



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Evaluación de la Ósmosis Inversa en diferentes tipos de pre-tratamiento usadas en algunas plantas potabilizadoras.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTAN:

GONZÁLEZ HERNÁNDEZ ZURISADAI YESENIA

RIVERA MEDINA ESTEBAN

ASESOR: M. EN I. CRESENCIANO ECHAVARRIETA ALBITER



FES Zaragoza, Ciudad de México 2019



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que al alumno(a) **González Hernández Zurisadal Yesenia**, con número de cuenta **41406542-0** de la carrera **Ingeniería Química**, se le ha fijado el día **05** del mes de **Abril** de **2019** a las **15:00 horas** para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. ALDO FERNANDO VARELA MARTÍNEZ
VOCAL	M. EN I. CRESENCIANO ECHAVARRIETA ALBITER
SECRETARIO	M. EN I. FRANCISCO JAVIER ALMAZÁN RUÍZ
SUPLENTE	M. EN C. YENNIFER PAOLA ARAUZ TORRES
SUPLENTE	DR. FRANCISCO VIDAL CABALLERO DOMÍNGUEZ

El título de la tesis que se presenta es: "Evaluación de la Ósmosis Inversa en diferentes tipos de pre-tratamiento usadas en algunas plantas potabilizadoras".

Opción de Titulación: Convencional

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
CDMX a 11 de Marzo de 2019.

DR. VICENTE JESÚS HERNÁNDEZ ABAD
DIRECTOR
DIRECCIÓN

RECIBI
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

Ve Su
M. EN C. CESAR SAÚL VELÁSQUEZ HERNÁNDEZ
JEFE DE LA CARRERA DE I. Q.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que al alumno(a) **Rivera Medina Esteban**, con número de cuenta **41310052-4** de la carrera **Ingeniería Química**, se le ha fijado el día **05** del mes de **Abril** de **2019** a las **17:00 horas** para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. ALDO FERNANDO VARELA MARTÍNEZ
VOCAL	M. EN I. CRESENCIANO ECHAVARRIETA ALBITER
SECRETARIO	M. EN I. FRANCISCO JAVIER ALMAZÁN RUÍZ
SUPLENTE	M. EN C. YENNIFER PAOLA ARAUZ TORRES
SUPLENTE	DR. FRANCISCO VIDAL CABALLERO DOMÍNGUEZ

El título de la tesis que se presenta es: "Evaluación de la Ósmosis Inversa en diferentes tipos de pre-tratamiento usadas en algunas plantas potabilizadoras".

Opción de Titulación: Convencional

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
CDMX a 11 de Marzo de 2019

DR. VICENTE JESÚS HERNÁNDEZ ABAD
DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"
DIRECCIÓN

RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

Va Br
M. EN C. CESAR SAÚL VELASCO HERNÁNDEZ
JEFE DE LA CARRERA DE I.Q.

Dedicatoria

Con cariño, respeto y amor:

El presente trabajo lo dedico a Miriam Hernández quien ha sido la mejor madre que la vida me ha dado, quien sin escatimar esfuerzo alguno ha sacrificado gran parte de su vida para formarme. Quien me brinda los mejores consejos y es sin duda alguna un ejemplo a seguir, por ello este logro es de las dos.

A las personas que a lo largo de la carrera me apoyaron y confiaron en mí brindándome sus enseñanzas.

A mi primo Andrés, quien aunque ya no está en estos momentos conmigo nunca dudo de mí y me brindó su apoyo incondicional comportándose como un hermano para mí cuidándome siempre.

Zurisdai Yesenia González Hernández

Dedicatoria:

El presente trabajo lo dedico especialmente a mis padres que con mucho esfuerzo dieron su amor, esfuerzo, tiempo y trabajo, para poder ofrecerme el mejor regalo de mi vida y hacerme llegar hasta aquí.

A mi hermana por estar siempre presente acompañándome y sobre todo por su apoyo moral.

Al igual que a todas las personas que me han apoyado abriéndome las puertas y compartieron sus conocimientos, para lograr este gran triunfo.

Esteban Rivera Medina

Agradecimiento

A Dios por permitirme llegar hasta este punto y nunca dejarme sola, por permitirme la vida y dicha de estar con las personas que más quiero.

Agradezco a mi madre quien me ha enseñado a poder salir adelante, quien siempre me ha apoyado en cualquier meta que yo me disponga, quien gracias a su trabajo me ha permitido concluir mis estudios.

A Esteban Rivera por todo su amor, cariño, consejos, conocimientos y quien, me apoyado y estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos. Y con quien he formado un gran equipo. “Juntos Siempre”

A Grisel Jiménez, quien es como una hermana para mí, gracias por todas esas charlas, apoyo incondicional, por siempre ser tan buena conmigo.

A mi tía Laura Hernández por siempre ser como mi segunda mamá y darme ese calor humano, así mismo a mi tía Esther Hernández por apoyarme en las decisiones a lo largo de mi vida y ser una excelente persona conmigo.

A mi asesor Crescenciano Echavarieta quien me ha brindado sus conocimientos y su tiempo para poder realizar este trabajo.

A la M. en C. Yennifer Paola Arauz Torres, el I.Q. Aldo Fernando Varela Martínez, el M. En IQ. , Francisco Javier Almazán Ruíz y el Dr. Francisco V. Caballero. Por dedicarme de su tiempo para poder revisar la tesis y así mismo por los conocimientos que me brindaron a lo largo de la carrera.

A los profesores que a lo largo de la carrera me han compartido sus conocimientos y su tiempo para explicarme.

Al Ing. Rodolfo Ramírez de SACMEX por permitirme realizar los análisis fisicoquímicos dentro de las instalaciones.

Y por último pero no menos importante a mi amada UNAM por todo el apoyo en mi educación y programas que recibí.

Gracias por todo.

Zurisadai Yesenia González Hernández

Agradecimiento:

Quiero agradecer especialmente a mis padres Amelia y Evodio, y mi hermana Isabel, por ser los principales promotores de este gran logro, por confiar y creer en mis expectativas, por el apoyo, dedicación y amor que me brindaron durante toda la vida, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A Zurisadai, por su amor, por su cariño, por sus consejos y sobre todo su ayuda tanto laboral y escolar, ha logrado que hoy también podamos lograr esta gran meta *“Juntos siempre”*.

A mi asesor el M.I.Q Cresenciano por su tiempo y sus conocimientos que me brindo no solo para este trabajo si no como profesor, me dio un gran ejemplo a seguir.

A mis amigos Oscar y Fermin que después de tantos años de amistad siguen dándome consejos y los llevo a cabo *“nunca te conformes con el empate, ve siempre por todo”*.

A mi amigo Alan y familia Bernache Ramírez por brindarme su apoyo durante mi estancia en la universidad.

A mi Amiga la I. Q Andrea, por brindarme sus conocimientos, paciencia y tiempo para la realización de este trabajo.

Por ultimo quisiera agradecer a mis profesores que dedicaron de su tiempo para revisar y calificar el trabajo hoy presentado.

Gracias por todo.

Esteban Rivera Medina

Índice.

I. Introducción.	1
II. Justificación	3
III. Objetivos.	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Capítulo 1. Historia del agua en la cuenca del Valle de México.	4
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 De la tradición a la modernidad. Cambios técnicos y tecnológicos en los usos del agua.	5
1.2.1 Manejo del agua en México.	6
1.3 Obras hidráulicas.	7
1.3.1 Fuentes de agua cruda.	7
Tabla1.1 Fuente y cantidad de agua cruda abastecida a la CDMX y las áreas del Edo. De México.....	7
Tabla 1.2 Campos de pozos dentro del Valle de México y sus tasas de extracción de agua.....	8
1.4 Evolución de la extracción.....	8
1.5 Suministro de agua potable.....	9
1.5.1 Factores a considerarse.	10
1.6 Normatividad.....	12
Capítulo 2. Tipos de tratamientos.	13
2.1 Hidrólisis.....	14
2.2 Oxidación	14
2.2.1 Oxidación en la ósmosis inversa.	14
2.3 Ozonización	15
2.4 Sedimentación.....	16
2.5 Filtración.....	17
2.5.1 Principios de la operación.	17
2.5.2 Filtración en zeolitas.....	19
2.5.3 Filtros cartucho.....	20
2.6 Aireación.	21

2.6.1 Aireación, sedimentación y filtración.....	21
2.6.2 Aireación, oxidación química, sedimentación y filtración.....	22
2.7 Intercambio iónico.....	22
2.8 Coagulación-floculación.....	23
2.8.1 Floculantes.....	24
2.8.2. Adsorción en carbón activado.....	24
Capítulo 3 Ósmosis inversa.....	26
3.1 La Ósmosis inversa.....	27
3.2 Definición de membrana.....	28
3.2.1 Características de las membranas.....	28
Tabla 1.3 Tipos de filtración.....	29
3.2.2 Tipos de membrana.....	29
3.2.3 Sistema de membrana.....	30
3.3 Análisis del agua.....	30
3.4 Limpieza de membranas.....	32
3.5 Aplicaciones de la ósmosis inversa.....	33
3.5.1 Producción de agua ultra pura para uso en calderas de alta presión, u otros procesos industriales.....	33
3.5.2 Agua ultra pura para microcircuitos y pintura electroforética.....	33
3.5.3 Producción de agua potable para consumo humano.....	34
3.6 Usos de ósmosis inversa.....	34
3.6.1 Elaboración de cervezas y refrescos.....	34
3.6.2 Potabilización de agua de mar.....	35
3.6.3 Producción de agua de riego.....	35
Capítulo 4 Plantas seleccionadas, muestreo y análisis.....	36
4.1 Planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”.....	38
4.1.1 Descripción del proceso.....	38
4.2 Planta potabilizadora “La Selene”.....	38
4.2.1 Descripción del Proceso.....	38
4.3 Planta Potabilizadora “Vista Alegre”.....	41
4.3.1 Descripción del proceso.....	41
4.4 Criterios mínimos para realizar un buen muestreo.....	44

4.5 Análisis fisicoquímicos	44
4.5.1 Cloruros (titulación con nitrato de plata).....	45
4.5.1.8 Tratamiento de datos.....	46
4.5.2 Oxígeno consumido en medio ácido.....	46
4.5.2.1 Alcance y aplicación.....	46
4.5.2.2 Resumen del método.....	47
4.5.2.3 Interferencias	47
4.5.2.4 Muestreo y almacenamiento.....	47
4.5.2.5 Materiales.....	47
4.5.2.6 Reactivos.....	48
4.5.2.7 Desarrollo	48
4.5.2.8 Tratamiento de datos.....	48
4.5.3 Dureza de calcio	49
4.5.3.3 Interferencias	49
4.5.4 Dureza total titulación con EDTA.....	50
4.5.4.4 Materiales.....	51
4.5.4.5 Reactivos.....	51
4.5.4.6 Desarrollo.....	51
4.5.4.7 Tratamiento de datos.....	52
4.5.5 Dureza de magnesio	52
4.5.5.1 Alcance y aplicación.....	52
4.5.5.2 Resumen del método.....	52
4.5.6 Alcalinidad Total (titulación con indicador de naranja de metilo).....	52
4.5.6.1 Alcance y aplicación.....	52
4.5.6.2 Resumen del método.....	52
4.5.6.3 Interferencias	52
4.5.6.4 Muestreo y almacenamiento.....	53
4.5.6.5 Materiales.....	53
4.5.6.6 Reactivos.....	53
4.5.6.7 Desarrollo.....	53
4.5.6.8 Tratamiento de datos.....	53
4.5.7 Tipos de turbidez	53

4.5.7.1 Turbiedad nefelometrico	54
4.4.7.2 Alcance y aplicación.....	54
4.5.7.3 Resumen del método	54
4.5.7.4 Interferencias	54
4.5.7.5 Muestreo y almacenamiento.....	54
4.5.7.6 Aparatos y materiales.	54
4.5.7.7 Desarrollo.	55
4.5.8 Olor	55
4.5.8.1 Alcance y aplicación.....	55
4.5.8.2 Resumen del método	55
4.5.8.3 Muestreo y almacenamiento.....	55
4.5.9 Valor de pH (potenciométrico).	56
4.5.9.1 Alcance y aplicación.....	56
4.5.9.2 Resumen del método.....	56
4.5.9.3 Interferencias.	56
4.5.9.4 Muestreo y almacenamiento.....	56
4.5.9.5 Aparatos.	56
4.5.9.6 Reactivos.....	56
4.5.9.7 Desarrollo.	56
Capítulo 5. Resultados	58
5.1. Resultados de cloruros por titulación con nitrato de plata.	59
Tabla 5.1 Resultados de cloruros.....	59
5.2 Resultados de oxígeno consumido en medio ácido.....	60
Tabla 5.2 Resultados de análisis de oxígeno consumido en medio ácido.	60
5.3 Resultados de Dureza Total, Dureza de Calcio, Dureza de magnesio.	61
Tabla 5.3 Resultados sobre Dureza Total, de Calcio y Magnesio.	61
5.4 Resultados Alcalinidad Total.	61
Tabla 5.4 Resultados sobre Alcalinidad Total.	61
5.5 Turbiedad y Temperatura.	62
Tabla 5.5 Resultados sobre Turbiedad y temperatura.	62
5.6 Resultados de pH.	63
Tabla 5.6 Resultados analíticos sobre pH	63

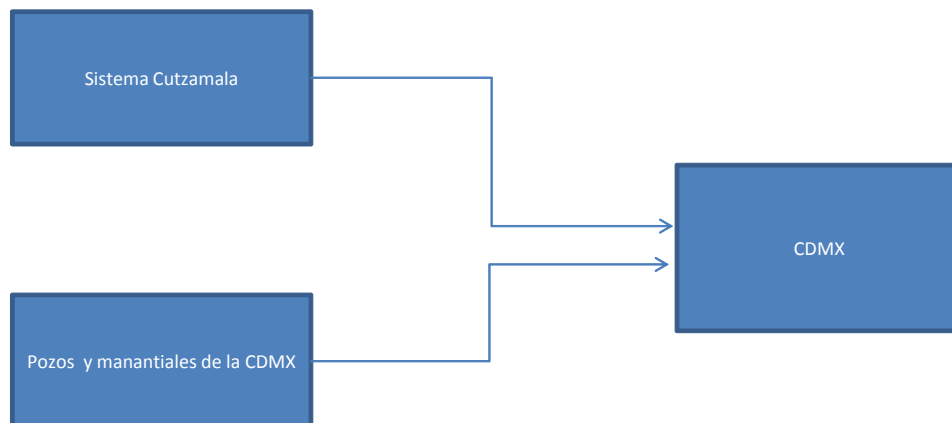
Capítulo 6 Análisis de resultados	64
6.1 Análisis de resultados de cloruros.....	65
6.2 Análisis de resultados de oxígeno consumido en medio ácido.	67
6.3 Análisis de resultados de Dureza de calcio, magnesio y total.	70
6.4 Análisis de resultados de alcalinidad.	73
6.5 Análisis de resultados de turbiedad.	75
6.6 Análisis de resultados de pH.....	77
Capítulo 7 Conclusiones.....	80
Conclusiones.....	81
Bibliografía.....	83
Lista de esquemas	84
Lista de gráficos.....	84
Lista de Imágenes	85
Anexo 1 Norma NOM-127-SSA1-1994.	87
Apéndice A Cálculos	95

I. Introducción.

El agua dulce es un recurso natural único, así como esencial para la vida y actividades productivas, además que es relacionada con el crecimiento social y económico de un país. Esta a su vez es empleada de diversas formas en todas las actividades humanas ya sea para subsistir, producir o intercambiar bienes o servicios. En la actualidad la calidad del agua en la Ciudad de México empeora, ya que la explotación de los mantos acuíferos son cada vez más profundos debido al crecimiento de la población, por lo tanto se requieren diversas formas para tratar el agua proveniente del subsuelo y del sistema Cutzamala.

Para atender la demanda de agua potable en la ciudad se suministra un caudal promedio de 32 m³/s, 67 % del caudal suministrado se obtiene de fuentes subterráneas, 3% de manantiales ubicados en la zona del sur poniente de la ciudad y el 30% restante del sistema Cutzamala como se puede observar en el esquema 1. Los cuales contienen diversos contaminantes que deben ser llevados a un tratamiento para eliminar los diferentes contaminantes que podrían contener.

Para el caso de esta tesis, solo se enfocará para 3 plantas de las cuales su caudal proviene de pozos y manantiales.



Esquema 1. Fuentes de agua que abastecen en la CDMX.



En la Ciudad de México existen diversos tipos de tratamientos para potabilizar el agua para el consumo diario, por medio de filtración, aeración, por intercambio iónico, coagulación, sedimentación, oxidación, ozonización, por luz ultravioleta, ósmosis inversa, etc.

Se sabe que la ósmosis inversa aparte de ser una tecnología viable, también es una tecnología frágil, esto debido a que si no se le da un mantenimiento adecuado, las membranas podrían dañarse con facilidad, por lo tanto al proceso se debe proporcionar un tratamiento previo para no dañar las membranas y obtener una calidad de agua aceptable para el consumo humano. (*Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2007*)

Ante esta situación han surgido nuevas iniciativas productivas, que han tenido que enfrentar el problema buscando diversos tipos de pre-tratamientos. En este sentido, el presente proyecto enfrenta una particularidad aún más importante, como es generar una evaluación de tres plantas potabilizadoras “La Selene” ubicada en la alcaldía de Tláhuac, “Purísima 3 y 7” ubicada en la alcaldía de Iztapalapa y “Vista Alegre” en Venustiano Carranza las cuales en su proceso de potabilización contienen ósmosis inversa.



II. Justificación

La evaluación que se le da a las muestras de toma de agua son importantes debido a que gracias a ellos se puede elegir correctamente los tipos de tratamientos que se le podría dar al agua ya sea para iniciar un proyecto de potabilización para la red pública o mejorar una planta ya existente, potabilizar el agua para un servicio, entre otras.

III. Objetivos.

Objetivo general.

Evaluar la eficiencia de los procesos de potabilización por ósmosis inversa, en diferentes tipos de pre-tratamiento en plantas potabilizadoras como son: Purísima 3 y 7, La Selene, Vista Alegre.

Objetivos específicos.

- Realizar muestreo de las plantas potabilizadoras.
- Realizar análisis fisicoquímicos sobre la calidad del efluente obtenido de las 3 plantas para evaluar su comportamiento y su utilidad.
- Analizar los diferentes tipos de pre-tratamiento de potabilización del agua para ósmosis inversa.
- Determinar cuál es el proceso más adecuado para utilizar ósmosis inversa.
- Evaluar el comportamiento de cada planta.

Capítulo 1. Historia del agua en la cuenca del Valle de México.



(Fuente: *Semblanza Histórica del Agua en México*, 2009)



1.1 Antecedentes

La fuerte explotación de agua subterránea y el drenado artificial del valle debido a las obras realizadas desde la época colonial, han provocado una fuerte declinación del nivel piezométrico en el acuífero por lo que casi todos los manantiales se han secado. La mayor parte de las corrientes que bajan de las montañas son cortas e intermitentes; pocas de ellas se utilizan para el suministro de agua. Los caudales de las que corren hacia fuera, a las cuencas vecinas, cobran importancia solamente a gran distancia de la ciudad y a altitudes muchos menores. Por estas razones el agua superficial es una fuente excesivamente costosa, y el agua subterránea de los acuíferos del propio valle es una alternativa atractiva y ampliamente utilizada. El 71.3% del gasto suministrado en la actualidad proviene de esta fuente; en cambio, la contribución del agua superficial que se origina en el propio valle es insignificante, de solamente 2.3%. (*El agua y la ciudad de México*, 1995).

Debido a estas limitaciones, las fuentes internas al valle, tanto superficiales como subterráneas, son insuficientes para satisfacer la creciente demanda asociada al rápido aumento de la población, por lo que ha sido necesario recurrir a otras opciones, a pesar de su alto costo, particularmente a la importación de agua de otras cuencas y potabilización del agua subterránea con nuevas tecnologías. (*El agua y la ciudad de México*, 1995).

1.2 De la tradición a la modernidad. Cambios técnicos y tecnológicos en los usos del agua.

A lo largo del tiempo, el elemento técnico y el tecnológico han sido factor importante por destacar en el uso y el manejo social del agua, así en México como en el resto del mundo. Desde la agricultura hasta la industria, pasando por el abastecimiento urbano y la utilización del agua como fuente de energía, diversas son las coyunturas y diferentes los procesos de cambio. En todos ellos destaca un componente común: la coexistencia de elementos tradicionales y modernos en el manejo del agua. (*Semblanza Histórica del Agua en México*, 2009).

Si bien en el sector agrícola mexicano se distingue una diferencia tecnológica sustancial con relación al europeo, el uso del agua para abastecimiento urbano y para el movimiento de maquinaria no parece diferenciarse en lo esencial. La presencia del sistema clásico de agua potable en los distintos contextos geográficos así lo demuestra. Caracterizado por su consumo mínimo ronda entre los 28 litros por persona al día en zonas urbanas como Iztapalapa, pero llega a incrementarse hasta en más de 300 litros en zonas de la alcaldía de Benito Juárez (PROFECO 2018), por la diversidad de soluciones tecnológicas para garantizar el



suministro (acequias, acueductos, pozos, aljibes), por lo limitado de su alcance, los problemas de calidad y por estar inmerso en un sistema donde el predominio agrícola (riego) es casi absoluto sobre otros usos o consumos, este sistema de abastecimiento urbano prevaleció sin mayores modificaciones hasta el siglo XIX. (*Semblanza Histórica del Agua en México*, 2009).

1.2.1 Manejo del agua en México.

Se crea la Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica para hacerse cargo del desarrollo de la infraestructura de riego y de abasto de agua en bloque mediante acueductos de gran tamaño. Posteriormente, al iniciar los años 80's, esta Subsecretaría tendría a su cargo también las tareas relacionadas con la administración del agua. En esa misma época, la Comisión del Plan Nacional Hidráulico se transformó en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), como un mecanismo para avanzar en los objetivos de uso eficiente del agua y la preservación de su calidad. A la par se dio apoyo, de manera importante, a las obras de pequeña irrigación, sin abandonar las de grande irrigación. Dentro de las primeras se desarrollaron obras con aguas superficiales por medio de pequeñas captaciones, así como subterráneas, que formaban parte del Programa Nacional de Perforación de Pozos. (*Semblanza Histórica del Agua en México*, 2009).

A mediados de la década de los años ochenta se inició el cobro de contribuciones fiscales por el uso del agua potable. Con el tiempo se comprobó el gran potencial de esta medida, como fuente de ingresos y como instrumento efectivo para inducir al uso eficiente del agua, incluido el cuidado ambiental. Sin embargo, se puso de manifiesto también la conveniencia de una acción más directa de la autoridad federal del agua. La adecuación del marco institucional para la administración y el desarrollo de los recursos hidráulicos del país se constituyeron en prioridad para el Gobierno Federal desde los años 80's. A finales de esta década, la situación hídrica del país obligaba a una nueva reestructuración. La escasez, el rezago y la contaminación eran una constante en casi todo el territorio mexicano. (*Semblanza Histórica del Agua en México*, 2009).

El día 1 de febrero de 1989, durante el acto de instalación, se expresó lo siguiente: La Comisión Nacional del Agua nace con el propósito de dar unidad y congruencia a las acciones del Gobierno Federal en materia de agua. Su compromiso es el de ser una institución eficiente y moderna. Eficiente en su organización y en sus sistemas y en la forma de responder a las demandas. (*Semblanza Histórica del Agua en México*, 2009).

Con la modificación de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal con objeto de transformar la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) en



la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), se dio un paso más al transferir a la CONAGUA las funciones sustantivas relacionadas con la prevención y el control de la contaminación del recurso, así como las relativas al apoyo técnico federal en la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. En los ajustes a la organización del Gobierno Federal en 1994, se ubicó a la CONAGUA como un órgano desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), siendo desde entonces el encargado de llevar a cabo la elaboración y la concreción de los diversos y variados planes nacionales hídricos de cada sexenio. (*Semblanza Histórica del Agua en México*, 2009).

1.3 Obras hidráulicas.

La consolidación de las arcillas que recubren el valle y que induce grandes hundimientos del suelo, se produce tanto por la explotación de los acuíferos como por la desecación del valle. La explotación de los acuíferos se inició a mediados del siglo pasado, mientras que la desecación del valle ha sido continua desde principios del periodo colonial. El hundimiento se agudizó durante el presente siglo, debido principalmente al gran aumento habido en el bombeo de las aguas del subsuelo y a obras como el segundo túnel de Tequixquiac, que han acelerado la desecación del valle. (*El agua y la ciudad de México*, 1995)

1.3.1 Fuentes de agua cruda.

Tanto la CDMX como el Estado de México utilizan agua subterránea y superficial para provisión de agua potable a sus respectivas áreas de servicio. La tabla 1.1 enlista las diversas fuentes y la cantidad que aporta cada una de ellas, en m³/s. Excepto los casos del río Magdalena y de la presa Madín, ambas áreas de servicio usan las mismas fuentes de agua.

Tabla 1.1 Fuente y cantidad de agua cruda abastecida a la CDMX y las áreas del Edo. De México.

Fuente Cruda.	CDMX m ³ /s	m ³ /s	Total.	%
Agua subterránea	27.00	21.30	48.30	80.10
Valle de México.	22.70	20.30	43.00	71.30
Lerma.	4.30	1.00	5.30	8.80
Agua superficial.	8.30	3.70	12.00	19.90
Sistema Cutzamala.	7.60	3.00	10.60	17.60
Río Magdalena.	0.20		0.20	0.30
Presa Madin.		0.50	0.50	0.80
Manantiales y deshielos.	0.50	0.20	0.70	1.20
Abastecimiento total del agua.	35.30	25.00	60.30	100.00

Fuente CNA 1995, *El agua y la ciudad de México*.



Una fuente importante utilizada tanto la CDMX como por el Estado de México es el Sistema Cutzamala (cuenca Cutzamala-Lerma-Santiago) con dos sitios principales para obtención del agua, localizados aproximadamente 100 km al oeste del Valle de México.

Otra fuente superficial ($0.2 \text{ m}^3/\text{s}$) para la CDMX es el río Magdalena. La presa Madin, sobre el río Tlalnepantla, provee a esta parte del Estado de México con $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

La tabla 1.2 enlista las cuatro áreas de campos de pozos y la tasa de extracción de agua en cada una. El campo correspondiente al Área Metropolitana, localizado dentro del CDMX, abastece sólo a éste. El del Área del Este provee únicamente al Estado de México. Los otros dos están en el sur y en el norte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), y aportan agua a ambas áreas de servicio. Actualmente, registrados por autoridades de ambas entidades, en el Valle de México hay 1,089 pozos, de profundidad que varían entre 70 y 200 m. (*El agua y la ciudad de México*, 1995).

Tabla 1.2 Campos de pozos dentro del Valle de México y sus tasas de extracción de agua.

Áreas de campos de Pozos en Servicio en la ZMVM	m^3/s	Campos de pozos.	m^3/s	%
SUR	12.20	Xochimilco	27.00	80.10
METROPOLITANA	7.30	Zona Metropolitana.	8.30	71.30
ESTE	3.30	Texcoco.	5.20	8.80
NORTE	20.20	Chiconautla.	4.50	19.90
TOTAL	43.00	TOTAL	45.00	17.60

Fuente CNA 1995, *El agua y la ciudad de México*.

1.4 Evolución de la extracción.

Hasta hace relativamente poco los manantiales del valle suministraban agua de calidad excelente, y hasta hace siglo y medio en la ciudad de México no se utilizó el agua subterránea. A pesar de que poseían la tecnología necesaria para perforar pozos de agua, los españoles no los utilizaron. Seguramente la baja permeabilidad de las arcillas y la mala calidad de sus aguas contribuyeron a que así fuera. Sin embargo, debido a capacidad insuficiente de los acueductos que transportaban el agua desde los manantiales, a mediados del siglo XIX se inició la explotación de los acuíferos, a través de la capa dura. En 1847 se perforó el primer pozo que se localizó en el centro de la ciudad, atravesó la primera capa de arcillas, cuyo



espesor ahí fue de 40 m y encontró aguas de excelente calidad. Este descubrimiento motivó una efervescencia perforadora en 1864 se reportan que ya existían 200 pozos, en 1877 había ya 483, y en 1888 1100 de los que se extraía un volumen importante. Es probable que el hundimiento de la ciudad haya empezado desde esa época, pues de 1891 a 1895 hubo hundimientos en el centro de la ciudad de 5 cm por año. (*El agua y la ciudad de México*, 1995).

La extracción del agua subterránea debió incrementarse poco hasta 1936, posiblemente debido a la terminación en 1913 del acueducto que desde los manantiales de Xochimilco conducía un caudal de 2.6 m³/s. Sin embargo, ya en ese año el déficit municipal de agua había aumentado grandemente debido al rápido crecimiento y modernización de la vida de la ciudad en todos sus aspectos, por lo que el Departamento del Distrito Federal (DDF) puso en servicio 18 pozos que atravesaban las capas arcillosas superficiales, de esta manera se inició entonces la explotación intensiva del acuífero principal mediante pozos profundos (profundidades de 100-200 m). El número de pozos perforados fue de 19 y 56, en los años 1940 y 1944, respectivamente.

En 1953 se demostró en forma definitiva que el hundimiento del suelo se debía principalmente al bombeo de las aguas subterráneas, por lo que las autoridades impusieron veda a la explotación de los acuíferos dentro del área urbana, la cual aún está vigente. Desde entonces la explotación del agua en el centro de la ciudad se ha limitado severamente y nuevos campos de pozos se han establecido en el sur del valle, especialmente en la sub-cuenca de Chalco y cerca de Xochimilco, los pozos más viejos han sido reemplazados por otros a mayor profundidad, muchos a 400 m, siguiendo una política general tendiente a explotar las áreas más cercanas a las zonas de recarga y las partes más profundas del acuífero.

Por lo que se refiere a la situación actual, la fuente y cantidad suministrada se mostró en la tabla 1.1. En la actualidad, alrededor del 71% del suministro municipal proviene de pozos de la cuenca de México. (*El agua y la ciudad de México*, 1995).

1.5 Suministro de agua potable.

El artículo 115 Constitucional establece que es responsabilidad de los municipios el suministro de los servicios de agua potable. Para llevar a cabo esta tarea se requiere, desde el punto de vista técnico, realizar lo siguiente:

- Identificar y proteger la(s) fuente(s) de suministro de la contaminación.
- Realizar obras de captación y transportar el agua.



- Potabilizar
- Vigilar la calidad del servicio.
- Mantener y operar las redes de distribución a los usuarios.
- Suministrar una adecuada atención a los usuarios (desde cobrar el líquido hasta realizar la administración necesaria del sistema).

Todas estas tareas son importantes y de ellas depende dar un buen servicio, en términos de:

- Calidad: El agua debe cumplir con el criterio de “potabilidad” establecido en la normatividad correspondiente.
- Cobertura: Se debe suministrar el agua a toda la población, actualmente todavía no se tiene el 100 % de la cobertura.
- Cantidad: Se debe suministrar un volumen mínimo (agua en bloque) para que el usuario cuente con su dotación. Se estima que ésta es de 150 L/hab (considera el agua que se pierde por fugas).
- Continuidad: porcentaje del tiempo durante el cual se dispone de agua (diariamente, semanalmente o estacionalmente).
- Precio: la tarifa que pagan los consumidores domésticos debe ser acorde con el servicio que se proporciona y con el costo. (*Plantas Modulares para tratamiento del agua*, 1982).

1.5.1 Factores a considerarse.

Selección de tecnología a utilizarse: teniendo en mente que la solución tecnológica más adecuada es aquella que optimiza la eficiencia técnica en la forma más simple y menos costosa, la tecnología debe hacer uso de los recursos humanos y materiales disponibles en el país.

Las soluciones tecnológicas alternas para resolver cualquier problema específico de tratamiento de agua deben evaluarse de acuerdo a:

- El grado de complejidad, el cual está relacionado con la capacidad de las instituciones y personas requeridas para construir, mantener y operar una planta con la eficiencia de las especificaciones originales de diseño.
- El nivel tecnológico apropiado, el cual debe tener un grado de confiabilidad compatible con los otros componentes del sistema de aprovisionamiento de agua



cuyas soluciones tecnológicas no deben tener un efecto tan costoso que solo estén al alcance de un número limitado de usuarios.

-La disponibilidad de fuentes de aprovisionamiento de agua, de manera que exista un balance apropiado entre la demanda y el aprovisionamiento de agua, considerando la obtención de una cantidad determinada con una calidad adecuada para consumo humano.

-Los recursos materiales y equipos necesarios, buscando un nivel tecnológico que maximice el uso de materiales y equipos producidos o disponibles localmente (es posible obtener diseños con alta eficiencia a bajo precio usando materiales locales casi exclusivamente).

-Los recursos humanos y administrativos existentes, que consideran la capacidad local y de organización para supervisar, construir, operar y mantener un diseño basado en una tecnología determinada, acompañada de una capacidad económica adecuada para proveer de suficientes recursos financieros.

-El costo de la solución tecnológica, incluyendo los costos de construcción, instalación, operación, mantenimiento y administrativo, y factores como el costo de tecnología importada, beneficios directos e indirectos resultantes del uso de un diseño particular, el valor del uso de periodos cortos de construcción y procesos simples de construcción.

El factor que tiene más influencia en la selección de los procesos unitarios para el tratamiento de agua, es la calidad tanto del agua cruda como del producto final, agua tratada.

La adecuación del agua para uso doméstico y abastecimiento de agua para consumo humano, se determina por un número limitado de indicadores de calidad.

Los principales indicadores tradicionales para la calidad del agua de bebida son los componentes físicos, químicos y biológicos, algunos de los cuales son de significación decisiva para los aspectos relacionados con el tratamiento de agua para la salud pública.

A lo largo de la historia, el hombre ha recurrido a los cuerpos de agua para abastecerse de este recurso así como para eliminar sus propios desechos, lo que ha provocado que con el paso del tiempo la cantidad y tipo de residuos que se liberan en los cursos de agua se hayan incrementado y diversificado, al mismo tiempo que la calidad original del agua se ha degradado transformándose así en



origen y vehículo de diversas enfermedades. (*Plantas Modulares para tratamiento del agua*, 1982).

1.6 Normatividad.

Anteriormente se mencionó el artículo 115 constitucional la cual establece que los servicios de agua potable son responsabilidad de los municipios quienes casi siempre los realizan a través de un organismo operador, quien tiene la función de buscar y seleccionar fuentes de suministro, definir los sistemas de captación y determinar los esquemas de potabilización y distribución del agua, entre otras cosas. Por su alta calidad, los organismos operadores casi siempre recurren al empleo de agua subterránea (aproximadamente 70 %). Por este motivo, del agua suministrada en el país (309.7 m³/s) un alto porcentaje se reporta como desinfectado (93%) y sólo una parte (25%) “potabilizado”.

El suministro de agua de buena calidad para consumo humano es fundamental para la salud y el bienestar de la población, por ello la Secretaría de Salud ha emitido normas para establecer las características del agua para uso y consumo humano (MODIFICACIÓN a la NOM-127-SSA1-1994), las condiciones para demostrar su cumplimiento (NOM-014-SSA1-1993 y NOM-179-SSA1-1998) y los requisitos que deben cumplir los sistemas de abastecimiento para consumo humano públicos y privados (NOM-012-SSA1-1993); las que se vigilarán por la Secretaría de Salud y los demás niveles de gobierno en sus respectivos ámbitos de competencia, en coordinación con la Comisión Nacional del Agua.

El instrumento para cumplir con la calidad del agua son las plantas potabilizadoras, es decir el conjunto de procesos y operaciones unitarias que hacen que un agua sea potable y que pueden ir desde una simple cloración hasta el empleo de procesos muy complejos. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

(Revisar Anexo 1 Norma NOM-127-SSA1-1994 pág. 87)

Capítulo 2. Tipos de tratamientos.



(Fuente: Fypasa Construcciones, S.A. de C.V.)



2.1 Hidrólisis.

Proviene de las palabras griegas “hidros”, que significa agua y “lisis” que significa ruptura. Reacción en la cual una sustancia reacciona con uno o ambos iones del agua para generar dos productos, sin que se produzca transferencia de electrones.

La hidrólisis es un ataque químico por cambio de pH y temperatura que afecta exclusivamente a las membranas de acetato de celulosa las membranas de poliamida no sufren hidrólisis. Igual que la piel humana las membranas de poliamida se hinchan a pH menor de 3. Una vez que se restaura el pH a nivel normal de operación, la membrana se recupera, pero no siempre totalmente. Por esto, hay que tener mucho cuidado con los lavados ácidos, en los que el pH nunca debe ser menor a 3.5. (*Bob Riley, 2010*)

2.2 Oxidación.

La oxidación es una reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación.

Para eliminar el sabor y olor por oxidación se aplica cloro, dióxido de cloro, permanganato de potasio u ozono. Una cloración fuerte puede no ser recomendable por la formación de THMs (Los trihalometanos (THM) son compuestos químicos volátiles que se generan durante el proceso de potabilización del agua por la reacción de la materia orgánica). El dióxido de cloro, producido por la combinación de una solución de clorito de sodio y cloro tiene el mismo poder oxidante que el cloro. El empleo de ozono y permanganato puede producir compuestos secundarios que también pueden tener sabor y olor por lo que es preciso hacer pruebas previas antes de su aplicación. Puesto que la oxidación puede producir precipitados se recomienda realizarla antes de la filtración. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada.2007*).

2.2.1 Oxidación en la ósmosis inversa.

Durante la producción de la membrana de ósmosis inversa se han utilizado el material especial que se puede tratar con la sustancia oxidante, contiene una cierta cantidad de agua (cloro activo, etc.). Se han mejorado con eficacia la resistencia a la oxidación de la membrana. La membrana para ósmosis inversa resistente a la oxidación es adecuada para hacer frente a todo tipo de desalinización de agua salobre. Todas las membranas de ósmosis inversa están sujetas a la oxidación, pero algunas son más resistentes que otras, la oxidación por cloro se mide en ppm-hora de cloro residual. Una parte por millón de cloro residual actuando durante un día, representa 24 ppm-hora.



Esta dosis de cloro comenzará a dañar a las membranas TFC (están compuestas por una capa densa y delgada de poliamida sobre un soporte asimétrico de polisulfona) en menos de 30 días; a las membranas de poliamida aromática como TFCL (modificación a la membrana anterior) en tres meses a pH 8 y seis meses a pH 6; y a las membranas de acetato de celulosa en 2 o 3 años. La vida útil de la membrana se alarga reduciendo el nivel residual de cloro en el agua ya que la misma cantidad de ppm-hora requiera más tiempo para completarse. En reducción normalmente se efectúan con filtros de carbón o con exceso de metabisulfito de sodio, como vemos a continuación.

Los oxidantes a la larga dañan a todas las membranas de ósmosis inversa y por lo tanto, conviene controlar el exceso de estos como parte del pre-tratamiento. En las membranas de película delgada TFC, la oxidación de las membranas puede romper la columna vertebral de la cadena molecular del polímero, empleando en su fabricación. Una vez rota la cadena de polímero un pequeño pedazo de membrana a nivel molecular se desprende y deja un poro que permite el paso de sales. Esto ocurre también pero más lentamente en las membranas TFCL y FT-30 “tolerantes” al cloro. Lo mismo ocurre pero más lentamente en las membranas de acetato de celulosa. El efecto de la oxidación en estas membranas se manifiesta en un aumento considerable en la salinidad del producto y una disminución de la presión de operación a un caudal constante e productos.

En las membranas de poliamida, tipo fibra hueca delgada el ácido tánico y el área más gruesa de la membrana protegen hasta cierto punto a la membrana contra la oxidación. (*Bob Riley, 2010*)

2.3 Ozonización.

El ozono (del griego *ozein*, “oler”), es la forma alotrópica del oxígeno que tiene tres átomos en cada molécula, y cuya fórmula es O_3 . Es un gas azul pálido de olor fuerte y altamente venenoso. El ozono tiene un punto de ebullición de $-111.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, un punto de fusión de $-192.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una densidad de 2.144 g/L . El ozono líquido es de color azul intenso, y fuertemente magnético. El ozono se forma al pasar una chispa eléctrica a través de oxígeno y produce un olor detectable en las inmediaciones de maquinaria eléctrica. El método comercial de obtención consiste en pasar oxígeno frío y seco a través de una descarga eléctrica silenciosa. El ozono es mucho más activo químicamente que el oxígeno ordinario y es mejor como agente oxidante. (*Correa, A. 2007*).

El ozono es más reactivo que el cloro y sus reacciones son rápidas al inactivar microorganismos, oxidar hierro, manganeso, sulfuros y nitritos, mientras que oxida



lentamente compuestos orgánicos como sustancias húmicas y fúlvicas, pesticidas y compuestos orgánicos volátiles.

Generalmente el ozono se aplica junto con otro desinfectante debido al alto costo comparado con el cloro y en la mayoría de los casos se aplica con fines adicionales a la desinfección como son el control de olor, color y sabor, la oxidación de precursores de los trihalometanos y la desestabilización de coloides. Los únicos subproductos que se han identificado con la ozonización del agua son los aldehídos. En solución acuosa, el ozono puede actuar en forma directa con el ozono molecular, con especies de radicales formados cuando el ozono es descompuesto en agua.

Sistemas de generación de ozono: Consiste en alimentación del aire u oxígeno, un suministro de electricidad, el generador de ozono.

Sistema de preparación de gas de alimentación: La preparación del gas de alimentación para la generación de ozono es extremadamente crítica porque es necesario un gas limpio y libre de humedad. El aire debe ser secado para evitar la formación de ácido nítrico y aumentar la eficiencia del generador.

Ventajas:

- El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias.
- El proceso de ozonización utiliza un período corto de contacto (aproximadamente de 10 a 30 minutos).

Desventajas:

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requieren equipos complicados y sistemas de contacto eficientes. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada, 2007*)

2.4 Sedimentación.

La sedimentación o clarificación es la remoción de partículas, flóculos químicos y precipitados de una suspensión en un sedimentador que actúa por gravedad. La sedimentación se emplea para eliminar la fracción de sólidos sedimentables de los



sólidos en suspensión (60% de los sólidos que son perceptibles a simple vista en el agua).

Se le da el nombre de sedimentador, a la estructura que sirve para reducir la velocidad del agua para que puedan sedimentar los sólidos sedimentables. Los diversos tipos de suspensiones de sólidos presentan características decantables significativamente distintas. El desarrollo y aplicación de la sedimentación para la clarificación de un agua, debe por tanto, estar basada en el entendimiento del proceso y de las variables que pueden modificar su eficiencia.

La función primaria de los sedimentadores es eliminar materia decantable pero además, deben permitir recoger y descargar los lodos que se crean, así como concentrarlos, de manera que se eliminen con el menor contenido de humedad posible para facilitar su manejo, tratamiento y disposición. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

Estos sedimentadores van antes de los trenes de ósmosis inversa y tienen como función principal proteger la membrana de las sustancias que la puedan dañar.

2.5 Filtración.

El proceso de filtración es uno de los más frecuentemente empleados para potabilizar aguas superficiales. Se emplea con o sin pre-tratamiento de coagulación y sedimentación (filtración directa), para eliminar los sólidos presentes originalmente en el agua, o los precipitados, el caso en estudio incluye el pre-tratamiento. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

2.5.1 Principios de la operación.

Un filtro típico (imagen 1) tiene un tanque de concreto de profundidad aproximada mayor a 2.7 m. El espesor típico del medio es de 0.6 a 0.75 m y se encuentra colocado sobre grava y un bajo dren o falso fondo. Para la pre-filtración, el agua pasa en sentido descendente por el filtro por la fuerza que ejerce la columna de agua sobre el lecho así como la succión del bajo dren. Los filtros son lavados por medio del cambio de la dirección del flujo (en sentido ascendente) en un proceso que se denomina retrolavado. Una canaleta colocada sobre el filtro, a una altura determinada, recoge el agua de lavado.

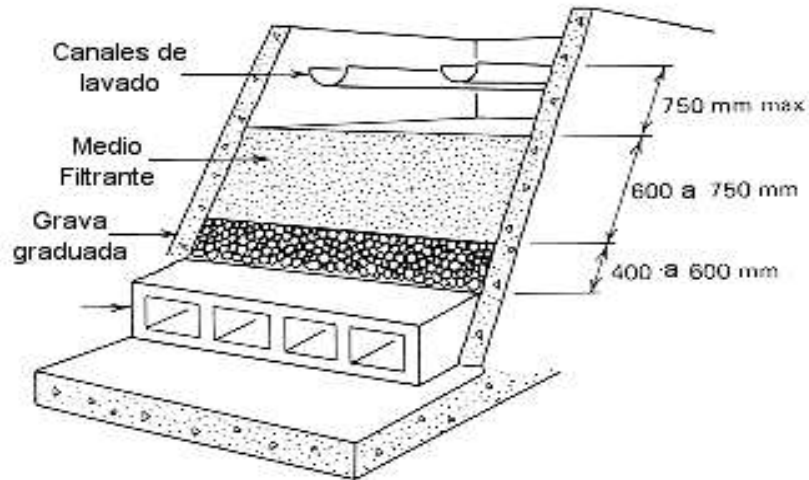


Imagen 1. Corte de un filtro (Hammer 1986)

Los tipos más comunes para plantas de potabilización de gran tamaño (mayor de 500 L/s) son de flujo descendente (por gravedad) y de medio dual (arena-antracita) en la escuela de Estados Unidos y con solo arena, en la Europea. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

El esquema más frecuente para la potabilización de cuerpos superficiales consiste en combinar la coagulación-floculación con una sedimentación previa a la filtración. La tasa de filtración usual es de 5.0 a 25 m³/m².h con un valor máximo de diseño de 12m³/m².h.

Los filtros granulares profundos son los de uso más generalizado en la potabilización (imagen 2). Este tipo de filtros operan por acción de la gravedad que es la responsable del flujo del agua en el filtro.

En los filtros granulares profundos de material grueso, la eliminación tiene lugar dentro del lecho del filtro, y se denomina comúnmente filtración a profundidad. La eficiencia de este tipo de filtración depende de varios mecanismos que son extremadamente complejos y que involucran el cribado, la floculación, las sedimentación e intercepción.

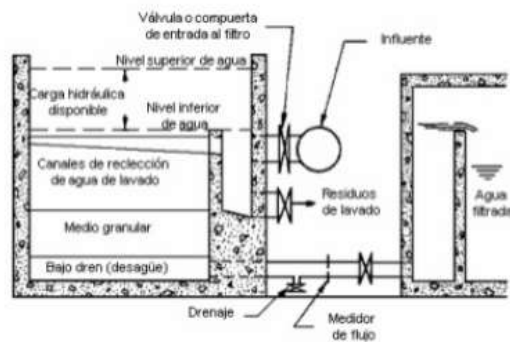


Imagen 2. Filtro granular profundo. (Hammer 1986)

Aunque se utilicen velocidades de filtración elevadas, la mayor parte de los sólidos se eliminan en las capas superiores (primeros 0.25 m) del medio filtrante. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada, 2007.*)

2.5.2 Filtración en zeolitas.

Las zeolitas son medios porosos altamente cristalinos constituidos de poros de dimensiones moleculares. El término "zeolita" fue utilizado inicialmente para designar una familia de minerales naturales que presentaban como propiedades particulares el intercambio de iones y la desorción reversible de agua. Esta última propiedad da origen al nombre genérico de zeolita.

Como una forma de intercambio iónico se utiliza la filtración en zeolitas de manganeso o glauconita que se conoce como "arena verde". Es un material natural recubierto con dióxido de manganeso que remueve tanto Fe como Mn solubles y que se regenera con permanganato de potasio. Un esquema del proceso continuo se muestra en la imagen 3.

Se alimenta permanganato de potasio al influente de un filtro a presión de manera continua. El oxidante actúa sobre el hierro y manganeso solubles y también regenera el medio continuamente. El filtro contiene un medio doble de antracita y zeolita. El hierro y el manganeso son oxidados por el permanganato y removidos en la capa superior y lo que logra escapar de este proceso es capturado por la capa inferior que contiene la zeolita. Si se aplica una cantidad mayor de permanganato a lo requerido para la oxidación, sirve para regenerar la zeolita. Cuando el filtro se tapona es retrolavado como ocurre en la mayor parte de procesos de filtración.

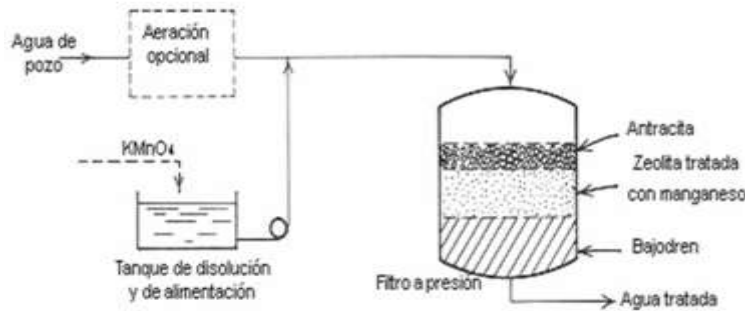


Imagen 3. Filtro de zeolitas a presión (Hammer, 1986)

Es muy importante que se aplique la dosis adecuada de permanganato de potasio (Se suele preparar en concentraciones entre 5 y 50 gr/L.), pues un exceso puede dar una coloración rosa al efluente y también presentar manganeso.

La tasa de filtración varía entre 7 y 10 m/h. El proceso se limita a agua que contenga un valor máximo de 1 mg/L de manganeso. Sin embargo, se han reportado zeolitas con la capacidad de remover 1.5 mg/L de hierro y 2.9 mg/L de manganeso. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

2.5.3 Filtros cartucho.

Todas las plantas de ósmosis inversa tienen y deben tener filtros de cartucho (puede ser de carbón activado o de acero inoxidable) antes de la bomba de alta presión. Los filtros de cartucho protegen a la bomba de alta presión contra cualquier partícula abrasiva proveniente del pozo de la línea que pueda ocasionar daños a los impelentes. También protege a las membranas contra taponamiento u obstrucción de los canales hidráulicos.

El tamaño de los filtros de cartucho que se debe utilizar depende de la calidad de agua y nuevamente del tipo de membrana. Las membranas de tipo fibra hueca normalmente necesitan un filtro de 5 micras de apertura, pero en muchos casos hay que instalar filtros de una micra. Las membranas de tipo espiral requieren filtros de solamente 25 micras, pero cuando el pre-tratamiento anterior es deficiente a veces hay que cambiar los filtros de 10 micras. Para las membranas espirales, normalmente se especifica un factor de diseño de 10 litros por minuto por cada cartucho de 25 cm de largo. Otra manera de especificar el sistema de filtros de cartucho es que tenga una caída de presión máxima de 2 PSI, cuando están limpios y manejando su caudal de diseño. (Bob Riley 2010)



2.6 Aireación.

En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella.

En resumen, es el proceso de introducir aire al agua. Las funciones más importantes de la aireación son:

- Transferir oxígeno al agua para aumentar el OD (Oxígeno disuelto).
- Disminuir la concentración de CO₂.
- Disminuir la concentración de H₂S.
- Remover gases como metano, cloro y amoníaco.
- Oxidar hierro y manganeso.
- Remover compuestos orgánicos volátiles.
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

En purificación de agua se agrega oxígeno mediante aireación para remoción de hierro y manganeso principalmente. En plantas de ablandamiento se utiliza la aireación para remover CO₂ antes de ablandar con cal. Aunque también se usa la aireación para la remoción de olores y sabores causados por sustancias volátiles en el agua, en la mayoría de los casos la aireación es poco efectiva en la solución de dichos problemas. La aireación cumple sus objetivos de purificación del agua mediante el arrastre o barrido de las sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta del agua con el aire y por el proceso de oxidación de los metales y los gases. El agua aireada es más agradable al paladar; la aireación reduce el nivel de CO₂ hasta unos 4.5 mg/L, pero la corrosión solo se previene si la alcalinidad del agua excede de 100 mg/L. Los principales aireadores utilizados comúnmente en purificación de aguas de pozo, son los de toberas, cascadas, canales inclinados y aireadores de bandejas. (*Velázquez A. 2007*)

2.6.1 Aireación, sedimentación y filtración.

El método más simple para remover Fe y Mn es la aireación. Un aireador común consiste de una serie de charolas en las cuales el agua es distribuida por la parte superior para perclorar a través de ellas.

La floculación con sulfato de aluminio y sedimentación son requeridas después de la aireación para remover los flóculos. Estos procesos son seguidos de la



filtración, en especial en casos donde la concentración de hierro en el agua es mayor de 5 mg/L. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*. 2007)

2.6.2 Aireación, oxidación química, sedimentación y filtración.

Este es el proceso más común para eliminar Fe y Mn sin ablandar el agua. El primer paso consiste en introducir aire por difusión para meter el oxígeno e iniciar la oxidación. Posteriormente, la oxidación del Fe y Mn es completada con cloro o permanganato de potasio. Cuando se emplea cloro, se opera para mantener un residual a todo lo largo del proceso. La cantidad específica de cada reactivo depende del contenido de Fe y Mn, el pH, las condiciones de mezclado y la matriz del agua. Los efectos de todos estos factores deben ser determinados a partir de pruebas de tratabilidad y se usan los equipos para desinfección. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

2.7 Intercambio iónico.

El intercambio iónico es un proceso químico que consiste en la remoción de los iones indeseables de un agua cruda transfiriéndolos a un material sólido llamado intercambiador iónico, que los acepta y cede un número equivalente de iones de una especie deseable, que se encuentran almacenados en el esqueleto del intercambiador de iones.

Los intercambiadores iónicos son usados para la separación de sales (cationes y aniones) del agua, las aplicaciones en la potabilización del agua son:

- Ablandamiento - separación de iones de calcio (Ca) y magnesio (Mg).
- Desmineralización - separación de parte de todos los iones del agua.
- Separación del NH_4^+ del agua.

Los intercambiadores iónicos son sustancias granuladas insolubles las cuales tienen en su estructura molecular radicales ácidos o básicos que pueden ser intercambiados. Los iones positivos o negativos fijados en estos radicales serán reemplazados por iones del mismo signo en solución en el líquido en contacto con ellos.

Las sustancias de intercambiadores de iones son casi exclusivamente resinas. Hay dos categorías de resinas: las resinas del tipo gel y las de tipo macroporos. Sus estructuras básicas son prácticamente la misma. La diferencia entre ellas reposa en sus porosidades.



Resinas tipo gel tienen una porosidad natural limitada entre las distancias intermoleculares; esta es una estructura tipo microporo.

- Resinas tipo macroporos tienen una porosidad artificial adicional la cual es obtenida por la adición de sustancias diseñadas para esta proposición.

Cuando el agua contiene menos de 0.5 mg/L de hierro y manganeso se usa una unidad catiónica o catión-hidrógeno con la ventaja adicional de que remueve dureza.

En este caso no debe haber oxígeno disuelto en el agua ya que daña la resina y taponan el lecho de intercambio. Por lo general, el proceso se lleva a cabo mediante zeolitas. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*. 2007)

2.8 Coagulación-floculación.

La coagulación-floculación es el proceso mediante el cual se añaden compuestos químicos al agua para reducir las fuerzas que separan a los sólidos suspendidos menores a 10 μm (orgánicos e inorgánicos) para que formen aglomerados que sean removidos del agua por sedimentación. El proceso se lleva a cabo en dos etapas. En la primera o coagulación, las fuerzas interpartícula, responsables de la estabilidad de los coloides, son reducidas o anuladas por la adición de reactivos apropiados. En la segunda o floculación, las colisiones entre las partículas favorecen el crecimiento de flóculos que puedan ser eliminados por sedimentación. Por ello, en la práctica la primera etapa se realiza mediante un mezclado rápido para dispersar el coagulante y favorecer su contacto con las partículas en suspensión en tanto que en la segunda, se efectúa una mezcla lenta con el fin de promover la formación y el aumento de tamaño y/o densidad de los flóculos formados. Estos últimos son eliminados finalmente del agua por medios físicos como la sedimentación, floculación o filtración.

Los contaminantes que se eliminan por coagulación son aquellos que poseen un alto peso molecular y son hidrófobos. De esta forma, se eliminan sólidos suspendidos, color aparente, material coloidal, algunos precursores de trihalometanos, y moléculas grandes que se adsorben poco en carbón activado. La coagulación floculación no sirve para eliminar compuestos orgánicos solubles.

Recientemente, la coagulación ha adquirido mucha importancia para eliminar compuestos órgano-clorado como pre-tratamiento para la adsorción sobre carbón activado. Para ello se puede utilizar tanto el ablandamiento con cal como el sulfato de aluminio ($(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$) y los policloruros de aluminio (PACs) con rendimientos



comparables. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

2.8.1 Floculantes.

Con frecuencia, la coagulación no resulta en un proceso eficiente de separación debido a que los coágulos formados tienen velocidades muy lentas de sedimentación o son muy frágiles y se rompen en los procesos. Para controlar estos problemas se emplean ayudas de coagulación denominados floculantes. Estos compuestos aceleran el proceso y disminuyen la dosis del coagulante. Son materiales usados en concentraciones relativamente pequeñas y generalmente, de mayor costo que el coagulante principal.

Se clasifican en:

- a) oxidantes (cloro y el ozono).
- b) polielectrolitos.
- c) sílice activada.
- d) agentes ponderados (arcilla).

De ellos, los importantes en potabilización son los tres últimos, por su costo.

Los polielectrolitos son moléculas de cadena larga que tienen la capacidad de formar puentes y neutralizar los diferentes potenciales entre partículas. Existen varios tipos comerciales, los cargados positiva y negativamente, y los neutros. Generalmente se usan dosis de 0.1 a 1 mg/L. Además, promueven la formación de lodos densos y fáciles de desaguar en lugar de lodos gelatinosos y poco manejables como son los que comúnmente se forman en la potabilizadora.

Los polímeros catiónicos se emplean en particular para la clarificación. Aun cuando su costo es de 10 a 15 veces mayor que el de la alúmina, las ventajas que generan por otros conceptos los hacen rentables. Una combinación de catiónicos y no iónicos es también común para formar un buen floculo. Los primeros actúan como coagulante y los segundos como su ayuda. Estas aplicaciones permanecen aún poco extendidas pues a la mayor parte de aguas se adicionan sales de aluminio o de hierro como coagulante principal. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

2.8.2. Adsorción en carbón activado.

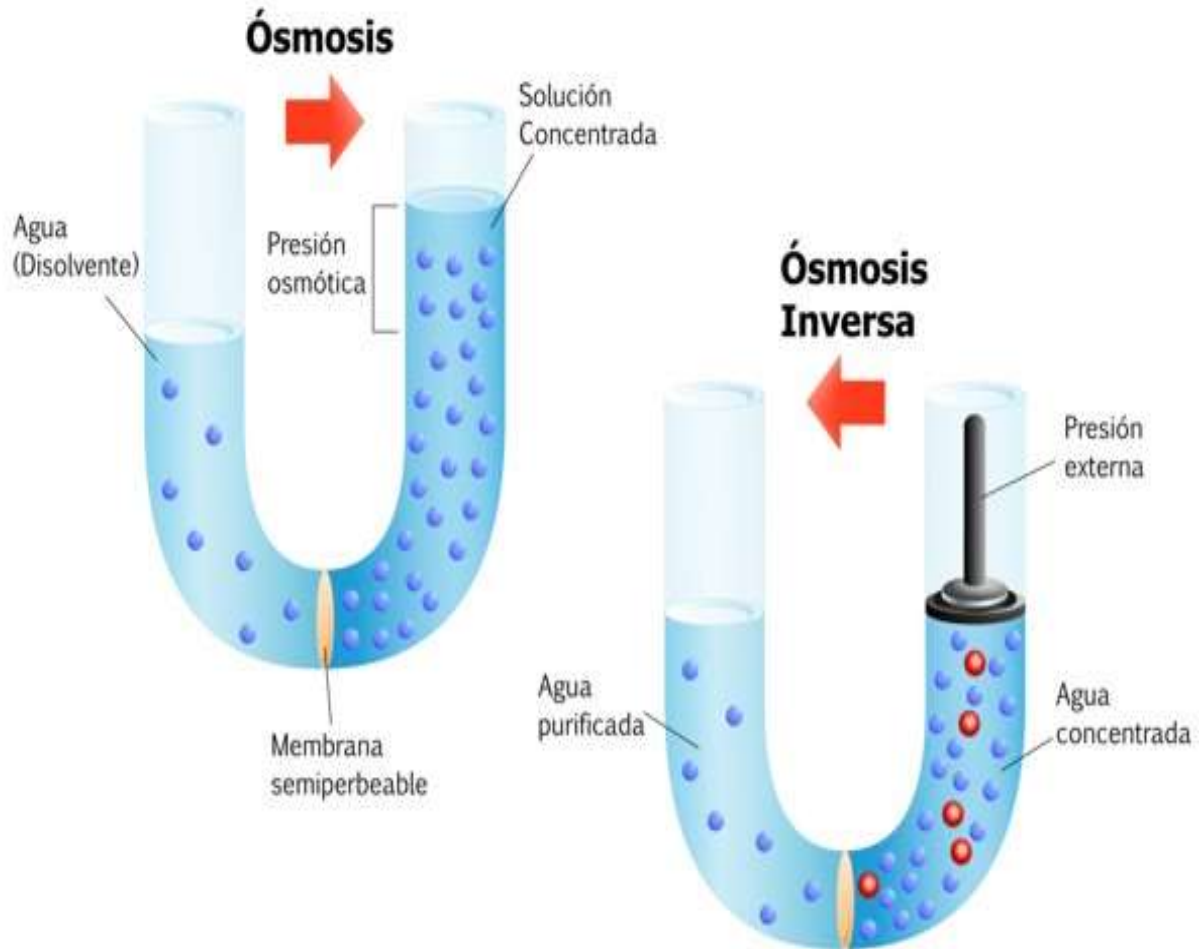
La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua. En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se



produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 a 1500 m²/g). Esta superficie interna tan grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo viene en dos variaciones: carbón activado en polvo y carbón activado granular.

La absorción en carbón activado es el proceso más usado para remover sabor y olor. Se emplea carbón preparado a partir de lignita, desechos orgánicos, etc. Se usa en forma granular o en polvo y por lo regular se añade en tanques pues el empleo de lechos para filtración no es rentable más que para industrias. El carbón que se utiliza en potabilizadoras usualmente es en polvo y de color negro. Se aplica como lechada mediante dosificadores en cualquier etapa del proceso, pero siempre antes de la filtración en un punto donde haya un mezclado suficiente. Se procura tener un tiempo de contacto mínimo de 15 min antes de la sedimentación o filtración. El punto óptimo de aplicación se determina por prueba y error. La dosis se obtiene a partir de pruebas de trazabilidad pero se debe recordar que el carbón adsorbe cloro por lo que no deben ser añadidos juntos ni en tiempos cercanos para no interferir. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada. 2007*)

Capítulo 3 Ósmosis inversa.



(Ilustración del principio de ósmosis inversa-www.carbotecnia.info/encyclopedia).



3.1 La Ósmosis inversa.

La ósmosis es un proceso natural que consiste en el pasaje espontaneo del solvente de una solución diluida hacia otra más concentrada a través de una membrana semipermeable así denominada, ya que idealmente deja pasar el líquido pero no sólidos disueltos. Este flujo que se mantiene hasta alcanzar el equilibrio se origina en la diferencia de energía que surge de la diferencia de concentración entre ambas soluciones.

Robert L. Riley, Dijo que la ósmosis inversa, consiste en la inversión del sentido natural del flujo osmótico, lo cual se consigue aplicándole presión a la solución más concentrada. Así el flujo natural del solvente se detiene cuando la presión aplicada es igual a la presión osmótica. Por otra parte esta presión para el agua tiene un valor aproximado de 2.4 MPa. Los equipos de ósmosis inversa operan entre 2,4 a 10MPa con un intervalo típico de 4.1 a 5.5 MPa. La tasa de transferencia de agua depende básicamente de la concentración, las características de la membrana y la presión aplicada. (*Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*, 2007)

El objetivo de la ósmosis Inversa es obtener agua purificada (partículas de 0.0005, 10 a 50 bares) partiendo de un caudal de agua que está relativamente impura o salada. Esto se logra al separar de este caudal de agua contaminada con sales, un caudal menor de agua pura. La membrana funciona como una pared de separación selectiva. Ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella. La ósmosis es un fenómeno físico-químico que tiene lugar cuando dos soluciones acuosas de diferente concentración entran en contacto a través de una membrana semipermeable. Esta membrana permite sólo el paso del agua. Así, el agua tiende a atravesar la membrana en el sentido de menor a mayor concentración, para igualar ambas. La presión que hace que este fenómeno tenga lugar es la presión osmótica.

Características de la ósmosis inversa

- 1) Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua hasta el 99% así mismo remueve los materiales suspendidos residuales y microorganismos.
- 2) Realiza el proceso de purificación en una sola etapa y en forma continua.
- 3) Es una tecnología extremadamente simple, que requiere mantenimiento escaso.



3.2 Definición de membrana

Puede definirse como un film delgado (fino) que separa dos fases y actúa como barrera selectiva al transporte de materia. Esta definición incluye la de membrana preselectiva e implica que existe una diferencia de potencial químico entre las dos fases, es muy importante puntualizar aquí que una membrana no se define como material pasivo si no como material funcional, por esto se elige clasificar las membranas por su estructura.

La membrana funciona no sólo en función del tamaño de la partícula, sino como una pared de separación selectiva algunas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella.

3.2.1 Características de las membranas.

Las membranas empleadas en los procesos de Microfiltración (MF) y Ultrafiltración (UF) son de tipo poroso.

Las membranas empleadas en los procesos de Nanofiltración (NF) y Ósmosis Inversa (OI) no tienen poros, sino una estructura más cerrada denominada asimétrica y están hechas de materiales especiales, principalmente acetato de celulosa y poliamida (forma modificada del nylon).

Las membranas utilizadas para O.I. deben reunir ciertos requisitos generales, entre los que se encuentran:

- Ser capaces de proporcionar el grado de separación requerido: Permeabilidad y especificidad.
- Soportar las condiciones del proceso, como elevada presión, temperatura, pH, sin que se modifiquen sus características: Resistencia mecánica.
- Resistir la limpieza y desinfección necesarias: Resistencia química.

Desventajas:

- Consumo energético.
- El agua que entra libre de cloro.
- Membranas suelen ser sensibles a solidos muy grandes por lo general arriba de 5 micras.



En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los procesos de filtración en ósmosis inversa. (Tabla 1.3)

Tabla 1.3 Tipos de filtración.

Proceso	Tamaño de poro	Tipo de partículas retenidas	Presión requerida	Principales aplicaciones
Microfiltración	4- 0.02	Microorganismos, coloides, glóbulos de grasa	< 2 Bar	Tratamiento de aguas residuales, esterilización en frío de bebidas, tratamiento salmuera de carne para la remoción de bacterias, desgrasado de leche y separación de emulsiones.
Ultrafiltración	0.2-0.02 μm	Proteínas y macromoléculas	1 – 10 Bar	Clarificación de jugos de frutas, vinos y cerveza, concentración de proteínas vegetales (soya, avena, canola), concentración de gelatina y recuperación de almidón.
Nanofiltración	<0.002 μm	Azúcares y sales polivalentes	5 – 35 Bar	Desmineralización parcial del suero, eliminación de la lactosa de la leche y obtención de cerveza baja en alcohol.

(Fuente: *Wagner*)

3.2.2 Tipos de membrana.

1. Membranas densas.
2. Membranas porosas hidrofóbicas.
3. Membranas composite.

Las membranas densas están hechas de un polímero sólido no poroso, por ejemplo la goma de silicona, que es permeable a los compuestos orgánicos de bajo peso molecular y a los gases, se han utilizado este tipo de membranas para transferir oxígeno al agua en aplicaciones de tratamientos de aguas residuales.

Las membranas “composite” combinan las ventajas y selectividad de los polímeros densos con la cinética del transporte más rápido de las membranas porosas. (*Tratamiento del agua por proceso de membrana, 1998*).



En la actualidad, las mayores cantidades de membranas para ósmosis inversa disponible comercialmente corresponden a las de tipo asimétrica de celulosa y a las de tipo compuesta de capa fina.

-Membranas asimétricas: Las membranas asimétricas para OI, se sintetizan utilizando el método de precipitación por inmersión, por el cual se obtienen membranas con estructura anisotrópica, consistente en una capa superficial denominada “piel” y una subcapa porosa. Ambas capas, poseen la misma composición química, y los polímeros más utilizados para sus síntesis corresponden a: acetato de celulosa, triacetato de celulosa y diacetato de celulosa

-Membranas de capa fina, TFC. Las membranas TFC para ósmosis inversa, se definen como una bicapa formada en dos pasos. En la primera etapa de síntesis, se forma la capa porosa no selectiva, la cual es cubierta en su superficie por una capa densa y delgada. Las dos capas son diferentes en sus composiciones químicas. (*Petersen*, 1993).

3.2.3 Sistema de membrana.

Existen diferentes sistemas de membranas. Todos ellos se construyen de forma muy compacta, de manera que se consiga una gran superficie de membrana en el mínimo volumen posible, con objeto de disminuir costos.

-Sistema Tubular de Membranas:

Las membranas son tubos huecos de 5 a 15 mm de diámetro y van colocadas dentro de un tubo de soporte.

-Sistema Espiral de Membranas:

Las membranas de espiral consisten en dos o más capas de membrana, situadas alrededor de un colector de permeados (en la parte central). Esto hace que la densidad de embalaje de las membranas sea muy alta. Las membranas de espiral son usadas generalmente para aplicaciones de nano filtración (NF) y ósmosis inversa (OI).

3.3 Análisis del agua.

La ventaja de la ósmosis sobre otras tecnologías es que puede remover el 99.9 % de las sales que le llega sin afectarle mucho que el agua sea altamente salubre igual remueve 100% de todos los virus y bacterias en la alimentación. Todas estas impurezas al concentrarse en el rechazo pudieran causar si no se efectúa correctamente.



CALCIO (Ca): Este mineral puede formar incrustaciones en las membranas cuando se combina con carbonatos o con sulfatos, dichas incrustaciones se evitan fácilmente pero una vez formadas son tenaces.

MAGNESIO (Mg): Comportamiento similar al del calcio pero más soluble.

SODIO (Na): Aunque el sodio no afecta a las membranas si afecta a la calidad del producto.

AMONIO (NH₄): Este ion existe en aguas contaminadas por materia orgánica.

CARBONATO (CO₃): Es muy importante detectarlo por que tiende a reaccionar y combinarse con el calcio y el magnesio en el agua de concentraciones duras y difíciles de remover, la formación de estas incrustaciones se evita inyectando ácido, normalmente ácido sulfúrico al agua de alimentación, el ácido reacciona con los carbonatos y lo convierte en bicarbonato.

BICARBONATO (HCO₃): Cuando se dosifica ácido sulfúrico 2/3 de los bicarbonatos en el agua se convierten en sulfatos.

SULFATOS (SO₄): Tienden a limitar la cantidad de producto que se puede recuperar. Según el agua de alimentación va pasando por el sistema de ósmosis inversa, se le va extrayendo más y más agua pura y así se van concentrando más las sales en la salmuera. Cuando la suma de calcio y sulfatos de aguas salubres llegan a un nivel superior a los 2500 mg/L en la salmuera estos tienden a precipitarse lentamente sobre las membranas.

NITRATOS (NO₃): La membrana TFC lo rechaza más del 90 %.

CLORUROS (Cl): El ion cloruro es una de los más pequeños y por consiguiente de los más difíciles de rechazar por ósmosis inversa. Por esto la norma de rechazo de sales de las membranas siempre utiliza el ion cloruro como base. El ion cloruro no se debe confundir con el cloro libre, que puede traer el agua sobre todo las municipales, el cloruro no es dañino para las membranas mientras que el cloro libre si lo es.

Fluoruro (F): Es un ion pequeño y difícil de rechazar.

pH: Es simplemente una indicación de la acidez natural de agua. Existen dos razones para cuidar el pH. Aguas con mucha dureza de carbonato de calcio requieren ajuste hacia abajo con ácido para evitar que las membranas se incrusten con carbonato según estos se concentren en la salmuera.



HIERRO (Fe): El hierro es común en muchas aguas superficiales, cuando ocurre en aguas de pozo normalmente es por contaminación del agua con óxido de hierro.

3.4 Limpieza de membranas.

Existen plantas de potabilización en Yucatán y Monterrey, las cuales han operado por años sin necesidad de limpiarse. Estas normalmente, tienen un pre-tratamiento impecable o agua de pozo ultra-pura. El otro extremo es el caso de Mexicali, donde se han lavado las membranas tipo espiral, 50 veces por año y después de cinco años aún estaban en condiciones de operarse. (*Bob Riley, 2010*).

Para la limpieza se necesita un equipo especial, que consiste en un tanque de fibra de vidrio, un filtro de cartucho de plástico de 25 micras, una bomba centrífuga de plástico o acero inoxidable, una válvula de control, un rotámetro de plástico y una manguera. Para lavar las membranas, lo más importante es tener una bomba de limpieza que descargue el caudal correcto para alimentar a cada tubo. Si el caudal no es lo suficiente alto, no se podrá barrer las impurezas.

La manera más económica de verificar el caudal es con un pequeño rotámetro en la línea. Dependiendo de la capacidad de la bomba se puede lavar un banco completo, o tubo por tubo. Por ejemplo, por cada tubo de 8" se necesita aproximadamente un caudal de 35 a 40 GPM mientras que por cada tubo de 4" se necesita un caudal de 8 GPM.

La presión de lavado debe ser menor de 60 PSI pero esta no es muy importante para el caso de membranas en espiral que a diferencia de membranas de tipo hueca se debe llevar a cabo bajo esa presión por su gran caída de presión hidráulica. (*Bob Riley, 2010*)

La segunda variable más importante es la temperatura. Los lavados más eficaces se realizan a temperaturas elevadas entre 35°C y 45 °C. Muchos sistemas de lavado están equipados con una resistencia eléctrica de las que utilizan los calentadores residuales de agua potable.

Después de esto, es fundamental ajustar el pH de la solución de lavado a un nivel correcto, de la cual cada planta debe encontrar su solución de lavado ideal ya que, literalmente no existen dos aguas con condiciones idénticas, y por otra parte disponibilidad de reactivos. Aunque la experiencia establece ciertas reglas generales que pueden acortar la búsqueda de la solución óptima.



La solución de limpieza se prepara con agua de producto (permeado). La solución más común que se utiliza para limpiar membranas, es la solución tipo detergente universal, para materia orgánica y materia coloidal. Esta se puede preparar de la siguiente manera:

En un tanque de más de un metro cubico se mezcla lo siguiente:

-Un metro cubico de permeado.

-20 Kg de fosfato trisodico o hexametafosfato (detergente).

-8 Kg de EDTA en polvo. Esta es un agente que ayuda a secuestrar, remover el hierro y otros metales.

Se recomienda limpiar las membranas lo menos posible, en dado caso que las membranas se ensucien con frecuencia se recomienda cambiar el tipo de pre-tratamiento, ya que los lavados cuestan dinero, interrumpen la producción y puede acortar la vida útil de las membranas. (*Bob Riley, 2010*)

3.5 Aplicaciones de la ósmosis inversa.

3.5.1 Producción de agua ultra pura para uso en calderas de alta presión, u otros procesos industriales.

Esta es una de las aplicaciones más antiguas de la ósmosis inversa. La razón es sencilla, ya que la ósmosis inversa, difícilmente puede producir agua 100% des-ionizada y libre de cloruro de sodio. Sin embargo partiendo de aguas altamente salobres, por un costo muy razonable, se puede obtener agua prácticamente libre de materia orgánica y dureza, baja en sílice, con muy bajo contenido de sales.

Una solución común es alimentar el producto de la ósmosis inversa a otro paso de membranas y/o aun pulidor de intercambio iónico para eliminar el resto de sales.

Por este motivo el uso de la ósmosis combinado con las resinas del intercambio iónico es una gran aplicación que se ha practicado exitosamente por muchos años en Altos hornos de México, Comisión Federal de Electricidad (CFE), Petromin (Arabia Saudita), y posteriormente se utilizó esta referencia, en el modelo y construcción de la planta potabilizadora “La Selene” en la alcaldía Tláhuac.

3.5.2 Agua ultra pura para microcircuitos y pintura electroforética.

En la fabricación de microcircuitos, las impurezas en el agua de enjuague causan defectos notables en el producto final. El permeado (producto) de la ósmosis inversa normalmente se pule por intercambio iónico para obtener la eliminación casi absoluta de salinidad que requiere el proceso.



Este pulido con resinas es un proceso similar al que se efectúa con el proceso anterior. La diferencia es que la industria micro eléctrica cambia el proceso con las resinas por intercambio iónico, y se instala otro sistema de membranas, (ya sea ultrafiltración u ósmosis inversa) para capturar cualquier partícula fina en suspensión producido por la degradación normal de las resinas de intercambio iónico.

En líneas de pintura aplicada con el proceso electroforético, el problema ha sido que la sílice es el componente que primero satura a las resinas de intercambio iónico y por ende, el que primero se escapa hacia su proceso. Pero, como la sílice no es iónica, no se puede detectar por aumento de conductividad. El efecto de la sílice es mala adhesión de la pintura electroforética y degradación en la calidad en el acabado de su producto final.

3.5.3 Producción de agua potable para consumo humano.

Las plantas potabilizadoras por ósmosis inversa pueden ser tan pequeñas como de 4 litros por día o hasta de 300,000 metros cúbicos por día. Esta ya es una aplicación tan común, que en los Estados Unidos hasta la ferretería y en el catálogo de tiendas departamentales se venden plantas de ósmosis inversa para potabilizar varios galones por día. Dichos sistemas no solo puede potabilizar agua de mar o agua altamente salobre a un costo muy razonable, la ósmosis inversa también remueve arsénico, flúor, plaguicidas, fertilizantes y otros compuestos que hacen las aguas peligrosas para la salud humana.

La remoción del arsénico con ósmosis inversa es una aplicación muy interesante. El arsénico en el agua potable incrementa la predisposición de cáncer de la piel en las poblaciones que beben agua con este metal pesado. La ósmosis inversa tiene la propiedad de remover prácticamente el 100% del arsénico a muy bajo costo con la ventaja que estas plantas son sencillas de operar.

3.6 Usos de ósmosis inversa.

3.6.1 Elaboración de cervezas y refrescos.

Otra aplicación de la ósmosis inversa es el agua purificada por este proceso que se utiliza directamente como materia prima para hacer refrescos y cerveza. La ósmosis inversa se utiliza en la elaboración de estos productos cuando el agua disponible tiene un contenido tan alto en dureza o en cloruros que no puede llenar las especificaciones de calidad. Por ejemplo, la cerveza Holandesa Heineken® se elabora con agua de ósmosis inversa, así como la cerveza Tecate. En refrescos, la Coca Cola en Campeche y Cancún (México) utiliza la ósmosis inversa para bajar los cloruros del agua y eliminar contaminación orgánica.



3.6.2 Potabilización de agua de mar.

Este proceso ha tomado auge con las nuevas membranas de ósmosis inversa que pueden producir agua con una calidad de 300-600 ppm.

3.6.3 Producción de agua de riego.

Una de las aplicaciones más antiguas de esta faceta de la ósmosis inversa, es su uso en invernaderos para desalar el agua para flores, tales como los claveles, los cuales son muy sensibles a los cloruros. Otra aplicación cada día más importante es como el ejemplo de las Islas Canarias, el cual desalan agua de pozos altamente salobres y adecuada para los cultivos. Aquí se cultivan tomates, pimientos y otros frutos de invierno altamente cotizados en el mercado común europeo. (*Bob Riley, 2010*)

Capítulo 4 Plantas seleccionadas, muestreo y análisis.



(Foto tomada by: González Z.-Rivera E.)

En este capítulo se muestran 3 plantas que en su proceso de potabilización tengan ósmosis inversa como son: “Purísima 3 y 7”, “La Selene”, “Vista Alegre” localizadas en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Venustiano Carranza respectivamente para evaluar el proceso adecuado de pretratamientos en ósmosis inversa.

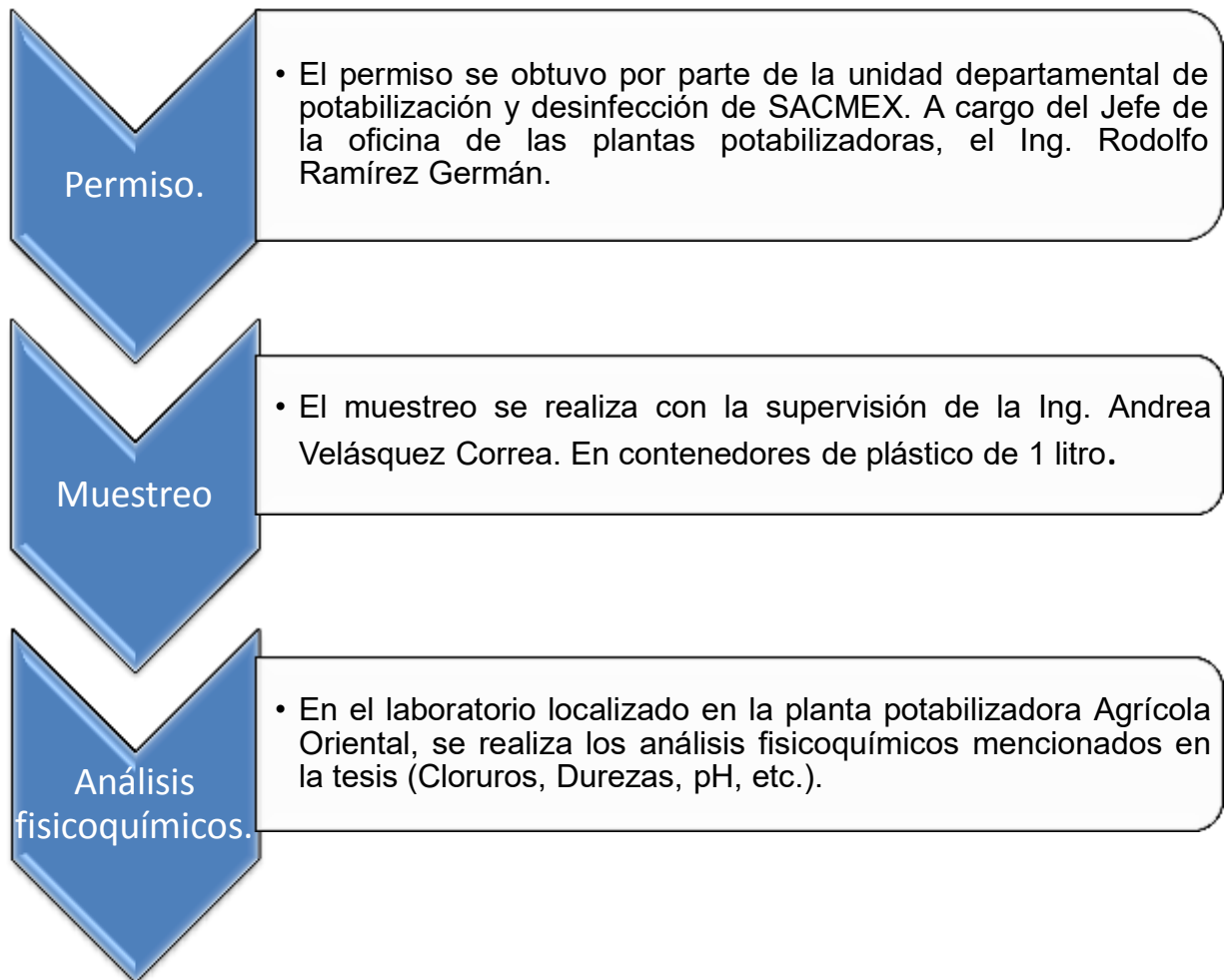


Imagen 4. Planeación del muestreo en SACMEX

Cuando se inició el muestreo en las plantas, los operadores nos dieron un recorrido por todas las plantas, donde se inicia la toma de agua (pozo) y poco a poco conforme iba avanzando el proceso nos explicaban el funcionamiento (Imagen 4).

4.1 Planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”.

La planta potabilizadora Purísima 3 y 7 se localizan en Calle Purísima S/N entre Calle 4 y San Rafael Atlixco en la Colonia La Purísima, alcaldía Iztapalapa. Esta planta está constituida por los pozos Purísima 3 y Purísima 7, que puede ser abastecida por uno de los dos pozos por separado, o en conjunto. (Imagen 5)

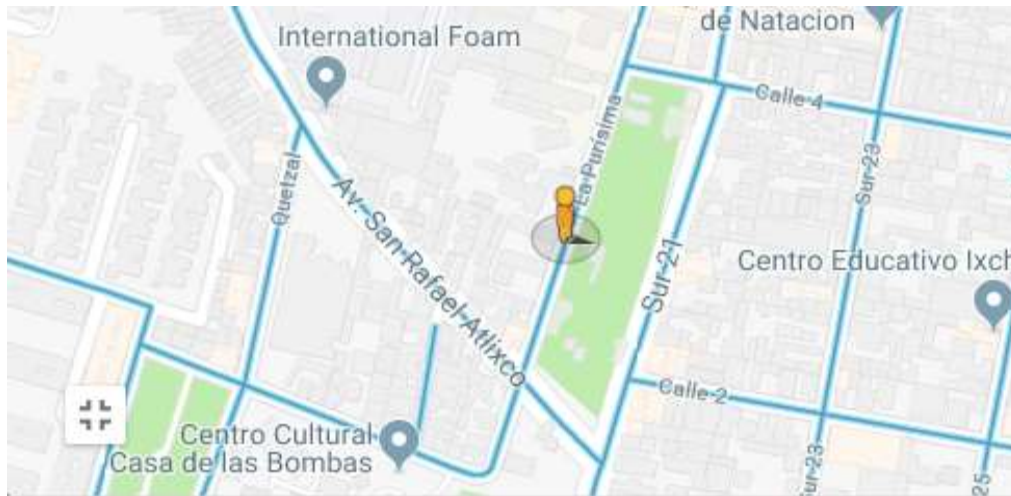


Imagen 5. Ubicación Planta Potabilizadora “Purísima 3 y 7”. Fuente Google Maps.

La planta Purísima 3 y 7 tiene un gasto de diseño de 135 litros por segundo (L/s) y un gasto de potabilización de 100 L/s con los pozos combinados, beneficiando a más de 50000 habitantes de las colonias cercanas como: El barrio de San Miguel, Progresista y La purísima.

4.1.1 Descripción del proceso.

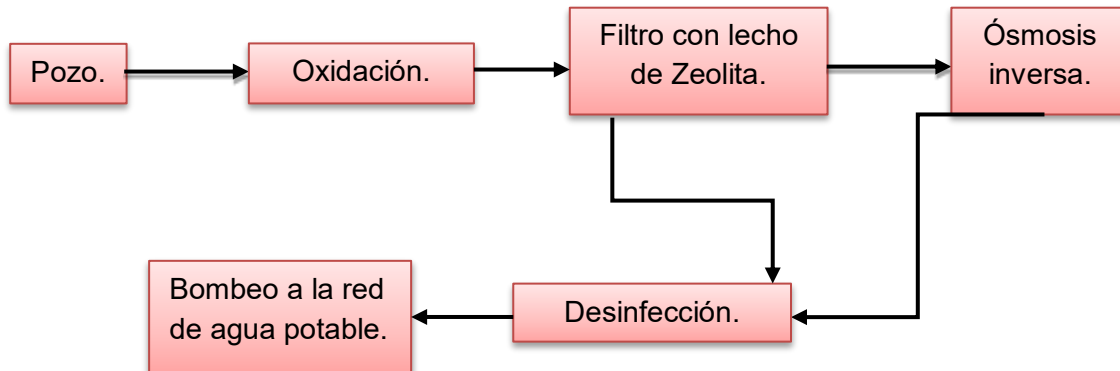
El proceso consiste en bombear agua de pozo a través de una línea, que es dosificada por una muy pequeña cantidad de hipoclorito de sodio como oxidante (aprox. 0.1 mg/L para prevenir daños en las membranas de ósmosis inversa), para llegar a los filtros a presión con lecho de zeolita FP-001/006 y retener materia orgánica e inorgánica, partículas de Hierro, Manganeso y otras partículas suspendidas.

Después del tratamiento anterior parte del flujo es pasada a la zona de desinfección (aprox. 50% del flujo), y otra parte es llevada a los filtros de cartucho FC-001 reteniendo partículas lo suficientemente grandes y prevenir daño a las membranas. Posteriormente llega a la bomba de alta presión BP-001 y finalmente a los trenes de ósmosis inversa.

Por último el agua proveniente de los trenes de ósmosis inversa se combina en la zona de desinfección y se le dosifica hipoclorito de sodio (entre 0.2 y 1.5 mg/L

como rige la norma NOM-127-SSA1-1994) y se bombea a la red de abastecimiento.

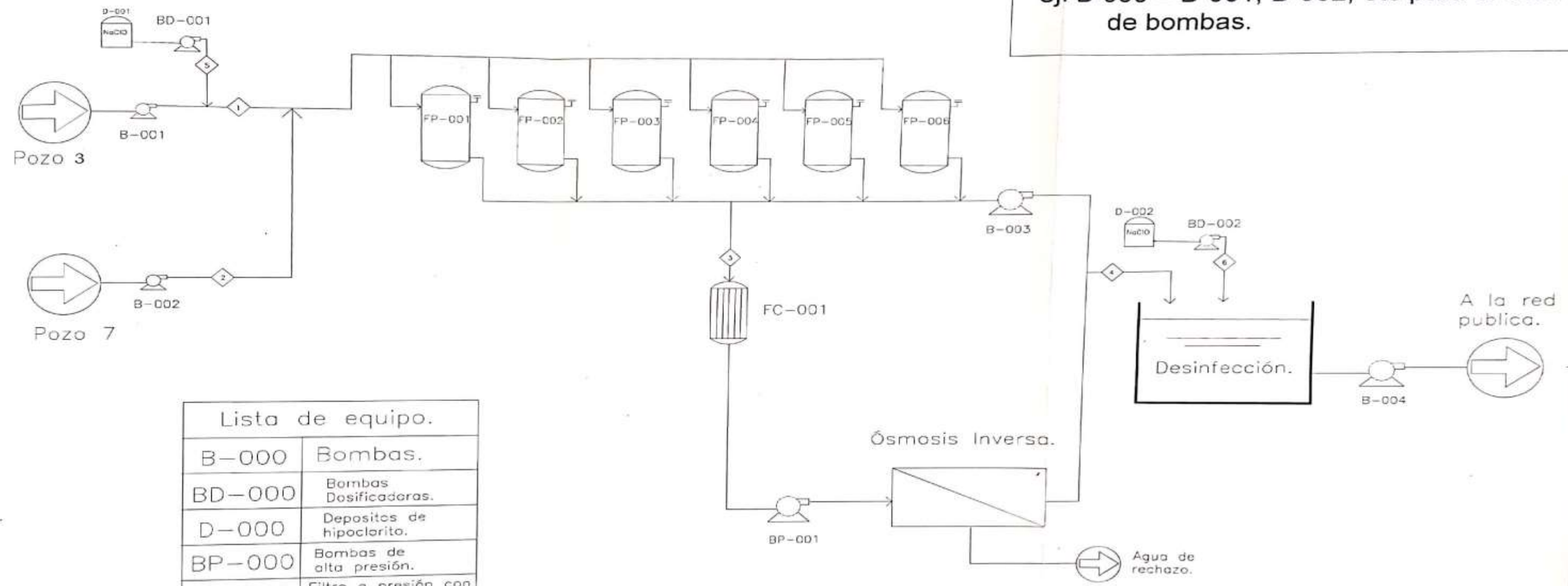
El esquema 2 y el Diagrama de Flujo de Proceso representan el proceso de potabilización de la planta “Purísima 3 y 7”.



Esquema 2. Proceso de potabilización “Purísima 3 y 7” (By: González Z. - Rivera E.)

El esquema anterior se tiene las salidas provenientes de la etapa de filtro con lecho de zeolita y ósmosis inversa que pasan ambas a la etapa de desinfección esto debido a que en la etapa de ósmosis inversa está baja en sales por lo cual para no hacer daño al organismo en caso de ser ingerida se mezcla con el agua de los filtros con lecho de zeolita.

Nota: Para identificar en la lista de equipo se opto por poner una nomenclatura global. ej. B-000 = B-001, B-002, etc para el caso de bombas.



Lista de equipo.

B-000	Bombas.
BD-000	Bombas Dosificadoras.
D-000	Depositos de hipoclorito.
BP-000	Bombas de alta presión.
FP-000	Filtro a presión con lecho de zeolita.
FC-000	Filtro de cartucho.

Propiedades.	Caudales.						Salida.	Rechazo.
	1	2	3	4	5	6	Agua potable.	Agua rechazo.
Sustancia.	Agua.	Agua.	Agua.	Agua producto.	NaClO.	NaClO.	Agua potable.	Agua rechazo.
Flujo Volumétrico. (L/s)	60	40	50	80	F/O	0.2-1.5	80	20
Temperatura. (°C)	23	23	23	23	1.1	1.1	23	23
Densidad. (g/cm³)	1	1	1	1	1	1	1	1

Revisado:	
Proyectado:	Orlando Echavarría Abad.
PLD:	23-08-18
Alumno:	Genaro Hernandez Zamora Y.
Alumno:	Rivero Nolasco Esteban

UNAM FES Zaragoza.

Planta potabilizadora "Purísima 3 y 7"

Diagrama de Flujo de Proceso 0 A1

4.2 Planta potabilizadora “La Selene”

La planta potabilizadora Selene se encuentra ubicada en la calle Monte de las Cordilleras S/N, entre el mar de las Crisis y Océano de las Tempestades, colonia Selene alcaldía Tláhuac, Ciudad de México (Imagen 6).



Imagen 6. Ubicación Planta Potabilizadora “La Selene”. Google Earth

Tiene una capacidad para tratar 120 litros por segundo de agua de pozo en 3 módulos de 40 litros por segundo cada uno.

4.2.1 Descripción del Proceso

El proceso comienza en la toma, que es procedente de los pozos Santa Catarina 1 y Tecomitl 5, que pasa por un proceso de aireación tipo cascada AE-001 y distribuye el agua por gravedad a los tres trenes de tratamiento de filtración biológica F-001, el cual tiene estructura de concreto y cuenta con nueve filtros biológicos con lecho de filtrado de 55 cm de grava y 105 cm de arena de sílice, el lecho filtrante servirá como medio de soporte para los microorganismos que llevarán a cabo el tratamiento biológico.

La etapa siguiente es oxidación OX-001 donde su objetivo es oxidar a los compuestos orgánicos remanentes y se aportará al agua una concentración de saturación de oxígeno disuelto para la remoción de nitrógeno amoniacal cuya operación del agua proveniente del filtro biológico F-001 se alimenta con aire por

medio de 4 sopladores y es distribuido al centro del tanque por medio de una tubería sumergida de PVC con 16 difusores de burbuja gruesa.

Posteriormente el agua pasa a una segunda etapa de filtrado biológico F-002 de grava y arena de sílica.

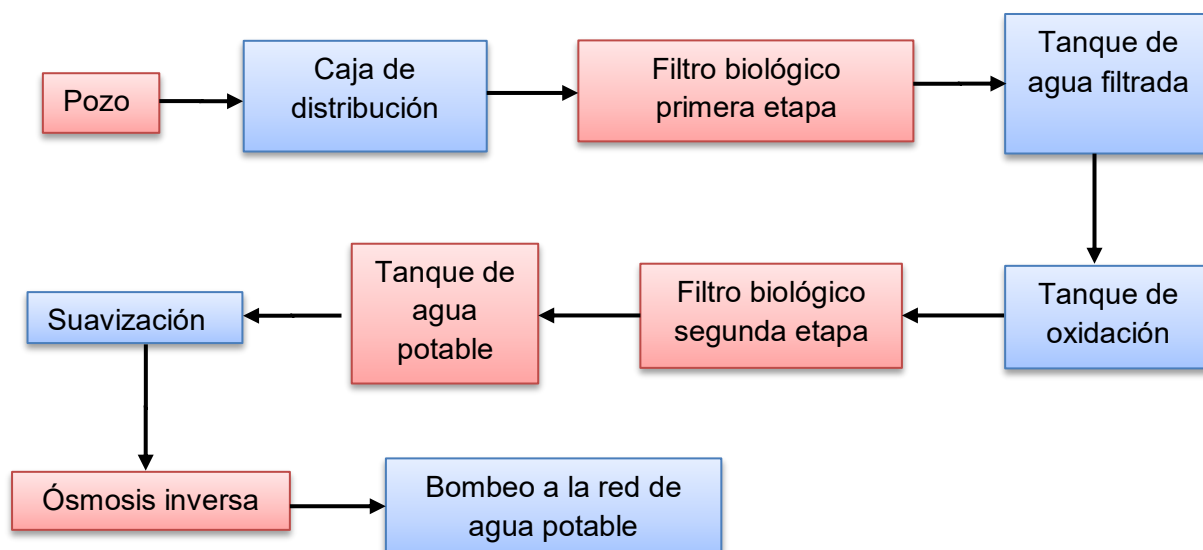
Después de la segunda filtración el agua se divide en tres flujos iguales y pasa a un proceso de intercambio iónico también llamada suavización IO-001/003, cuya función tiene como almacenaje de salmuera para regenerar la resina catiónica.

Para finalizar el proceso de potabilización el agua proveniente de la suavización llega a los filtros de cartucho FC-001/003 y por medio de las bombas de alta presión BP-001 llevara el flujo hacia los trenes de ósmosis inversa.

El objetivo de los trenes de ósmosis inversa, es pasar el agua a través de las membranas con una presión (aprox. 32 lb/in²) tal que se lleve a cabo el proceso de separación desales de la corriente de agua a tratar conformada por tres trenes con capacidad de 40 L/s.

Bombeo a la distribución: El agua potable es bombeada hacia la red de distribución por medio de dos bombas centrifugas de 50 HP.

El esquema 3 y el Diagrama de Flujo de Proceso representan el proceso de potabilización de la planta “La Selene”.



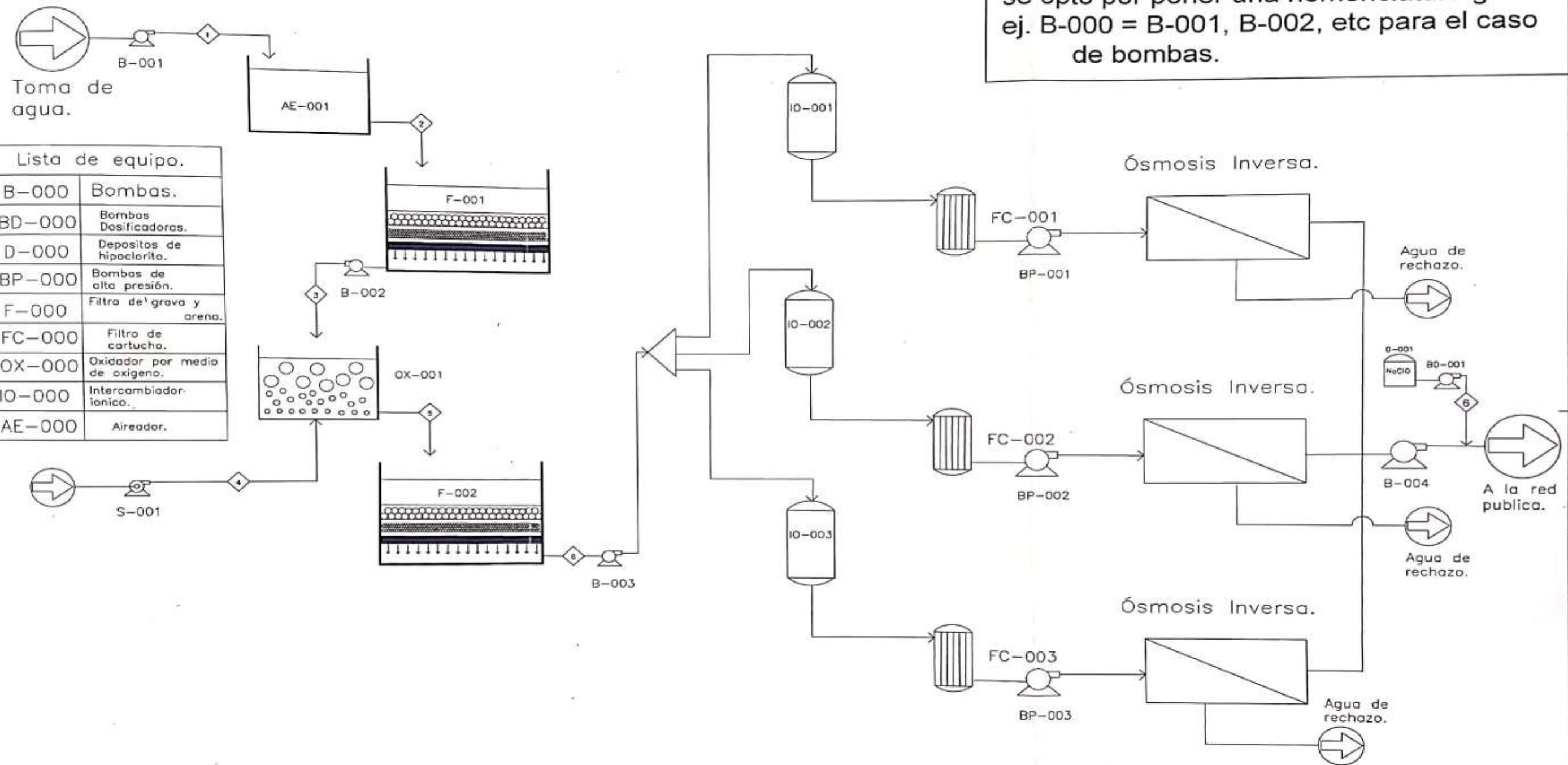
Esquema 3. De la planta potabilizadora “La Selene”. (By: Gonzalez Z. – Rivera E.)



Nota: Para identificar en la lista de equipo se opto por poner una nomenclatura global. ej. B-000 = B-001, B-002, etc para el caso de bombas.

Lista de equipo.

B-000	Bombas.
BD-000	Bombas Dosificadoras.
D-000	Depositos de hipoclorito.
BP-000	Bombas de alta presión.
F-000	Filtro de grava y arena.
FC-000	Filtro de cartucho.
OX-000	Oxidador por medio de oxígeno.
IO-000	Intercambiador ionico.
AE-000	Aireador.



Propiedades.	Caudales.			4	5	6	Salida.	Rechazo.
	1	2	3	Aire.	Agua.	NaClO.	Agua potable.	Agua rechazo.
Sustancia.	Agua.	Agua.	Agua.					
Flujo Volumétrico. (L/s)	120	120	120		120	0.2-1.5	78	42
Temperatura. (°C)	23	23	23				23	23
Densidad. (g/cm³)	1	1	1	0.0013	1	1.1	1	1

LOCALIDAD		UNAM FES Zaragoza.	
PLANTA		Planta potabilizadora "La Sylene"	
PROFESOR		Cristóbal Echeverría Abad	
FECHA		23-08-18	
NOMBRE		Gonzalo Hernandez Zarandi C.	
CURSO		Química de Alimentos	
TÍTULO		Diagrama de Flujo de Proceso	
PÁGINA		0 A1	

4.3 Planta Potabilizadora “Vista Alegre”.

La planta potabilizadora Vista Alegre se encuentra en Calle Alberto Santos Dumont, Aviación Civil, en la alcaldía de Venustiano Carranza, Ciudad de México, frente a la base Cóndores de la Secretaría de Seguridad Pública del D.F. y el Hangar Presidencial en el AICM (Imagen 7) y abastece al AICM, la colonia Hangares y Ampliación Caracol.

La planta opera con un gasto de 31 L/s con una toma a pie de pozo en un solo módulo de Ósmosis inversa con capacidad de hasta 40 L/s.



Imagen 7. Ubicación Planta Potabilizadora “Vista Alegre”. Fuente Google Maps.

4.3.1 Descripción del proceso.

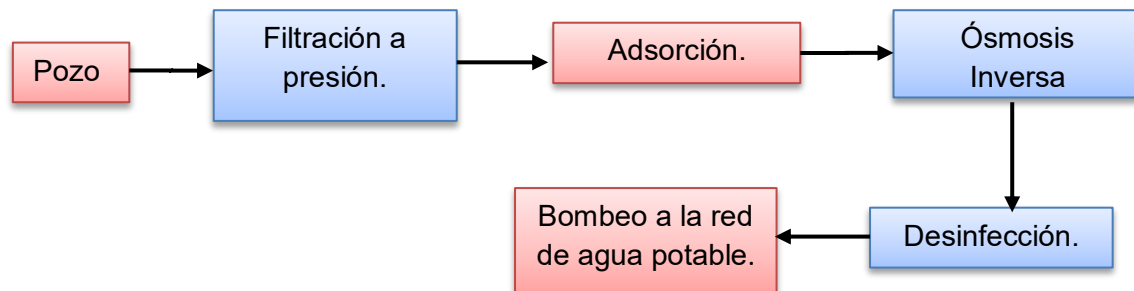
El agua tomada a pie de pozo es bombeada hacia los filtros de presión de zeolita FP-001/006 para una etapa de filtración.

Posteriormente después de pasar por los filtros FP-001/006 el flujo pasará por las torres de adsorción AD-001/004, esto con el fin de eliminar olor, color y algún tipo de sabor que pudiera traer el agua de pozo.

El flujo proveniente de las torres de adsorción AD-001/004 llegará hacia los filtros de cartucho FC-001 para remover partículas de gran tamaño (arriba de 3 micras) que pudieran dañar las membranas de ósmosis inversa, y se llevará a una alta presión (aproximadamente 32 lb/in²) por la bomba BP-001 hacia el mismo.

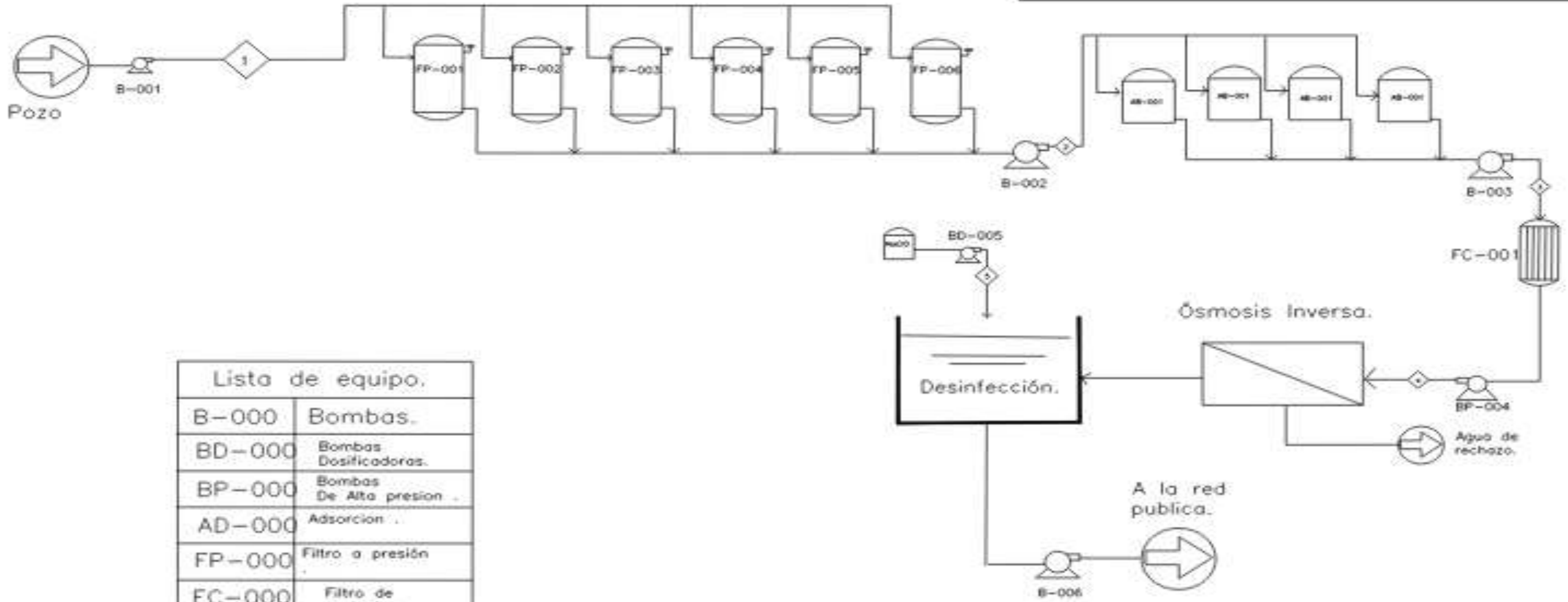
Por último el agua potabilizada (aprox. 70% del caudal original) pasara por una dosificación de hipoclorito de sodio (3.5 mg/L) como desinfectante y distribuido a la red pública.

El esquema 4 y el Diagrama de Flujo de Proceso representan el proceso de potabilización de la planta “Vista Alegre”.



Esquema 4. Planta potabilizadora “Vista Alegre”. (By: González Z. – Rivera E.)

Nota: Para identificar en la lista de equipo se opto por poner una nomenclatura global. ej. B-000 = B-001, B-002, etc para el caso de bombas.



Lista de equipo.

B-000	Bombas.
BD-000	Bombas Dosificadoras.
BP-000	Bombas De Alta presión .
AD-000	Adsorción .
FP-000	Filtro a presión
FC-000	Filtro de cartucho.

Característica	1	2	3	4	5	Salida .	Rechazo.
Flujo volumétrico (l/s)	30	30	30	30		18	12
Temperatura (°C)	28	28	28	28		28	28
Densidad (g/cm³)	1	1	1	1	1.1		

UNAM FES Zaragoza.
Departamento de Ingeniería Química
Proyecto: Sistema de Tratamiento de Agua
Fecha: 15/05/18
Autores: [Nombres]
Revisado: [Nombre]
Escala: 0 A1



4.4 Criterios mínimos para realizar un buen muestreo.

- Todos los recipientes deben estar limpios para la toma de muestras
- Evitar contaminación durante el procedimiento de toma de muestra.
- Identificar correctamente la muestra anotando los datos necesarios para su identificación y diferenciación respecto a otra muestra
- Enviar lo más rápido posible al laboratorio en las condiciones de conservación
- Anotar en el Histórico de resultados de laboratorio

-Se utilizó embaces de plásticos limpios, los cuales se deben enjuagaron 2 o tres veces antes de la toma de muestra a analizar.

-Toma de muestras:

-La operación se efectuó con el mayor cuidado posible de manera que la muestra de agua fuera homogénea y representativa, evitando una contaminación accidental.

-Toma de muestra de pozo:

-La toma de muestra de pozo cuyo suministro se hace por medio de una bomba debe realizarse luego de haber bombeado una cantidad suficiente de agua para que la muestra extraída represente el agua del subsuelo.

-Las muestras obtenidas se realizaron lo más rápido posible para evitar cambios en el contenido microbiano.

-Se colectaron muestras representativas en recipientes de vidrio o plástico limpios y resistentes a agentes químicos.

-La porción máxima de la muestra requerida es 100 mL.

-No se requiere preservativo especial si la muestra va a ser almacenada .se guardó por máximo de 7 días así como lo dicta la norma NOM-127-SSA1-1994.

4.5 Análisis fisicoquímicos.

Sé realizaron algunos análisis fisicoquímicos debido a que no se contaba con los reactivos necesarios y equipo para realizar todos y solo se tomó algunos para evaluar el comportamiento de cada una de las plantas y así mismo su calidad del agua.



4.5.1 Cloruros (titulación con nitrato de plata).

4.5.1.1 Alcance y aplicación.

Este método es aplicable en agua relativamente claras. Su ámbito de aplicaciones de 0.15 a 10 mg de Cl presentes en la porción de muestra analizada.

4.5.1.2 Resumen del método.

En una solución neutra o ligeramente alcalina, el cromato de potasio indica el punto final de la titulación de los cloruros presente en una muestra con una solución estándar de nitrato de plata. El cloruro de plata es precipitado cuantitativamente antes de que el precipitado del cromato de plata sea rojo sea formado.

4.5.1.3 Interferencias.

Bromuro, ioduro, Cianuro se registra como concentraciones de cloro equivalentes. Los ortofosfatos con exceso de 25 mg/L interfieren por precipitarse como fosfato de plata. El hierro en exceso de 10 mg/L Interfieren enmascarando el punto final de la titulación.

4.5.1.4 Muestreo y almacenamiento.

-Colectar muestras representativas en recipientes de vidrio o plásticos limpios y resistentes a agentes químicos.

-La porción máxima de la muestra es de 100 mL.

-No se requiere preservativo especial se la muestra va a ser almacenada. Guardar máximo por 7 días, esto debido a que con el tiempo pierde propiedades.

4.5.1.5 Materiales.

-2 matraces erlenmeyer.

-2 pipetas volumétricas de 25 mL.

-Bureta de 25 mL.

-Pinzas para soporte.

-1 pipeta de 1 mL.

4.5.1.6 Reactivos.

-Nitrato de plata AgNO_3 .

-Solución indicadora de cromato de potasio: Disolver 50g de K_2CrO_4 en 50 mL de agua destilada.



4.5.1.7 Desarrollo.

-Con las pipetas volumétricas añadir 25 mL de las muestras tomadas de cada planta (influyente y efluente) en cada uno de los matraces.

-Se agrega con una pipeta 1 mL de indicador cromato de potasio a cada uno de los matraces.

-Se llena y afora una bureta con Nitrato de plata y se titula cada uno de los matraces, pasando de un color amarillo a un tono rojizo.

Nota: Al momento de la titulación se pueden observar precipitados en el matraz, esto depende de la cantidad de impurezas que pueda tener (principalmente cloruros).

4.5.1.8 Tratamiento de datos.

$$\frac{mg}{L} = \frac{(V_{AgNO_3 M} - V_{AgNO_3 T}) \times N_{AgNO_3} \times 35450}{\text{Volumen de la muestra.}}$$

Dónde:

$V_{AgNO_3 M}$: Volumen gastado de Nitrato de Plata en mL en la muestra.

$V_{AgNO_3 T}$: Volumen gastado de Nitrato de Plata en mL en el testigo (agua destilada).

$PM(35.45)/(0.001) = 35450$

N_{AgNO_3} : Normalidad del nitrato de plata eq. 0.0141

4.5.2 Oxígeno consumido en medio ácido.

4.5.2.1 Alcance y aplicación

El valor del oxígeno consumido en el medio ácido es una estimación de la concentración de materia orgánica presente en la muestra de agua. En el caso de algunas aguas residuales en las que la DBO_5 (Demanda Biológica de oxígeno).

$(DBO)_5$: donde 5 significa una muestra por cinco días.

Se utiliza para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales de origen municipal y no municipal. No puede ser determinada, puede servir como referencia o bien como un complemento de dicha determinación.

Esta prueba debe considerarse como una estimación de la materia orgánica total presente y no como una estimación de materia carbonacea únicamente.



4.5.2.2 Resumen del método.

El oxígeno consumido de una solución estándar de permanganato en medio ácido por una muestra de agua cuando es digerida por 30 min en baño de agua hirviendo es cuantificada mediante una titulación en retroceso con solución de oxalato de amonio.

4.5.2.3 Interferencias.

Las concentraciones de permanganato de potasio (KMnO_4) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) y la temperatura de digestión usada, en el procedimiento son factores que influyen en el resultado final de oxígeno consumido, por lo tanto la técnica seguida deberá ser siempre idéntica con el procedimiento estándar para obtener resultados comparables.

Nitritos, hierro ferroso, sulfuro y otras sustancias oxidables reducen permanganato; por consiguiente cuando estas sustancias se encuentran presentes debe efectuarse la corrección adecuada.

Para la determinación en muestras de agua residual con muy alto contenido de materia orgánica se emplea una solución estándar de permanganato de potasio de concentración 10 veces mayor, esto con la finalidad de no llevarse demasiado tiempo en la titulación y en el ahorro de reactivo.

4.5.2.4 Muestreo y almacenamiento.

Homogenizar las muestras que contengan sólidos, asentados para permitir un muestreo representativo, se puede muestrear en un recipiente de vidrio o de plástico.

El análisis debe realizarse lo más pronto posible. Si no es posible hacerlo de inmediato, preservar las muestras acidificadas a un pH de 2 o menos con H_2SO_4 concentrado 1:3. Y mantener en refrigeración por tiempo máximo de 7 días.

4.5.2.5 Materiales.

-Un matraz erlenmeyer de 125 mL por cada operación unitaria que contenga el proceso de potabilización (influyente, filtración, ósmosis inversa, etc.).

-2 Buretas de 25 mL.

-Una pipeta volumétrica de 50 mL por cada operación unitaria que contenga el proceso de potabilización.

-Una pipeta volumétrica de 5 mL.

-Soporte universal.



-Pinzas para doble bureta.

-Baño maría.

4.5.2.6 Reactivos.

-Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 3:1

-Solución de oxalato de amonio (Disolviendo 0.888 g de $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en un litro de agua destilada.

-Solución estándar de permanganato de potasio (Disolviendo 0.4 g de KMnO_4 en un litro de agua destilada.

4.5.2.7 Desarrollo.

-Con cada una de las pipetas volumétricas (para no contaminar cada muestra) se toman 50 mL de cada muestra y se pondrá en cada uno de los matraces erlenmeyer.

-Con la pipeta volumétrica de 5 mL se le agregara ácido sulfúrico a cada uno de los matraces.

-Se llena y afora una de las buretas con permanganato de potasio y se le agrega 5 mL a cada matraz.

-Se mete cada matraz a baño maría, cuidando que la temperatura sea entre 70 y 80 °C durante 30 minutos.

-Se llena y afora la otra bureta con el oxalato de amonio y pasando los 30 minutos del baño maría se le agrega a cada matraz 5 mL de oxalato de amonio.

-Se titula cada muestra con el permanganato de potasio hasta que llegue a la primera tonalidad del mismo titulante (vire morado).

Nota: No debe dejar enfriarse la muestra de cada matraz, debe ser titulado lo más pronto posible.

-Se anota el gasto del permanganato de potasio.

4.5.2.8 Tratamiento de datos.

$$A-B=C$$

Dónde:

A: Volumen gastado de KMnO_4 de la muestra.



B: Volumen gastado de KMnO_4 del testigo (agua destilada).

C: Diferencia de volúmenes.

$$O_2H^+ = \frac{C \times \text{KMnO}_4 \times 8000}{\text{Volumen de muestra}}$$

Dónde:

N KMnO_4 : normalidad del KMnO_4 eq. a 0.0125

8000=8 (número equivalente del oxígeno) por 1000 que es el factor de conversión

4.5.3 Dureza de calcio.

4.5.3.1 Alcance y aplicación.

Este método es aplicable a todo tipo de agua. El límite de detección más bajo de este método es de 0.5 mg/L como CaCO_3 , el límite superior puede ser ampliando a todas las concentraciones por dilución de muestras. Es recomendable que una alícuota de muestra no contenga más de 25 mg de CaCO_3 al ser titulada.

4.5.3.2 Resumen del método.

Cuando la EDTA (ácido etilendiaminotetracético) es agregada a una muestra de agua que contenga calcio y magnesio este se combina primero con el calcio. El calcio puede ser determinado directamente con EDTA cuando el pH se hace lo suficientemente alto que el magnesio es precipitado como hidróxido y se usa un indicador que combina con calcio solamente. Varios indicadores dan un cambio de color cuando todo el calcio se ha acomplejado con el EDTA a un pH de 12 a 13.

4.5.3.3 Interferencias.

Las siguientes concentraciones de iones no causan interferencia con la determinación de la dureza de calcio: cobre, 2 mg/L hierro ferroso, 20mg/L hierro férrico 20 mg/L, manganeso 10 mg/L, zinc 5 mg/L y estaño 5 mg/L.

-Estroncio y bario interfieren con las determinaciones de calcio y alcalinidad en exceso de 300 mg/L pueden causar un punto final indistinto.

-Los ortofosfatos precipitan el calcio al pH de la prueba.

-La interferencia de magnesio es reducida o eliminada aumentando el pH entre 12 y 13 para precipitar el hidróxido de magnesio.



4.5.3.4 Muestreo y almacenamiento.

-Es posible muestrear tanto en recipientes de vidrio tanto de plástico, en caso de ser necesario el almacenamiento preservar por adición de HNO_3 concentrado hasta un pH 2.

-Realizar el análisis antes de 6 meses de cada muestra tomada.

4.5.3.5 Materiales.

-2 Matraces Erlenmeyer de 250 mL.

-2 Pipetas volumétricas de 25 mL.

4.5.3.6 Reactivos.

-Solución buffer de Hidróxido de sodio, (NaOH) 1 N.

-Indicador murexida (purpato de amonio)

-Solución EDTA (etilendiaminotetracético) titulante 0.01M.

4.5.3.7 Desarrollo.

-Con las pipetas volumétricas añadir 25 mL de las muestras tomadas de cada planta (influyente y efluente) en cada uno de los matraces.

-Se agrega 2 mL de solución Buffer en cada uno de los matraces.

-Se agrega a cada matraz una pizca del indicador murexida.

-Titular con la solución EDTA hasta que la solución vire de un color rosa ha morado. Anotar el volumen gastado.

4.5.3.8 Tratamiento de datos.

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Durezadecalcio} = \frac{\text{VEDTA} * \text{TEDTA} * 1000}{\text{Volumendemuestra (mL)}}$$

Dónde:

VEDTA: Volumen de gasto de solución EDTA (Hidróxido de sodio)

TEDTA: Valor título EDTA eq. 0.998 se redondea a 1.

4.5.4 Dureza total titulación con EDTA.

4.5.4.1 Alcance y aplicación.

El método es aplicable a todo tipo de agua superficiales, dulce y salinas. Es posible usarlo en todo ámbito de concentraciones, pero se recomienda manejar alícuotas con concentraciones menores de 25 mg de CaCO_3 .



4.5.4.2 Resumen del método.

El indicador de alicromo negro T (es un indicador característico de iones metálicos que se utiliza en la valoración de diversos cationes comunes puede servir como indicador en las valoraciones de la dureza del agua.). Imparte a las muestras un color rojo vino a un pH de 10.0 ± 0.1 en presencia de iones calcio o magnesio. Cuando se agrega la solución de EDTA titulante esta reacciona con el calcio y el magnesio formando quelatos solubles complejos cambiando la coloración de rojo vino a azul.

4.5.4.3 Interferencias.

- Iones metálicos interfieren haciendo indistinto el punto de vire.
- Aguas coloridas o turbias interfieren también en la apreciación del punto de vire.
- Muestreo y almacenamiento.

En caso de ser necesario el almacenamiento se acidifica hasta un pH de 2 con HNO_3 y se conserva en refrigeración a 4°C por un periodo máximo de seis meses.

4.5.4.4 Materiales.

- 2 Matraces Erlenmeyer de 250 mL.
- 2 Pipetas volumétricas de 25 mL

4.5.4.5 Reactivos.

- Solución Buffer. Disolver 16.9 g de cloruro de amonio (NH_4Cl) en 143 mL de hidróxido de amonio (NH_4OH). Agregar 1.25 de sal EDTA de magnesio y diluir a 250 mL con agua destilada.
- Indicador de ericromo negro T, sal de sodio del 1-(1-hidroxi-2-naftilazo)-5-nitro-2-naftol-4-ácidosulfónico.
- Solución estándar EDTA titulante de 0.1M

4.5.4.6 Desarrollo.

- Con las pipetas volumétricas añadir 25 mL de las muestras tomadas de cada planta (influyente y efluente) en cada uno de los matraces.
- Se agrega 2 mL de solución Buffer en cada uno de los matraces.
- Se agrega a cada matraz una pizca del indicador ericromo negro T.
- Titular con la solución EDTA hasta que la solución vire de un color rojo a azul marino. Anotar el volumen gastado.



4.5.4.7 Tratamiento de datos.

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{VEDTA * TEDTA * 1000}{Volumen de muestra (mL)}$$

Dónde:

VEDTA: Volumen de gasto de solución EDTA (Hidróxido de amonio)

TEDTA: Valor título EDTA eq. 0.998 se redondea a 1.

4.5.5 Dureza de magnesio.

4.5.5.1 Alcance y aplicación.

Este método es aplicable a todo tipo de muestras de agua cuya concentración de dureza total y dureza de calcio se haya determinado previamente. Asumiendo que la dureza de agua se debe exclusivamente a iones de calcio y magnesio.

4.5.5.2 Resumen del método.

La concentración de magnesio se determina restando la concentración de calcio a la concentración de dureza total en términos de carbonato de calcio.

$$\text{Dureza de magnesio} = \text{Dureza Total} - \text{Dureza de calcio}$$

4.5.6 Alcalinidad Total (titulación con indicador de naranja de metilo).

4.5.6.1 Alcance y aplicación.

Este método es aplicable a muestras de agua que no presenten color o turbiedad que interferirán con la apreciación del vire en la solución (potables o sin contaminar). Se puede emplear en todo rango de concentración, sin embargo, se recomienda emplear alícuotas que requieran menos de 50 mL de solución del titulante. No es recomendable hacer diluciones.

4.5.6.2 Resumen del método.

La alcalinidad de la muestra de agua es determinada titulando con una solución Acido valorada a el punto de vire del indicador anaranjado de metilo, sin que esta haya sido filtrada, diluida, concentrada o alterada en forma alguna.

4.5.6.3 Interferencias

Color y turbiedad presentes en la muestra que interfieran con la apreciación del vire. El vire del indicador de anaranjado de metilo.



4.5.6.4 Muestreo y almacenamiento.

Es posible muestrearse en recipientes tanto de vidrio como de plástico y en caso de requerir se almacenamiento conservar en refrigeración 4 °C por un tiempo no mayor a 24 horas.

4.5.6.5 Materiales.

-2 Matraces Erlenmeyer de 250 mL.

-2 Pipetas volumétricas de 25 mL.

4.5.6.6 Reactivos.

-Solución de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) a 0.1 N.

-Tiosulfato (Na₂S₂O₃).

-Naranja de Metilo.

4.5.6.7 Desarrollo.

-Con las pipetas volumétricas añadir 25 mL de las muestras tomadas de cada planta (influyente y efluente) en cada uno de los matraces.

-Se agrega aproximadamente 2 o 3 gotas de tiosulfato a cada uno de los matraces.

-Se agrega entre 1 y 2 gotas de naranja de metilo.

-Titular con la solución de ácido sulfúrico hasta que la solución vire de un color anaranjado a canela. Anotar el volumen gastado.

4.5.6.8 Tratamiento de datos.

$$\text{Alcalinidad}_{total} = \frac{M * NH_2SO_4 * 50000}{\text{Volumen de muestra}(mL)}$$

Dónde:

M: Volumen gastado con el anaranjado de metilo.

NH₂SO₄: Normalidad del ácido sulfúrico eq. 0.02

4.5.7 Tipos de turbidez

NTU: significa unidad de turbidez nefelométrica y significa que el instrumento mide la luz difusa de la muestra en un ángulo de 90 grados con respecto a la luz incidente.



JTU: unidad de turbidez de Jackson es una unidad histórica que se utilizaba cuando las mediciones se realizaban visualmente con un turbidímetro de vela Jackson.

FNU: significa unidad de formacina nefelométrica y también significa que el instrumento mide la luz difusa de la muestra en un ángulo de 90 grados con respecto a la luz incidente.

4.5.7.1 Turbiedad nefelometrico.

4.4.7.2 Alcance y aplicación.

El método es aplicable a todo tipo de agua de mejor precisión y sensibilidad que los métodos visuales además de más rápido, su ámbito de aplicación es de 0 a 40 unidades nefelometricas de turbiedad (NTU por sus siglas en ingles). Valores de turbiedad más altos pueden obtener mediante mediciones.

4.5.7.3 Resumen del método.

El método está basado en una comparación de la intensidad de luz reflejada por una muestra en condiciones preestablecida con la intensidad de luz reflejada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones. A mayor intensidad de luz reflejada, mayor turbiedad, la lectura se realiza en un nefelómetro. La suspensión estándar de turbiedad se hace mediante el polímero formazina.

4.5.7.4 Interferencias.

-Residuos y sedimentos gruesos que sedimentan rápidamente ocasionan lecturas bajas.

-Material sucio, burbujas de aire o vibraciones en la superficie del líquido ocasionan lecturas erróneas.

4.5.7.5 Muestreo y almacenamiento.

Se puede muestrear tanto en recipientes de vidrio, como de plástico y no se debe agregar preservativo alguno, analizar tan pronto sea posible; en el caso contrario se debe mantener en refrigeración a un tiempo no mayor a siete días.

4.5.7.6 Aparatos y materiales.

Turbidímetro: consistente en un nefelómetro con una fuente luz para iluminación de la muestra y uno o más detectores fotoeléctricos con dispositivos e indicador de lectura con intensidad de luz reflejada en ángulo recto a el paso de luz incidente.



La sensibilidad del instrumento permitirá la detección de turbiedades con una aproximación de 0.02 unidades o menos. Ámbito de 0 a 40 unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

-Tubos para las muestras. Transparentes y perfectamente limpios, sin ralladuras ni fracturas.

4.5.7.7 Desarrollo.

-Calibración del turbidímetro (Se debe seguir las instrucciones del fabricante).

-Agitar vigorosamente la muestra.

-Esperar hasta que las burbujas de aire desaparezcan y colocar la muestra en el tubo del turbidímetro.

-Leer la turbiedad de la escala del instrumento.

4.5.8 Olor.

4.5.8.1 Alcance y aplicación.

Las muestras de agua que presentan olores fuertes pueden ser diluidas proporcionalmente, antes de realizar el análisis; de esta forma el método es aplicable en un ámbito que va desde el olor cercano hasta un agua natural hasta el de residuos industriales con valores de número de umbral elevado.

4.5.8.2 Resumen del método.

La muestra es diluida con agua libre de olor hasta obtener una dilución tal que se tenga en un mínimo de olor perceptible, la relación resultante por la cual la muestra ha sido diluida es llamada " número umbral de olor "

La sensibilidad de las personas el olor varía ampliamente y aun una misma persona no detectara en forma constante un olor de un día a otro. Por lo anterior se recomienda contar con grupos de paneles de no menos de 5 personas y preferentemente 10 o más es lo recomendable para cubrir la variabilidad de un observador. Como un mínimo absoluto; son necesarias dos persona una encargada de hacer las diluciones y otra determinar el umbral de olor.

4.5.8.3 Muestreo y almacenamiento.

Las muestras deberían recolectarse en recipientes de vidrio o teflón. No usar recipientes de plástico.



4.5.9 Valor de pH (potenciométrico).

4.5.9.1 Alcance y aplicación.

La determinación de pH por el método potenciométrico se aplica a todo tipo de agua. Su intervalo de operación es de 0 a 14 unidades de pH. El ámbito de pH para las aguas naturales es de 4 a 9 unidades de pH.

4.5.9.2 Resumen del método.

El pH de la muestra es la determinación de la actividad de los iones hidrogeno mediante una medina potenciométrica usando un electrodo de vidrio y uno de referencia.

4.5.9.3 Interferencias.

-La temperatura de la solución interfiere en dos formas; ya que ocasiona cambios en el sistema de medición y en la solución influyendo en el equilibrio iónico. Cuando el potenciómetro no tenga compensador de temperatura, deberá ser calibrado a la temperatura de las muestras:

*Altas concentraciones de sodio a pH mayor de 10 provoca el llamado “error de sodio”.

*Grasas y aceites forman películas sobre el electrodo, provocando errores en las respuestas.

4.5.9.4 Muestreo y almacenamiento.

Las muestras deberán ser analizadas tan pronto como sea posible, preferentemente en el momento de la recolección. En caso contrario los recipientes deberán llenarse completamente, cerrarse herméticamente y analizarse en un plazo máximo de seis horas.

4.5.9.5 Aparatos.

-Potenciómetro con compensador de temperatura, electrodo de vidrio.

-Agitador magnético con magnetos recubiertas de teflón.

4.5.9.6 Reactivos.

-Soluciones buffer estándares de 4, 7 y 10 unidades de pH respectivamente.

4.5.9.7 Desarrollo.

-Calibración. (Se debe seguir las instrucciones del fabricante).

-Análisis de las muestras:



*En un vaso de precipitados tomar un volumen suficiente de muestra para cubrir el elemento sensible del electrodo además de espacio necesario para funcionamiento de los magnetos.

*Enjuagar los electrodos con la misma muestra o con agua destilada e introducirlos en la muestra. Agitar a velocidad constante y tomar la lectura de pH.

*Anotar los valores que marque el potenciómetro.

Hay otros tipos de análisis fisicoquímicos que se le da al agua como cantidad de nitrógeno amoniacal, sulfuros, hierro y manganeso los cuales no estuvieron al alcance de esta tesis, además de que se consideró que con los anteriores análisis son suficientes para poder evaluar el comportamiento de cada proceso y poder llegar a resultados y conclusiones satisfactorias.

Capítulo 5 Resultados.



(By: Gonzalez Z.-Rivera E.)



5.1. Resultados de cloruros por titulación con nitrato de plata.

Los resultados para los cloruros son anotados en la tabla 5.1 los cuales para este análisis se realiza para la entrada y salida de cada planta y los cálculos efectuados se muestran en el anexo 2.

Tabla 5.1 Resultados de cloruros.

Fecha	Planta	Sitio	Volumen de muestra (mL)	Normalidad AgNO ₃	Volumen gastado de AgNO ₃ (mL)		Cloruros (mg/L)	Observaciones.
					Muestra M	Testigo T		
22-ago-18	Purísima 3 y 7	Inf.	25	0.0141	12.3	0.3	240	Pozo 3 y 7
		Efl.	25	0.0141	10.8	0.3	210	
22-ago-18	La Selene	Inf.	25	0.0141	5.2	0.3	980	Inf dil 10/100
		Efl.	25	0.0141	7	0.3	134	
10-oct-18	Vista Alegre	Inf.	25	0.0141	27.1	0.3	536	
		Efl.	25	0.0141	14	0.3	274	

En observaciones, para el caso de la planta “Purísima 3 y 7” ambos pozos estaban funcionando el día del muestreo.

Para el caso de la planta “La Selene”, debido a la cantidad de cloruros en la muestra de la toma de agua (influyente=inf) se diluyó 10 mL de la misma sobre 90 de agua destilada y se tomó 25 mL de la dilución.

5.2 Resultados de oxígeno consumido en medio ácido.

Los resultados de este análisis son anotados en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Resultados de análisis de oxígeno consumido en medio ácido.

Fecha	Planta	Sitio	Vol. muestra mL	Normalidad KMnO ₄	Volumen gastado de KMnO ₄		A-B=C	Oxígeno consumido mg/L	Observaciones.
					Muestra A mL	Testigo B mL			
22-ago-18	Purísima 3 y 7	Influente	50	0.0125	2.4	0	2.4	4.8	
		Oxidación	0	0.0125	0	0	0	0	F/O
		Filtración.	50	0.0125	2.3	0	2.3	4.6	
		O.I	50	0.0125	1.1	0	1.1	2.2	
		Efluente	50	0.0125	2.9	0	2.9	5.8	
22-ago-18	La Selene	Influente	5	0.0125	2.3	0	2.3	46	dil 5/50
		Aireación	5	0.0125	2.1	0	2.1	42	dil 5/50
		Filtración 1	5	0.0125	2.1	0	2.1	42	dil 5/50
		Oxidación	5	0.0125	2.1	0	2.1	42	dil 5/50
		Filtración 2	5	0.0125	2.2	0	2.2	44	dil 5/50
		Suav.	5	0.0125	2.1	0	2.1	42	dil 5/50
		O.I	50	0.0125	1.4	0	1.4	2.8	
		Efluente	50	0.0125	2.1	0	2.1	4.2	
		10-oct-18	Vista Alegre	Influente	50	0.0125	1.8	0	1.8
Filtración	50			0.0125	1.8	0	1.8	3.6	
Adsorción	50			0.0125	1.5	0	1.5	3	
O.I	50			0.0125	0.3	0	0.3	0.6	
Efluente	50			0.0125	0.6	0	0.6	1.2	

Para este análisis se realizó de cada sitio del proceso, y los cálculos se muestran en el anexo 2.

En la columna de observaciones en la planta La purísima 3 y 7 el proceso de oxidación sale de operación (F/O) debido a una fuga en su tanque de almacenamiento del hipoclorito la cual se estaba reparando. Poco después los operadores llegaron a la conclusión de sacar ese proceso, ya que dañaba las membranas de ósmosis inversa, oxidar con hipoclorito aun siendo a una muy baja concentración.

Para la planta La Selene, Dil 5/50 significa que para cada proceso enmarcado se diluye 5 mL de agua del sitio con 45 de agua destilada, esto debido a su alto contenido de materia orgánica y para no gastar demasiado reactivo al momento de su titulación.

5.3 Resultados de Dureza Total, Dureza de Calcio, Dureza de magnesio.

Los resultados de los análisis sobre las durezas son anotados en la tabla 5.3 y los cálculos son referenciados en el anexo 2.

Tabla 5.3 Resultados sobre Dureza Total, de Calcio y Magnesio.

Fecha	Planta	Sitio	Volumen de la muestra. (mL)		T EDTA	Volumen gastado EDTA (mL)		Dureza mg/L como CaCO ₃		
			Total	Calcio		Total	Calcio	Total	Calcio	Magnesio
22-ago-18	Purísima 3 y 7	Inf.	25	25	1	10.2	2.9	408	116	292
		Efl.	25	25	1	8.5	2.1	340	84	256
22-ago-18	La Selene	Inf.	25	25	1	7.5	1.2	300	48	252
		Efl.	25	25	1	0.7	0	28	0	28
10-oct-18	Vista Alegre	Inf.	25	25	1	29.5	11.6	1180	464	716
		Efl.	25	25	1	13.4	5.5	536	220	316

Para este parámetro se hizo el análisis solo a la entrada y salida del proceso para saber si el proceso está funcionando correctamente y pueda cumplir con la norma SSA-127 la cual define los límites permisibles para el agua potable y los tratamientos de potabilización.

5.4 Resultados Alcalinidad Total.

Los resultados de los análisis sobre alcalinidad total son anotados en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Resultados sobre Alcalinidad Total.

Fecha	Planta	Sitio	Volumen de muestra. (mL)	Normalidad H ₂ SO ₄	Volumen gastado de H ₂ SO ₄ (mL)	Alcalinidad mg/L como CaCO ₃	Observaciones
22-ago-18	Purísima 3 y 7	Inf.	25	0.02	16.2	648	
		Efl.	25	0.02	13.4	536	
22-ago-18	La Selene	Inf.	25	0.02	7.4	2960	Dil. 10/100
		Efl.	25	0.02	8	320	
10-oct-18	Vista Alegre	Inf.	25	0.02	31	1240	
		Efl.	25	0.02	14	560	

Los cálculos sobre estos resultados se encuentran en el anexo 2.



En observaciones, en el influente de la planta potabilizadora “La Selene” se diluye y afora 10 mililitros de la muestra en 90 de agua destilada, y se toman 25 mL de la muestra, esto con la finalidad de no gastar demasiado reactivo al momento de hacer el análisis.

5.5 Turbiedad y Temperatura.

Los resultados analíticos de turbiedad y temperatura son anotados en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Resultados sobre Turbiedad y temperatura.

Fecha	Planta	Sitio	Temperatura °C	Turbiedad NTU	Observaciones.
22-ago-18	Purísima 3 y 7	Influente	23	3.2	
		Oxidación	-	-	Fuera de op.
		Filtración.	23	0.98	
		O.I	23	0.22	
		Efluente	23	5.59	
22-ago-18	La Selene	Influente	23	5.42	
		Aireación	23	6.65	
		Filtración 1	23	1	
		Oxidación	23	0.79	
		Filtración 2	23	0.72	
		Suav.	23	0.46	
		O.I	23	0.2	
		Efluente	23	0.22	
10-oct-18	Vista Alegre	Influente	28	6.6	
		Filtración	28	6.6	
		Adsorción	28	2.5	
		O.I	28	0.24	
		Efluente.	28	3.93	

Para el caso de oxidación en la planta potabilizadora “Purísima 3 y 7” la oxidación sale de operación, debido a una fuga en su tanque de almacenamiento del hipoclorito, el cual se estaba reparando.

NTU: Es una unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido, sólo líquidos y no aplicable a gases o atmósfera.



5.6 Resultados de pH.

Los resultados de los análisis de pH son anotados en la tabla 5.6

Tabla 5.6 Resultados analíticos sobre pH.

Fecha	Planta	Sitio	pH (U. pH)	Observaciones.
22-ago-18	Purísima 3 y 7	Influyente	8.1	
		Oxidación	-	Fuera de operación.
		Filtración.	8.08	
		O.I	8.03	
		Efluente	8.15	
22-ago-18	La Selene	Influyente	8.46	
		Aireación	8.39	
		Filtración 1	8.42	
		Oxidación	8.95	
		Filtración 2	8.92	
		Suav.	8.88	
		O.I	9.64	
		Efluente	9.17	
10-oct-18	Vista Alegre	Influyente	8.31	
		Filtración.	8.38	
		Adsorción.	8.45	
		O.I	8.51	
		Efluente	9.1	

NOTA: Al igual que en análisis anterior oxidación no se toma muestra debido a que ese proceso está fuera de operación.



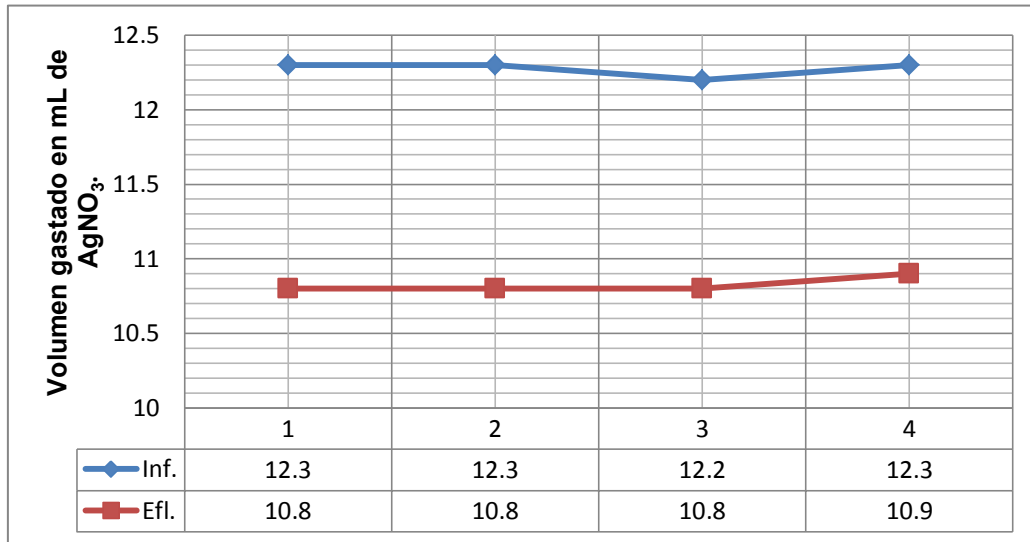
Capítulo 6 Análisis de resultados.



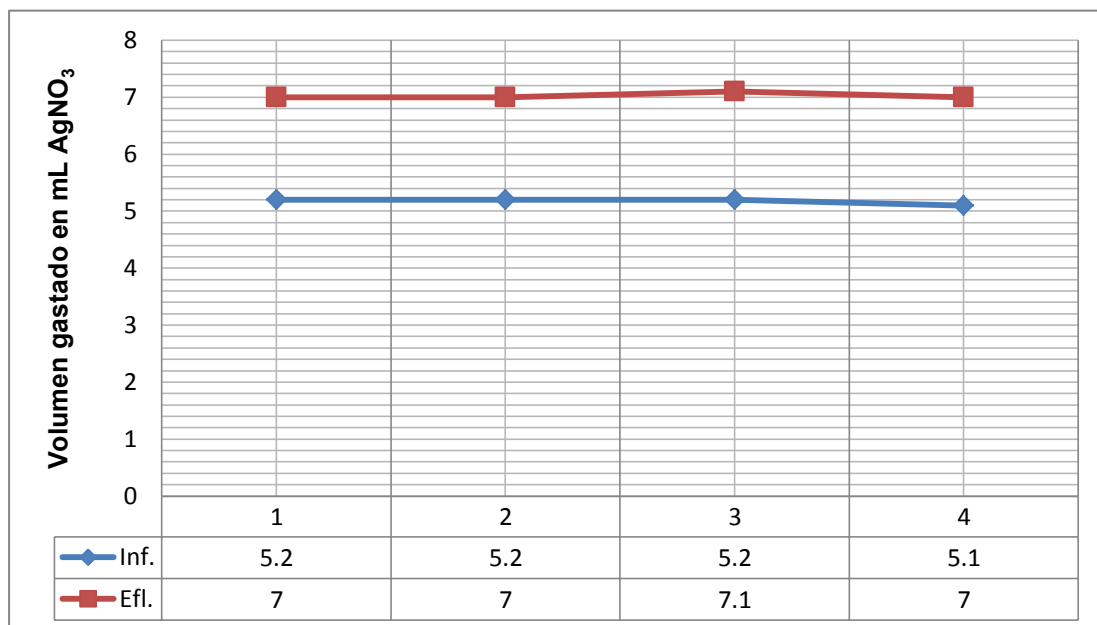
(Fuente: <http://lubrication-management.com>)

6.1 Análisis de resultados de cloruros.

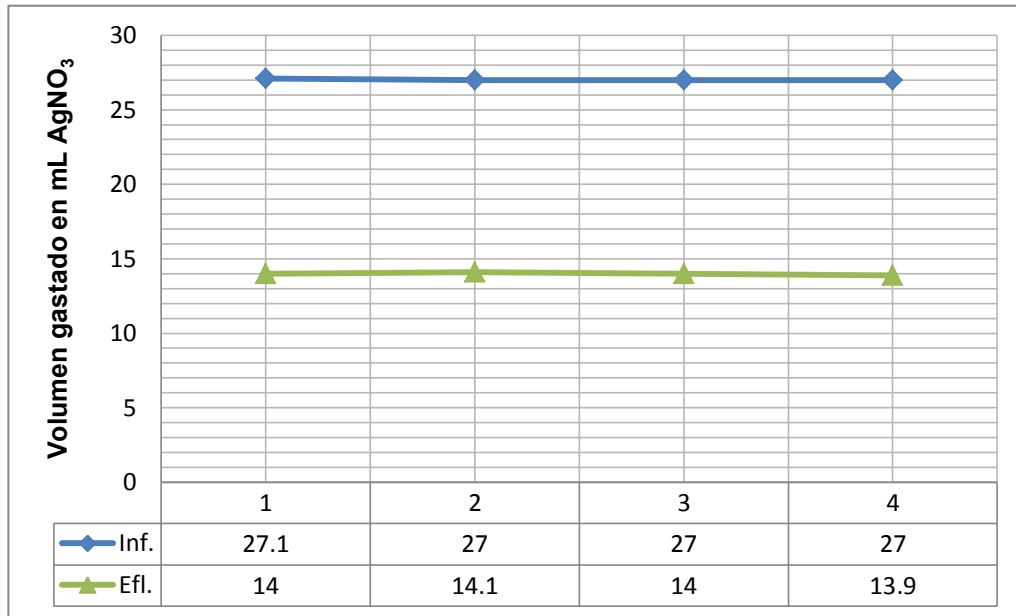
Durante los análisis fisicoquímicos, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las gráficas 1, 2 y 3, los cuales se observa que no vanean al momento de su titulación, y se optó por elegir el valor más destacado para utilizar en los cálculos.



Grafica 1. Análisis de resultados sobre las muestras de cloruros P.P. “Purísima 3 y 7”.



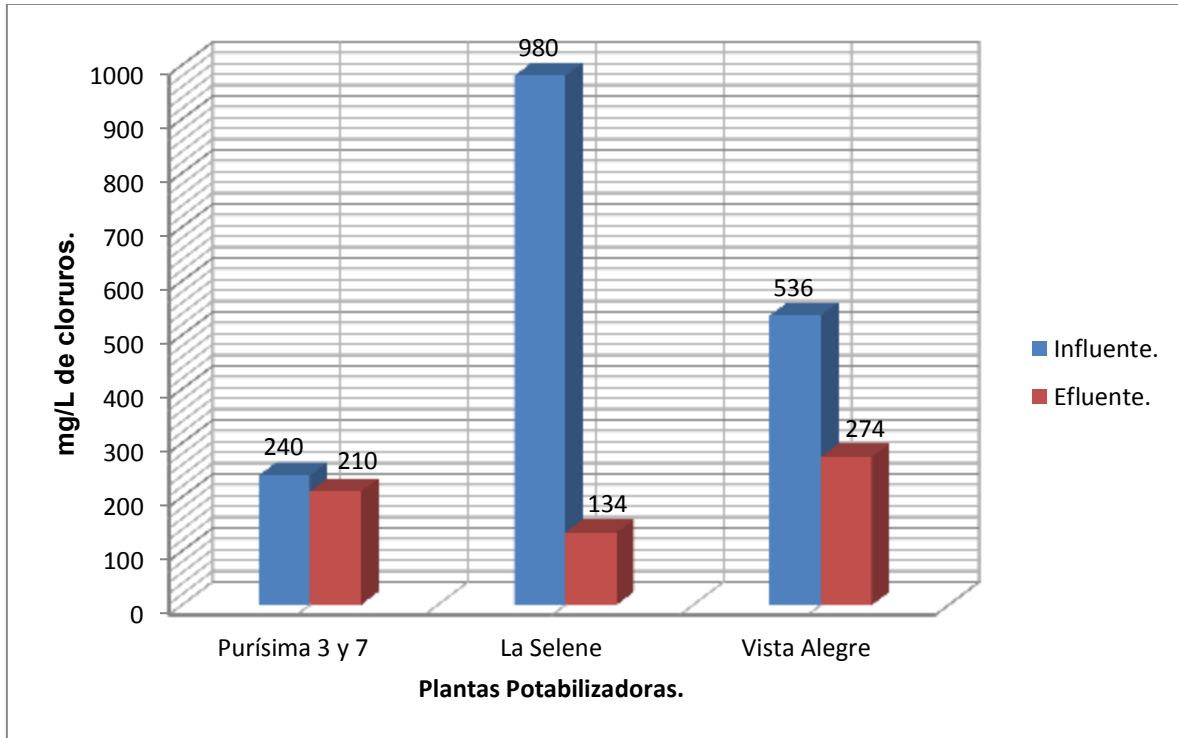
Grafica 2. Análisis de resultados sobre las muestras de cloruros P.P. “La Selene”.



Grafica 3. Análisis de resultados sobre las muestras de cloruros P.P. “Vista Alegre”.

Con base a los resultados obtenidos se puede observar en la Grafica 4 que en la planta potabilizadora “La Selene” su agua de pozo (entrada o influente) contiene 980 mg/L de cloruros, que gracias a todos sus tratamientos es posible eliminar la mayoría de los mismos, así mismo su mantenimiento de los diferentes procesos ayudan a una buen rendimiento sobre todo la ósmosis inversa, ya que para la eliminación de cloruros la NOM-127-SSA1-1994 dice que debe utilizarse ósmosis inversa para eliminarlos, ya que el límite permisible es de 250 mg/L. Para los resultados en la salida de la muestra un decremento de 134 mg/L

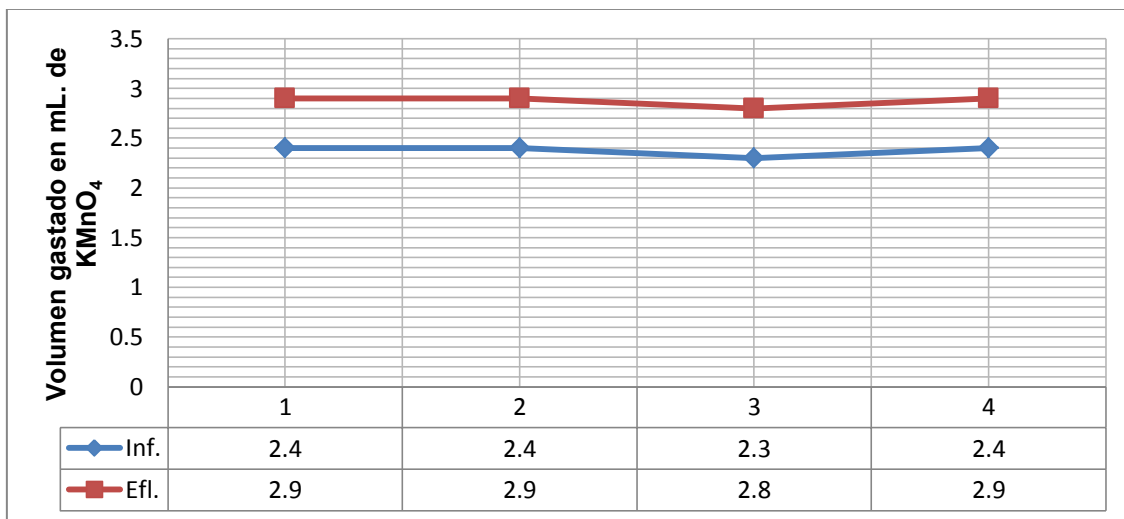
Para el caso de la planta potabilizadora Vista Alegre, se puede observar que su agua de pozo (entrada o influente) contiene 536 mg/L de cloruros y los tratamientos que ocupa la misma, no parecen ser suficientes, ya que rebasa el límite permisible de 250 mg/L teniendo en su salida 274 mg/L Para esto es recomendable añadir como en la planta “La Selene”, un pre-tratamiento por medio de intercambio iónico, ya que es muy insignificante la cantidad que suele rebasar el límite permisible.



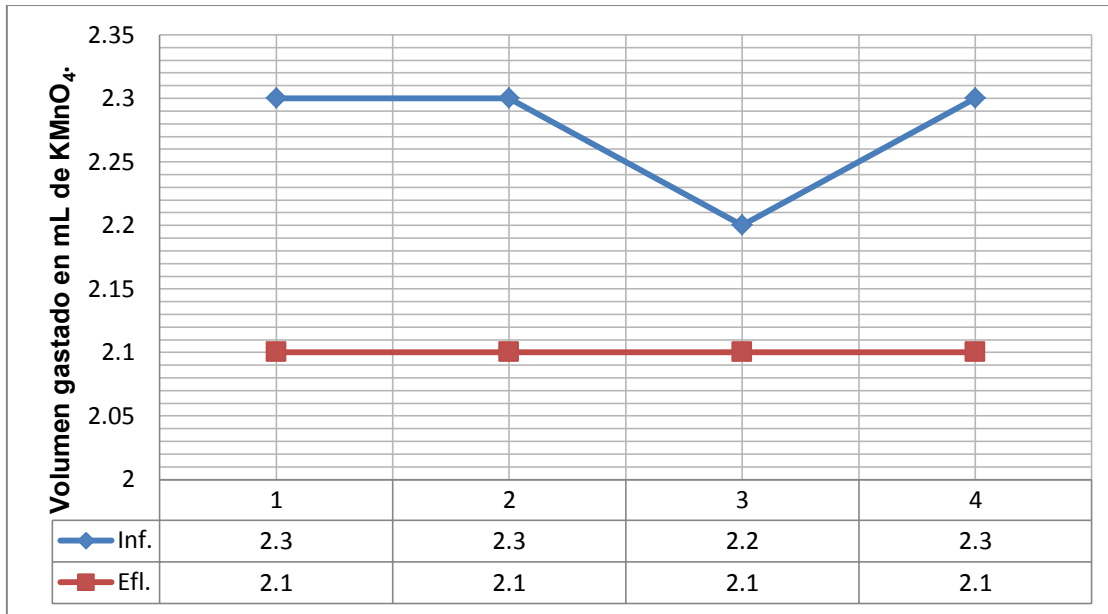
Grafica 4. Análisis de resultados de cloruros.

6.2 Análisis de resultados de oxígeno consumido en medio ácido.

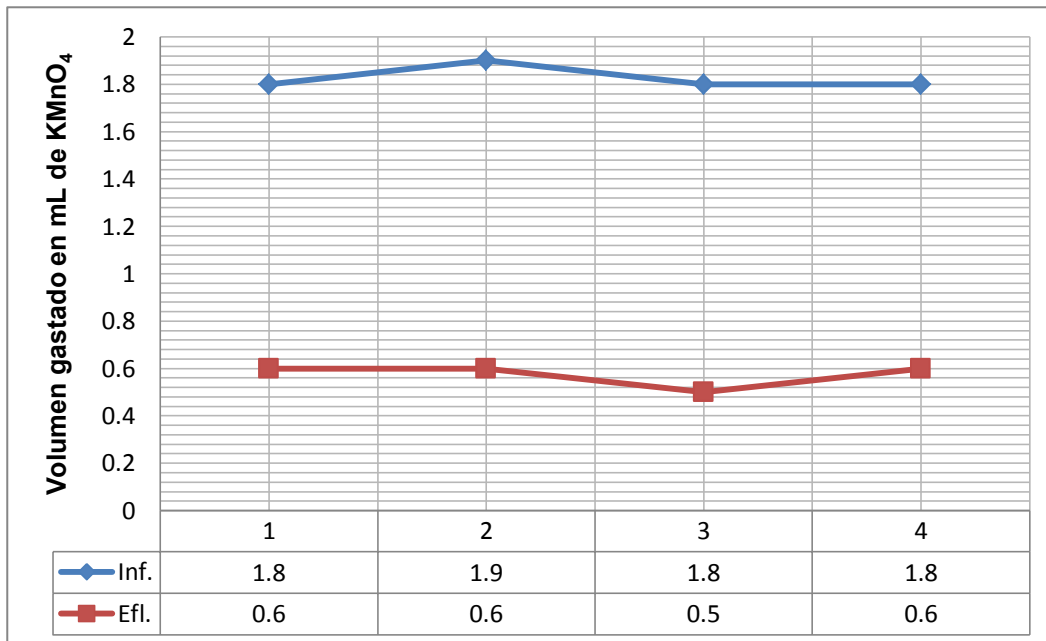
Durante los análisis fisicoquímicos, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las gráficas 5, 6 y 7, los cuales se observa que no vanean al momento de su titulación, y se optó por elegir el valor más destacado para utilizar en los cálculos.



Grafica 5. Análisis de resultados sobre las muestras de DBO P.P. "Purísima 3 y 7".



Grafica 6. Análisis de resultados sobre las muestras de DBO P.P. “La Selene”.



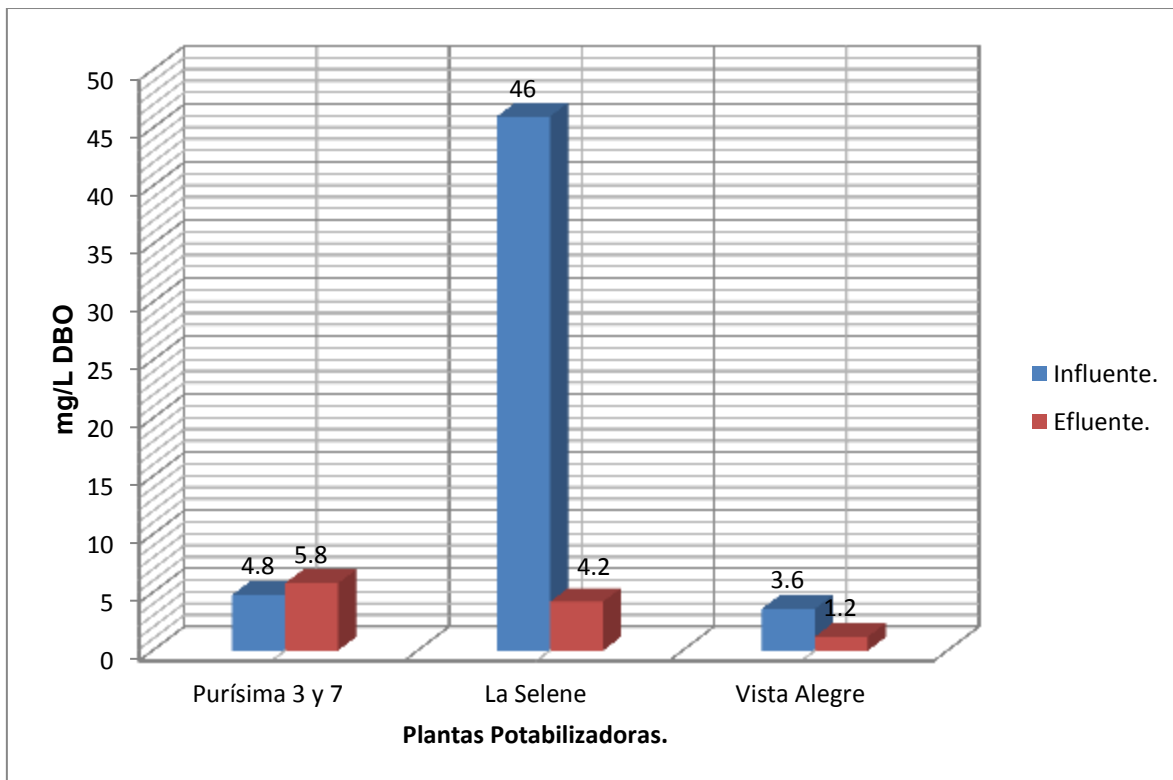
Grafica 7. Análisis de resultados sobre las muestras de DBO P.P. “Vista Alegre”.

Para el caso de Oxígeno Consumido en Medio Ácido, también conocido como materia orgánica se sabe que el límite permisible es de 3 mg/L, y que conforme a la NOM-127-SSA1-1994 los tratamientos que se pueden utilizar para potabilizar el agua son Oxidación, Filtración o Adsorción en carbón activado.

Como se observa en la Grafica 8 la planta “Purísima 3 y 7”, no cumple con la norma NOM-127-SSA1-1994 la cual define los límites permisibles para el agua potable, además de que eleva sus valores en cuanto a materia orgánica a 3 mg/L. Esto debido a que los filtros de su proceso no están limpios y la materia orgánica que suele estar atrapada dentro del mismo, suele irse con el agua de salida.

Para los casos de las Plantas “La Selene” y “Vista Alegre”, se puede observar que disminuye sus valores, ya que ambos están cumpliendo con su función para filtrar la mayoría de los residuos de materia orgánica y su mantenimiento ha sido el adecuado.

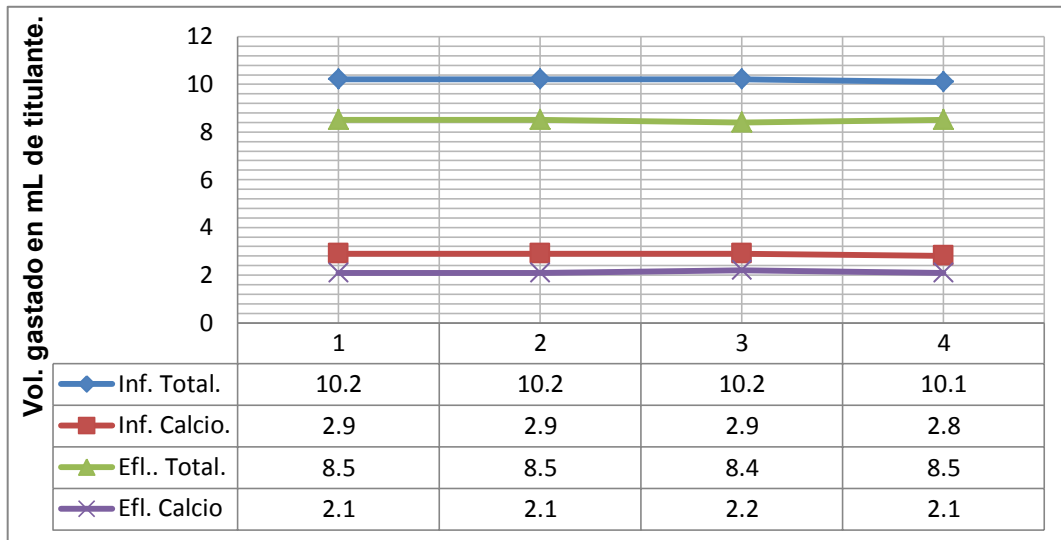
No se recomendaría cambiar tanques de adsorción de carbón activado, para el caso de la planta de “Vista Alegre” ya que tienen una alta durabilidad, además de un alto costo.



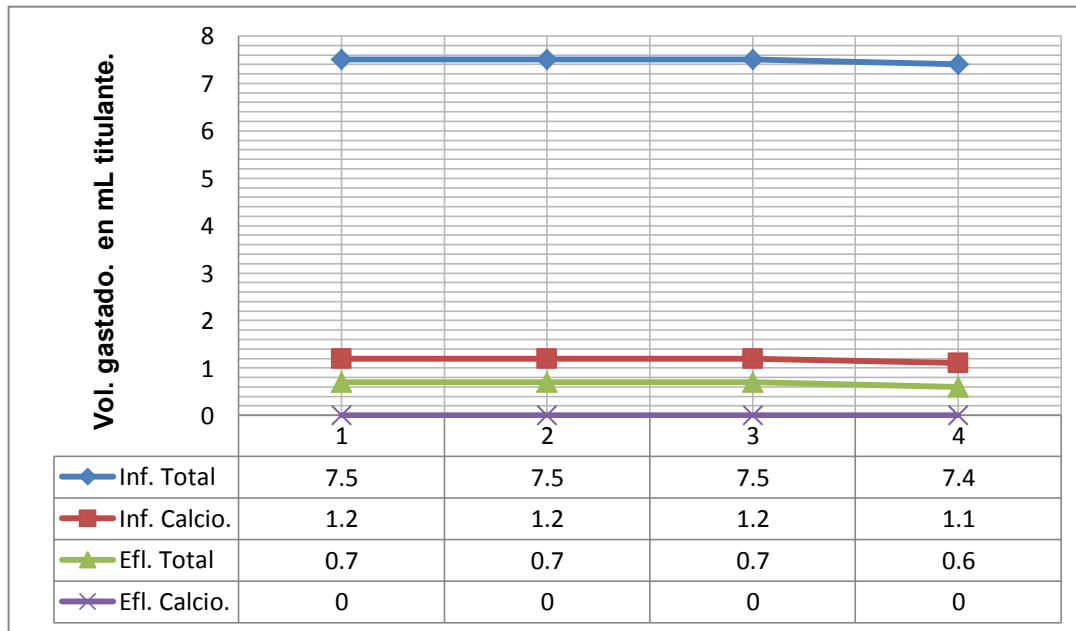
Grafica 8. Análisis de resultados Oxígeno Consumido en Medio Ácido.

6.3 Análisis de resultados de Dureza de calcio, magnesio y total.

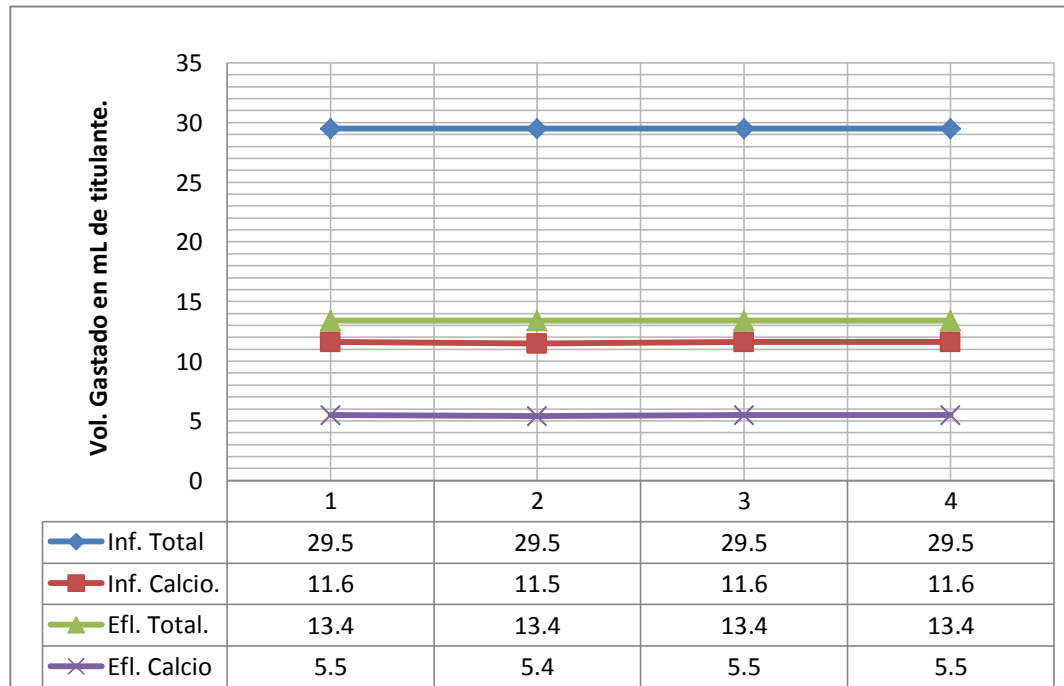
Durante los análisis fisicoquímicos, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las gráficas 9, 10 y 11, los cuales se observa que no vanean al momento de su titulación, y se optó por elegir el valor más destacado para utilizar en los cálculos.



Grafica 9. Análisis de resultados sobre las muestras de Dureza total y Dureza calcio P.P. "Purísima 3 y 7".



Grafica 10. Análisis de resultados sobre las muestras de Dureza total y Dureza calcio P.P. "La Seline".



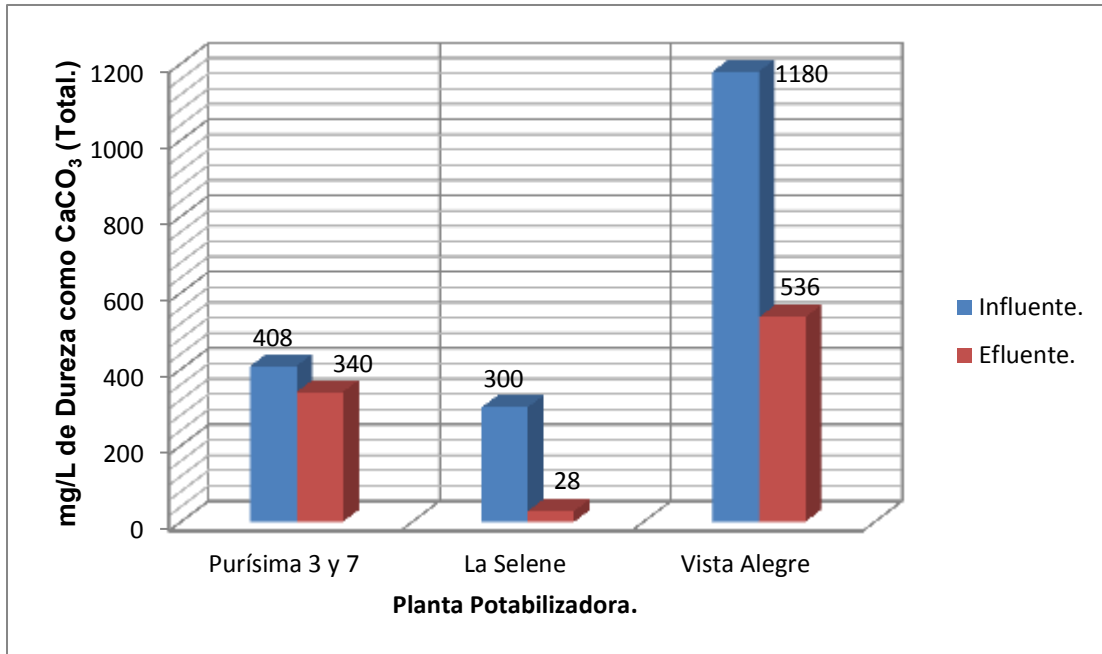
Grafica 11. Análisis de resultados sobre las muestras de Dureza total y Dureza calcio P.P. “Vista Alegre”.

Para los análisis de resultados de Dureza Total, Calcio y Magnesio (Grafica 12, 13 y 14) conforme a la NOM-127-SSA1-1994 la cual define los límites permisibles para el agua potable y se utiliza como tratamientos para la potabilización de agua ablandamiento químico o intercambio iónico y se menciona también tener un límite permisible de 500 mg/L.

Para la planta potabilizadora “Vista Alegre” rebaza el límite permisible ya que tiene 536 mg/L a su salida, es decir tiene en exceso sales de magnesio y calcio mayor que el permitido.

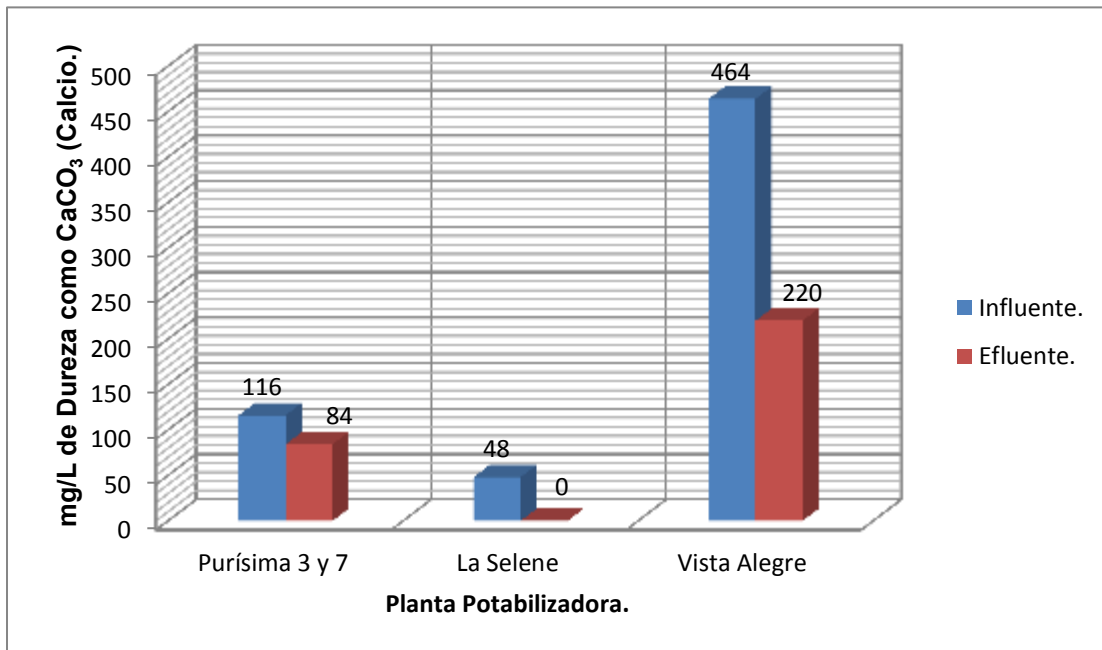
En cuanto a las plantas “La Selene” y “Purísima 3 y 7” entran dentro del límite permisible ya que “La Selene” tiene como resultado en la salida 28 mg/L y “Purísima 3 y 7”, en su salida 340 mg/L.

Como solución se propone para la planta “Vista Alegre” agregar intercambio iónico como pre-tratamiento suavizador de agua (eliminación de dureza) para mayor eficiencia.

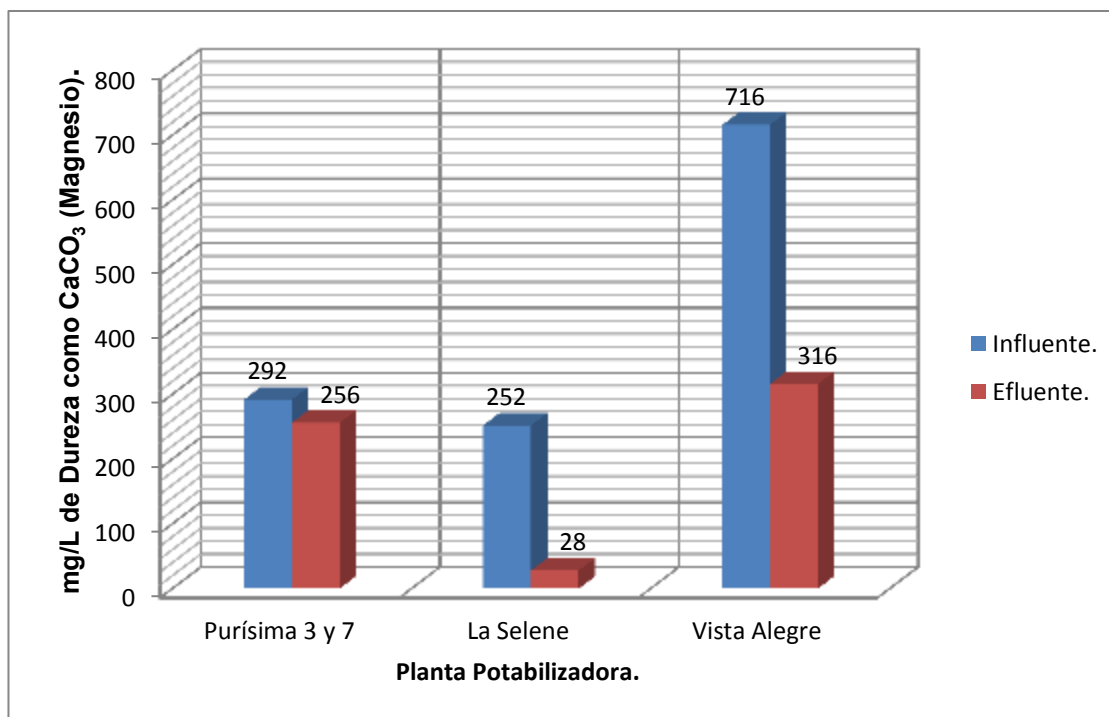


Grafica 12. Análisis de resultados Dureza Total.

Nota: El término dureza se refiere al contenido total de iones alcalinotérreos (Grupo 2) que hay en el agua. Como la concentración de Ca_2+ y Mg_2+ es, normalmente, mucho mayor que la del resto de iones alcalinotérreos, la dureza es prácticamente igual a la suma de las concentraciones de estos dos iones. (www.analitic/Asociencia/DurezaAgua.pdf).



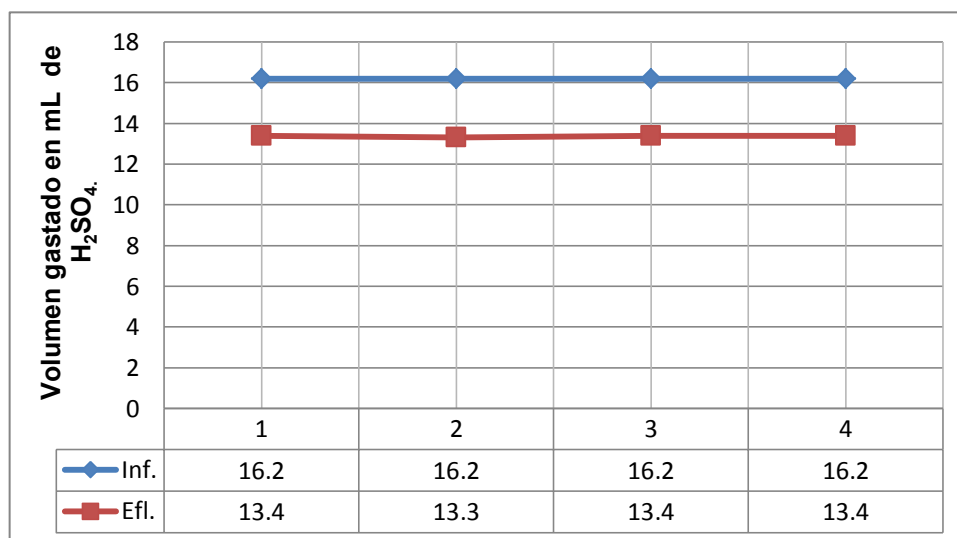
Grafica 13. Análisis de resultados Dureza de Calcio



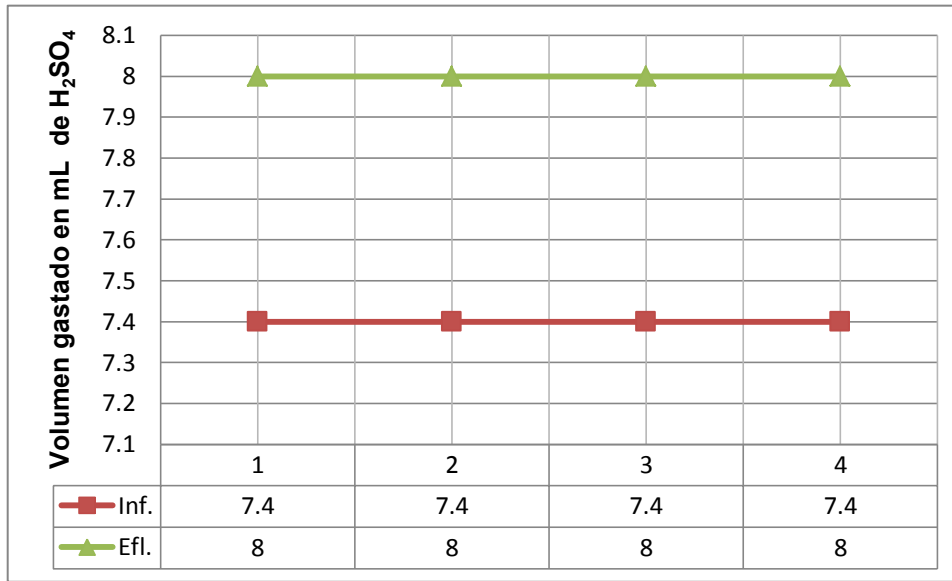
Grafica 14. Análisis de resultados Dureza de Magnesio.

6.4 Análisis de resultados de alcalinidad.

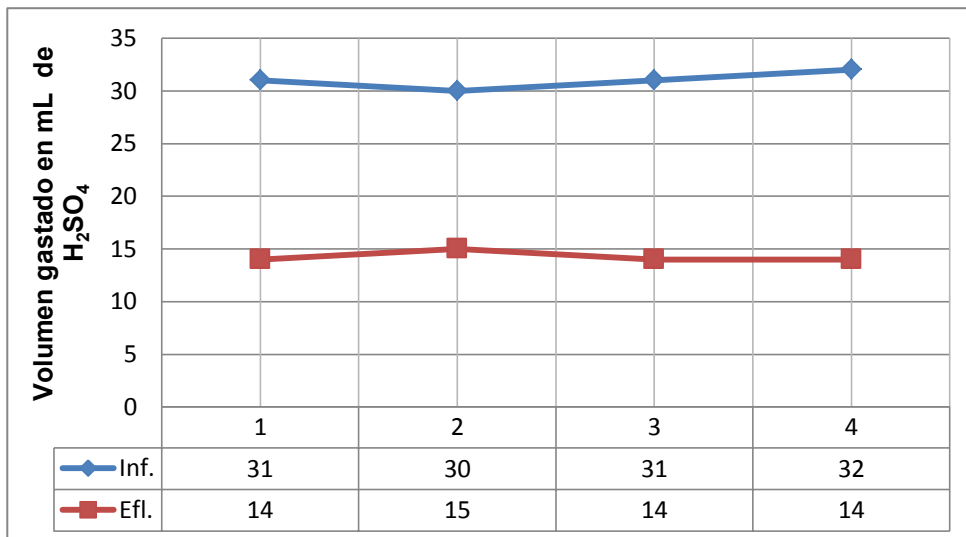
Durante los análisis fisicoquímicos, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las gráficas 15, 16 y 17, los cuales se observa que no varean al momento de su titulación, y se optó por elegir el valor más destacado para utilizar en los cálculos, a excepción de la P.P “Vista Alegre” que se promedió los resultados de las muestras obtenidas.



Grafica 15. Análisis de resultados sobre las muestras de alcalinidad P.P. “Purísima 3 y 7”.



Grafica 16. Análisis de resultados sobre las muestras de alcalinidad P.P. “La Selene”.

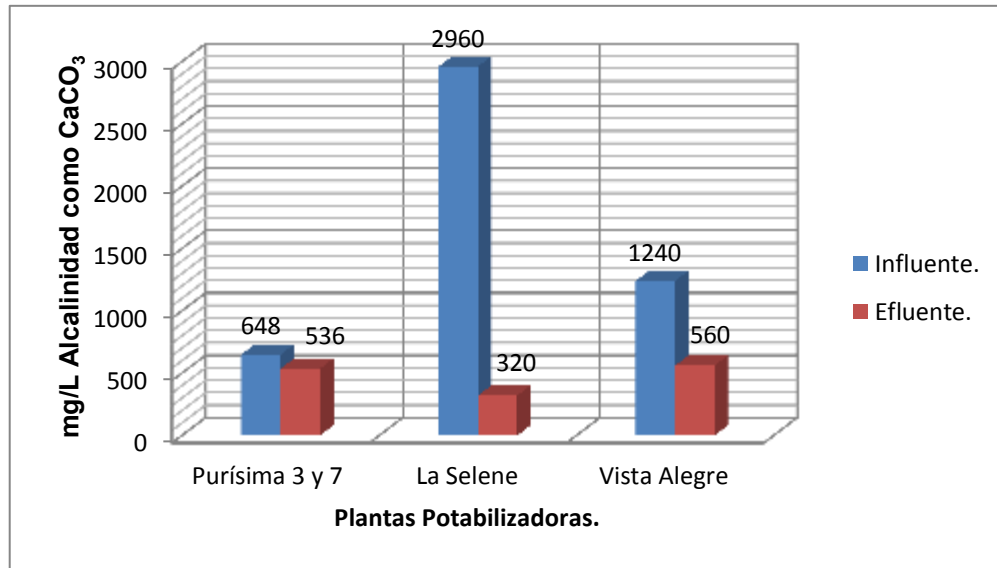


Grafica 17. Análisis de resultados sobre las muestras de alcalinidad P.P. “Vista Alegre”.

Para el caso de alcalinidad, según la NOM-127-SSA1-1994 la cual define los límites permisibles para el agua potable el límite permisible es 300 mg/L.

Se puede observar en la Grafica 18. En la planta “Purísima 3 y 7” son pocos los tratamientos que se le dan al agua de pozo y baja de una manera muy insignificante su alcalinidad. Para el caso de las plantas de “La Selene” y “Vista Alegre”, debido a que tienen más tratamientos en su proceso, como se puede observar en los DFP’s del capítulo 4, y debido a su mantenimiento constante, se puede justificar por qué son más eficaces, ya que como en la gráfica se indica

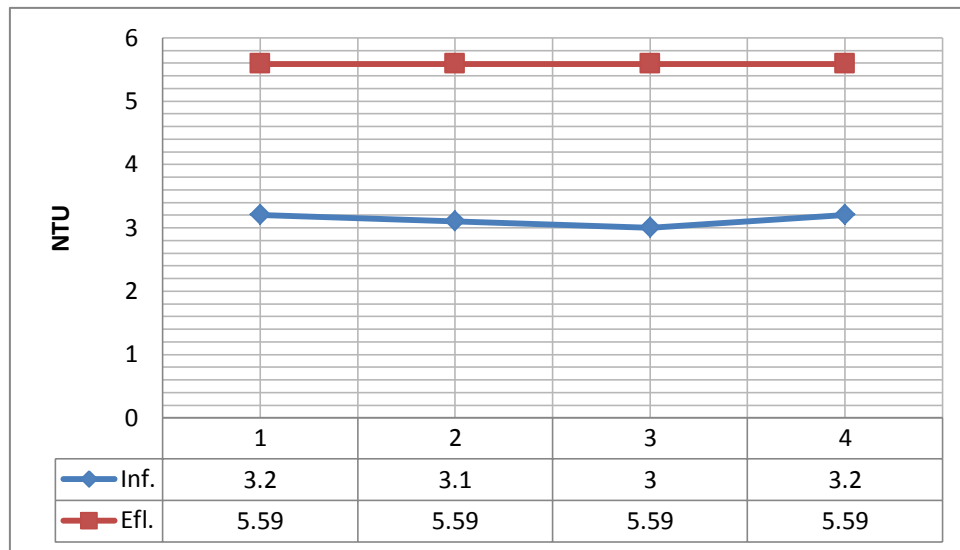
la planta potabilizadora “Vista Alegre” no cumple con el límite permisible en la salida que es de 300 mg/L ya que sale a 560 en cuanto a “La Selene” tiene en su salida 320 mg/L y “La purísima 3 y 7” 536 mg/L.



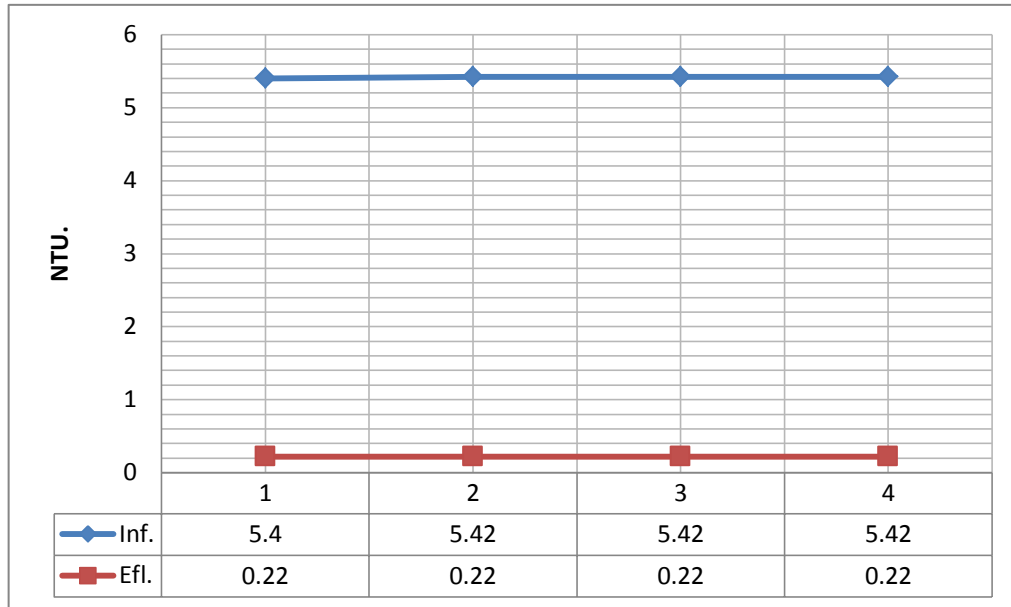
Grafica 18. Análisis de resultados de Alcalinidad.

6.5 Análisis de resultados de turbiedad.

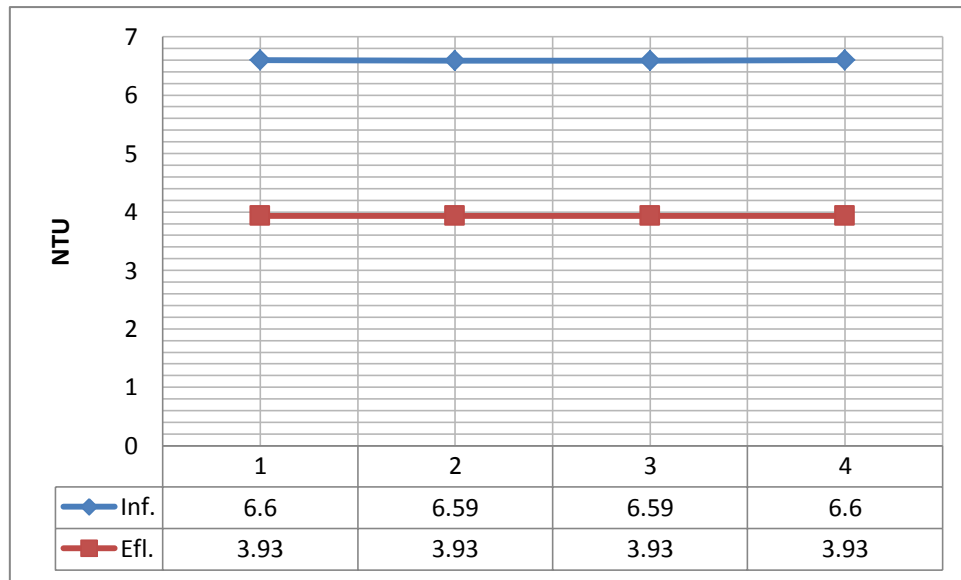
Durante los análisis fisicoquímicos, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las gráficas 19, 20 y 21, los cuales se observa que no vanean al momento de su medición, y se optó por elegir el valor más destacado para utilizar en los cálculos.



Grafica 19. Análisis de resultados sobre las muestras de turbiedad P.P. “Purísima 3 y 7”.



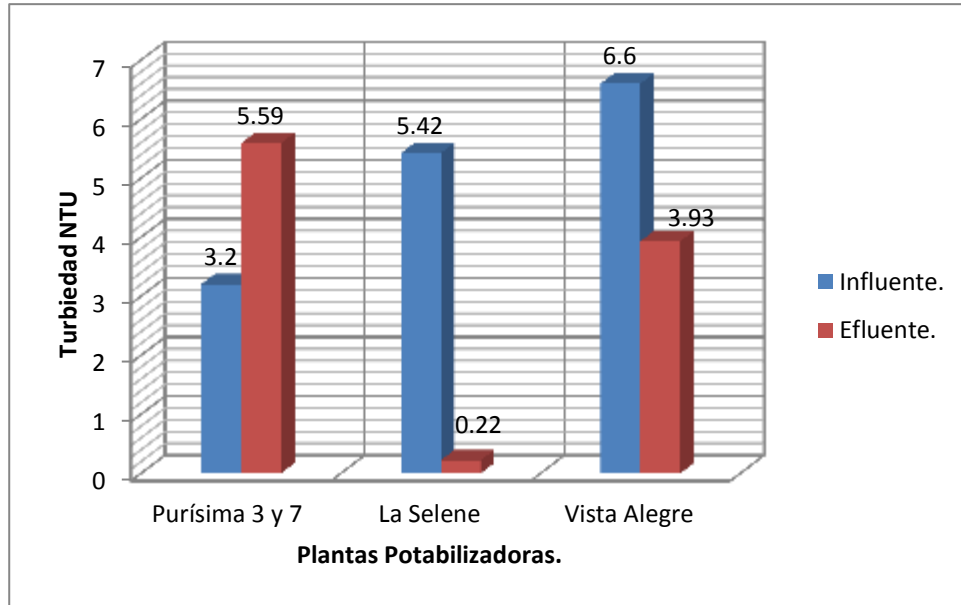
Grafica 20. Análisis de resultados sobre las muestras de turbiedad P.P. “La Selene”.



Grafica 21. Análisis de resultados sobre las muestras de turbiedad P.P. “Vista Alegre”.

Como se puede observar en la gráfica 22, en la planta de “Purísima 3 y 7” hay un aumento en cuanto su turbiedad en su salida y esto se debe como en el caso del análisis de materia orgánica, al ensuciamiento y mal mantenimiento de los filtros, ya que en el agua de pozo cumple con la norma que contiene 3.32 NTU, cuando el límite es de 5 NTU conforme a la NOM-127-SSA1-1994 y a la salida del proceso suele tener 5.59 NTU. Para este caso se recomienda tener un mantenimiento continuo a los filtros para no tener este tipo de problemas.

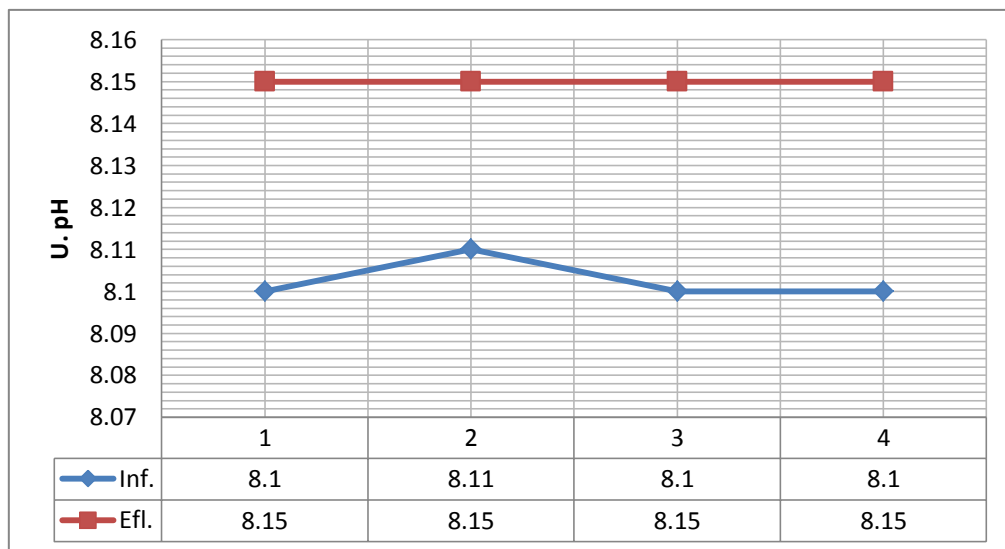
Para los casos de las plantas de “La Seline” y “Vista Alegre”, no tienen ningún problema ya que ambos cumplen con la norma.



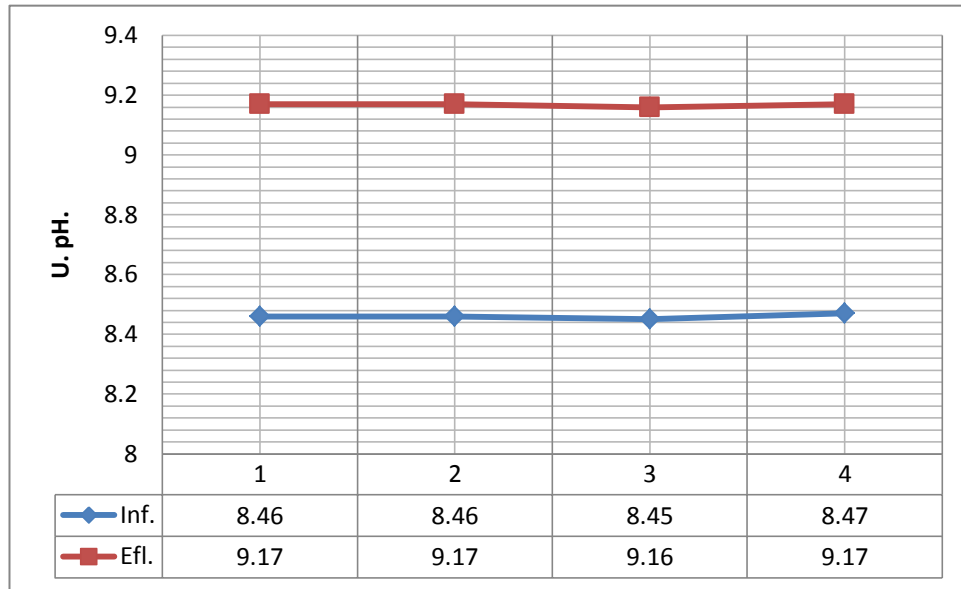
Grafica 22. Análisis de resultados de Turbiedad.

6.6 Análisis de resultados de pH.

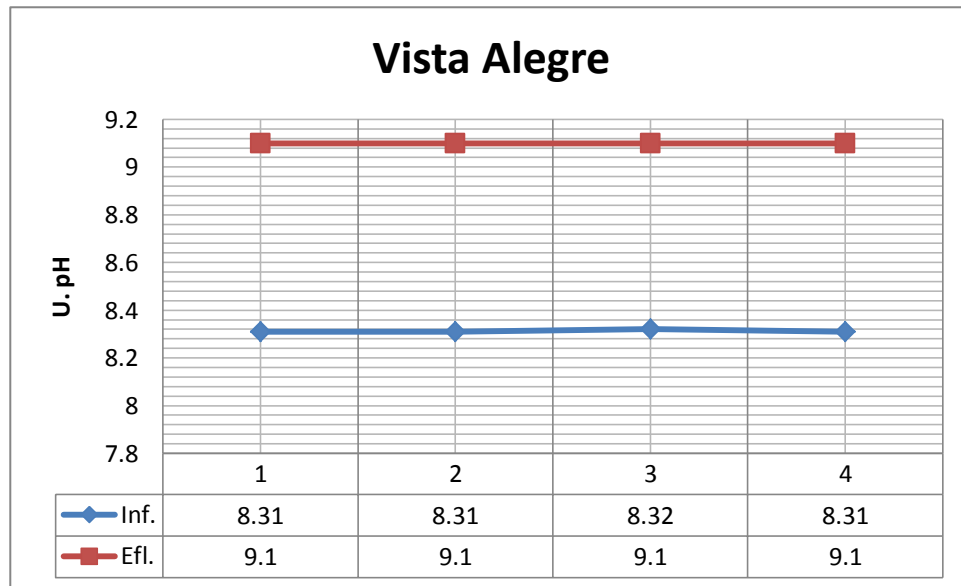
Durante los análisis fisicoquímicos, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las gráficas 23, 24 y 25, los cuales se observa que no vanean al momento de su medición y se optó por elegir el valor más destacado para utilizar en los cálculos.



Grafica 23. Análisis de resultados sobre las muestras de pH P.P. “Purísima 3 y 7”.



Grafica 24. Análisis de resultados sobre las muestras de pH P.P. “La Selene”.



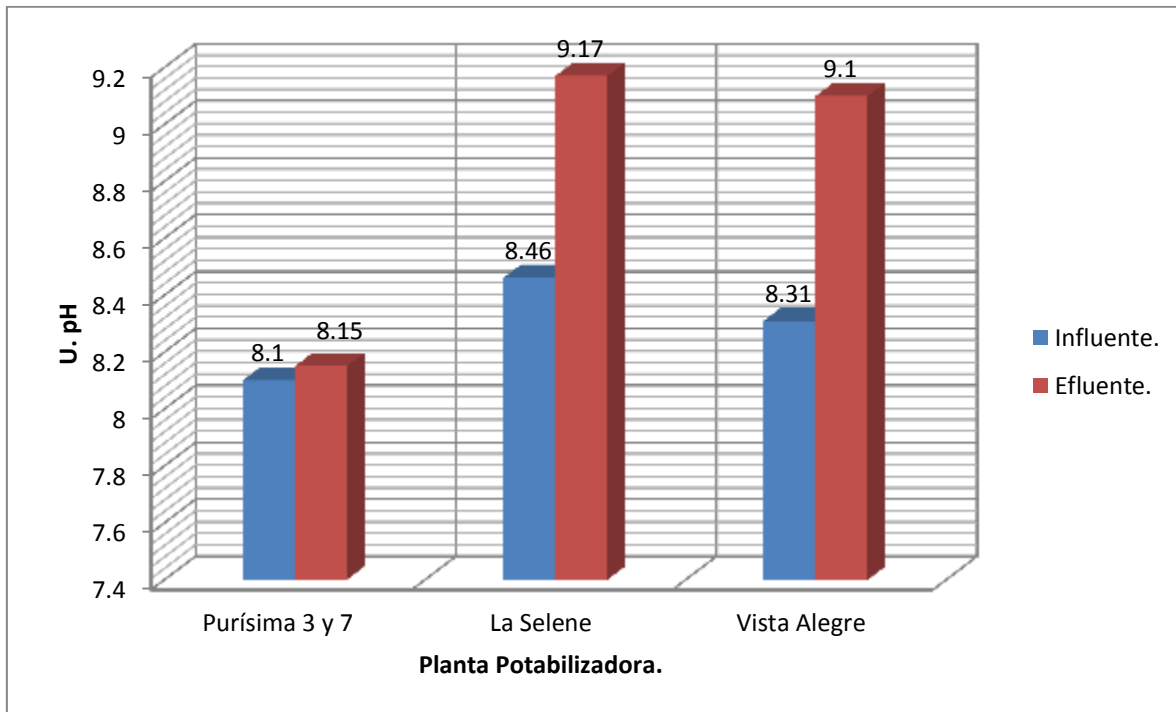
Grafica 25. Análisis de resultados sobre las muestras de pH P.P. “Vista Alegre”.

Conforme a la Grafica 26 podemos observar que el pH en las tres plantas aumenta, ya que la NOM-127-SSA1-1994 el límite permisible para el pH es 6.5-8.5.

Para el caso de la planta “Purísima 3 y 7” el aumento es insignificante, esto debido a que los dosificadores de cloro no estaban funcionando, ya que estaba en reparación el recipiente del mismo.

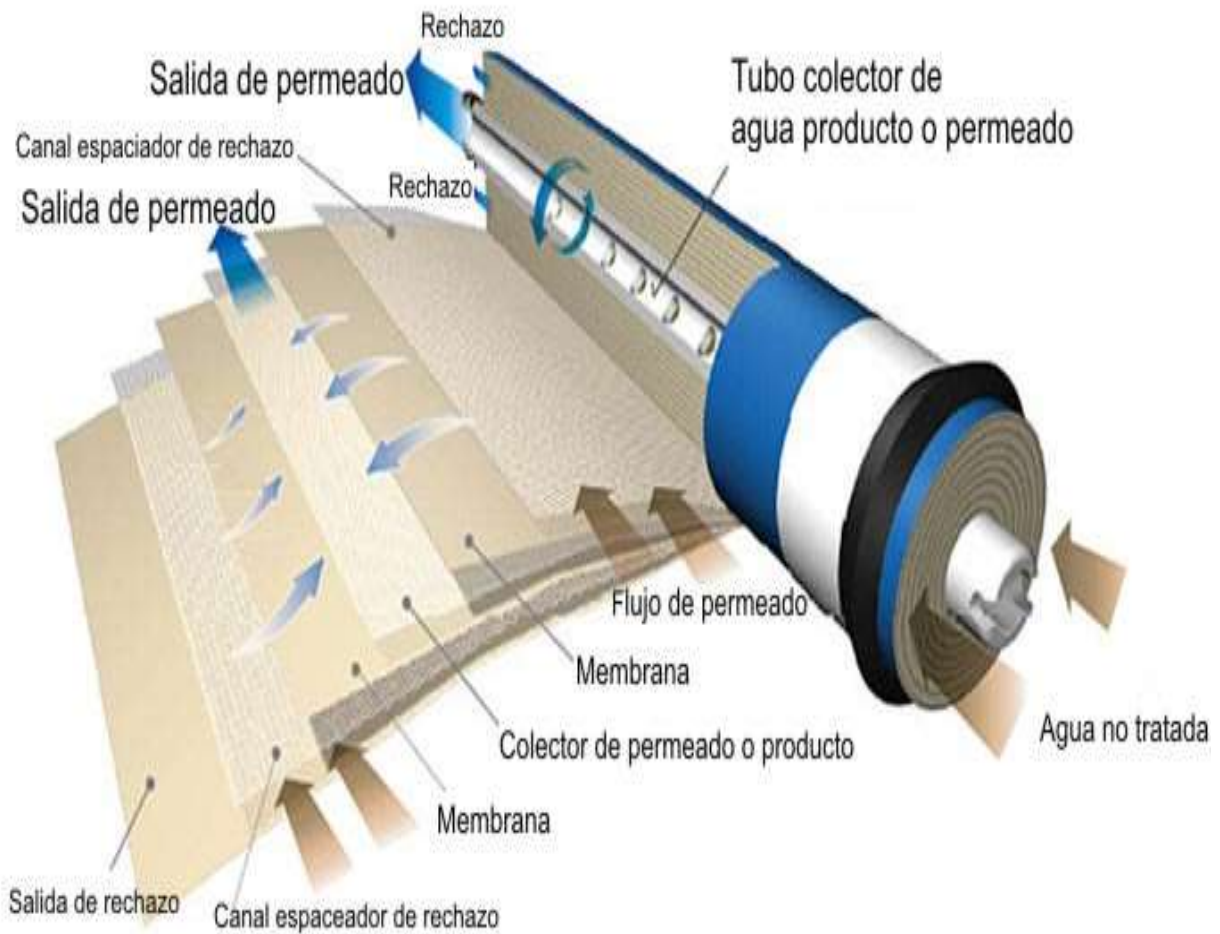
Por lo cual debido al cloro es uno de los principales motivos por los cuales aumenta el pH en la potabilización del agua.

Por otro lado para el caso de “La Selene” y “Vista Alegre” su pH aumento debido a la adición de cloro para desinfección al final de sus procesos.



Grafica 26. Análisis de resultados de pH.

Capítulo 7 Conclusiones.



(Fuente: www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-la-osmosis-inversa)



Conclusiones.

Al comenzar la investigación de esta tesis, la finalidad es evaluar la eficiencia de los procesos de potabilización por ósmosis inversa, en diferentes tipos de pre-tratamiento en plantas potabilizadoras. Las cuales podemos dividir en los siguientes sectores.

-Calidad del agua de pozo.

Con base a los resultados obtenidos, se puede observar que el agua de baja calidad se encuentra en el pozo de la planta potabilizadora “La Selene”, en la alcaldía de Tláhuac. Ya que como se puede observar en los resultados, se diluyó el agua al momento de sus análisis, por la cantidad de materia orgánica que contenía la misma.

Por parte los pozos provenientes de “Purísima 3 y 7” (Iztapalapa) y “Vista Alegre” (Venustiano Carranza) contienen una cantidad considerable en cuanto a contaminantes que podría contener el agua de pozo 2 NMP/100 mL (No hubo dilución al momento de su análisis).

-Tipos de pre-tratamientos.

Como se pudo observar las tres plantas potabilizadoras, tienen tipos de pre-tratamientos diferentes, esto debido a la calidad de agua de pozo anteriormente mencionada, e igualmente basándose en la norma NOM 127-SSA1-1994 para el tipo de contaminante y el tipo de pre-tratamiento a emplearse. Donde los más eficientes y adecuados para poder llevar a cabo la ósmosis inversa, son: La adsorción, esto para eliminar olor, color y sabor, la filtración por grava y sílice por diferente granulometría acompañada de los filtros de cartucho, esto para no dañar las membranas con partículas mayores a 1 micra y obtener mayor tiempo de vida.

En los resultados obtenidos, se puede observar que la calidad del agua suele perjudicarse en vez de mejorar, esto debido a un mal mantenimiento de los equipos (retrolavado de filtros, incrustación en tuberías y tanques de almacenamiento, cambio de filtros de cartucho, etc.), como se pudo observar en los análisis de resultados en la planta potabilizadora de “Purísima 3 y 7”.

-Ósmosis inversa

En el proceso, la ósmosis inversa es el factor más importante debido a que retiene el mayor número de contaminantes entre ellos (bacterias, virus, materia orgánica,



cloruros, etc.). Las tres plantas la osmosis inversa tienen un proceso vital para obtener un agua producto en buenas condiciones.

-Análisis fisicoquímicos.

Se realizaron 4 pruebas por cada parámetro, esto para verificar que no salieran datos erróneos. Debido al aforo al momento de su titulación, se observó que la mayoría de los resultados eran similares y en la mayoría se optó por utilizar el valor con la tendencia más destacada.

-Agua producto.

El agua producto suele diferenciarse en las tres plantas, esto puede ser debido a la operación que puede llevarse a cabo en los trenes de ósmosis inversa (presión que se ejerce, tiempo de operación que pudiera llevar las membranas, etc.).

En una forma resumida, podemos observar que el tipo de pre-tratamiento a dar al proceso de ósmosis inversa, tiene que ver con la calidad de agua de pozo. Ya que debido a la misma, si no está muy contaminada, puede llevarse a cabo la potabilización con pocos y sencillos pre-tratamientos, como en la planta potabilizadora "Purísima 3 y 7". Hasta calidad de agua muy contaminada y llevar los pre-tratamientos adecuados para una eficiente potabilización, como es la planta "La Selene".

Todo esto siempre y cuando al momento de potabilizar con membranas de ósmosis inversa el agua no contenga: Sólidos mayores a 1 micra y Cloro Total, lo anterior para tener un mayor rendimiento y tiempo de vida para las mismas, una presión adecuada para la realización del permeado y un mantenimiento adecuado en los pre-tratamientos.



Bibliografía.

1. Consejo Nacional de Investigación, en colaboración con National Academy of Sciences a través del US. National Research Council, 1995. El agua y la ciudad de México.
2. CONAGUA 2009 Semblanza Histórica del Agua Editor: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
3. Plantas Modulares para tratamiento del agua. Tomo 1, Auspiciado por la Organización Mundial de la Salud. 1982.
4. CONAGUA 2007 Diseño de Plantas Potabilizadoras tipo de tecnología simplificada. Editor: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
5. Bob Riley 2010 Manual Práctico de ósmosis inversa UOP Fluid Systems. Cuarta edición.
6. Velázquez Correa, A. (2007). Tesis. Manejo y tratamiento de agua cruda, potabilización y distribución. Facultad de Ingeniería. UNAM.
7. 1980 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 15th. Edition. APHA, AWWA, WPCF.
8. 1979 Methods for Chemical Analysis of Water and Waste. EPA-600/4-79-020.
9. 1974 Analytical Methods Manual Inland Waters Directorate Water Quality Branch Ottawa, Canada.
10. Campos López A. (2015). Tesina. Potabilización del agua para suministro en la CDMX. Facultad de Ingeniería UNAM.
11. Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2005.
12. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.
13. Comisión Nacional del Agua "manual de muestreo de agua de la comisión nacional del agua" 1970 México.



Lista de esquemas

Esquema 1.	Fuentes de agua que abastecen en la CDMX.
Esquema 2.	Proceso de potabilización "Purísima 3 y 7"
Esquema 3.	Proceso de potabilización "La Selene"
Esquema 4.	Proceso de potabilización "Vista Alegre"

Lista de gráficos

Grafico 1.	Análisis de resultados sobre las muestras de cloruros P.P. "Purísima 3 y 7"
Grafico 2.	Análisis de resultados sobre las muestras de cloruros P.P. "Selene"
Grafico 3.	Análisis de resultados sobre las muestras de cloruros P.P. "Vista Alegre"
Grafico 4.	Análisis de resultados de cloruros
Grafico 5.	Análisis de resultados de DBO P.P "Purísima 3 y 7"
Grafico 6.	Análisis de resultados de DBO P.P "La Selene"
Grafico 7.	Análisis de resultados de DBO P.P "Vista Alegre"
Grafico 8.	Análisis de resultados de "oxígeno Consumido en medio ácido"
Grafico 9.	Análisis de resultados sobre las muestras de dureza total y dureza de calcio P.P "Purísima 3 y 7"
Grafico 10.	Análisis de resultados sobre las muestras de dureza total y dureza de calcio P.P "La Selene"
Grafico 11.	Análisis de resultados sobre las muestras de dureza total y dureza de calcio P.P "Vista Alegre"
Grafico 12.	Análisis de resultados Dureza Total
Grafico 13.	Análisis de resultados de Dureza Calcio
Grafico 14.	Análisis de resultados de Dureza Magnesio
Grafico 15.	Análisis de resultados sobre las muestras de alcalinidad P.P "Purísima 3 y 7"
Grafico 16.	Análisis de resultados sobre las muestras de alcalinidad P.P "La Selene"
Grafico 17.	Análisis de resultados sobre las muestras de alcalinidad "Vista Alegre"
Grafico 18.	Análisis de resultados de Alcalinidad
Grafico 19.	Análisis de resultados sobre las muestras de



Grafico 20.	turbiedad P.P “Purísima 3 y 7” Análisis de resultados sobre las muestras de turbiedad P.P “La Selene”
Grafico 21.	Análisis de resultados sobre las muestras de turbiedad P.P “Vista Alegre”
Grafico 22.	Análisis de resultados Turbiedad
Grafico 23.	Análisis de resultados sobre las muestras pH “Purísima 3 y 7”
Grafico 24.	Análisis de resultados sobre las muestras de pH de “La Selene”
Grafico 25.	Análisis de resultados sobre las muestras de pH de la “Vista Alegre”
Grafico 26.	Análisis de resultados pH

Lista de Imágenes

Imagen 1.	Corte de un filtro (Hammer 1986)
Imagen 2.	Filtro Granular profundo (Hammer 1986)
Imagen 3.	Filtro de zeolitas a presión (Hammer 1986)
Imagen 4.	Planeación del muestreo en SACMEX
Imagen 5.	Ubicación planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”
Imagen 6.	Ubicación planta potabilizadora la “Selene”
Imagen 7.	Ubicación planta potabilizadora “Vista Alegre “



Lista de tablas.

Tabla 1.1	Fuente y cantidad de agua cruda abastecida a la CDMX y las áreas del Edo. De México.
Tabla 1.2	Campos de pozos dentro del Valle de México y sus tasas de extracción de agua.
Tabla 1.3	Tipos de filtración.
Tabla 1.4	Resumen del estado del tratamiento del agua entregada a la población, con datos de la CNA, 1999.
Tabla 5.1	Resultados analíticos de cloruros.
Tabla 5.2	Resultados de análisis de oxígeno consumido en medio ácido.
Tabla 5.3	Resultados analíticos sobre Dureza Total, de Calcio y Magnesio.
Tabla 5.4	Resultados analíticos sobre Alcalinidad Total.
Tabla 5.5	Resultados analíticos sobre Turbiedad y temperatura.
Tabla 5.6	Resultados pH.
Tabla 5.7	Resultados resumidos de planta potabilizadora Purísima Iztapalapa 1.
Tabla 5.8	Planta potabilizadora Purísima democrática.



Anexo 1 Norma NOM-127-SSA1-1994.

MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Introducción: El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor. Por tales razones la Secretaría de Salud, propone la modificación a la presente Norma Oficial Mexicana, con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano, acorde a las necesidades actuales.

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano.

1.2 Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a todos los sistemas de abastecimiento públicos y privados y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

Definiciones

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se entiende por:

3.1 Ablandamiento, proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

3.2 Adsorción, remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

3.3 Agua para uso y consumo humano, agua que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud. También se denomina como agua potable.

3.4 Características microbiológicas, debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de



indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y Escherichiacoli o coliformes fecales.

3.5 Características físicas y organolépticas, las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

3.6 Características químicas, las debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

3.7 Características radiactivas, aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

3.8 Coagulación química, adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

3.9 Contingencia, situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.

3.10 Desinfección, destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

3.11 Evaporación, separación del agua de los sólidos disueltos, utilizando calor como agente de separación, condensando finalmente el agua para su aprovechamiento.

3.12 Filtración, remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

3.13 Floculación, aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

3.14 Intercambio iónico, proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.



3.15 Límite permisible, concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

3.16 Neutralización, adición de sustancias básicas o ácidas al agua para obtener un pH neutro.

3.16.1 Estabilización, obtención de determinada concentración de sales y pH del agua, para evitar la incrustación o corrosión de los materiales con que se fabrican los elementos que la conducen o contienen

3.17 Ósmosis inversa, proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

3.18 Oxidación, pérdida de electrones de un elemento, ion o compuesto por la acción del oxígeno u otro agente oxidante.

3.19 Potabilización, conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento públicos o privados, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano.

3.20 Sedimentación, proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas en el agua, por efecto gravitacional.

3.21 Sistema de abastecimiento de agua, conjunto de elementos integrados por las obras hidráulicas de captación, conducción, potabilización, desinfección, almacenamiento o regulación y distribución.

4. Límites permisibles de calidad del agua

4.1 Límites permisibles de características microbiológicas.

4.1.1 El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

TABLA 1

Característica	Límite permisible
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables



4.1.2 Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes podrán establecer los agentes biológicos nocivos a la salud que se deban investigar.

4.1.3 Las unidades de medida deberán reportarse de acuerdo a la metodología empleada.

4.1.4 El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 mL. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50 000 habitantes; estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses de un mismo año.

4.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

4.2.1 Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

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

4.3 Límites permisibles de características químicas.

4.3.1 El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/L, excepto cuando se indique otra unidad.



TABLA 3

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN ⁻)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl ⁻)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Hierro	0,30
Fluoruros (como F ⁻)	1,50
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 – D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

Nota 1. Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Nota 2. El límite permisible para arsénico se ajustará anualmente, de conformidad con la siguiente tabla de cumplimiento gradual:



TABLA DE CUMPLIMIENTO GRADUAL

Límite permisible mg/L	Año
0,045	2001
0,040	2002
0,035	2003
0,030	2004
0,025	2005

4.3.2 En caso de que en el sistema de abastecimiento se utilicen para la desinfección del agua, métodos que no incluyan cloro o sus derivados, la autoridad sanitaria determinará los casos en que adicionalmente deberá dosificarse cloro al agua distribuida, para mantener la concentración de cloro residual libre dentro del límite permisible establecido en la Tabla 3 de esta Norma.

4.4 Límites permisibles de características radiactivas.

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4.

TABLA 4

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE Bq/L
Radiactividad alfa global	0,56
Radiactividad beta global	1,85

5. Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes microbiológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua listados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4 de esta Norma.

5.1 Contaminación microbiológica.



5.1.1 Bacterias, helmintos, protozoarios y virus. Deben desinfectarse con cloro, compuestos de cloro, yodo 1, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación filtración; filtración en múltiples etapas.

5.2 Características físicas y organolépticas.

5.2.1 Color, olor, sabor y turbiedad.-Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación filtración; adsorción en carbón activado.

5.3 Constituyentes químicos.

5.3.1 Arsénico. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.2 Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo. Coagulación- -filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.3 Cloruros. Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación.

5.3.4 Dureza. Ablandamiento químico o intercambio iónico.

5.3.5 Fenoles o compuestos fenólicos. Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.

5.3.6 Hierro y/o manganeso. Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.7 Fluoruros. Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa.

5.3.8 Hidrocarburos aromáticos. Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.

5.3.9 Mercurio. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10microgramos/l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/L.

5.3.10 Nitratos y nitritos. Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

5.3.11 Nitrógeno amoniacal. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.

5.3.12 pH (potencial de hidrógeno). Neutralización.



5.3.13 Plaguicidas. Adsorción en carbón activado granular.

5.3.14 Sodio. Intercambio iónico.

5.3.15 Sólidos disueltos totales. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.

5.3.16 Sulfatos. Intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.17 Sustancias activas al azul de metileno. Adsorción en carbón activado.

5.3.18 Trihalometanos. Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular.

5.3.19 Zinc. Evaporación o intercambio iónico.

5.4 En el caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en el apartado 4, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares, instituciones públicas o empresas privadas, involucrados en la contingencia, deben coordinarse con la autoridad sanitaria competente, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.



Apéndice A Cálculos.

Cloruros Planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”

$$\frac{mg}{L} Cl = \frac{(V_{AgNO_3M} - V_{AgNO_3T}) * N_{AgNO_3} * 35450}{Volumen muestra (mL)}$$

Dónde:

V_{AgNO_3M} : Volumen gastado de Nitrato de Plata en mL en la muestra.

V_{AgNO_3T} : Volumen gastado de Nitrato de Plata en mL en el testigo (agua destilada).

N_{AgNO_3} : Normalidad del nitrato de plata eq. 0.0141

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Cl = \frac{(12.3 - 0.3) * 0.0141 * 35450}{25} = 240$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Cl = \frac{(10.8 - 0.3) * 0.0141 * 35450}{25} = 210$$

Cloruros Planta potabilizadora “La Selene”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Cl = \frac{(5.2 - 0.3) * 0.0141 * 35450}{25} = 98 * 10 = 980 \text{ (por dilucion 0.01)}$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Cl = \frac{(7 - 0.3) * 0.0141 * 35450}{25} = 134$$

Cloruros Planta potabilizadora “Vista Alegre”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Cl = \frac{(27.1 - 0.3) * 0.0141 * 35450}{25} = 536$$



Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Cl = \frac{(14 - 0.3) * 0.0141 * 35450}{25} = 274$$

Oxígeno consumido en medio ácido planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”.

$$A-B=C$$

Dónde:

A: Volumen gastado de $KMnO_4$ de la muestra.

B: Volumen gastado de $KMnO_4$ del testigo (agua destilada).

C: Diferencia de volúmenes.

$$O_2/H^+ = \frac{C \times KMnO_4 \times 8000}{\text{Volumen de muestra}}$$

Dónde:

$KMnO_4$: normalidad del $KMnO_4$ eq. a 0.0125

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado.

$$2.4-0=2.4$$

$$O_2/H^+ = \frac{2.4 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 4.8$$

Para la muestra de filtración se tiene el siguiente resultado

$$2.3-0=2.3$$

$$O_2/H^+ = \frac{2.3 \times 0.0125 \times 8000}{50}$$

Para la muestra de O.I se tiene el siguiente resultado.

$$1.1-0=1.1$$

$$O_2/H^+ = \frac{1.1 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 2.2$$



Para la muestra de efluente se tiene el siguiente resultado

$$2.9-0=2.9$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.9 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 5.8$$

Oxígeno consumido en medio ácido planta potabilizadora “La Selene”.

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado. (Dilución 5/50).

$$2.3-0=2.3$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.3 \times 0.0125 \times 8000}{5} = 46$$

Para la muestra de aireación se tiene el siguiente resultado. (Dilución 5/50).

$$2.1-0=2.1$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.1 \times 0.0125 \times 8000}{5} = 42$$

Para la muestra de filtración 1 se tiene el siguiente resultado. (Dilución 5/50).

$$2.1-0=2.1$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.1 \times 0.0125 \times 8000}{5} = 42$$

Para la muestra de oxidación s tiene el siguiente resultado. (Dilución 5/50).

$$2.1-0=2.1$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.1 \times 0.0125 \times 8000}{5} = 42$$

Para la muestra de filtración 2 se tiene el siguiente resultado. (Dilución 5/50).

$$2.1-0=2.1$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.2 \times 0.0125 \times 8000}{5} = 44$$

Para la muestra de suavización se tiene el siguiente resultado. (Dilución 5/50).



$$2.1-0=2.1$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.1 \times 0.0125 \times 8000}{5} = 4.2$$

Para la muestra de O.I se tiene el siguiente resultado.

$$1.4-0=1.4$$

$$O_2/ H^+ = \frac{1.4 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 2.8$$

Para la muestra de efluente se tiene el siguiente resultado

$$2.1-0=2.1$$

$$O_2/ H^+ = \frac{2.1 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 4.2$$

Oxígeno consumido en medio ácido planta potabilizadora “Vista Alegre”.

Para la muestra de influente se tiene el siguiente resultado

$$1.8-0=1.8$$

$$O_2/H^+ = \frac{1.8 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 3.6$$

Para la muestra de filtración se tiene el siguiente resultado

$$1.8-0=1.8$$

$$O_2/ H^+ = \frac{1.8 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 3.6$$

Para la muestra de adsorción se tiene el siguiente resultado

$$1.5-0=1.5$$

$$O_2/ H^+ = \frac{1.5 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 3$$

Para la muestra de O.I se tiene el siguiente resultado

$$0.3-0=0.3$$



$$O_2/ H^+ = \frac{0.3 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 0.6$$

Para la muestra de efluente se tiene el siguiente resultado

$$0.6 - 0 = 1.5$$

$$O_2/ H^+ = \frac{0.6 \times 0.0125 \times 8000}{50} = 1.2$$

Dureza Total Planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{VEDTA * TEDTA * 1000}{Volumen muestra (mL)}$$

Dónde:

VEDTA: Volumen de gasto de solución EDTA (Hidróxido de amonio)

TEDTA: Valor título EDTA eq. 0.998 se redondea a 1.

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{10.2 * 1.0 * 1000}{25} = 408$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{8.5 * 1.0 * 1000}{25} = 340$$

Dureza Total Planta potabilizadora “La Sylene”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{7.5 * 1.0 * 1000}{25} = 300$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{0.7 * 1.0 * 1000}{25} = 28$$



Dureza Total Planta potabilizadora “Vista Alegre”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{29.5 * 1.0 * 1000}{25} = 1180$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Dureza_{total} = \frac{13.4 * 1.0 * 1000}{25} = 536$$

Dureza de calcio Planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”

$$\frac{mg}{L} Dureza\ de\ calcio = \frac{VEDTA * TEDTA * 1000}{Volumen\ de\ muestra\ (mL)}$$

Dónde:

VEDTA: Volumen de gasto de solución EDTA (Hidróxido de sodio)

TEDTA: Valor título EDTA eq. 0.998 se redondea a 1.

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Dureza\ de\ calcio = \frac{2.9 * 1.0 * 1000}{25} = 116$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Dureza\ de\ calcio = \frac{2.1 * 1.0 * 1000}{25} = 84$$

Dureza de calcio Planta potabilizadora “La Seline”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Dureza\ de\ calcio = \frac{1.2 * 1.0 * 1000}{25} = 48$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.



$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de calcio.} = \frac{0 * 1.0 * 1000}{25} = 0$$

Dureza de calcio Planta potabilizadora “Vista Alegre”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de calcio.} = \frac{11.6 * 1.0 * 1000}{25} = 464$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de calcio.} = \frac{5.5 * 1.0 * 1000}{25} = 220$$

Dureza de magnesio Planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”

Es la diferencia de la dureza total y la de calcio.

$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de magnesio.} = \text{Dureza total} - \text{Dureza de calcio.}$$

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de magnesio.} = 408 - 116 = 296$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de magnesio.} = 340 - 84 = 256$$

Dureza de magnesio Planta potabilizadora “La Sylene”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de magnesio.} = 300 - 48 = 252$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} \text{ Dureza de magnesio.} = 28 - 0 = 28$$



Dureza de magnesio Planta potabilizadora “Vista Alegre”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Dureza\ de\ magnesio. = 1180 - 464 = 716$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Dureza\ de\ magnesio. = 536 - 220 = 316$$

Alcalinidad Planta potabilizadora “Purísima 3 y 7”

$$Alcalinidad\ total. = \frac{M * NH_2SO_4 * 50000}{Volumen\ de\ muestra\ (mL)}$$

Dónde:

M: Volumen gastado con el anaranjado de metilo.

NH₂SO₄: Normalidad del ácido sulfúrico eq. 0.02

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Alcalinidad\ total. = \frac{16.2 * 0.02 * 50000}{25} = 648$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Alcalinidad\ total. = \frac{13.4 * 0.02 * 50000}{25} = 536$$

Alcalinidad Planta potabilizadora “La Sylene”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\frac{mg}{L} Alcalinidad\ total. = \frac{7.4 * 0.02 * 50000}{25} = 296 * 10 = 2960\ (dilucion\ 0.01)$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} Alcalinidad\ total. = \frac{8 * 0.02 * 50000}{25} = 320$$



Alcalinidad Planta potabilizadora “Vista Alegre”

Para la muestra del influente se tiene el siguiente resultado

$$\text{Alcalinidad}_{total} = \frac{31 * 0.02 * 50000}{25} = 1240$$

Para la muestra del efluente se tiene el siguiente resultado.

$$\frac{mg}{L} \text{Alcalinidad}_{total} = \frac{14 * 0.02 * 50000}{25} = 560$$