiente y temperatura del agua,
- pH,
- Cloro residual,
- Tipo de análisis a efectuar,
- Técnica de preservación empleada,
- Observaciones relativas a la toma de muestra, en su caso, y
- Nombre de la persona que realiza el muestreo.

## **4.4 Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli - Método del número más probable en tubos múltiples<sup>293031</sup>**

### **4.4.1. Principio**

Inoculación de alícuotas de muestra, diluida o no diluida, en una serie de tubos en medio líquido selectivo conteniendo lactosa.

Examen de los tubos después de 24 h y de 48 h incubados a  $35\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ . Subcultivo de cada tubo que muestre turbidez y producción de gas en un medio confirmativo más selectivo y, cuando se busca E. coli se subcultiva en un medio donde pueda ser demostrada la formación de indol.

Incubación de estos medios confirmativos por un periodo de 24 h a 48 h  $\pm 3$  h ya sea a  $35\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$  para la enumeración de organismos coliformes y de  $44,5\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$  por 22 h a 26 h para organismos coliformes termotolerantes y E. coli. Mediante tablas estadísticas, cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y E. coli expresadas como contenidas en 100 mL de la muestra a partir del número de tubos positivos en los resultados confirmativos.

---

<sup>29</sup>Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.*

<sup>30</sup>APHA,AWWA,WPCF. (1989). *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.* Ed. Ediciones Diaz de Santos, S.A. EUA.

<sup>31</sup>Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. *Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli - Método del número más probable (NMP) en tubos múltiples (cancela a la NMX-AA-42-1987).*

#### **4.4.2. Reactivos y materiales**

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico. Cuando se indique agua debe entenderse como agua destilada con pH cercano a la neutralidad.

##### **4.4.2.1 Reactivos**

###### **4.4.2.1.1. Soluciones diluyentes**

- Solución reguladora de fosfatos (solución concentrada)
- Agua peptonada

###### **4.4.2.1.2. Medios de cultivo.**

- Caldo lactosado (medio de enriquecimiento para agua potable y hielo).
- Caldo lauril sulfato triptosa (medio de enriquecimiento selectivo).
- Caldo lactosa bilis verde brillante (medio de confirmación).

En el caso del análisis de agua potable y hielo puede utilizarse caldo lactosado o caldo lauril sulfato triptosa con púrpura de bromocresol (concentración 0,01 g/l de medio), como alternativa al uso decampanas de fermentación. Los tubos positivos se manifiestan por el vire del indicador a color amarillo.

##### **4.4.2.2. Materiales**

- Pipetas bacteriológicas para distribuir 10 y 1 ml (o si es necesario de 11 y 2 ml), con tapón de algodón.
- Las pipetas pueden ser graduadas en volúmenes iguales a una décima de su volumen total.
- Frascos de vidrio de 250 ml con tapón de rosca.
- Utensilios esterilizables para la obtención de muestras: cuchillos, pinzas, tijeras, cucharas, espátulas, etc.
- Tubos de cultivo 20 x 200 mm y de 16 x 160 mm con tapones metálicos o de rosca.
- Campanas de fermentación (tubos de Durham).

- Pipetas bacteriológicas graduadas de 10 y 1 ml.
- Gradillas.
- Asa de platino o nicromel de aproximadamente 3 mm de diámetro.

Todo el material que tenga contacto con las muestras bajo estudio debe esterilizarse mediante:

- Horno, durante 2 horas a 170 a 175 °C o 1 h a 180 °C o autoclave, durante 15 minutos como mínimo a  $121 \pm 1,0$  °C.

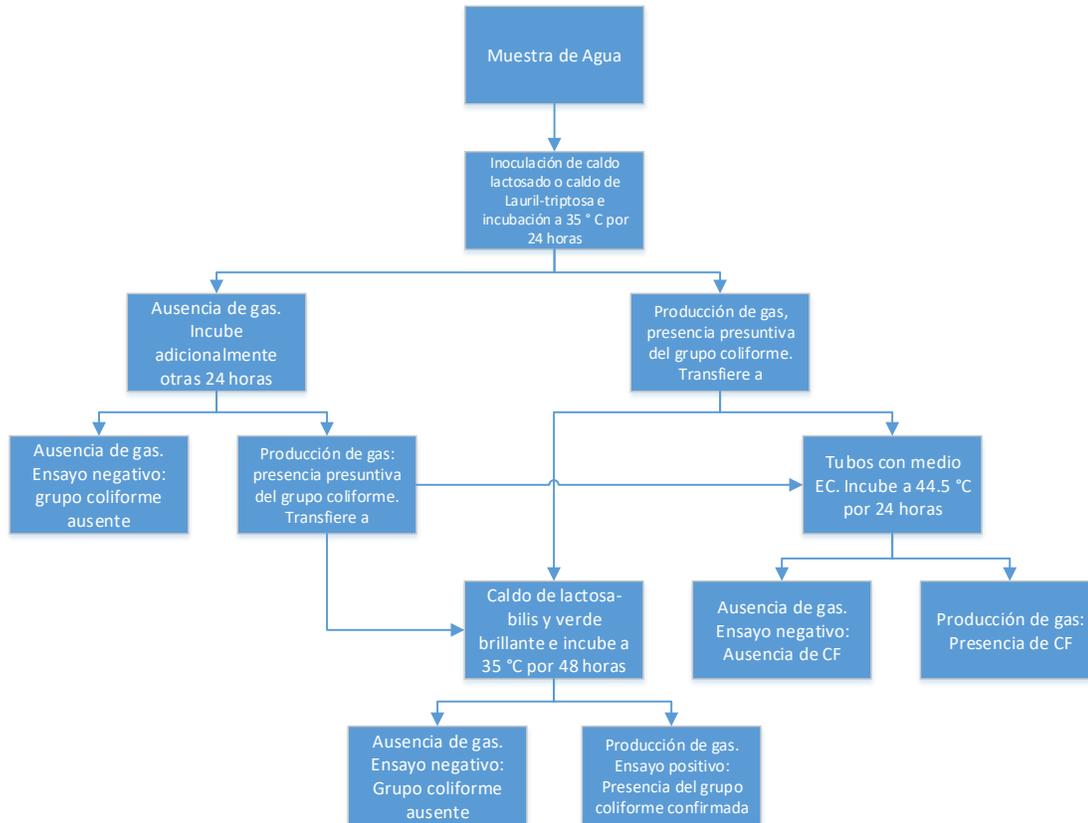
El material de vidrio puede sustituirse por material desechable que cumpla con las especificaciones deseadas. No debe usarse material de vidrio dañado por las esterilizaciones repetidas y éste debe ser químicamente inerte.

#### **4.4.2.3 Aparatos e instrumentos**

- Horno para esterilizar que alcance una temperatura mínima de 170 °C.
- Incubadora con termostato que evite variaciones mayores de  $\pm 1,0$  °C, provista con termómetro calibrado.
- Termómetro de máximas y mínimas.
- Autoclave que alcance una temperatura mínima de  $121 \pm 1,0$  °C.
- Potenciómetro con una escala mínima de 0,1 unidades de pH a 25 °C.

### 4.4.3. Procedimiento

Figura 4.1  
Procedimiento del método NMP – Tubos Múltiples



#### 4.4.3.1. Prueba presuntiva

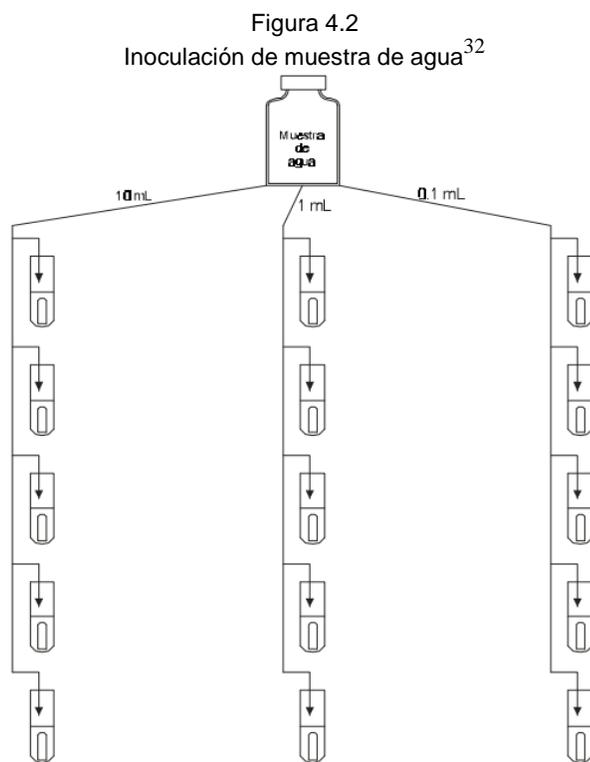
**Inoculación.** Agitar la muestra. Transferir volúmenes de 10 ml de muestra a cada uno de 5 tubos con 20 ml de caldo lactosado de mayor concentración y 1,0 ml y 0,1 ml de muestra a cada uno de los tubos de las series de 5 respectivamente con 10 ml de caldo lactosado de concentración sencilla o caldo lauril sulfato triptosa con púrpura de bromocresol.

**Incubación.** Incubar los tubos a 35 °C. Examinar a las 24 ± 2 h y observar si hay formación de gas o la formación de gas no se observa en este tiempo, incubar por 48 ± 2 h.

#### 4.4.3.2. Prueba confirmativa

De cada tubo que muestre formación de gas, tomar una azada y sembrar en un número igual de tubos con medio de confirmación, caldo lactosa lauril bilis verde brillante. Incubar a  $35 \pm 0,5$  °C por  $24 \pm 2$  horas o si la formación de gas no se observa en este tiempo, incubar por  $48 \pm 2$  horas.

En esta Norma Oficial Mexicana, para el análisis de agua potable, agua purificada así como hielo, se emplea la serie de 5 tubos inoculados, 5 tubos con 10 ml, 5 tubos con 1 ml y 5 tubos con 0,1 ml como se muestra en la figura 4.2.



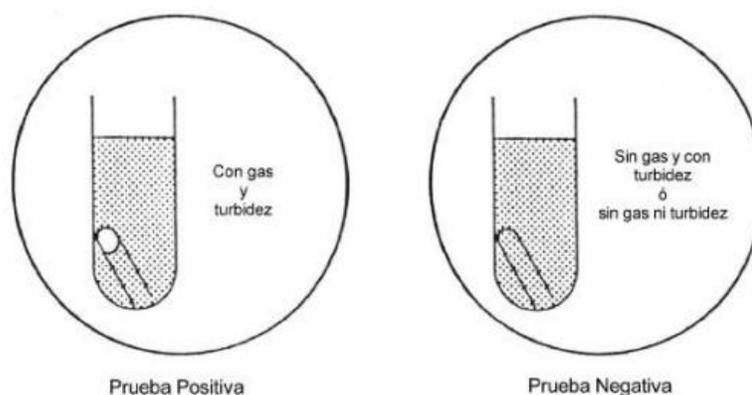
Fuente: <http://www.azc.uam.mx/cbi/quimica/microbiologia/p17.pdf>

---

<sup>32</sup> <http://www.azc.uam.mx/cbi/quimica/microbiologia/p17.pdf>

Para confirmar la presencia de organismos coliformes fecales (termotolerantes), incubar los tubos con caldo EC o con caldo lactosa bilis verde sembrados a una temperatura de 44,5 °C ± 0,2 °C por 24 h ± 2 h y examinar la producción de gas como se muestra en la Figura 4.3.

Figura 4.3  
Evaluación de pruebas Presuntiva y Confirmativa en la Determinación por NMP de Coliformes Totales y Fecales<sup>29</sup>



Fuente: <http://www.azc.uam.mx/cbi/quimica/microbiologia/p17.pdf>

#### 4.4.4. Expresión de los resultados

Tomar la serie de tubos de la prueba confirmativa que dé formación de gas después del periodo de incubación requerido y buscar el NMP en los cuadros los cuales se muestran en el Anexo A.

En caso de no tener los cuadros correspondientes, el NMP puede determinarse según la siguiente expresión.

$$Y = [(1 - e^{-N_1x})^p (e^{-N_1x})^q (1 - e^{-2x})^r (e^{-N_2x})^s (1 - e^{-N_3x})^t (e^{-3x})^u] / a$$

Donde:

N1, N2, N3 = cantidades de muestra examinadas, en mililitros

p, r, t	=	número de tubos con resultado positivo en cada serie
q, s, u	=	número de tubos con resultado negativo en cada serie
x	=	concentración de coliformes por mililitro
Y	=	probabilidad de ocurrencia de un resultado particular
e	=	base de logaritmos neperianos, 2.718
a	=	constante para condiciones determinadas, la cual puede omitirse en el cálculo de X

El NMP es el valor de la moda de la curva, el cual se determina seleccionando el valor de X que hace Y máximo. Para la solución analítica se ensaya con valores de X tales que Y llegue a un punto máximo. El valor de a puede omitirse en el cálculo de X

#### **4.4.5. Informe de la prueba**

Informar "Número más probable (NMP) de coliformes por gramo o mililitro de muestra". En caso de muestras de agua informar NMP/100 ml.

### **4.5 Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva - Método de filtración en membrana.<sup>273334</sup>**

#### **4.5.1. Principio**

El método se basa en la filtración de una muestra directa o una alícuota de la muestra a través de una membrana de celulosa que retiene los organismos, colocando la

---

<sup>33</sup>Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.*

<sup>34</sup>Norma Mexicana NMX-AA-102-SCFI-2006. *Calidad del agua – Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y escherichia coli presuntiva – método de filtración en membrana (cancela a la NMX-AA-102-1987).*

membrana ya sea en un medio de cultivo selectivo de agar lactosado o en un cojinete absorbente saturado con un medio líquido lactosado.

La membrana se incuba durante 24 h ya sea a 35°C – 37°C para la detección de organismos coliformes, o alternativamente a 44,0°C ± 1°C para la presencia de organismos coliformes termotolerantes.

Se lleva a cabo la cuenta directa de las colonias características desarrolladas sobre la membrana, y algunas de estas colonias se resiembran para pruebas confirmativas para producción de gas e indol. Finalmente se hace el cálculo del número de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva que pueden estar presentes en 100 mL de la muestra.

#### **4.5.2. Fundamento**

Este método se basa en la filtración de una muestra para concentrar células viables sobre la superficie de una membrana y transferirlas a un medio de cultivo apropiado, para posteriormente contar el número de unidades formadoras de colonias (UFC) desarrolladas después de la incubación.

#### **4.5.3. Reactivos y materiales**

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico. Cuando se indique agua debe entenderse como agua destilada con pH cercano a la neutralidad.

##### **4.5.3.1. Material**

- Autoclave con termómetro y manómetro, capaz de alcanzar temperaturas de esterilización
- Material para envolver esterilizable (papel kraft, bolsas de polímero resistentes al calor, otros)
- Membranas para filtración estériles con poro de 0,45 y colchoncillo absorbente de 47 mm de diámetro
- Sistema de filtración

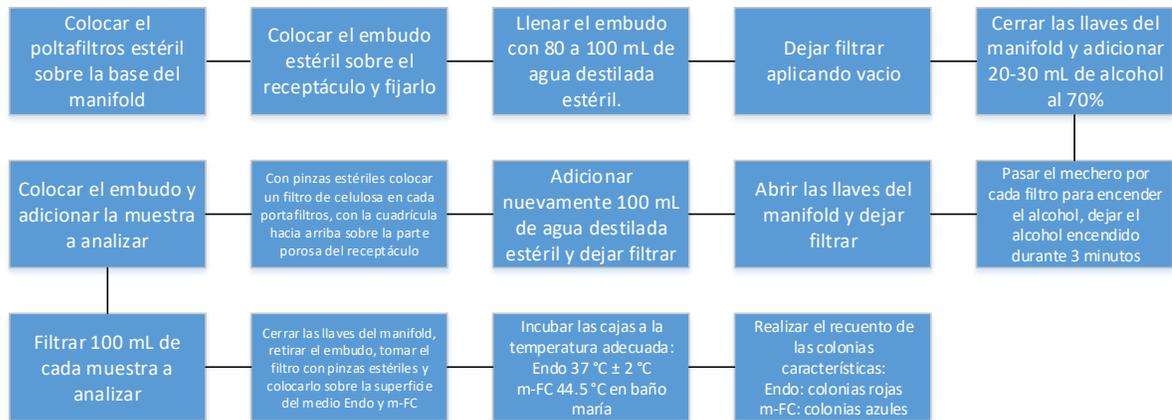
- Bomba de vacío (20-27 pulgadas Hg), tubería y aditamentos herméticos para mantener el vacío
- Matraz Kitazato
- Cajas Petri desechables o de vidrio estériles de 50 x 90 mm
- Marcador indeleble o equivalente
- Pinzas de acero inoxidable
- Propipeta de 50 ml de capacidad
- Botellas de borosilicato con capacidad de 150 ml y tapa de rosca
- Pipetas bacteriológicas de 1, 2, 5, 10 y 25 ml de capacidad, estériles y protegidas con tapón de algodón
- Utensilios estériles como: cucharas, cucharones, picahielos, destapadores, abrelatas, otros
- Microscopio estereoscópico, óptico o equivalente
- Incubadora ajustada a temperatura de  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Contador mecánico o manual de Tally
- Recipientes estériles para muestras (frascos, botellas, jarras, bolsas, otros)
- Balanza granataria con sensibilidad de 0,1 g
- Porta asa y asa bacteriológica
- Portaobjetos

#### **4.5.3.2. Reactivos y Medios de Cultivo**

- Agar cuenta estándar
- Agar ENDO LES
- Medio ENDO

#### 4.5.4. Procedimiento

Figura 4.4  
Procedimiento del Método Filtro en Membrana



Generalmente un procedimiento de enriquecimiento puede incrementar la valoración de la calidad del agua para beber. Sin embargo, este paso puede eliminarse en el análisis de rutina del agua para beber donde determinaciones han demostrado que se obtienen resultados adecuados por la técnica simple en un paso por la técnica de filtración en membrana (MF). Se deben verificar todas las muestras de agua para beber que den resultados positivos.

##### 4.5.4.1. Selección del tamaño de muestra

El tamaño de muestra lo determina la densidad bacteriana lo cual en muestras de agua para beber estará limitado solo por el grado de turbiedad o por el crecimiento de bacterias no coliformes sobre el medio.

Volumen de muestra sugerida para prueba de coliformes totales y coliformes fecales por filtro de membrana, 100 ml.

##### 4.5.4.2. Filtración de la muestra

Usar pinzas estériles, colocar una membrana estéril (cuadriculado hacia arriba) sobre el portafiltro poroso. Cuidadosamente coloque el embudo

sobre el receptáculo y asegúrelo en su lugar. Filtre la muestra bajo vacío parcial, con el filtro aún en su lugar como se muestra en la Figura 4.5. Enjuague el embudo mediante la filtración de tres porciones de 20 a 30 ml de buffer estéril. Una vez completado el enjuague final y que el proceso de filtración haya concluído, quitar el embudo e inmediatamente después retire la membrana con pinzas estériles y colóquela sobre el medio selectivo con un movimiento circular a fin de evitar la entrada de aire. Meter un control de 100 ml de solución de buffer estéril cada 10 muestras para checar posible contaminación cruzada o buffer contaminado. Incubar el control bajo las mismas condiciones de la muestra.

Usar unidades de filtración estériles al principio de cada serie de filtraciones como precaución mínima para prevenir contaminación accidental. Una serie de filtraciones se considera cuando hay un intervalo de interrupción de 30 minutos o más entre cada filtración de muestras. Después de tales interrupciones, tratar cualquier muestra como una serie de filtración y se debe esterilizar toda la unidad de filtración en uso. Descontaminar este equipo entre filtraciones sucesivas por el cero de luz ultravioleta (UV) esterilizar por 2 minutos con vapor o agua hirviendo durante 5 minutos. No exponer la preparación de cultivo de filtro de membrana al rango de radiación UV que pueda salir de la cabina de esterilización. Se recomienda protegerse los ojos, pueden usarse lentes de seguridad o de vidrio prescritos para la adecuada protección contra la luz UV de la columna de esterilización que no se aisle durante el tiempo de exposición. Limpie el tubo de UV regularmente y cheque periódicamente su efectividad para asegurar que haya un 99,99% de muerte bacteriana en 2 minutos de exposición.

Figura 4.5  
Filtración en membrana<sup>35</sup>



Fuente: [http://coli.usal.es/Web/demo\\_fundacua/demo2/FiltraMembColiT\\_auto.html](http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html)

#### 4.5.4.3. Técnica de enriquecimiento

Colocar una pad absorbente en la tapa de una caja de petri estéril y pipetear 1,8 a 2,0 ml de caldo lauril triptosa para saturar la pad. Cuidadosamente remueva cualquier exceso de líquido de la pad absorbente. Asepticamente colocar sobre la pad un filtro a través del cual la muestra haya sido pasada, incubar el filtro sin invertir la caja durante 15 a 20 horas a  $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  en una atmósfera de 90% de humedad relativa.

Si se usa el medio de agar base tipo ENDO, remover el enriquecimiento de la incubadora, decantar el filtro de la pad con enriquecimiento y colocar sobre la superficie del agar. La colocación incorrecta del filtro a su vez se pone de manifiesto, porque partes del filtro no se tiñen lo cual indica entrada de aire. Donde suceda esto, cuidadosamente resitúe el filtro sobre la superficie del agar. Si se usa medio líquido, separar el cultivo final por remoción del cultivo de enriquecimiento de la incubadora y se pone las de mitades. Colocar una pad estéril nueva en el fondo de la placa y saturar con 1,8 - 2,0 ml de medio M-ENDO. Transferir el filtro, con las precauciones antes descritas, a un nuevo pad. Descartar la pad de enriquecimiento utilizada.

---

<sup>35</sup> [http://coli.usal.es/Web/demo\\_fundacua/demo2/FiltraMembColiT\\_auto.html](http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html)

Con el medio ya sea agar o líquido (con pad), invertir las placas e incubar por 20-22 horas a  $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.5.4.4. Conteo**

Para determinar la cuenta de colonias sobre el filtro de membrana, usar un microscopio binocular de disección de bajo poder (10 a 15 aumentos) u otro aparato óptico similar, con lámpara fluorescente de luz blanca con rango perpendicular tanto como sea posible al plano del filtro.

Las colonias típicas de coliformes tienen color rojo oscuro con brillo metálico. El área brillante puede variar de tamaño desde que solo brille la parte superior de la colonia hasta que abarque la superficie total de la colonia, las colonias atípicas de coliformes pueden ser rojo oscuro o nucleadas sin brillo. Las colonias que no tengan brillo pueden ser rosas, rojas, blancas o incoloras y se consideran no coliformes. No existe correlación entre la cuenta de colonias (coliformes o no coliformes) sobre el medio tipo ENDO y el número total de bacterias presentes en la muestra original. Sin embargo una cuenta alta de bacterias no coliformes puede interferir con el máximo desarrollo de coliformes. La refrigeración de los cultivos (después de 22 horas de incubación) con alta densidad de colonias no coliformes de 0,5 a 1 horas antes de contar puede prevenir la dispersión y puede ayudar a discernir el brillo metálico. La incubadora anaeróbica a  $35^{\circ}\text{C}$  por 24 horas de algunas muestras de agua subterránea pueden suprimir el desarrollo de colonias de no coliformes pero debe ser cuidadosamente evaluada para asegurar no perder la recuperación de los coliformes.

Las muestras de agua tratada efluente o residual puede incluir bacterias estresadas que crecen relativamente lento y producen un máximo brillo en 22-24 horas. Los organismos de fuentes no tratadas pueden producir brillo a las 16-18 horas y el brillo puede, subsecuentemente disminuir después de 24-30 horas.

#### 4.5.4.5. Verificación de los coliformes

Ocasionalmente las colonias de no coliformes aparecen como colonias típicas con brillo. Las colonias atípicas (rojo oscuro, nucleadas sin brillo metálico) ocasionalmente pueden ser coliformes. Es recomendable verificar ambos tipos de colonias, mediante una prueba de fermentación de lactosa o por el uso de procedimientos alternativos que involucren ambos una prueba rápida (4 horas) o por reacciones bioquímicas típicas o un sistema multipreba para especies.

Figura 4.6  
Confirmación de presencia de coliformes<sup>32</sup>



Fuente: [http://coli.usal.es/Web/demo\\_fundacua/demo2/FiltraMembColiT\\_auto.html](http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html)

#### 4.5.5. Informe de la prueba

Informar: UFC/g o ml en placa, incubados a 35°C durante 24 ± 2 h.

En caso de emplear diluciones y no observar crecimiento, informar utilizando como referencia la dilución más baja utilizada.

En caso de no observar crecimiento en la muestra sin diluir se informa: "no desarrollo de coliformes por ml".

### 4.6 Métodos rápidos aprobados internacionalmente

Los siguientes métodos propuestos son kits de análisis en los cuales solo nos centraremos en la Presencia/Ausencia (P/A), para el fácil manejo por parte de los alumnos inscritos en el programa de servicio social de las Plantas Purificadoras de la FES Zaragoza, ya que al solo tener un par de resultados (positivo/negativo) facilitara el manejo de éstos.

### 4.6.1. Colilert®<sup>36</sup>

Colilert® es una prueba fácil, de 24 horas, para coliformes totales y fecales desarrollada por la empresa Idexx. Las ventajas de éste son que requiere menos de un minuto de trabajo por muestra, que es de un 20 a un 50% más barato que los métodos tradicionales y lo más importante, está aprobado internacionalmente para pruebas de cumplimiento (EPA, AOAC, IBWA, EBWA y por Standard Methods for the examination of Water and Wastewater).

#### 4.6.1.1. Principio

Colilert® utiliza la tecnología de sustrato definido (Defined Substrate Technology, DST) para detectar coliformes totales y E. Coli en el agua.

A medida que los coliformes proliferan en Colilert®, utilizan la  $\beta$ -galactosidasa para metabolizar el nutriente indicador ONPG cambiando de incoloro a amarillo. E. Coli utiliza  $\beta$ -glucuronidasa para metabolizar el MUG y crear fluorescencia. Como la mayoría de los microorganismos no coliformes no poseen estas enzimas son suprimidos selectivamente por la matriz específicamente formulada de Colilert®. Este enfoque reduce al mínimo los falsos positivos y negativos

Figura 4.7  
Metodo Colilert®



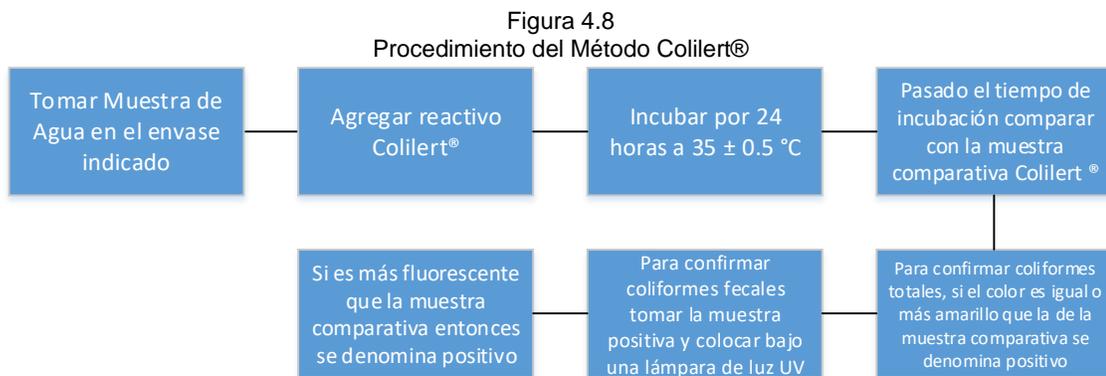
---

<sup>36</sup> <http://www.idexx.es/water/products/colilert.html>

#### 4.6.1.2 Material, Reactivo y Equipo

- Reactivo Colilert para detección de E. Coli / coliformes en 24 horas
- Frasco estéril con tiosulfato de sodio con capacidad de 100 mL
- Lámpara UV 6 Watts / Cabina oscura protectora de UV
- Comparador de Colilert
- Incubadora con termostato que evite variaciones mayores de  $\pm 1,0$  °C, provista con termómetro calibrado.

#### 4.6.1.3 Procedimiento



En un embase esteril de 100 ml. verter la muestra a cuantificar junto con el reactivo Colilert® e incubar 24 horas a  $35$  °C  $\pm 0.5$  °C. Después de este tiempo se podrá comparar con la muestra comparativa de presencia/ausencia Colilert®. Para confirmar presencia de coliformes totales se compara la muestra de agua a cuantificar y la muestra comparativa; si el color es igual o más amarillo que la de la muestra comparativa se denomina positivo. Para confirmar presencia de coliformes fecales (E. Coli) se debe tomar la muestra positiva y la comparativa, colocarlas bajo una lámpara de luz UV y comparar su fluorescencia. Si es más fluorescente que la muestra comparativa entonces se denomina positivo.

#### **4.6.1.4. Informe de Prueba**

En el informe final se indicará la Presencia/Ausencia de organismos Coliformes.

### **4.6.2 Colitag<sup>TM37</sup>**

#### **4.6.2.1. Principio**

El kit de prueba de agua Colitag P/A usa un medio selectivo y diferencial aprobado por la EPA para detectar coliformes totales y E. coli en muestras de agua en 16-48 horas. Utilizado como kits de prueba de agua de E. coli y kits de prueba de agua coliforme, el sistema de prueba está diseñado para ser utilizado por personal familiarizado con técnicas asépticas apropiadas para la identificación de coliformes totales y E. coli. La formación, que está disponible a través de Neogen, se recomienda para aquellos sin conocimientos básicos de microbiología.

#### **4.5.2.2. Material, Reactivos y Equipo**

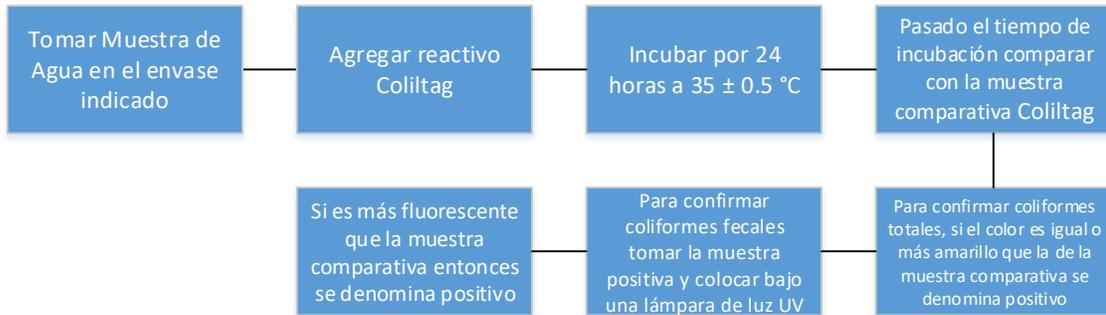
- Reactivo Colitag<sup>TM</sup>
- Frasco estéril de 100 mL
- Incubadora con termostato que evite variaciones mayores de  $\pm 1,0$  °C, provista con termómetro calibrado.

#### **4.6.2.3. Procedimiento**

---

<sup>37</sup>[www.Colitag.com/metodologia](http://www.Colitag.com/metodologia)

Figura 4.9  
Procedimiento del método Colitag™



Para lectura de resultados entre 16 y 22 horas, asépticamente añada Colitag™ a una muestra de agua de 100mL en un frasco estéril. Cierre correctamente el frasco y agite para comenzar la disolución. Si la muestra no está a 33-38°C, póngala a baño maría a 44.5°C durante 7-10 minutos. Incube la muestra a 35°C ± 0.5°C durante el tiempo deseado de incubación restante; 16-22 horas.5. Lea los resultados de acuerdo al método de interpretación de muestras que se resume en la tabla 4.1 y como se muestra en la figura 4.10.

Para lectura de resultados entre 22 y 48 horas, asépticamente añada Colitag™ a una muestra de agua de 100mL en un frasco estéril. Cierre correctamente el frasco y agite para comenzar la disolución. Incube la muestra a 35°C ± 0.5°C durante 22-48 horas. Lea los resultados de acuerdo al método de interpretación de muestras que se resume en la tabla 4.1 y como se muestra en la Figura 4.10.

Tabla 4.1  
Método de interpretación de muestras.

Apariencia	Resultado
Menos amarillo que el comparador Colitag™ (P/A)	Negativo en coliformes totales y E. Coli.
Igual o mas amarillo que el comparador Colitag™ (P/A)	Positivo en coliformes totales
Con una lámpara UV de 365 nm, fluorescencia igual o mayor al Comparador Colitag™ (P/A)	Positivo en E. Coli.

[www.Colitag.com/metodologia](http://www.Colitag.com/metodologia)

Figura 4.10  
Resultados de la prueba Colitag™



Fuente: [www.Colitag.com/metodologia](http://www.Colitag.com/metodologia)

### 4.6.3. Compact Dry EC - Hyserve

#### 4.6.3.1 Principio<sup>38</sup>

Compact Dry es un procedimiento sencillo y seguro de determinar y cuantificar microorganismos en productos alimenticios, cosméticos y otras materias primas, incluidas las farmacéuticas. Las placas cromógenas de Compact Dry listas para el uso son adecuadas tanto para los controles a realizar durante el proceso como para los del producto final.

Las placas Compact Dry placas son extremadamente fáciles de manejar. Gracias a los indicadores redox y a los sustratos cromógenos, las colonias bacterianas crecen en colores específicos, pudiendo así distinguirse e identificarse con suma facilidad. Para posteriores estudios, a continuación, se pueden extraer fácilmente colonias específicas por separado. Las placas Compact Dry se pueden almacenar sin frigorífico a temperatura ambiente hasta un periodo de 24 meses. De este modo, en caso de necesidad usted puede aplicar muestras directamente. La tapa con cierre giratorio permite transportar las muestras con seguridad. Las placas se incuban a continuación a la temperatura que se especifique para el caso entre 20° C y 42° C. Gracias a su estudiadísima forma se pueden apilar

---

<sup>38</sup> [https://hyserve.com/files/CompactDry\\_ES.pdf](https://hyserve.com/files/CompactDry_ES.pdf)

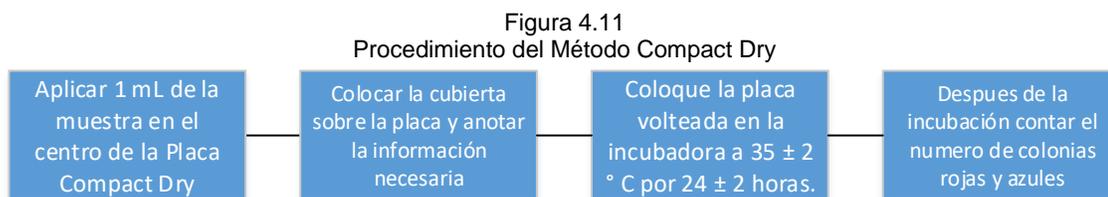
fácilmente y sin que resbalen: así se ahorra espacio y se mantiene la visibilidad dentro del incubador.

Con Compact Dry EC se pueden detectar y distinguir coliformes y E. coli. El medio contiene dos sustratos enzimáticos cromógenos: Magenta-GAL y X-Gluc. De esta manera los coliformes denotan una coloración roja, mientras que la de los E. coli es azul. Sumando las colonias rojas y azules resulta la cifra total del grupo coliforme.

#### 4.6.3.2. Material y Equipo

- Placas Compact Dry EC
- Frascos de vidrio de 250 ml con tapón de rosca
- Pipetas volumétricas esterilizadas de 1 mL.
- Incubadora con termostato que evite variaciones mayores de  $\pm 1,0$  °C, provista con termómetro calibrado.

#### 4.6.3.3. Procedimiento<sup>39</sup>



Aplique 1 ml de la muestra en el centro de la placa Compact Dry. La muestra se dispersa automática y homogéneamente sobre la lámina, y transforma la lámina seca en un gel en pocos segundos. Vuelva a colocar la cubierta sobre la placa y anote la información necesaria en la sección de memorando. Gire la placa cerrada y colóquela en la incubadora a  $35 \pm 2$  °C por  $24 \pm 2$  horas. Después de la incubación, cuente el número de colonias coloreadas en la parte posterior de la placa. El papel blanco colocado debajo de la placa le ayudará a contar las colonias.

<sup>39</sup> [https://hyserve.com/files/Compact%20Dry%20PI\\_CF-version%2002-09-920pcs-Nordval.pdf](https://hyserve.com/files/Compact%20Dry%20PI_CF-version%2002-09-920pcs-Nordval.pdf)

Figura 4.12  
Aplicación de muestra en Compact Dry



Fuente: <https://hyserve.com/produkt2.php?lang=es&gr=1&pr=217>

#### 4.6.3.4. Informe de resultados

Las colonias de coliformes que crecen denotan una coloración roja, mientras que las colonias de E. Coli denotan coloración azul/azul verdoso. La determinación de Coliformes Totales se representa con la sumatoria de las colonias de ambas coloraciones.

Informar: UFC/g o ml en placa, incubados  $35 \pm 2$  °C durante  $24 \pm 2$  h.

En caso de no observar crecimiento en la muestra sin diluir se informa: "no desarrollo de coliformes por mL".

# CAPÍTULO 5

## RESULTADOS



## 5. RESULTADOS

### 5.1 Opinión de la comunidad de la FES Zaragoza

Para la elaboración de este trabajo se aplicaron encuestas las cuales fueron realizadas tanto al encargado y los operadores del proyecto de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza como a los alumnos, académicos, trabajadores, y demás comunidad que frecuenta las instalaciones de dicha facultad.

Principalmente para definir los parámetros y alcances del proyecto se encuestó a los encargados del proyecto los cuales amablemente nos dieron respuesta a nuestras preguntas las cuales se encuentran en el Anexo B.

Dentro de estas encuestas podemos destacar que un porcentaje considerable de la comunidad encuestada (76.19%) asegura que sí consume el agua proveniente de la planta (Fig. 5.1), así también como que un pequeño porcentaje (26.19%) conoce el proceso de purificación del agua proveniente de la Planta Purificadora de la FES Zaragoza; otro aspecto de mayor relevancia es que de cuatro parámetros

### 5.2 Viabilidad del proyecto<sup>40</sup>

El objetivo principal de cualquier estudio de prototipo es la adecuada selección del procedimiento que proporcione un resultado confiable para cumplir con los objetivos de calidad del agua purificada al menor costo total. La justificación para cumplir con los objetivos del estudio de prototipo se basa en la aplicación particular a la que se enfrenta el ingeniero de diseño e incluye situaciones en las que: la viabilidad técnica del proceso de análisis es desconocida, la viabilidad del costo es incierta, Y los refinamientos del proceso pueden ser beneficiosos.

---

<sup>40</sup>Montgomery, James. (1985). *Water Treatment Principles and design*. Ed John Wiley and sons. EUA.

Viabilidad técnica. El objetivo más básico para un estudio de prototipo es determinar la viabilidad técnica. Si el proceso es efectivo, la siguiente cuestión es la eficacia. También es importante determinar qué variables de control afectan el rendimiento y el costo aproximado del proceso de tratamiento.

Debido a las características inherentes de investigación y desarrollo, es probable que un estudio prototipo que evalúe la viabilidad técnica de un proceso sea aquel en el que el alcance no esté claramente definido al comienzo del proyecto. La puesta en escena es típica; Por ejemplo, la primera etapa incluiría la prueba a escala de banco, mientras que las etapas posteriores incluirían la prueba piloto y / o de mayor escala. Como resultado, el costo de este estudio podría ser extenso.

El éxito del proceso propuesto no está garantizado. Sin embargo, existe la posibilidad de avanzar la comprensión fundamental de los procesos de análisis mediante la realización de un estudio de este tipo. En general, hay mayores riesgos y beneficios asociados con un estudio de prototipos de factibilidad técnica que con los otros tipos de estudios piloto.

Viabilidad Económica. Para un estudio prototipo que investiga la factibilidad económica, generalmente existe una extensa evaluación de las variables de control. En este tipo de estudio, también hay una evaluación más detallada de los costos en relación con un estudio de factibilidad técnica y análisis de datos más sofisticados. Generalmente, en este caso solo se evaluaría una sola alternativa.

Debido a que el objetivo principal de este proyecto es la selección del método adecuado de análisis de coliformes totales y fecales para la implementación de éste en las actividades de control de calidad de la Planta Purificadora del Campus II de la FES Zaragoza, que determine que la calidad del agua cumple con 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", se enfocará en dos aspectos principales para la selección de este método, la viabilidad técnica y la viabilidad económica.

Dentro de esta viabilidad técnica se incluye el espacio destinado para la realización de los análisis propuestos. Una opción que se propone es el uso de los laboratorios del edificio L-5, debido a que son laboratorios que fueron previamente aprobados por organismos de acreditación de la carrera de Q.F.B., por lo que se puede decir que se tienen las condiciones para realizar estos análisis.

### **5.3 Análisis del procedimiento NMP para determinación de organismos Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli - Método del número más probable en tubos múltiples.**

#### **5.3.1 Viabilidad técnica**

- Requerimiento de personal

El proyecto se limita a tener únicamente una persona encargada de hacer el análisis. El encargado será alumno de la facultad, el cual se encuentre realizando Servicio Social, preferentemente de la carrera de Química Farmacéutica Biológica, ya que están familiarizados con este tipo de análisis, medidas de seguridad e higiene y manejo del material y equipo empleado. En dado caso que no se cuente con apoyo de la Coordinación de la Carrera de Química Farmacéutica Biológica el trabajo será delegado a un alumno que se encuentre realizando Servicio Social en la Planta Purificadora de la FES Zaragoza, de la carrera de Ingeniería, el cual será capacitado para realizar este análisis.

- Requerimiento tecnológico.

El campus II de la FES Zaragoza, cuenta con laboratorios equipados para este tipo de análisis. Cuenta con material y equipo necesarios tales como incubadoras, baños maría, material de vidrio, entre otros.

- Requerimiento de espacio

La Planta Purificadora cuenta con un espacio abierto el cual no es viable para realizar este tipo de análisis, ya que está expuesto a contaminación externa, por lo tanto, la mejor opción para realizar estos análisis son los laboratorios ubicados en el edificio L-5, debido a que en ellos se cuenta con el material y equipo necesarios.

En la tabla 5.1 se muestran las ventajas y desventajas de este método los cuales nos ayudaran en nuestra desición.

Tabla 5.1  
Ventajas y desventajas del método de NMP – Tubos Múltiples.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La prueba presuntiva y confirmativa consiste en observar la presencia o ausencia de gas, para lo cual se requiere mínima experiencia	El tiempo requerido para la prueba puede ser de 96 horas con la prueba confirmativa.
Muestras de agua con alta turbiedad y gran numero de algas no producen efectos nocivos en la reacción de los tubos.	El requerimiento horas – hombre para la preparación del material de vidrio y medios de cultivo para la prueba es significativo.
En la Facultad se cuenta con el material y equipo necesarios para las pruebas.	La poca experiencia de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Química en el tema de la esterilización y el equipo de higiene provoca interferencias y falsos resultados.
Al ser prueba presencia o ausencia de gas la cual es la que nos exige la NOM-127-SSA1-1994 se facilita el análisis de coliformes.	Posible negativa ante la colaboración entre las Carreras de Ingeniería Química y Quimica Farmacéutico Biológica.

### 5.3.2 Viabilidad económica

El material, equipo y reactivos empleados para esta técnica están escalados para 11 pruebas las cuales serán realizadas en un plazo piloto de un año a plazos fijos. Los precios totales se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2  
Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método NMP – Tubos Múltiples

	<b>Precio</b>
<b>Material</b>	\$ 15 348.94 MXN
<b>Equipo</b>	\$ 188 667.00 MXN
<b>Reactivos</b>	\$ 4 381.00 MXN
<b>Total</b>	\$ 208 396.94 MXN

#### **5.4 Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva - Método de filtración en membrana.**

##### **5.4.1 Viabilidad técnica**

- Requerimiento de personal

El proyecto se limita a tener únicamente una persona encargada de hacer el análisis. El encargado será alumno de la facultad, el cual se encuentre realizando Servicio Social, preferentemente de la carrera de Química Farmacéutico Biológica, ya que están familiarizados con este tipo de análisis, medidas de seguridad e higiene y manejo del material y equipo empleado. En dado caso que no se cuente con apoyo de la Coordinación de la Carrera de Química Farmacéutico Biológica el trabajo será delegado a un alumno que se encuentre realizando Servicio Social en la Planta Purificadora de la FES Zaragoza, de la carrera de Ingeniería, el cual será capacitado para realizar este análisis.

- Requerimiento tecnológico.

El campus II de la FES Zaragoza, cuenta con laboratorios equipados para este tipo de análisis. Cuenta con material y equipo necesarios tales como incubadoras, baños maria, material de vidrio, entre otros.

- Requerimiento de espacio

La Planta Purificadora cuenta con un espacio abierto el cual no es viable para realizar este tipo de análisis, ya que está expuesto a contaminación externa, por lo tanto, la mejor opción para realizar estos análisis son los laboratorios ubicados en el edificio L-5, debido a que en ellos se cuenta con el material y equipo necesarios.

En la tabla 5.3 se muestran las ventajas y desventajas de este método los cuales nos ayudaran en nuestra desición.

Tabla 5.3  
Ventajas y desventajas del método de Filtración en Membrana

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Proporciona recuentos directos.	Interfieren los altos niveles de turbidez.
Es más preciso (se obtienen resultados más reproducibles).	Los coliformes debilitados pueden sobrevivir mejor en la prueba de NMP.
Relativa Rapidez y facilidad de realización	Las altas concentraciones de coliformes interfieren en el recuento
Analiza mayores volúmenes de muestras con bajas concentraciones de organismos.	Posible negativa ante la colaboración entre las Carreras de Ingeniería Química y Química Farmacéutico Biológica.
	La poca experiencia de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Química en el tema de la esterilización y el equipo de higiene provoca interferencias y falsos resultados.
	El requerimiento horas – hombre para la preparación del material de vidrio y medios de cultivo para la prueba es significativo.

#### 5.4.2 Viabilidad económica

El material, equipo y reactivos empleados para esta técnica están escalados para 11 pruebas las cuales serán realizadas en un plazo piloto de un año a plazos fijos. Los precios totales se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4  
Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Filtración en Membrana.

	<b>Precio</b>
<b>Material</b>	\$15 985.64 MXN
<b>Equipo</b>	\$ 206 666.00 MXN
<b>Reactivos</b>	\$ 3 017.00 MXN
<b>Total</b>	\$ 225 668.64 MXN

### 5.5 Colilert® - IDEXX

#### 5.5.1 Viabilidad técnica

- Requerimiento de personal

El proyecto se limita a tener únicamente una persona encargada de hacer el análisis. El encargado será alumno de la carrera de Ingeniería Química, el cual se encuentre realizando Servicio Social en la Planta Purificadora de la FES Zaragoza, de la carrera de Ingeniería, el cual será capacitado para realizar este análisis. Debido a la sencillez del análisis no requerirá apoyo de otra carrera de la Facultad.

- Requerimiento tecnológico.

El equipo, material y reactivos necesarios para esta prueba se proveen en el paquete completo de análisis. Se pueden reemplazar algunos equipos para así reducir el costo total.

- Requerimiento de espacio

La Planta Purificadora cuenta con un espacio abierto el cual no tiene mucha relevancia, debido a las facilidades que este método nos otorga. Únicamente se requiere un espacio donde incubar las muestras, por lo que se prevee que sea en los laboratorios ubicados en el laboratorio L-5, esto en caso de que no se adquiriera la incubadora incluida en el paquete.

En la tabla 5.5 se muestran las ventajas y desventajas de este método los cuales nos ayudaran en nuestra desición.

Tabla 5.5  
Ventajas y desventajas del método Colilert®.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La prueba presuntiva y confirmativa consiste en observar la presencia o ausencia de gas, para lo cual se requiere mínima experiencia.	Los altos niveles de Aeromonas hydrophila y Flavobacterium spp. pueden dar origen a pruebas positivas falsa.
Muestras de agua con alta turbiedad y gran numero de algas no producen efectos nocivos en la reacción de los tubos.	Costo de reactivo elevado para las pruebas a realizar.
No necesita material adicional por lo que se puede realizar en la planta.	
Cumple con normas nacionales e internacionales.	
No requiere experiencia de los operadores en pruebas microbiológicas.	

### 5.5.2 Viabilidad técnica

El material, equipo y reactivos empleados para esta técnica están escalados para 11 pruebas las cuales serán realizadas en un plazo piloto de un año a plazos fijos. Los precios totales se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6  
Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Colilert®.

	Precio
Material	\$ 2359.80 MXN
Equipo	\$ 111 508.00 MXN
Reactivos	\$ 13 300.00 MXN
Total	\$ 127 328.80 MXN

## 5.6 Colitag™

### 5.6.1 Viabilidad técnica

- Requerimiento de personal

El proyecto se limita a tener únicamente una persona encargada de hacer el análisis. El encargado será alumno de la carrera de Ingeniería Química, el cual se encuentre realizando Servicio Social en la Planta Purificadora de la FES Zaragoza, de la carrera de Ingeniería, el cual será capacitado para realizar este análisis. Debido a la sencillez del análisis no requerirá apoyo de otra carrera de la Facultad.

- Requerimiento tecnológico.

El equipo, material y reactivos necesarios para esta prueba se proveen en el paquete completo de análisis. Se pueden reemplazar algunos equipos para así reducir el costo total.

- Requerimiento de espacio

La Planta Purificadora cuenta con un espacio abierto el cual no tiene mucha relevancia, debido a las facilidades que este método nos otorga. Únicamente se requiere un espacio donde incubar las muestras, por lo que se prevee que sea en los laboratorios ubicados en el laboratorio L-5, esto en caso de que no se adquiriera la incubadora incluida en el paquete.

En la tabla 5.7 se muestran las ventajas y desventajas de este método los cuales nos ayudaran en nuestra desición.

Tabla 5.7  
Ventajas y desventajas del método Colitag™.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La prueba presuntiva y confirmativa consiste en observar la presencia o ausencia de gas, para lo cual se requiere mínima experiencia.	Los altos niveles de Aeromonas hydrophila y Flavobacterium spp. pueden dar origen a pruebas positivas falsa.
Muestras de agua con alta turbiedad y gran numero de algas no producen efectos nocivos en la reacción de los tubos.	Costo de reactivo elevado para las pruebas a realizar.
No necesita material adicional por lo que se puede realizar en la planta.	
Cumple con normas nacionales e internacionales.	
No requiere experiencia de los operadores en pruebas microbiológicas.	
Ahorro de tiempo para pruebas.	

### 5.6.2 Viabilidad económica

El material, equipo y reactivos empleados para esta técnica están escalados para 11 pruebas las cuales serán realizadas en un plazo piloto de un año a plazos fijos. Los precios totales se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8  
Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Colitag™.

	<b>Precio</b>
<b>Material</b>	\$ 5620.20 MXN
<b>Equipo</b>	\$ 111 508.00 MXN
<b>Reactivos</b>	\$ 14 800.00 MXN
<b>Total</b>	\$ 131 928.20 MXN

### 5.7 Compact Dry EC.

### 5.7.1 Viabilidad técnica

- **Requerimiento de personal**  
El proyecto se limita a tener únicamente una persona encargada de hacer el análisis. El encargado será alumno de la facultad, el cual se encuentre realizando Servicio Social, preferentemente de la carrera de Química Farmacéutico Biológica, ya que están familiarizados con este tipo de análisis, medidas de seguridad e higiene y manejo del material y equipo empleado. En dado caso que no se cuente con apoyo de la Coordinación de la Carrera de Química Farmacéutico Biológica el trabajo será delegado a un alumno que se encuentre realizando Servicio Social en la Planta Purificadora de la FES Zaragoza, de la carrera de Ingeniería, el cual será capacitado para realizar este análisis.
  
- **Requerimiento tecnológico.**  
El campus II de la FES Zaragoza, cuenta con laboratorios equipados para este tipo de análisis. Cuenta con material y equipo necesarios tales como incubadoras, baños maria, material de vidrio, entre otros.
  
- **Requerimiento de espacio**  
La Planta Purificadora cuenta con un espacio abierto el cual no es viable para realizar este tipo de análisis, ya que está expuesto a contaminación externa, por lo tanto, la mejor opción para realizar estos análisis son los laboratorios ubicados en el edificio L-5, debido a que en ellos se cuenta con el material y equipo necesarios.

En la tabla 5.9 se muestran las ventajas y desventajas de este método los cuales nos ayudaran en nuestra desición.

Tabla 5.9  
Ventajas y desventajas del método Compact Dry EC.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Proporciona recuentos directos.	Interfieren los altos niveles de turbidez.
Es más preciso (se obtienen resultados más reproducibles).	Los coliformes debilitados pueden sobrevivir mejor en la prueba de NMP.
Rapidez y facilidad de realización.	Las altas concentraciones de coliformes interfieren en el recuento
Analiza mayores volúmenes de muestras con bajas concentraciones de organismos.	Posible negativa ante la colaboración entre las Carreras de Ingeniería Química y Química Farmacéutico Biológica.
Sin necesidad de reactivos adicionales	La poca experiencia de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Química en el tema de la esterilización y el equipo de higiene provoca interferencias y falsos resultados.
	El requerimiento horas – hombre para la preparación del material de vidrio y medios de cultivo para la prueba es significativo.

### 5.7.2 Viabilidad económica

El material, equipo y reactivos empleados para esta técnica están escalados para 11 pruebas las cuales serán realizadas en un plazo piloto de un año a plazos fijos. Los precios totales se muestran en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10  
Precios Totales de material, equipo y reactivos empleados en el método Compact Dry.

	<b>Precio</b>
<b>Material</b>	\$ 7392.70 MXN
<b>Equipo</b>	\$ 143 424.00 MXN
<b>Reactivos</b>	\$ 0.00 MXN
<b>Total</b>	\$ 150 816.00 MXN

### 5.8 Análisis de Viabilidad

En lo anterior mencionado podemos resumir los aspectos más importantes en la Tabla 5.11 en donde se asigna una calificación la cual 1 es la calificación mínima y 10 la máxima.

Tabla 5.11  
Análisis de viabilidad

	<b>NMP</b>	<b>FM</b>	<b>Colilert</b>	<b>Colitag</b>	<b>Compact Dry</b>
<b>Tiempo</b>	5	7	9	9	10
<b>Inversión</b>	6	5	10	9	8
<b>Capacitación</b>	7	6	10	10	9
<b>Complejidad</b>	7	6	9	9	8
<b>Disponibilidad de espacio</b>	7	7	9	9	7
<b>Disponibilidad</b>	7	7	9	9	8

---

<b>de equipo</b>					
<b>Total</b>	39	38	56	55	50

---

# CAPÍTULO 6

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES



## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La finalidad de este proyecto es comprobar que el agua que proviene de la Planta Purificadora cumple con los estándares de calidad que delimita la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, hablando estrictamente de los organismos Coliformes.

Dentro de este análisis técnico y económico notamos que para cumplir con los métodos normativos se necesitaba personal que conociera temas como la esterilización y las Buenas Practicas de Laboratorio. Como no podemos determinar que las carreras de Ingeniería Química y Química Farmacéutica Biológica puedan trabajar en conjunto, contamos sólo con alumnos de la carrera de Ingeniería Química de la FES Zaragoza que se encuentran realizando su Servicio Social en la Planta Purificadora de la FES Zaragoza. Dado a que el alumno de esta carrera no está familiarizado con estos temas tan importantes como es la esterilización y un buen uso del equipo de higiene, optamos por utilizar un método alternativo, con el cual se facilita mucho la determinación, ya que no se tienen especificaciones tan estrictas como las descritas en los métodos normativos de análisis de coliformes

Como elección obligada, tenemos que tomar en cuenta que toda operación de esta índole se encuentra delimitada por las Normas Oficiales Mexicanas, por lo que la mejor opción sería el **Método de NMP – Tubos múltiples**, ya que al ser una prueba de Presencia / Ausencia, nos limitamos a estas dos respuestas que son las que marca la NOM-127-SSA1-1994. Descartamos totalmente el Método de Filtración en Membrana, ya que al no tener un número específico al cual limitarnos a detectar, el conteo en placa pasa a un segundo plano, con lo cual queda descartado.

Otro aspecto muy importante que tenemos que destacar, es el hecho de que el alumno encargado de este análisis, debe estar familiarizado con las técnicas y especificaciones que exige el método, por lo que el **Metodo de NMP – Tubos multiples**, del cual no demeritamos el esfuerzo y eficacia, tiene una mayor facilidad en cuanto a estos dos aspectos.

Pero al estudiar métodos alternativos, los cuales no por no estar especificados en Normas Oficiales Mexicanas, ni en Normas Mexicanas, tienen menor eficacia y precisión, ya que se encuentran avalados por organismos internacionales, y cuentan con certificados con los cuales podemos darle seriedad a los resultados que arrojen dichas pruebas.

Tras un análisis de cada una de las tres pruebas, las cuales nos convencieron con su practicidad, precisión y versatilidad, se tomó una decisión, en la cual se descartó en primer lugar el Método Compact Dry, ya que, al ser un método cuantitativo el cual no necesitamos.

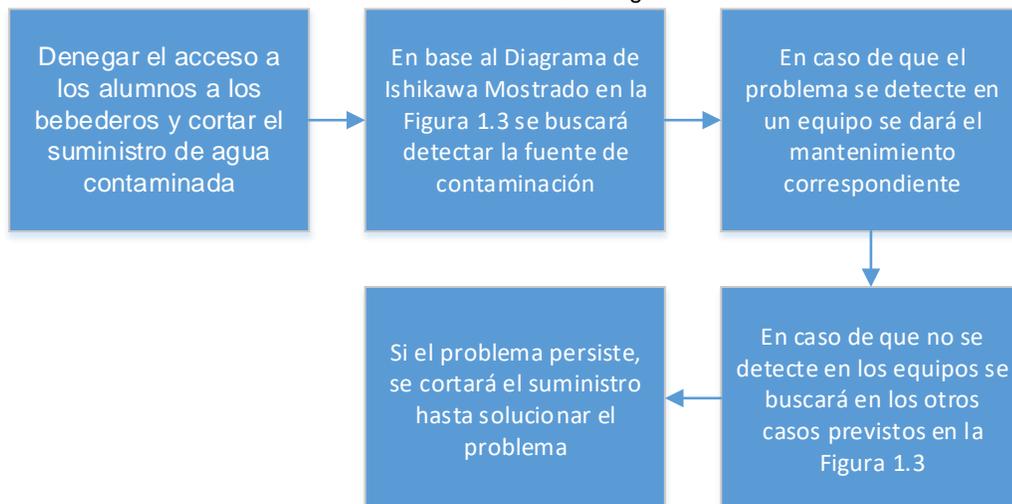
Otro aspecto el cual influyó por sobre las demás características fue el aspecto económico, ya que, al ser muy parecidas las dos técnicas y ser avaladas por organismos internacionales, se optó por elegir el más viable económicamente el cual fue el **Método Colilert®**, el cual, aparte de ser viable, es un método utilizado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México en sus análisis regulares.

## VI. PERSPECTIVAS

El proyecto no sólo se centra en el análisis, selección y aplicación de un método de Determinación de Organismos Coliformes. El alcance de este proyecto tiene como objetivo evitar que se distribuya agua con microorganismos.

En dado caso que se detecten Organismos Coliformes, se tiene previsto un plan de acción inmediata, el cual se muestra en la Figura VI.1, que corregirá y evitará que la comunidad que consume esta agua, tenga problemas de salud.

Figura VI.1  
Plan de Corrección en caso de presencia de Organismos Coliformes en el suministro de agua de los bebederos de la FES Zaragoza



Con el propósito de tener un control que nos auxilie en la prevención y detección de problemas relacionados con la detección de organismos coliformes, se propone la generación de documentación la cual nos muestren las técnicas, la operación y los protocolos a seguir en caso de tenerse algún problema relacionado con la calidad del agua. Por lo que, en vez de tener un sistema en el cual las actividades de los operadores sean transmitidas de uno a otro oralmente, se tendría un manual en el cual se podrían apoyar los operadores para ejecutar sus actividades de manera correcta.

La otra propuesta se enfoca en el registro de los resultados generados por los diferentes análisis que se llevan a cabo al agua procedente de la Planta Purificadora de la FES

Zaragoza. Con este registro se pueden identificar desviaciones y tendencias con las cuales podremos localizar el problema que esté relacionado con el proceso.

## VII. Lista de referencias

### REFERENCIAS

#### Bibliografía

1. Gray, N.F. (1994). *Drinking Water Quality Problems and solutions*. Ed. John Wiley and sons. Inglaterra.
2. Cabo, de la Puente, Catalán. (1972). *Bacteriología y potabilidad del agua*. Ed. Autoedición. España.
3. [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/05\\_serie/yelmedioambiente/4\\_agua\\_v08.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/05_serie/yelmedioambiente/4_agua_v08.pdf)
4. [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_Potable.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf)
5. Silva, Luis. (1974). *Diseño de plantas de purificación de aguas*. Ed. U.S.T.A. Colombia.
6. Romero, Jairo Alberto. (1999). *Calidad del agua*. Ed. Alfaomega. México.
7. Bitton, Gabriel. (1994). *Wastewater microbiology*. Ed. Willey-Liss Inc. EUA.
8. Freeman, Bob. (1989). *Burrows, Textbook of Microbiology*. Ed. McGraw Hill. EUA.
9. Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. *Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli-Método del número más probable en tubos múltiples* (Cancela a la NMX-AA-42-1987).
10. Fair, Gordon. (1979). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. Ed. Limusa. México.
11. [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722\\_mexico\\_consumo\\_agua\\_embotellada\\_jp](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722_mexico_consumo_agua_embotellada_jp)
12. <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/>
13. Davis, Mackenzie. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. Ed. McGraw Hill. México.
14. <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-oficiales-mexicanas>
15. <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-mexicanas-del-sector-ambiental>

16. 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.*
17. Xie, Yuefeng. (2004). *Disinfection Byproducts in drinking water. Formation, analysis, and control*". Ed. Lewis Publishers. Estados Unidos.
18. Vega de Kuyper, Juan. (2007). *Química del Medio Ambiente.* Ed. Alfaomega. Chile.
19. Metcalf-Eddy. (1977). *Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal.* Ed. Labor. España.
20. Denny, S., Broberg, P. and Whitemore, T. (1990) *Microbiological hazards in water supplies.* Report F R 0114, Foundation for Water Research, Marlow.
21. Romero, Jairo. (1999). *Potabilización del agua.* Ed Alfaomega. México.
22. [http://www.agua.unam.mx/noticias/2012/unam/not\\_unam\\_marzo01.html](http://www.agua.unam.mx/noticias/2012/unam/not_unam_marzo01.html)
23. [http://www.estadistica.unam.mx/series\\_inst/reportes\\_institucionales/web/anexo\\_estadistico\\_feszar.html](http://www.estadistica.unam.mx/series_inst/reportes_institucionales/web/anexo_estadistico_feszar.html)
24. González, Juan. (2014). *Optimización al proceso de purificación del agua suministrada a los bebederos de la FES Zaragoza* (tesis de licenciatura). UNAM, México.
25. Osorio, Janet, & Romero, Mónica (2012). *Análisis del tratamiento y operación de la Planta Purificadora de agua en la FES Zaragoza Campus II* (tesis de licenciatura). UNAM, México.
26. Norma Oficial Mexicana NOM-160-SSA1-1995. *Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada.*
27. Norma Oficial Mexicana. NOM-014-SSA1-1993. *Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.*
28. Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015. *Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.*
29. Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.*
30. APHA,AWWA,WPCF. (1989). *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.* Ed. Ediciones Diaz de Santos, S.A. EUA.

31. Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. *Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli – Método del número más probable (NMP) en tubos múltiples* (cancela a la NMX-AA-42-1987).
32. <http://www.azc.uam.mx/cbi/quimica/microbiologia/p17.pdf>
33. Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.*
34. Norma Mexicana NMX-AA-102-SCFI-2006. *Calidad del agua – Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y escherichia coli presuntiva – método de filtración en membrana* (cancela a la NMX-AA-102-1987).
35. [http://coli.usal.es/Web/demo\\_fundacua/demo2/FiltraMembColiT\\_auto.html](http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html)
36. <http://www.idexx.es/water/products/colilert.html>
37. [www.Colitag.com/metodologia](http://www.Colitag.com/metodologia)
38. [https://hyserve.com/files/CompactDry\\_ES.pdf](https://hyserve.com/files/CompactDry_ES.pdf)
39. [https://hyserve.com/files/Compact%20Dry%20PI\\_CF-version%2002-09-920pcs-Nordval.pdf](https://hyserve.com/files/Compact%20Dry%20PI_CF-version%2002-09-920pcs-Nordval.pdf)
40. Montgomery, James. (1985). *Water Treatment Principles and design*. Ed John Wiley and sons. EUA.

## VIII. Anexos

### Anexo A

#### NMP y límites de confianza del 95% (5 tubos)

Combinación de tubos positivos			NMP/100ml	Límites de 95% de confianza		Combinación de tubos positivos			NMP/100ml	Límites de 95% de confianza	
				Inferior	Superior					Inferior	Superior
0	0	0	< 1.8	-	6.8	4	0	3	25	9.8	70
0	0	1	1.8	0.090	6.8	4	1	0	17	6.0	40
0	1	0	1.8	0.090	6.9	4	1	1	21	6.8	42
0	1	1	3.6	0.70	10	4	1	2	26	9.8	70
0	2	0	3.7	0.70	10	4	1	3	31	10	70
0	2	1	5.5	1.8	15	4	2	0	22	6.8	50
0	3	0	5.6	1.8	15	4	2	1	26	9.8	70
1	0	0	2.0	0.10	10	4	2	2	32	10	70
1	0	1	4.0	0.70	10	4	2	3	38	14	100
1	0	2	6.0	1.8	15	4	3	0	27	9.9	70
1	1	0	4.0	0.71	12	4	3	1	33	10	70
1	1	1	6.1	1.8	15	4	3	2	39	14	100
1	1	2	8.1	3.4	22	4	4	0	34	14	100
1	2	0	6.1	1.8	15	4	4	1	40	14	100
1	2	1	8.2	3.4	22	4	4	2	47	15	120
1	3	0	8.3	3.4	22	4	5	0	41	14	100
1	3	1	10	3.5	22	4	5	1	48	15	120
1	4	0	10	3.5	22	5	0	0	23	6.8	70
2	0	0	4.5	0.79	15	5	0	1	31	10	70
2	0	1	6.8	1.8	15	5	0	2	43	14	100
2	0	2	9.1	3.4	22	5	0	3	58	22	150
2	1	0	6.8	1.8	17	5	1	0	33	10	100
2	1	1	9.2	3.4	22	5	1	1	46	14	120
2	1	2	12	4.1	26	5	1	2	63	22	150
2	2	0	9.3	3.4	22	5	1	3	84	34	220
2	2	1	12	4.1	26	5	2	0	49	15	150
2	2	2	14	5.9	36	5	2	1	70	22	170
2	3	0	12	4.1	26	5	2	2	94	34	230
2	3	1	14	5.9	36	5	2	3	120	36	250
2	4	0	15	5.9	36	5	2	4	150	58	400
3	0	0	7.8	2.1	22	5	3	0	79	22	220
3	0	1	11	3.5	23	5	3	1	110	34	250
3	0	2	13	5.6	35	5	3	2	140	52	400
3	1	0	11	3.5	26	5	3	3	170	70	400
3	1	1	14	5.6	36	5	3	4	210	70	400
3	1	2	17	6.0	36	5	4	0	130	36	400
3	2	0	14	5.7	36	5	4	1	170	58	400
3	2	1	17	6.8	40	5	4	2	220	70	440
3	2	2	20	6.8	40	5	4	3	280	100	710
3	3	0	17	6.8	40	5	4	4	350	100	710
3	3	1	21	6.8	40	5	4	5	430	150	1100
3	3	2	24	9.8	70	5	5	0	240	70	710
3	4	0	21	6.8	40	5	5	1	350	100	1100
3	4	1	24	9.8	70	5	5	2	540	150	1700
3	5	0	25	9.8	70	5	5	3	920	220	2600
4	0	0	13	4.1	35	5	5	4	1600	400	4600
4	0	1	17	5.9	36	5	5	5	>1600	700	-
4	0	2	21	6.8	40						

## **Anexo B**

### **Encuestas**

#### **Cuestionario para el encargado del proyecto**

- **¿Cuál es la especificación, en cuanto a Normas Oficiales, que debe cumplir el agua de consumo de la FES?**

**Todos los parámetros deben cumplir con los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA1.**

- **¿Qué análisis se llevan a cabo para el control de la calidad del agua?  
¿Con qué frecuencia se llevan a cabo estos análisis?**

**Cloro libre y residual, y pH. Regularmente se realiza con cada lote que se produce. Se producen dos lotes a la semana.**

- **¿Cómo se asegura el correcto funcionamiento de la planta purificadora?**

**Mediante a los análisis que se llevan a cabo. Si no cumple con las especificaciones no se distribuye.**

- **¿Qué condiciones de sanidad tienen que cumplir las instalaciones de la planta?**

**Debe ser limpiada regularmente, estar libre de polvo ya que esta se encuentra en un lugar abierto donde se expone a este tipo de contaminantes. En cuanto a las tuberías se desinfectan bombeando agua con cloro el cual distribuyen a lo largo de las líneas hasta los bebederos, los cuales se lavan externamente por los mismos operadores.**

- **¿Cómo sanitizan la planta y la red de distribución? ¿Con que frecuencia se llevan a cabo estas actividades de sanitización y en base a que definieron esa frecuencia?**

**Debe ser limpiada regularmente, estar libre de polvo ya que esta se encuentra en un lugar abierto donde se expone a este tipo de contaminantes. En cuanto a las tuberías se desinfectan bombeando agua con cloro el cual distribuyen a lo largo de las líneas hasta los bebederos, los cuales se lavan externamente por los mismos operadores.**

- **¿Se hace un mantenimiento preventivo de los equipos que se ocupan en la planta? ¿Qué se hace en el mantenimiento preventivo?**

**Se llevan a cabo de manera esporádica, como remplazar cartuchos de los filtros pulidores, el mantenimiento del ozonificador por parte de los técnicos especializados.**

- **¿se tienen datos de los resultados de calidad del agua tanto del suministro como de la salida de la planta que se puedan evaluar, revisar tendencias o hacer algún análisis estadístico?**

**No se tienen. Se tienen que hacer, pero no se tienen.**

- **¿Si se tienen datos, éstos están disponibles para consulta de la comunidad de la FES Zaragoza?**

**No se tienen.**

- **¿Se ha realizado alguna vez el análisis de coliformes Totales y fecales del agua de la planta purificadora ¿Quién realiza estos análisis?**

**Se realizaron alguna vez, no tengo conocimiento puntual. Actualmente no se realizan.**

- **¿Cómo se garantiza el cumplimiento de la calidad del agua en la FES con las Norma NOM-127-SSA?**

**Se pretende con los análisis que ya se hacen (cloro y pH) apearse a la NOM-127-SSA.**

- **¿En dónde podemos encontrar los procedimientos, registros del desempeño de la planta, registros del mantenimiento, de la sanitización, etc.?**

**Los mismos operadores llevan bitácoras en las cuales se registran todo lo correspondiente a sanitización.**

## **Encuesta para alumnos y trabajadores de la FES Zaragoza CII**

- **¿Consumes el agua que proviene de la planta?**
  
- **¿Sabes cómo se purifica el agua proveniente de la planta purificadora? ¿Conoces el proceso?**
  
- **¿Confías en la calidad del agua que proviene de la planta?**
  
- **Dentro de las siguientes características del agua purificada selecciona el nivel de importancia que das a cada uno de estos atributos (1) el menos importante (5) que tu creas más importante**
  - **Olor**
  - **Sabor**
  - **Color (turbidez)**
  - **Libre de microorganismos**
  
- **En una escala del 1 al 5, ¿qué nivel de satisfacción tienes con el agua proveniente de la Planta Potabilizadora? Siendo 1 malo y 5 excelente**