



Universidad Nacional del Comahue
Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud
Licenciatura en Saneamiento y Protección Ambiental



“Análisis de la influencia de la variabilidad de la turbiedad del agua en los procesos de potabilización en pequeñas comunidades”

Tesista: José VÁZQUEZ

Director: Prof. Ing. Marcelo YUNES



27 de Septiembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mí madre, María Teresa por estar siempre a mi lado y brindarme un apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A Dani, mi amor, quien ha sido el impulso durante toda mi carrera y continúa iluminando mi vida cada mañana.

A mis amigos por acompañarme, algunos a pesar de la distancia.

A mis compañeros por compartir conmigo esta carrera.

A mi director y amigo Prof. Ing. Marcelo Yunes por la dedicación, el tiempo y las correcciones de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1 OBJETIVOS	6
1.1 GENERAL.....	6
1.2 ESPECÍFICOS	6
2 AGUA POTABLE	7
3 CALIDAD DEL AGUA.....	8
3.1 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	8
3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	9
3.3 CARACTERÍSTICAS RADIOLÓGICAS	11
3.4 CARACTERÍSTICAS RELATIVAS A LA ACEPTABILIDAD.....	11
4 IMPUREZAS DEL AGUA	12
4.1 SABOR Y OLOR.....	12
4.2 COLOR	13
4.3 COMPARACIÓN ENTRE LAS CARACTERISTICAS DEL COLOR Y LA TURBIEDAD	15
4.4 TURBIEDAD.....	15
4.4.1 ASPECTOS QUÍMICOS DE LA TURBIEDAD.....	16
4.4.2 ASPECTOS ÓPTICOS DE LA TURBIEDAD.....	17
4.4.3 TURBIDIMETRÍA.....	18
4.4.3.1 FOTÓMETROS NEFELOMÉTRICOS	20
4.4.3.2 MONITORES DE TURBIEDAD	21
4.4.4 IMPORTANCIA SANITARIA.....	21
5 SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	23
5.1 TIPOS DE TRATAMIENTO	26
5.2 TRATAMIENTOS PARA AGUAS SUPERFICIALES	26
5.3 PRETRATAMIENTOS.....	26

5.3.1	DESBASTE	27
5.3.2	DESARENADO	27
5.3.3	SEDIMENTACIÓN SIMPLE	27
5.4	COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN	28
5.4.1	CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN	30
5.5	DECANTACIÓN.....	33
5.6	FILTRACIÓN LENTA	35
5.7	FILTRACIÓN RÁPIDA	39
5.8	DESINFECCIÓN.....	41
5.8.1	CLORACIÓN.....	43
5.8.2	RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....	44
5.8.3	OZONIZACIÓN.....	44
6	GESTION INTEGRAL DEL AGUA.....	47
7	ESTUDIO DE CASO	49
7.1	OFERTA DE AGUA	51
7.1.1	FUENTE DE ABASTECIMIENTO.....	51
7.1.2	PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	52
7.1.3	SISTEMA DE BOMBEO Y TANQUES DE RESERVA	56
7.1.4	RED DE DISTRIBUCIÓN.....	57
7.1.5	CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA.....	58
7.2	DEMANDA DE AGUA POTABLE	61
7.3	SITUACIÓN OPERATIVA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE CHOS MALAL	62
8	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	65
8.1	NIVELES DE OPERACIÓN	65
8.1.1	NIVEL DE OPERACIÓN NORMAL.....	66
8.1.2	NIVEL DE OPERACIÓN CRÍTICA	66
8.1.3	NIVEL DE OPERACIÓN LÍMITE.....	67

8.1.4	NIVEL DE OPERACIÓN EMERGENCIA.....	69
8.2	LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE CONTROL Y ALERTA.....	69
8.2.1	OBJETIVOS	70
8.2.2	ALCANCE.....	70
8.2.3	RESPONSALES DE COMUNICAR ALERTA A LA POBLACION	70
8.2.4	SITUACIONES QUE ORIGINAN LA ALERTA	71
8.2.5	COMUNICACIÓN DE NIVELES DE OPERACIÓN.....	71
8.2.5.1	NIVEL DE OPERACIÓN NORMAL	72
8.2.5.2	NIVEL DE OPERACIÓN CRÍTICA.....	72
8.2.5.3	NIVEL DE OPERACIÓN LÍMITE.....	72
8.2.5.4	NIVEL DE OPERACIÓN EN EMERGENCIA	72
8.2.6	DIAGRAMA DE LINEAS DE COMUNICACIÓN.....	73
	RECOMENDACIONES.....	74
9	CONCLUSIONES	77
10	BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1: UNIDADES DE COLOR HAZEN.	14
Figura Nº 2: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA PARTÍCULA DE ARCILLA.....	16
Figura Nº 3: LUZ INCIDENTE, TRANSMITIDA Y DISPERSADA.....	17
Figura Nº 4: DIFERENCIA ENTRE FOTÓMETROS DE TRANSMITANCIA Y NEFELOMÉTRICOS.....	19
Figura Nº 5: TURBIDÍMETRO NEFELOMÉTRICO.....	20
Figura Nº 6: ESQUEMA DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN	25
Figura Nº 7: ESQUEMA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO QUE UTILIZA UNA FUENTE SUPERFICIAL	26
Figura Nº 8: ESQUEMA DE UN SEDIMENTADOR SIMPLE.....	28
Figura Nº 9: ESQUEMA DE UN EQUIPO PARA REALIZAR ENSAYO DE JARRAS	31
Figura Nº 10: ENSAYO DE JARRAS.	31
Figura Nº 11: RESULTADO TÍPICO DE UN ENSAYO DE COAGULACIÓN	33
Figura Nº 12: ESQUEMA DE UN DECANTADOR DE PLACAS PARALELAS.....	34
Figura Nº 13: ESQUEMA DE UN FILTRO LENTO	36
Figura Nº 14: ESQUEMA DE UN FILTRO RÁPIDO	39
Figura Nº 15: PUNTOS TÍPICOS DE APLICACIÓN DE CLORO.....	43
Figura Nº 16: MAPA DE UBICACIÓN DE LA LOCALIDAD DE CHOS MALAL.	49
Figura Nº 17: MAPA DE UBICACIÓN DEL RÍO CURI LEUVU	50
Figura Nº 18: RÍO CURI LEUVÚ DESDE PUNTO PANORÁMICO	52
Figura Nº 19: OBRA DE TOMA CANAL NORTE Y BOMBAS SUMERGIBLES TOMA DE SEGURIDAD.....	52
Figura Nº 20: CASA QUÍMICA Y FLOCULADORES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE CHOS MALAL	53
Figura Nº 21: DECANTADORES Y FILTROS RÁPIDOS DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE CHOS MALAL...	54
Figura Nº 22: ESQUEMA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE CHOS MALAL	54
Figura Nº 23: BOMBAS SOBRE CISTERNA Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIARIETE.....	56
Figura Nº 24: TANQUE DE RESERVA DE 3000 M ³	57
Figura Nº 25: PUNTOS DE MUESTREO, SECTORES DE CORTE Y VÁLVULAS DE LIMPIEZA DE LA RED	59
Figura Nº 26: ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CHOSMALAL	60
Figura Nº 27: VARIABILIDAD DE LA TURBIEDAD. PERÍODO ENERO 2010 - MAYO 2011.....	62

Figura N° 28: RIO CURI LEUVÚ Y PLANTA POTABILIZADORA EN EVENTO MAYOR A 5000 UNT.....	64
Figura N° 29: EMBANQUE CANAL NORTE	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: COMPARACIÓN DE DISTINTAS NORMAS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE.....	10
Tabla N° 2: CLASIFICACIÓN DE SABORES Y OLORES POR GRUPOS Y FRECUENCIAS	12
Tabla N° 3: TABLA COMPARATIVA DE LAS CATACTERÍSTICAS DEL COLOR Y LA TURBIEDAD.....	15
Tabla N° 4: ARCILLAS MÁS COMUNES	17
Tabla N° 5: RESULTADOS TÍPICOS DE UN ENSAYO DE FLOCULACIÓN	32
Tabla N° 6: LÍMITES DE CALIDAD DEL AGUA PARA TRATAMIENTO MEDIANTE FILTRACIÓN LENTA	37
Tabla N° 7: ALTERNATIVAS PARA PROCESOS DE POTABILIZACIÓN MEDIANTE FILTRACIÓN LENTA.	38
Tabla N° 8: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PROCESOS EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE LA FUENTE....	38
Tabla N° 9: TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO CON FILTRACIÓN RÁPIDA,.....	41
Tabla N° 10: LÍMITES DE CALIDAD DEL AGUA PARA TRATAMIENTO POR RÁPIDA COMPLETA	41
Tabla N° 11: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	46
Tabla N° 12: DATOS PRODUCCIÓN AGUA POTABLE SERVICIO CHOS MALAL	55
Tabla N° 13: CANTIDAD DE HABITANTES Y POBLACIÓN POR GRUPOS DE EDAD – CHOS MALAL	61
Tabla N° 14: DISPONIBILIDADDE AGUA POTABLE POR HABITANTE POR DÍA EN CHOSMALAL	61

RESUMEN

La turbiedad es un aspecto relativo a la aceptabilidad del agua potable ya que su presencia disminuye la confianza de los consumidores, genera quejas y, lo que es más importante, puede conducir al consumo de agua de fuentes menos seguras.

Los fenómenos climáticos pueden producir en algunas regiones elevados valores de turbiedad en las aguas superficiales, exigiendo que los procesos de potabilización respondan a estas variaciones y produzcan agua dentro de los parámetros de calidad establecidos.

Los eventos de turbiedad afectan la eficiencia de los procesos de potabilización y la calidad del agua tratada, siendo la etapa de filtración la más sensible. Para hacer frente a situaciones de elevada turbiedad del agua cruda, los sistemas de potabilización con captación directa deben contar con tecnologías más complejas y generalmente más costosas.

En pequeñas comunidades, donde los recursos son muy limitados, un sistema de potabilización con elevados costos de instalación y funcionamiento puede ser una alternativa difícil de concretar y sustentar, por ello se proponen alternativas de participación comunitaria desde la gestión integral del agua, además de opciones técnico operativas.

El análisis de la situación en la que opera la planta potabilizadora de la localidad de Chos Malal (Argentina), permitió determinar cuatro niveles de operación para valores de turbiedad del agua cruda que pueden superar las 10.000 UNT. Este estudio permitió establecer los lineamientos para el diseño e implementación de programas de control y alerta, que establezcan una metodología y procedimientos destinados a afrontar las situaciones de desabastecimiento de agua potable, derivados de la variabilidad en la turbiedad del agua cruda.

INTRODUCCIÓN

La importancia del agua, el saneamiento y la higiene para la salud y el desarrollo sustentable han quedado reflejados en los documentos finales de diversos foros internacionales sobre políticas. Entre estos se destacan las conferencias relativas a la salud, como la Conferencia Mundial sobre el Agua de Mar del Plata (Argentina) de 1977, que dio inicio al Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental, así como los Objetivos de Desarrollo del Milenio aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) en 2000 y el documento final de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo de 2002. Más recientemente, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el periodo de 2005 a 2015 como Decenio Internacional para la Acción: “El agua, fuente de vida” (OMS, 2011).

Según la Organización mundial de la Salud (OMS) (2005) cada año, más de mil millones de seres humanos se ven obligados a recurrir al uso de fuentes de abastecimiento de agua potencialmente nocivas. Este hecho perpetúa una crisis humanitaria silenciosa que acaba con la vida de unos 3900 niños al día e impide lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio. El fracaso colectivo para abordar este problema se traduce en unas perspectivas de futuro muy poco esperanzadoras para los miles de millones de personas que viven atrapados en una espiral de pobreza y enfermedad (LEE, 2004).

Con el fin de detener esta terrible situación, entre los Objetivos del milenio se incluye (meta 10) reducir a la mitad el porcentaje de personas que carezcan de acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento antes de 2015. Además, el Grupo de Trabajo de las Naciones Unidas para el Proyecto del Milenio en materia de Agua y Saneamiento ha reconocido recientemente que el desarrollo y la gestión integrados de los recursos hídricos son esenciales para el éxito o fracaso de todos los Objetivos del Milenio, dado que las formas de subsistencia de los pobres dependen en gran medida del agua.

Un importante desafío para el Estado es garantizar el acceso de toda la población, a servicios de agua potable y saneamiento, reconociendo la importancia que tienen para el cuidado de la salud pública, la superación de la pobreza, la dignidad humana, el desarrollo económico y la protección del medio ambiente (Oblitas, 2010). Pocas acciones de gobierno producen mayores beneficios que el proporcionar agua limpia y saludable a sus habitantes. Con esta acción, se reduce la incidencia de enfermedades, disminuyendo los costos globales destinados a la salud y aumentando la productividad general. (Oxman y Oxer, 2000).

En general los problemas asociados al abastecimiento de agua potable pueden analizarse en función de cinco parámetros básicos: 1) Extracciones de agua, 2) Crecimiento demográfico y urbanización, 3) Niveles de cobertura, 4) Déficit de cobertura y 5) Calidad del sistema de distribución (Jouravlev, 2004).

Según el código alimentario argentino el agua potable de suministro público y el agua potable de uso domiciliario es aquella que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

Las normas vigentes de calidad de agua para el consumo humano que son las establecidas por el Código Alimentario Argentino, toman en cuenta las recomendaciones del Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFES) y se basan en niveles guía propuestos por la Organización Mundial de la Salud y en otras normas extranjeras e Internacionales (Calcagno et al, 2000).

La importancia de los caracteres organolépticos del agua reside en que los consumidores evalúan la calidad del agua de consumo basándose principalmente en sus sentidos, por lo que el agua no debe presentar sabores u olores que pudieran resultar desagradables (OMS, 2006). La determinación del olor, color y sabor del agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de la planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación (Romero, 2005).

Los componentes microbianos, químicos y físicos del agua pueden afectar a su aspecto, olor o sabor y el consumidor evaluará su calidad y aceptabilidad basándose en estos criterios. Aunque es posible que estas sustancias no produzcan ningún efecto directo sobre la salud, los consumidores pueden considerar que el agua muy turbia, con mucho color, o que tiene un sabor u olor desagradable es insalubre y rechazarla. En casos extremos, los consumidores pueden evitar consumir agua que es inocua pero inaceptable desde el punto de vista estético, y consumir en cambio agua de otras fuentes cuyo aspecto sea más agradable pero que puede ser insalubre. Los cambios en el aspecto, olor y sabor del agua de consumo de un sistema de abastecimiento con respecto a sus características organolépticas normales pueden señalar cambios en la calidad del agua bruta o cruda (sin tratar) de la fuente o deficiencias en las operaciones de tratamiento, y deben investigarse (OMS, 2011).

La turbiedad es un aspecto relativo a la aceptabilidad del agua de consumo y puede estar causada por una gran variedad de materiales en suspensión, entre otros, arcillas, limo, materia

orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos (Romero, 2005). Además, la turbiedad es un parámetro de importancia sanitaria porque las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y pueden estimular la proliferación de bacterias. Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja, para que el tratamiento sea eficaz (OMS, 2006). Aunque en los estudios realizados hasta el momento no se han evidenciado efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Se ha demostrado que en el proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbiedad en la fuente de abastecimiento, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección (Martel, 2004).

La turbidez también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación y sedimentación y en la filtración (OMS, 2011). En una planta con tratamiento completo, la etapa anterior a la desinfección es la filtración rápida. El agua proveniente de los filtros debe estar en sus mejores condiciones, ya que una baja turbiedad contribuirá a una más eficiente desinfección (Solsona y Méndez, 2003). Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS recomiendan como valor guía 5 UNT¹, e indican, que para una desinfección eficiente, el agua filtrada debería tener una turbiedad promedio menor o igual a una UNT pudiéndose aceptar un valor de hasta 5 sólo en ciertas condiciones. A partir de allí el Código Alimentario Argentino establece para el agua potable de suministro público y para el agua potable de uso domiciliario una turbiedad máxima de 3 UTN. En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua (Martel, 2004) y su necesidad radica en que el agua para consumo humano debe ser segura pero también agradable, sin sabores ni olores desagradables. Si esto no se cumple se puede inducir a los consumidores a utilizar aguas de otras fuentes, cuya calidad sanitaria no está controlada o a consumir agua embotellada que es costosa (ENOHSA, 2001).

Los fenómenos de erosión pueden producir en algunas regiones elevados valores de turbiedad en las aguas superficiales. Frente a esta situación los sistemas de potabilización con captación

¹ UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad. Unidad más utilizada para la medición de la turbiedad.

directa desde el curso de agua, deben contar con tecnologías más complejas y por lo general más costosas para reducir la turbiedad a los niveles de calidad establecidos.

En suministros de agua pequeños, donde los recursos son muy limitados, un sistema de potabilización con elevados costos de instalación y funcionamiento puede ser una alternativa difícil de concretar y sustentar. Es por esto que, además de considerar las alternativas técnico operativas de potabilización, esta investigación apunta a incluir una propuesta desde la gestión integral del agua, que abarque todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la captación hasta su distribución al consumidor.

1 OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Investigar sobre la influencia de la variabilidad de la turbiedad del agua cruda en los procesos de potabilización de agua en pequeñas comunidades que captan desde fuentes superficiales con alta turbiedad.

1.2 ESPECÍFICOS

Analizar la situación en la que opera la planta potabilizadora de la localidad de Chos Malal.

Determinar distintos niveles de operación.

Establecer los lineamientos para el diseño e implementación de programas de control y alerta.

2 AGUA POTABLE

El acceso al agua potable es esencial para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente fundamental de las políticas eficaces de protección de la salud.

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible.

El agua potable, según se define en las Guías de Calidad del Agua de la OMS (2011), es aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos. El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal.

Las Guías de Calidad del Agua describen los requisitos mínimos razonables que deben cumplir las prácticas seguras para proteger la salud de los consumidores, y determinan «valores de referencia» numéricos de los componentes del agua o los indicadores de la calidad del agua. Para definir límites obligatorios es preferible considerar los valores de referencia en el contexto de las condiciones locales o nacionales de tipo ambiental, social, económico y cultural. Las guías para la calidad del agua potable son de carácter dinámico, debido a que se mantienen actualizadas mediante un proceso de revisión continuado que conlleva la divulgación periódica de documentos que pueden ampliar o reemplazar la información publicada anteriormente.

Las normas vigentes de calidad de agua para el consumo humano de la República Argentina son las establecidas por el Código Alimentario Argentino, toman en cuenta las recomendaciones del Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFES) y se basan en niveles guía propuestos por la Organización Mundial de la Salud y en otras normas extranjeras e internacionales (Calcagno et al, 2000).

3 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está asociado al uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua que permita la vida de los peces puede no ser apta para recreación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para uso industrial.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

La evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas (Barrenechea Martel, 2004).

A continuación se resumen las principales características microbiológicas, químicas, radiológicas y relativas a la aceptabilidad que definen la calidad del agua y los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para consumo humano.

3.1 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

La presencia de microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos en el agua de consumo presenta un riesgo para la población a contraer enfermedades infecciosas. La carga que esto produzca sobre los sistemas de salud pública esta función de la gravedad de las enfermedades, de su infectividad y de la población expuesta.

Un fallo general del sistema de protección de la seguridad del abastecimiento de agua puede ocasionar una contaminación a gran escala del agua y, potencialmente, epidemias detectables.

Otras averías y la contaminación leve, posiblemente en ocasiones repetidas, pueden ocasionar brotes esporádicos significativos de enfermedades, pero es poco probable que las autoridades de vigilancia de la salud pública los asocien con la fuente de abastecimiento de agua de consumo.

Los parámetros más importantes en la verificación de la calidad microbiológica del agua son las bacterias indicadoras de contaminación fecal. Para proporcionar resultados significativos, las bacterias indicadoras de contaminación fecal deben cumplir determinados criterios. Deben

estar presentes universalmente, en concentraciones elevadas, en las heces humanas y de otros animales de sangre caliente, ser fácilmente detectables mediante métodos sencillos y no proliferar en aguas naturales. El microorganismo elegido como indicador de contaminación fecal es E. coli. En muchas circunstancias, en lugar de E. coli puede analizarse la presencia de bacterias coliformes termo-tolerantes.

El agua destinada al consumo humano no debe contener microorganismos indicadores. En la mayoría de los casos, el análisis de la presencia de bacterias indicadoras proporciona un alto grado de seguridad, ya que se encuentran en cantidades abundantes en aguas contaminadas (OMS, 2006).

Sin embargo, el agua puede contener agentes patógenos más resistentes a las condiciones medioambientales o técnicas de tratamiento convencionales como algunos virus entéricos o protozoos cuya determinación se dificulta al aislarlos y detectarlos en análisis de rutina (Arboleda Valencia, 2000).

3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Puede haber numerosos productos químicos en el agua de consumo; sin embargo, sólo unos pocos suponen un peligro inmediato para la salud en cualquier circunstancia determinada.

Los componentes químicos presentes en el agua de consumo son asociados principalmente al riesgo de producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados. Pocos componentes químicos del agua pueden ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única, excepto en el caso de una contaminación masiva accidental de una fuente de abastecimiento de agua de consumo. Además, en la mayoría de los incidentes de este tipo, aunque no en todos, el agua se hace imbebible, por su gusto, olor o aspecto inaceptables.

La OMS y otros organismos internacionales han calculado valores de referencia para muchos componentes químicos del agua de consumo. Un valor de referencia representa normalmente la concentración de un componente que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida.

Se ha demostrado que cierto número de contaminantes químicos causan efectos adversos para la salud de las personas como consecuencia de una exposición prolongada por el agua de consumo. No obstante, se trata sólo de una proporción muy pequeña de las sustancias químicas que pueden estar presentes en el agua de consumo procedentes de diversas fuentes.

Se han evaluado los posibles efectos sobre la salud de numerosas sustancias y sólo se han propuesto valores de referencia para aquellas sustancias consideradas peligrosas para la salud (OMS, 2006). La Tabla N° 1 presenta los límites establecidos por las distintas normas internacionales sobre calidad del agua.

TABLA COMPARATIVA DE DISTINAS NORMAS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE					
PARAMETROS	U.S.E.P.A	CANADÁ	CEE	OMS	CAA
	Máximo Nivel de Contaminación	Máxima Concentración Admisible	Máxima Concentración Admisible	Guías de Calidad del Agua	Máxima Concentración Admisible
Aluminio	0,05 - 0,2 mg/l		0,2 mg/l	0,2 mg/l	0,2 mg/l
Amonio			0,5 mg/l	15 mg/l	0,2 mg/l
Antimonio	0,006 mg/l		0,01mg/l	0,005 mg/l	0,02 mg/l
Arsénico	0,05 mg/l	0,025 mg/l	0,05 mg/l	0,01mg/l	0,01mg/l
Bario	2,0 mg/l	10 mg/l	NS	0,7 m/l	
Boro		5,0 mg/l	10 mg/l	0,3 mg/l	0,5 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l	0,005 mg/l	0,005 mg/l	0,003 mg/l	0,005 mg/l
Cloruros	250 mg/l	250 mg/l	250 mg/l	250 mg/l	350 mg/l
Cromo	0,1mg/l	0,05 mg/l	0,05 mg/l	0,05 mg/l	0,05 mg/l
Coliformes Total	< 5% Positivo	0	0 o NMP < 1	0	0 o NMP < 3
Coliformes E. Coli	0	0	0	0	0
Color	15 cu	15 cu	20 mg Pt-Co/l	15 cu	5 escala Pt -Co
Cobre	10 mg/l	10 mg/l	NS	1- 2 mg/l	10 mg/l
Cianuros	0,2 mg/l	0,2 mg/l	0,05 mg/l	0,07 mg/l	0,1mg/l
Flúor	2,0 - 4,0 mg/l	1,5 mg/l	0,7 - 15 mg/l	1,5 mg/l	12 mg/l
Dureza			50 mg/l		400 mg/l
Hierro	0,3 mg/l	0,3 mg/l	0,2 mg/l	0,3 mg/l	0,3 mg/l
Plomo	0,015 mg/l	0,01mg/l	0,05 mg/l	0,01mg/l	0,05 mg/l
Manganeso	0,05 mg/l	0,05 mg/l	0,2 mg/l	0,1- 0,5 mg/l	0,1mg/l
Mercurio	0,002 mg/l	0,001mg/l	0,001mg/l	0,001mg/l	0,001mg/l
Molibdeno				0,07 mg/l	
Niquel	0,1mg/l		0,05 mg/l	0,02 mg/l	0,02 mg/l
Nitratos/Nitritos (Totales)	10,0 mg/l (como N)				
Nitratos	10,0 mg/l (como N)	10,0 mg/l (como N)	50,0 mg/l	50,0 mg/l (como NO)	45,0 mg/l
Nitritos	1,0 mg/l	3,2 mg/l	0,1mg/l	3,0 mg/l (como NO)	0,1mg/l
Olor	3 TON (Threshold Odor Number)		2 - 3 dilution no. 12° C		
pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,2 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Fosforo			5,0 mg/l		
Fenoles		0,002 mg/l	0,5 µg/l C ₆ H ₅ OH		
Potasio			12 mg/l		
Selenio	0,05 mg/l	0,01mg/l	0,01mg/l	0,01mg/l	0,01mg/l
Silica Dioxide			10,0 mg/l		
Plata	0,1mg/l	0,05 mg/l	0,01mg/l	NS	0,05 mg/l
Solidos Disueltos Totales	500 mg/l	500 mg/l	NS	1000 mg/l	1500 mg/l
Sodio	20 mg/l		75 - 150 mg/l	200 mg/l	
Sulfatos	250 mg/l	500 mg/l	NS	250 mg/l	400 mg/l
Turbiedad	0,5 - 5,0 UNT	10 UNT	10 UNT	5,0 UNT	3,0 UNT
Zinc	5,0 mg/l	5,0 mg/l	NS	3,0 mg/l	

Tabla N° 1: COMPARACIÓN DE DISTINTAS NORMAS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE

3.3 CARACTERÍSTICAS RADIOLÓGICAS

Las características radiológicas del agua de consumo están asociadas principalmente a la presencia de radionúclidos de origen natural de las series de desintegración del uranio y del torio. No obstante, pueden contaminar el agua de consumo radionúclidos procedentes del ciclo del combustible nuclear y de los usos de materiales radioactivos en actividades médicas y de otro tipo.

Puesto que las concentraciones típicas de radionúclidos en el agua de consumo son muy pequeñas, no hay peligro de efectos agudos sobre la salud debido a la radiación. La exposición a la radiación por el agua de consumo debe evaluarse conjuntamente con la exposición por otras fuentes (OMS, 2006).

3.4 CARACTERÍSTICAS RELATIVAS A LA ACEPTABILIDAD

La mayoría de los consumidores no disponen de medios para juzgar por sí mismos la seguridad del agua que consumen, pero su actitud hacia el agua de consumo y hacia sus proveedores de agua se verá afectada en gran medida por los aspectos de la calidad del agua que son capaces de percibir con sus propios sentidos. Es natural que los consumidores recelen del agua que parezca sucia o tenga un color anormal, o que tenga un olor o sabor desagradable, aunque estas características puedan no tener, en sí mismas, ninguna consecuencia directa para la salud.

Debe darse una prioridad máxima al suministro de agua de consumo que, además de ser inocua, tenga un aspecto, sabor y olor aceptables. El agua cuyas características organolépticas sean inaceptables disminuirá la confianza de los consumidores, generará quejas y, lo que es más importante, puede conducir al consumo de agua de fuentes menos seguras.

La aceptabilidad del agua de consumo para los consumidores es subjetiva y puede verse afectada por diversos componentes. La concentración de estos componentes que resulta desagradable para los consumidores es variable, y depende de factores individuales y locales, como la calidad del agua a la que está acostumbrada la comunidad y diversas consideraciones de carácter social, ambiental y cultural (OMS, 2006).

Las características organolépticas indeseables en la calidad del agua se deben a la presencia de impurezas en suspensión y/o disueltas en el agua de consumo.

4 IMPUREZAS DEL AGUA

El agua químicamente pura no puede encontrarse en la naturaleza debido a que contiene, en mayor o menor medida, sustancias que pueden estar en suspensión o en solución según el tamaño del material con el que este en contacto (Arboleda Valencia, 2000). La presencia de estas impurezas es la responsable de otorgarle al agua de consumo aspectos indeseables por los usuarios en cuanto al olor, sabor, color y turbiedad.

4.1 SABOR Y OLOR

La presencia de sabores y olores desagradables es la causa más frecuente de quejas de los consumidores. Los sabores y olores pueden provenir de la presencia de microorganismos como algas, actinomicetos, cianobacterias, la presencia de hidrocarburos, de desinfectantes o sus subproductos.

En la siguiente tabla se proporciona una clasificación de los sabores y olores donde el número indica la frecuencia de aparición.

Clasificación	Descripción
Grupo 1	Tierra, Moho
Grupo 2	Cloro
Grupo 3	Grasa, madera
Grupo 4	Séptico, a cloaca, a pantano
Grupo 5	Fragante, vegetal o a flores
Grupo 6	Pescado
Grupo 7	Medicinal, fenólico, antiséptico
Grupo 8	Químico, a hidrocarburos, otros

Tabla N° 2: CLASIFICACIÓN DE SABORES Y OLORES POR GRUPOS Y FRECUENCIAS

La importancia del sabor y el olor dentro de las propiedades organolépticas del agua potable ha sido reconocida ampliamente y la mayoría de los países incluyen este aspecto en sus normas, aunque muchas veces en forma cualitativa (ENOHSA, 2001).

La Agencia de Protección Ambiental de EEUU establece una norma basada el número de valor umbral. Este número representa las veces que el agua a analizar debe ser diluida con agua libre de olor para que el olor no sea perceptible. Este número ha sido fijado en 3. La Comunidad Económica Europea recomienda un número de dilución cero, pero especifica un máximo

admisible de 2 para 12°C y de 3 para 25°C tanto para sabor como para olor. La OMS en la última versión de los Valores Guías señala que el olor y el sabor deben ser aceptables, sin incluir ningún valor guía.

4.2 COLOR

Inicialmente es muy importante distinguir entre color verdadero y color aparente. El primero es el que existe cuando se ha removido toda la turbiedad por medio de filtración o centrifugación para evitar que ésta sea registrada como color. El color aparente es el valor que resulta de medir el color sin remover la turbiedad, lo que no da una indicación muy precisa de las características del agua (Arboleda Valencia, 2000).

Christman y Ghassemi (1961) consideran que el color en el agua puede deberse a:

- a. La extracción producida por el agua de sustancias provenientes de maderas,
- b. La solución de productos de descomposición de las maderas,
- c. La solución de materia orgánica de suelo,
- d. Una combinación de estos procesos.

Esta consideración no contempla el color producido por la descarga de efluentes industriales, los cuales están excluidos de este estudio.

Según Arboleda Valencia (2000) el color está constituido por sustancias químicas, la mayoría de las veces provenientes de la degradación de la materia orgánica, tales como hojas y plantas acuáticas con las que está en contacto. El conjunto de compuestos que dan color al agua reciben el nombre de sustancias húmicas. Aunque no es conocida la estructura molecular de estas sustancias, se sabe que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno en porcentajes variables, y que presentan propiedades ácidas con pesos moleculares que van desde 200 hasta más de 50.000. Se clasifican en cuatro fracciones: ácido fúlvico, ácido húmico, ácido himatomelánico y carbón húmico.

Considerando que en el agua cruda los colores predominantes varían desde diferentes tonalidades amarillas hasta colores pardos y al hecho de que estas tonalidades pueden ser simuladas con bastante aproximación por soluciones de cloroplatinato de potasio a diferentes concentraciones, se ha adoptado esta referencia para expresar la magnitud del color en muestras de agua cruda y potable.

La unidad de color adoptada internacionalmente como referencia, es la equivalente a una solución de cloroplatinato compuesta por 1,0 mg de platino por litro de solución. La escala

para medición directa se extiende desde 1 hasta 500 mg/l de platino. Esta manera de expresar el color, se conoce como “Escala de Hazen” y se expresa en términos de unidades de Pt/Co, debido a que generalmente se adiciona una pequeña cantidad de Cloruro de Cobalto a las soluciones de Platino para intensificar el color y el brillo de las soluciones patrón.

Con el objetivo de eliminar el uso de soluciones para la determinación del color, se han diseñado equipos en los que se compara el color de las muestras, ya no frente a la coloración de soluciones de Pt/Co, sino a “Discos Coloreados” cuyos colores se corresponden a la escala de Hazen. Las mediciones se pueden realizar por colorimetría visual o por fotometría (Cardenas León, 2005).

Por otra parte el color presenta un efecto indicador. Esto es debido a que su intensidad cambia con el pH. En general, al subir el pH se incrementa el color, pero el mayor incremento se obtiene con aguas que tienen originalmente un color bajo (Arboleda Valencia, 2000).

Es importante destacar que este método no es apto para expresar el color de aguas residuales y en general, de muestras cuyos patrones de color sean diferentes al de las soluciones de Pt/Co.

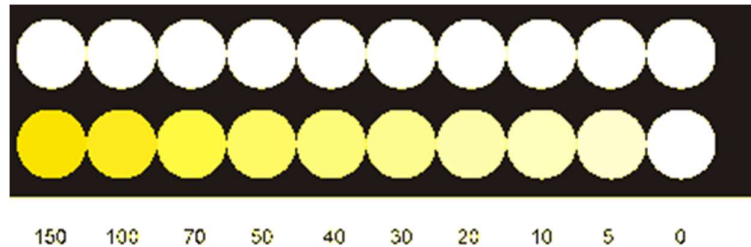


Figura N° 1: UNIDADES DE COLOR HAZEN: UPC (UNIDADES DE PLATINO COBALTO).

FUENTE: E. MERCK, DARMSTADT.

La presencia de color puede producir el rechazo del agua por los consumidores y cuando es debido a materia orgánica natural debe considerarse la posibilidad de que se formen subproductos indeseables durante la desinfección (ENOHSA, 2001).

Tanto las Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano de Canadá como las de la OMS no han fijado valores guías basados en criterios sanitarios y recomiendan un valor de 15 Unidades de Color Verdadero.

4.3 COMPARACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COLOR Y LA TURBIEDAD

El color y la turbiedad presentan características bastantes diferentes en cuanto a sus características físicas y químicas, y a las forma en que se percibe el fenómeno óptico. Estas diferencias, deben tenerse en cuenta cuando se quieren remover del agua por medio de coagulación.

	Color	Turbiedad
Composición Física	Sustancias disueltas parcialmente coloidales.	Arcillas coloidales.
Composición Química	Ácidos orgánicos con pesos moleculares entre 200 y 50.000 o más.	Cristales de silicatos.
Origen	Orgánico.	Mineral.
Tamaño de la dispoersión	87 % < 0.01 μ .	Entre 0.1 y 10 μ .
Intensidad	Aumenta con el pH.	No varía con el pH.
Comportamiento Químico	Se comportan perfectamente como sustancias disueltas.	Se comportan unicamente como suspensiones coloidales.

Tabla N° 3: TABLA COMPARATIVA DE LAS CATACTERÍSTICAS DEL COLOR Y LA TURBIEDAD

4.4 TURBIEDAD

La turbiedad, no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a algas o crecimientos bacterianos (Arboleda Valencia, 2000).

Profundizar en los aspectos relacionados a la turbiedad, bridaré las herramientas necesarias para comprender su influencia en el sistema de potabilización y plantear posibles respuestas integrales en la gestión del agua para consumo humano, que tiendan a alcanzar los valores de turbiedad establecidos por las normas de calidad.

4.4.1 ASPECTOS QUÍMICOS DE LA TURBIEDAD

La turbiedad está compuesta principalmente por arcillas en dispersión, las cuales son partículas de suelo finas (0.002mm de diámetro de grano o menos) a veces coloreada, que adquiere plasticidad al mezclarse con cantidades limitadas de agua (Arboleda Valencia, 2000).

Las arcillas están principalmente constituidas por partículas minerales: cuarzo, mica, piritita, calcita, etcétera. Los constituyentes más importantes de las arcillas son los silicatos hidratados de aluminio y hierro, también algunos elementos alcalinos y alcalino-térreos.

Morfológicamente, las partículas de arcillas se representan en forma de plaquetas compuestas de láminas muy finas, como muestra la Figura N° 2 obtenida en microscopio electrónico.

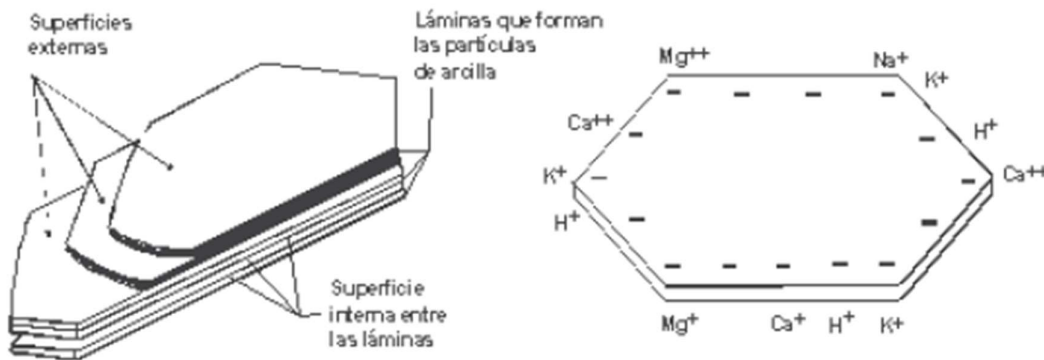


Figura N° 2: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA PARTÍCULA DE ARCILLA

Las observaciones microscópicas y el análisis de las arcillas mediante los rayos X posibilitan clasificarlas de acuerdo con su estructura cristalina. Los principales elementos constituyentes de las arcillas son el aluminio, el silicio, el magnesio, el potasio, el oxígeno y el hidrógeno. La distribución de estos elementos en la red cristalina define a los tipos de arcilla (Barrenechea Matel, 2004).

La composición de las arcillas más comunes se detalla a continuación.

Nombre	Composición
Caolinita	$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8 + Al_4(Si_4O_6)(OH)_{16}$
Montmorillonita (Bentonita)	$Al [Mg] (Si_8O_{20})(OH)_4 \times H_2O$ *
Illita	$K_xAl_4[Fe_4Mg_4Mg_{16}](Si_8xAl_x)O_{20}$ *
Muscovita	$K_xAl_4(Al_2Si_6O_{20})(OH)_4$

* Los elementos entre corchetes pueden ser sustituidos por el material que se encuentra a la izquierda del corchete

Tabla N° 4: ARCILLAS MÁS COMUNES

4.4.2 ASPECTOS ÓPTICOS DE LA TURBIEDAD

La turbiedad es la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida, de diseminar en todas direcciones la luz que pasa por ella. Esta definición implica una interrelación entre la luz incidente y la sustancia diseminante.

La luz transmitida (i) será:

$$i = i_0 - id \quad \text{Cuando no hay luz absorbida,}$$

$$i = i_0 e^{-k \times l} \quad \text{Cuando hay absorción de luz.}$$

En donde, e = base de logaritmos naturales, k = coeficiente de absorción y l = espesor de la suspensión.

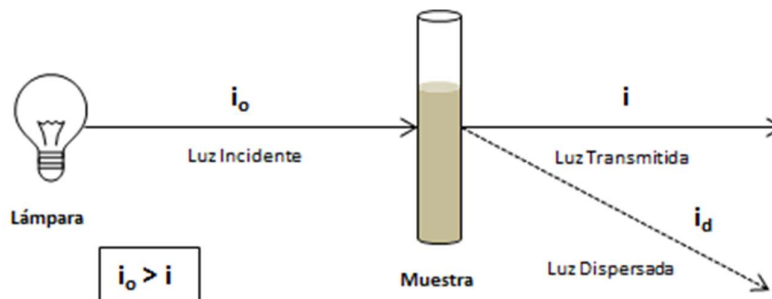


Figura N° 3: LUZ INCIDENTE, TRANSMITIDA Y DISPERSADA

Solo en el caso ideal en el que la luz pasa por un medio líquido homogéneo, no se produce diseminación ninguna del rayo luminoso y por lo tanto la turbiedad es cero.

Cualquier alteración del medio diseminante, ya sea en el índice de refracción, en el número o tamaño de las partículas, producirá cambios en la proporción de luz dispersada y luz incidente i_d/i_o .

Matemáticamente, la turbiedad (T) se puede definir como el logaritmo natural de la disminución de la intensidad luminosa, al pasar un rayo de luz a través de un medio de espesor l, así:

$$T = \frac{1}{l} \ln \frac{i}{i_o}$$

Es importante destacar que el número, concentración y masa de las partículas presentes en el medio diseminante así como su tamaño, forma e índice de refracción, influyen en la turbiedad de una suspensión. Debido a eso la turbiedad no se expresa hoy en día en términos de ppm o mg/l, sino en unidades nefelométricas de turbiedad (Arboleda Valencia, 2000).

4.4.3 TURBIDIMETRÍA

Actualmente existen diversos aparatos que pueden medir la turbiedad del agua. Básicamente se dividen en dos grandes grupos: los fotómetros de transmitancia y los fotómetros nefelométricos, según sea el ángulo y la forma como se mida la luz que atraviesa la muestra que se quiere analizar.

Una misma suspensión patrón puede arrojar valores distintos cuando se emplean diferentes instrumentos para medir su turbiedad. Esto se debe a que la determinación de la luz diseminada por las partículas en diferentes direcciones y con diferentes longitudes de onda y color, unos equipos la detectan de una manera y otros de otra, sin que haya ninguno estandarizado, capaz de dar un valor absoluto.

Cuando la luz se detecta a 180 grados solamente, se habla del fotómetro de transmitancia que es el más antiguo. Los nefelómetros actuales la detectan a 10, 30 y 90 o una combinación de varios ángulos.

Algunos pueden detectar la "luz total", que sería la que se obtendría al colocar una serie de fotoceldas alrededor de la muestra para configurar un diagrama de luz diseminada.

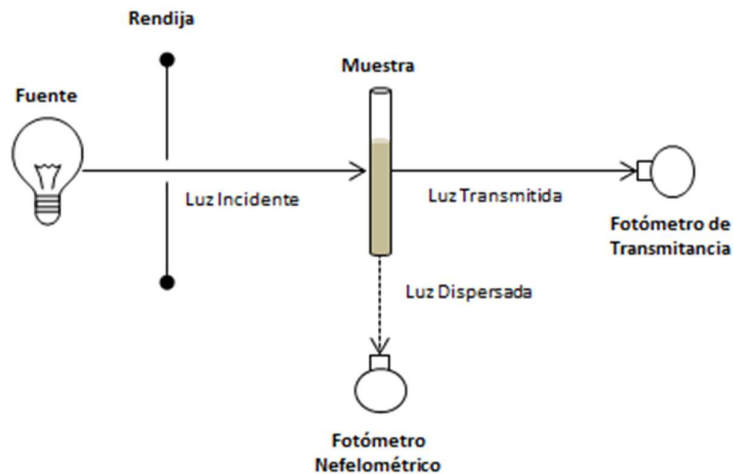


Figura Nº 4: DIFERENCIA ENTRE FOTÓMETROS DE TRANSMITANCIA Y NEFELOMÉTRICOS

La lectura de la turbiedad depende, por eso, de los siguientes factores:

1. **El ángulo de medida** por las razones antes expuestas.
2. **El tipo de luz incidente**, ya que según sea la amplitud del rayo que se lance, (estrecho o amplio) la longitud de onda de este y el hecho de que la luz sea monocromática o policromática, cambia la lectura de la turbiedad.
3. **El tipo de fotocelda** que se use para medir la intensidad de la luz diseminada o peor aún la sensibilidad del ojo del observador, si no se usan fotoceldas, afecta notablemente las lecturas debido a que puede ser inicialmente observado por el ojo desnudo por encima de 4,0 UNT.
4. **El tipo de partículas presentes en la suspensión** hace que la luz se disemine en diferente forma: las bacterias, por ejemplo, reflejan más luz hacia adelante que hacia atrás o los costados, algunas arcillas lo hacen con preferencia a 90 y otras sin dirección preferencial. Hay también partículas que son opacas y no reflejan la luz como algunas de carácter orgánico.
5. **El patrón de comparación adoptado** hace que cambie la lectura puesto que al variar éste, varía el tipo de partículas presente en la suspensión. Hay que tener también en cuenta que, con frecuencia, existen marcadas diferencias entre las partículas del patrón y las de la muestra que se analiza.

4.4.3.1 FOTÓMETROS NEFELOMÉTRICOS

Los instrumentos más utilizados en la actualidad para la determinación de la turbiedad del agua son los fotómetros nefelométricos, los cuales miden la cantidad de luz diseminada por la muestra de agua, y la comparan con la de una concentración conocida.

Como al medir bajas turbiedades las intensidades luminosas que se observan son muy pequeñas se recurre, por lo general, a sistemas electrónicos para evaluarlas, lo que resulta mucho más exacto que la comparación visual.

Este tipo de turbidímetro consta básicamente de cinco partes, (VerFigura N° 5):

1. Fuente de luz;
2. Concentrador de la luz;
3. Muestra de Agua;
4. Celda fotoeléctrica y
5. Medidor de Turbiedad

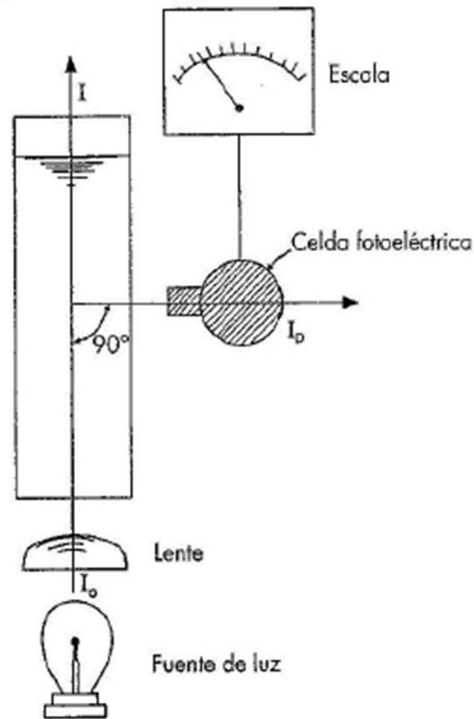


Figura N° 5: TURBIDÍMETRO NEFELOMÉTRICO

La celda fotoeléctrica está colocada a diferentes ángulos según el equipo y es la que acciona el aparato de lectura de la turbiedad calibrado en Unidades Nefelométricas directamente.

La ventaja de los fotómetros con fotocelda del tipo descrito está, en que las determinaciones no se basan en el criterio del observador, como en los de transmitancia. Pueden, además,

detectar bajos valores, algunos hasta de 0.001 UNT lo que resulta muy útil para evaluar la eficiencia del proceso de filtración.

En la actualidad se venden diferentes modelos que utilizan soluciones patrón de formazina o barras sólidas plásticas para su calibración (Arboleda Valencia, 2000).

4.4.3.2 MONITORES DE TURBIEDAD

Un gran avance en el control de la calidad del agua filtrada, es el uso de monitores de turbiedad. Se entiende por tales, los fotómetros capaces de mantener un registro permanente de la turbiedad, de manera que en cualquier instante se puede conocer el valor de ésta y en algunos casos hacer sonar una alarma o prender una luz, cuando exceda de determinado límite.

En los últimos años, este equipo se ha venido usando cada vez más extensamente ya que es un valioso auxiliar en la operación de las plantas de potabilización.

Los monitores pueden montarse para:

- a. Registrar permanentemente la turbiedad del agua cruda.
- b. Registrar la turbiedad del agua sedimentada antes de ingresar a los filtros.
- c. Registrar la turbiedad del efluente de los filtros. Esta es tal vez su aplicación más importante.

Existen una variedad de aparatos: unos sirven para controlar altas turbiedades (agua cruda), otros muy sensibles para detectar bajas turbiedades (agua filtrada) y por último algunos son sensibles tanto a altas como a bajas turbiedades (Arboleda Valencia, 2000).

4.4.4 IMPORTANCIA SANITARIA

Tradicionalmente se ha considerado como un parámetro relacionado con aspectos estéticos debido al impacto negativo que presenta la turbiedad visible sobre la aceptabilidad del consumidor de agua.

Aunque la turbidez por sí misma no es necesariamente una amenaza para la salud, su importancia sanitaria radica en las siguientes razones:

- Los datos demuestran un aumento del riesgo de infecciones gastrointestinales que se correlaciona con una alta turbidez y los eventos de turbiedad en la distribución. Esto

puede ser debido a la turbidez está actuando como un indicador de las posibles fuentes de la contaminación microbiana (OMS,2006).

- Se ha demostrado la relación entre los valores de turbiedad y la presencia de Giardia y Cryptosporidium en el agua tratada. Estudios realizados en los Estados Unidos demostraron que existía relación entre la aparición de Giardia en el agua filtrada y los picos de turbiedad y que la concentración de quistes podía incrementarse en 50 veces con sólo un aumento de 0,1 UNT en la turbiedad. Por tal motivo, las agencias regulatorias, recomiendan tener como objetivo mantener una turbiedad de 0,1 UNT en el efluente de cada uno de los filtros.
- La presencia de turbiedad interfiere en el proceso de desinfección, aumentando la demanda de desinfectante y protegiendo a las bacterias que pudieran quedar adheridas a las superficies de las partículas.

Teniendo en cuenta estos aspectos, los valores establecidos en las distintas Normas para la turbiedad han disminuido desde valores de 5 UNT a 1 o 0,5 UNT. La U.S.EPA lo incluye dentro de los parámetros de significado sanitario y establece un valor de 0,5 UNT, pudiéndose aceptar un valor máximo de hasta 5 UNT.

Puede asegurarse que no es admisible aceptar valores superiores a 1 UNT en el agua potable, sobre todo cuando se trata de fuentes de provisión no bien protegidas respecto a la contaminación de origen cloacal (ENOHSA, 2001).

Las impurezas presentes en el agua pueden tener poca importancia en las aguas cuyo uso está destinado a riego o limpieza de calles, pueden tener influencia en ciertos procesos industriales y son fundamentales en el uso de agua para consumo humano.

Cuando la turbiedad es debida a coloides, las partículas de presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de procesos potabilización como coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Barrenechea Martel, 2004).

Cada una de las etapas que constituyen un sistema de potabilización son influenciadas en mayor o menor medida por las variaciones que pueden producirse en la turbiedad del agua cruda. Dentro de las limitaciones del tipo de sistema y de los recursos disponibles, la turbidez se debe minimizar tanto como sea posible, como una parte de la gestión integral del agua que tienda a lograr el adecuado abastecimiento de agua potable a la población.

5 SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN

Un sistema de agua potable está formado por el conjunto de obras, equipos y servicios destinados al abastecimiento de agua potable de una comunidad para fines de consumo doméstico, servicios públicos, consumo comercial, industrial, y otros usos. El agua suministrada por el sistema debe tener siempre de una adecuada calidad física, química y bacteriológica y debe ser provista en cantidad suficiente.

Un sistema de agua potable comprende diversas etapas constituidas por unidades específicas para cada una de ellas:

- Captación.
- Conducciones.
- Planta Potabilizadora.
- Almacenamientos, a nivel o elevados.
- Red de distribución.
- Estaciones de bombeo de agua cruda o agua tratada según sea necesario.

El sistema se inicia en las obras de captación, las que pueden tener características diversas dependiendo de la fuente de abastecimiento. En general, en los casos de captación de agua superficial, se trata de una obra de toma o captación de un río o manantial y, en el caso de aprovechamiento de aguas subterráneas, de un pozo o batería de pozos

En caso de grandes abastecimientos o cuando el caudal de estiaje del curso es insuficiente para atender la demanda, se requiere de un almacenamiento y regulación en un embalse (ENOHSA, 2001)

Las variaciones de la turbiedad en cursos de agua superficiales solo influyen sobre las obras de toma cuando se producen fenómenos de arrastre y depósito de sedimentos de tal magnitud que pongan en riesgo la estructura de la obra de toma o cuando la acumulación de sedimentos impide el ingreso de agua cruda al sistema de potabilización.

Luego de las obras de captación se encuentran las obras de conducción y potabilización del agua. En un proyecto existen conducciones de agua entre diferentes puntos del sistema, como por ejemplo obra de toma – cámara de carga de la planta, reservas - tanque de distribución, etc. Desde el punto de vista hidráulico, estas conducciones pueden ser de distinto tipo, dependiendo de la topografía y longitud de las mismas.

Según la energía utilizada los sistemas pueden ser:

- Por gravedad.
- A presión.
- Mixtas, combinación de las dos anteriores.

Las obras de conducción incluyen canales, tuberías, bombeos, depósitos, tanques elevados, reservas, etc.

Luego de su extracción de la fuente el agua, dependiendo de sus características, debe ser potabilizada. En general, hasta las aguas de muy buena calidad para el consumo humano, requieren de un tratamiento de desinfección antes de su distribución.

Las plantas de potabilización pueden o no, estar ubicadas en las cercanías de las obras de captación o toma. En general están más cerca de la zona de consumo que de la de captación, pero pueden variar según sea la configuración del área respecto de la fuente y de las posibles interconexiones para garantizar el abastecimiento de agua potable.

Los caudales de captación no siempre son constantes, ya que dependen también de las características de la fuente de abastecimiento. Por otra parte los caudales consumidos en una localidad son variables por hora y por día, con lo cual se debe almacenar agua para poder dar el suministro en los periodos en que la demanda es alta.

La siguiente etapa es la entrega a los usuarios del agua a través de sistemas de conducción y redes de distribución cuya función es la de transportar el agua a cada domicilio ubicado en determinada zona o área.

Existen diferentes denominaciones para las cañerías según la función o, a qué parte del sistema corresponda. Así, por ejemplo, se puede hablar de aducciones para las conducciones que van de la obra de toma a la planta potabilizadora, o de líneas de conducción principales, para las que van de la planta a los tanques de distribución. A partir de los mismos ya se habla del sistema de distribución propiamente dicho y de cañerías principales y secundarias.

Según la naturaleza del agua, las tuberías pueden transportar:

- Agua cruda: tal como se encuentra en las fuentes, en estado natural, sin tratamiento.
- Agua tratada: potable, apta para consumo humano.

Las conexiones son el nexo entre la red de distribución y los distintos tipos de casas y edificios cuyos usos requieren disponer de agua potable (ENOHSA, 2001)

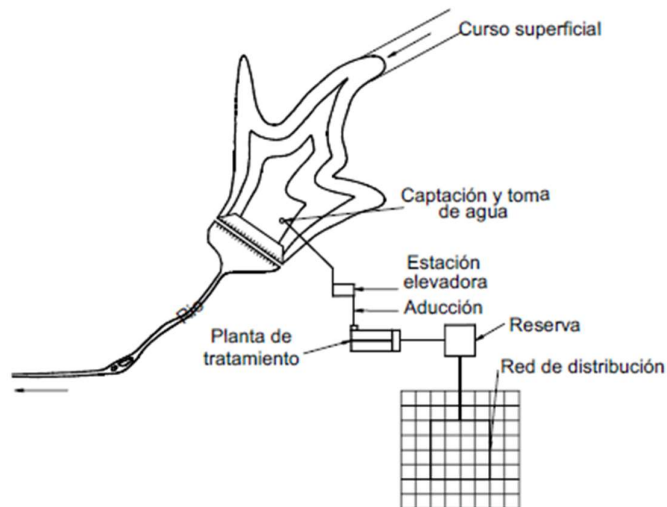


Figura Nº 6: ESQUEMA DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN

Una planta de potabilización es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas (Vargas, 2004).

La potabilización del agua reviste una serie de objetivos entre los que tiene:

- a) Eliminación de gérmenes productores de enfermedades.
- b) Eliminación de olores y sabores desagradables.
- c) Eliminación de color y turbiedad.
- d) Disminución o eliminación de contenidos de elementos químicos indeseables (YUNES, 2006).

El tratamiento que debe realizarse para llevar a cabo la potabilización del agua debe asegurar que los procesos adoptados sean compatibles con las características del agua de la fuente seleccionada y con el grado de desarrollo socioeconómico existente en la localidad en estudio, con el objetivo de contar con proyectos de una tecnología adecuada a la capacidad de los recursos locales que permitan construirlos, operarlos y mantenerlos correctamente.

El sistema de potabilización tiene una directa relación con la calidad del agua cruda y los requisitos a cumplir para la calidad del agua, en cuanto a sus aspectos físicos, químicos y microbiológicos, incluyendo la eventual variabilidad estacional, de acuerdo a las condiciones locales o regionales.

5.1 TIPOS DE TRATAMIENTO

Una de las formas de clasificar los tipos de tratamientos de potabilización puede establecerse según el tipo de agua cruda captada: superficial, subálvea, subterránea o meteórica.

En el análisis de la influencia de la turbiedad en el proceso de potabilización quedan excluidas las fuentes subterráneas, subálveas y meteóricas. Esto es debido a que en su génesis, las aguas subterráneas y subálveas percolan a través de los estratos de la corteza terrestre, atravesando capas de grava, arena y arcilla hasta alcanzar los acuíferos, produciéndose un filtrado natural que reduce los sedimentos y material coloidal presentes en el agua. En el caso de las aguas meteóricas, como fuentes de abastecimiento, el transporte de material en suspensión es despreciable.

5.2 TRATAMIENTOS PARA AGUAS SUPERFICIALES

En el caso de aguas superficiales, usualmente el tratamiento debe enfocar prioritariamente los aspectos físicos tales como turbiedad, color, sabor y olor y a garantizar la eliminación de agentes patógenos microbianos hasta el lugar de consumo.

La clasificación de las tecnologías de tratamiento para las aguas superficiales se realiza en función del tipo de filtración: rápida o lenta.

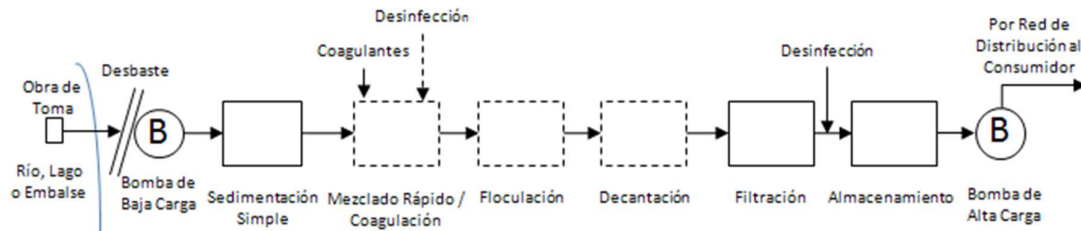


Figura N° 7: ESQUEMA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO QUE UTILIZA UNA FUENTE SUPERFICIAL

5.3 PRETRATAMIENTOS

En muchos casos los procesos de potabilización de aguas de origen superficial requieren de unidades de pretratamiento para evitar obstrucciones y problemas que puedan complicar el funcionamiento previsto del sistema de potabilización seleccionado. Los pretratamientos más comunes se basan en la remoción por medios físicos y son:

5.3.1 DESBASTE

Para la remoción de elementos gruesos que pueda arrastrar el agua y que puedan afectar u obstruir los equipos y conducciones aguas abajo. Esto se consigue mediante la interposición de rejas.

5.3.2 DESARENADO

Tiene por objeto retirar del agua cruda la grava, arena y partículas relativamente finas, para evitar la sedimentación de las mismas en las conducciones, proteger los equipos y mejorar la eficiencia del sistema de potabilización. Normalmente remueve partículas discretas superiores a 0,2 mm (ENOHSA, 2001).

5.3.3 SEDIMENTACIÓN SIMPLE

Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta (Maldonado Yactayo, 2004).

El diseño de un sedimentador simple puede analizarse cuando los ensayos del agua cruda indiquen que se puede lograr una separación de partículas finas por medios físicos (sedimentación en un tiempo razonable con 1 a 3 horas de permanencia). Se puede implementar en situaciones de aguas con turbiedades altas, de hasta 500 UNT o picos estacionales que no puedan ser tratados directamente por filtración lenta. También si se comprueba que mediante su utilización se economiza coagulante y se optimiza el proceso de filtración rápida.

Tiene como desventaja el costo de inversión, debido a la envergadura de la obra civil necesaria.

Las unidades de sedimentación simple (sin coagulación) solo son eficientes para remover partículas discretas en suspensión de tamaño superior a los 0,05 mm, no sedimentan las partículas coloidales.

Conviene evaluar la conveniencia de su utilización como etapa previa a los procesos de coagulación, floculación filtrado y desinfección para reducir la turbiedad del agua cruda a

niveles compatibles con los proceso, especialmente en el caso de picos estacionales de turbiedad (ENOHSA, 2001)

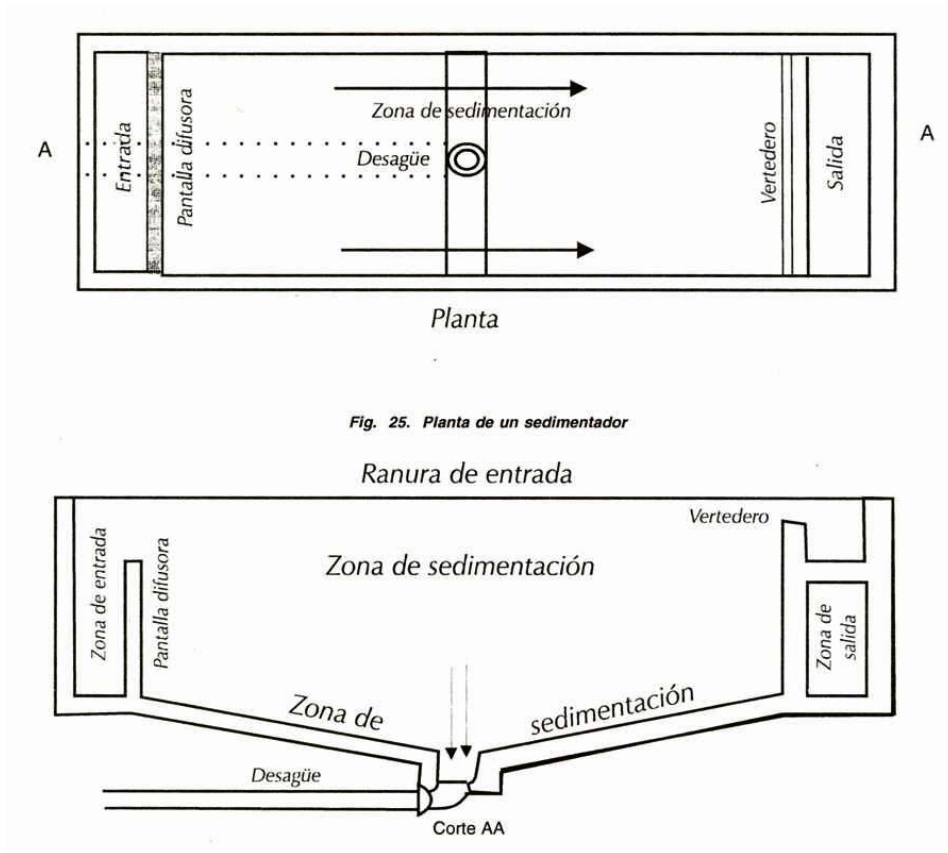


Fig. 25. Planta de un sedimentador

Figura Nº 8: ESQUEMA DE UN SEDIMENTADOR SIMPLE

5.4 COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

Se denomina coagulación - floculación al proceso por el cual las partículas coloidales se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc.

Este proceso se utiliza para:

- Remoción de turbiedad que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y color
- Eliminación de microorganismos susceptibles a ser separados por coagulación
- Destrucción de algas y plancton en general

El uso de cualquier otro proceso, como la sedimentación simple para la remoción de partículas muy finas, resulta antieconómico, si no imposible.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en este proceso:

La coagulación comienza en el mismo instante en el que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar los coágulos mayores o flocs (Arboleda Valencia, 2000).

Los coagulantes usuales incluyen sales de aluminio o de hierro. El coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. En aplicaciones específicas es común la adición de polielectrolitos y en menor grado sílice activada y bentonita, como auxiliares de coagulación (ENOHSA,2001).

El proceso de coagulación es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: pH, temperatura, color verdadero, turbiedad, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión.

La coagulación se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada cámara de *mezcla rápida*. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán los *flocs*; estos pueden ser removidos con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida.

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración (Barrenechea Martel, 2004).

La concentración y la naturaleza de las partículas que producen la turbiedad también tienen una notable influencia en el proceso de floculación. En todos los modelos matemáticos de floculación, la velocidad de formación de flóculos es proporcional a la concentración de partículas. Estos aspectos teóricos son generalmente confirmados en la práctica: por regla general, es más fácil flocular aguas con elevada turbiedad y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas. En tanto, las partículas de mayor tamaño, que podrían ser removidas en tanques de sedimentación simple, tales como arena fina acarreada durante

picos de elevada turbiedad, interfieren con la floculación porque inhiben o impiden el proceso. Por este motivo, si la turbiedad del agua cruda fuera igual o superior a 1000 UT, es indispensable la utilización de tanques de presedimentación (Vargas, 2004).

Al producirse una variación en la turbiedad de la fuente, debe ajustarse la dosis de coagulante a inyectar en el proceso de potabilización. En una primera instancia puede modificarse el caudal de dosificación del coagulante y de ser necesario puede dosificarse de forma paralela algún polielectrolito como ayudante de coagulación. La eficiencia del proceso de coagulación – floculación ante un pico de turbiedad dependerá en gran medida del control del proceso y de la capacidad de respuesta de la planta.

5.4.1 CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

El cuidadoso control del proceso de coagulación – floculación, debe constituir una de las principales preocupaciones en la operación de plantas de tratamiento (Arboleda Valencia, 2000).

Para que el proceso de coagulación funcione eficazmente, es preciso seleccionar la dosis de coagulante y valor de pH óptimos. La dosis y pH necesarios pueden determinarse mediante ensayos de coagulación a pequeña escala, con cantidades discretas de agua, que se conocen con frecuencia como “Ensayo de Jarras” o “Jartests”. Este ensayo consiste en añadir dosis incrementales de coagulante, alcalinizante y/o auxiliar de coagulación a muestras de agua bruta que se agitan y después se dejan reposar. Se selecciona como dosis óptima aquella que logra una reducción suficiente del color y la turbidez; el pH óptimo puede determinarse de forma similar. Estos ensayos deben realizarse con la frecuencia suficiente para adaptarse a los cambios de calidad del agua bruta y, por consiguiente, de la demanda de coagulante (OMS, 2006).

Equipos:

- Equipo para realizar Ensayo de Jarras con seis vasos, 20 a 100 r.p.m. (Ver Figura Nº 9).
- Seis jarras de 1 ó 2 litros.
- Pipetas de 2, 10, 25 e 100 ml.
- Solución de sulfato de aluminio.
- Suspensión de cal.
- Solución de polielectrolito.

- Equipos para la determinación de color, turbiedad, pH y alcalinidad.

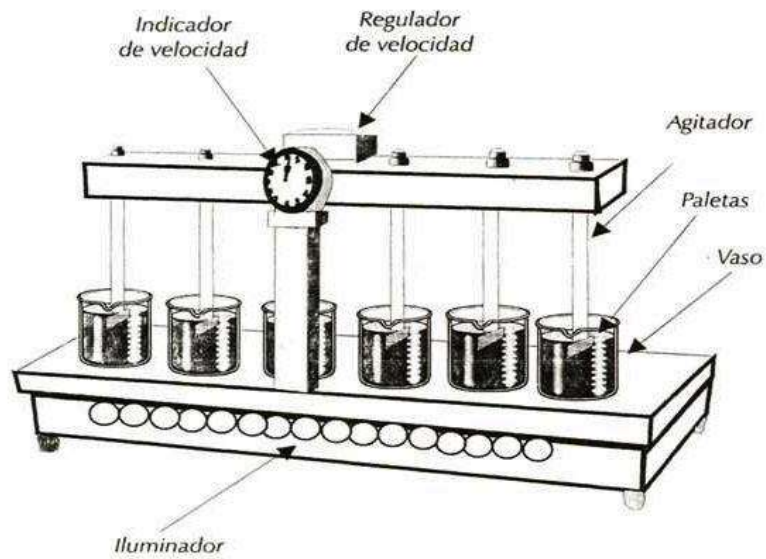


Figura Nº 9: ESQUEMA DE UN EQUIPO PARA REALIZAR ENSAYO DE JARRAS



Figura Nº 10: a) EJEMPLO DE UN ENSAYO DE JARRAS b) FASE DE FLOCULACIÓN CON DOSIS ÓPTIMA c) FASE DE DECANTACIÓN CON DOSIS ÓPTIMA. FUENTE: QUÍM. SILVANA QUIJANDRÍA CASANOVA.

Procedimiento:

- Determinar el color, turbiedad, pH y alcalinidad del agua cruda.
- Colocar 1 litro de la muestra en cada uno de las seis jarras (ó 2 litros, de acuerdo a su capacidad) y llevarlas al aparato de agitación.
- Dar al aparato la máxima velocidad (100r.p.m o más).
- Adicionar las dosis de cal (si es necesario) a todas las jarras y seguidamente las dosis de sulfato de aluminio (al mismo tiempo, si el aparato tuviese el aplicador simultáneo, o

lo más rápido posible). Posteriormente adicionar las dosis de polielectrolito (si es necesario).

- Luego de 1 min de agitación rápida, reducir la velocidad de rotación del aparato a 40-50 r.p.m. y mantener la agitación por 15-20 min. Si se conocen los gradientes de velocidad y los tiempos de floculación correspondiente, ajustar la velocidad de rotación del aparato a fin de obtener los gradientes deseados, durante los tiempos correspondientes.
- Observar y anotar el tiempo que transcurre hasta la aparición de los flóculos en cada una de las jarras y la apariencia, tamaño y cantidad de flóculos al final del período de agitación.
- Dejar decantar por 15-20 min y determinar el color, turbiedad, pH y alcalinidad del sobrenadante de agua decantada, utilizando una pipeta de 25 ml para retirar lentamente una muestra, sin agitar los flóculos.
- Si ninguna de las muestras tiene un resultado satisfactorio, por ejemplo color menor que 10 unidades o turbiedad menor que 5 UNT, realizar un nuevo test modificando las dosis de coagulante, hasta conseguir una coagulación satisfactoria.

Interpretación:

- La muestra que produce la mayor reducción de turbiedad y color corresponde a la dosis óptima de los productos químicos utilizados.

La Tabla N° 5, muestra los resultados típicos de un ensayo de floculación de agua con suficiente alcalinidad natural, de modo que la cal u otro alcalinizante equivalente no fueron necesarios.

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA									
Color: 30; Turbiedad: 65; pH: 6,9; Alcalinidad: 35.						Tiempo de duración de la: Mezcla rápida: 1 min Floculación: 15 min Decantación: 15 min			
Reactivos: Sulfato de aluminio									
NOTA: Jarras de dos litros									
Jarra N°	Cal		Coagulante		Resultado de la floculación	Agua decantada			Obs Alcalinidad
	mg/l	ml	mg/l	ml		Turb.	Color	pH	
1	0	0	10	2,0	Ninguna	39	35	6,8	30
2	0	0	12,5	2,5	Pobre	12	30	6,7	29
3	0	0	15,	3,0	Regular	7,5	30	6,5	27,5
4	0	0	17,5	3,5	Buena	3,8	5	6,4	26,3
5	0	0	20,0	4,0	Optima	1,8	2,5	6,3	25,4
6	0	0	22,5	4,5	Buena	2,5	2,5	6,2	23,8

Tabla N° 5: RESULTADOS TÍPICOS DE UN ENSAYO DE FLOCULACIÓN

Con los resultados obtenidos se trazan gráficos como el de la Figura N° 11. La interpretación de los mismos permite determinar parámetros de operación o de proyecto, tales como dosis óptimas de coagulante, influencia del pH y alcalinidad en la coagulación, remoción de turbiedad versus velocidad de sedimentación, etc.

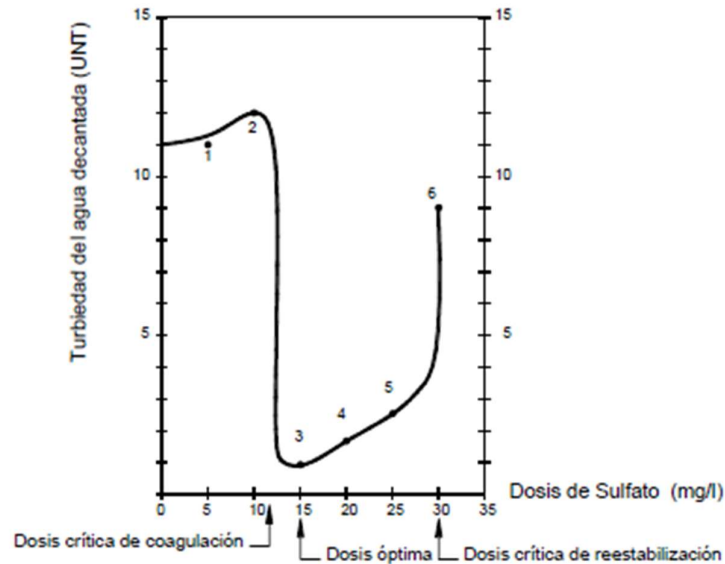


Figura N° 11: RESULTADO TÍPICO DE UN ENSAYO DE COAGULACIÓN CON AGUA DE BAJAALCALINIDAD

Este ensayo es más real cuando se conoce y se aplican en el aparato los mismos gradientes y tiempos de floculación de la planta de tratamiento, pudiéndose por este medio determinar la eficiencia de las unidades de mezcla rápida y floculación (ENOHSA, 2001).

5.5 DECANTACIÓN

Se denomina decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida (Maldonado Yactayo, 2004).

El depósito de los flocs se realiza en rectores denominados decantadores, los cuales pueden ser del tipo estáticos, dinámicos o laminares.

Los decantadores laminares pueden tratar caudales mayores en un área y estructura menor de la que requieren los decantadores convencionales estáticos y su eficiencia es superior. Comparándolos con las unidades dinámicas de manto de lodos, que también son de alta tasa, no requieren energía eléctrica para su operación. Por todas estas ventajas, los decantadores

laminares son considerados una tecnología apropiada para todo programa de mejoramiento de la calidad del agua que tenga como meta conseguir la mejor calidad al menor costo de producción (CEPIS, 2004).

Cada unidad está constituida por las siguientes zonas:

- Zona de entrada y distribución de agua
- Zona de sedimentación propiamente dicha
- Zona de salida o recolección de agua
- Zona de depósito de lodos.

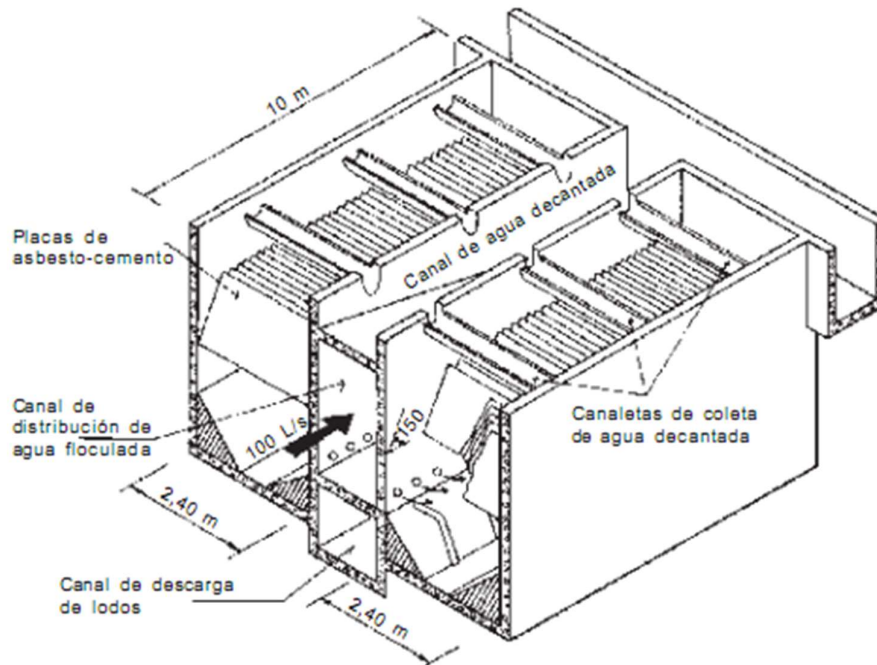


Figura Nº 12: ESQUEMA DE UN DECANTADOR DE PLACAS PARALELAS

La turbiedad y el color son dos de las características de las aguas que más influencia tienen en la eficiencia de un decantador.

El proyecto de cualquier unidad de una planta de tratamiento requiere conocer los parámetros que influyen en su desempeño. En el caso de los decantadores es imprescindible conocer el porcentaje de remoción de flóculos en función de la velocidad de sedimentación para aguas de diferentes calidades, afluentes a la planta de potabilización.

Independientemente de la calidad del agua cruda, en zonas donde existen dos épocas distintas, de sequía y de lluvias, la turbiedad del agua decantada no debe superar 10 UNT, preferentemente menor que 5 UNT, para que los filtros funcionen satisfactoriamente produciendo agua filtrada con turbiedad menor que 1 UNT y con carreras de filtración de duración razonable (ENOHSA, 2001).

La forma más adecuada de medir la eficiencia de un decantador es un problema a resolver. Comúnmente se toma como la relación entre la concentración de partículas a la salida (T_{sal}) y la concentración de partículas a la entrada del decantador (T_0), (Arboleda Valencia, 2000) es decir:

$$Eficiencia = 1 - \frac{T_{sal}}{T_0} = 1 - \frac{Turbiedad\ de\ salida}{Turbiedad\ de\ entrada}$$

Los resultados de la evaluación de la planta de tratamiento de agua de Cuenca, Ecuador, demuestran que la eficiencia de un decantador laminar es directamente proporcional a la turbiedad y el color del agua cruda. Conservando constante la carga superficial (120 m³/m²·d), se obtuvieron eficiencias de 88,9% con turbiedades de agua cruda comprendidas entre 5 y 27 UNT; con turbiedades comprendidas entre 100 y 1.000 UNT, se obtuvieron eficiencias mayores de 99% y, con una turbiedad máxima de 1.500 UNT, se alcanzó una eficiencia de 99,9%.

La eficiencia remocional del color es menor. Se obtuvieron eficiencias de 67,7 y 78,7% para valores de color comprendidos entre 8 y 15 UC y 24 y 52 UC. (Maldonado Yactayo, 2004)

En Brasil en época de lluvias intensas es frecuente la existencia de agua cruda con turbiedad superior a 500 UNT, alcanzando muchas veces entre 1.000 y 2.000 UNT, haciendo ineficaces los decantadores y produciendo agua decantada con turbiedad relativamente alta, exigiendo la reducción del caudal afluente a la planta de tratamiento (ENOHSA, 2001).

5.6 FILTRACIÓN LENTA

La filtración consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión y del medio poroso.

Los filtros lentos operan con tasas que normalmente varían entre 0,10 y 0,30 m/h; esto es, con tasas alrededor de 100 veces menores que las tasas promedio empleadas en los filtros rápidos; de allí el nombre que tienen.

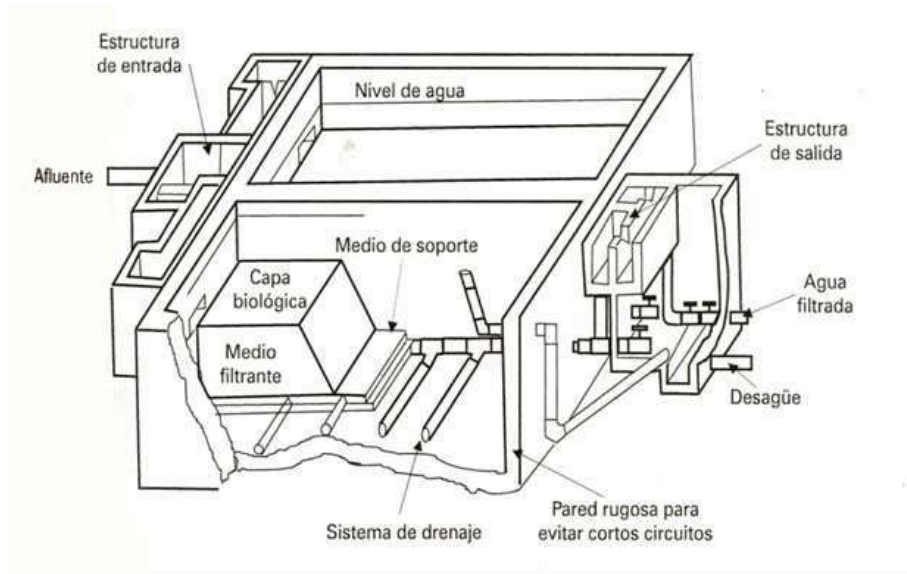


Figura N° 13: ESQUEMA DE UN FILTRO LENTO

Una planta de filtración lenta puede estar constituida solo por filtros lentos, pero dependiendo de la calidad del agua, puede comprender los procesos de desarenado, presedimentación, sedimentación, filtración gruesa o filtración en grava y filtración lenta.

Los procesos previos al filtro lento tienen la función de acondicionar la calidad del agua cruda a los límites aceptables por el filtro lento. Con los procesos previos indicados se pueden remover hasta 500 UNT, teniendo en cuenta que el contenido de material coloidal no debe ser mayor de 50 UNT; es decir, que la mayor parte de las partículas deben estar en suspensión para que sean removidas mediante métodos físicos (VARGAS, 2004).

La variabilidad estacional de la turbiedad del agua cruda puede hacer necesaria la previsión de un pretratamiento, constituido usualmente por un filtro grueso de grava y arena gruesa o, eventualmente por un presedimentador. No debe utilizarse la filtración lenta con dosificación de productos químicos.

La filtración lenta convencional sin pretratamiento, es aplicable para el caso de aguas superficiales cuando en el 80 % del tiempo el color aparente y la turbiedad no excedan respectivamente 20 UC y 20 UNT (ENOHSA, 2001).

El número de procesos que debe tener la planta con filtración lenta para diferentes rangos de turbiedad, color y contaminación microbiológica del agua cruda, según VARGAS (2004) se detallan a continuación:

Procesos	Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtro Lento	Turbiedad (UNT)	< 20	< 10	< 50
	Color verdadero (UC)	< 15	< 5	
	Concentración de DBO5 (mg/L)	250		
	NMP de coliformes	1,000		
	NMP de coliformes fecales/100 mL	500		
Filtro Lento + Prefiltro de grava	Turbiedad (UNT)	25		
	Color (UC)	15	< 5	< 25
	NMP de coliformes totales/100 mL	5,000		
	NMP de coliformes fecales/100 mL	1,000		
Filtro Lento + Prefiltro de grava + Sedimentador	Concentración de algas (UPA/mL)	1,000		
	Turbiedad (UNT)	100	< 50	< 500
	Color (UC)	< 15	< 5	< 25
	NMP de coliformes totales/100 mL	10,000		
Filtro Lento + Prefiltro de grava + Sedimentador + Presedimentador	NMP de coliformes fecales/100 mL	3,000		
	Concentración de algas (UPA/mL)	1,000		
	Turbiedad (UNT)	100	< 50	< 1.000
	Color (UC)	< 15	< 5	< 25
Filtro Lento + Prefiltro de grava + Sedimentador + Presedimentador	NMP de coliformes totales/100 mL	10,000		
	NMP de coliformes fecales/100 mL	3,000		
	Concentración de algas (UPA/mL)	1,000		

Tabla N° 6: LÍMITES DE CALIDAD DEL AGUA PARA TRATAMIENTO MEDIANTE FILTRACIÓN LENTA (VARGAS, 2004).

El Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (2001) sintetiza las distintas alternativas disponibles para un proceso de potabilización mediante filtración lenta, en función de las características del agua cruda:

Parámetros básicos del agua cruda	Valores máximos para tecnologías sin coagulación química				
	Filtración lenta solamente	Filtración lenta con mantas sintéticas	Filtración gruesa + filtración lenta	Filtración gruesa + filtración lenta con mantas sintéticas	Filtración dinámica de grava + filtración gruesa + filtración lenta con mantas sintéticas
	FL solamente	FL con MS	FG + FL	FG + FL con MS	FD + FG + FL con MS
Turbiedad (UT)	10	10	25	50	100
Color verdadero (ua)	5	5	5	5	10
DBO ₅ (mg/L)	5	5	10	10	10
Coliformes totales (NMP/100 ml)	1.000	2.000	5.000	10.000	20.000
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	500	500	1.000	3.000	5.000
Densidad algal (UPA/ml)	250	250	1.000	1.000	2.000
Oxígeno disuelto (mg/L)	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4	≥ 4
Hierro total (mg/L)	1	3	3	3	3
Manganeso (mg/L)	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5
Sustancia potencialmente perjudicada a la salud pública	Corresponden a valores máximos establecidos en Normas de Potabilización				

Tabla N° 7: DISTINTAS ALTERNATIVAS PARA UN PROCESO DE POTABILIZACIÓN MEDIANTE FILTRACIÓN LENTA (ENOHSA, 2001).

Solsona (2003) resume las alternativas de pretratamiento en función de las variaciones de calidad de la fuente, para la instalación de un filtro lento de arena. Estas alternativas consideran solo los procesos que se desarrollan en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química.

ALTERNATIVAS	Límites de calidad del agua cruda aceptables		
	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtro lento de arena (FLA) solamente	To ≤ 50 UNT Co ≤ 50 UC Cf ≤ (10) ⁴ /100 ml	To ≤ 20 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 100 UNT
FLA + prefiltro de grava (PG)	To ≤ 100 UNT Co ≤ 60 UC Cf ≤ (10) ⁴ /100 ml	To ≤ 60 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 150 UNT
FLA + PG + sedimentador (S)	To ≤ 300 UNT Co ≤ 60 UC Cf ≤ (10) ⁴ /100 ml	To ≤ 200 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 500 UNT
FLA + PG + S + presedimentador	To ≤ 500 UNT Co ≤ 60 UC Cf ≤ (10) ⁴ /100 ml	To ≤ 200 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 1000 UNT

Co = Color del agua cruda To = Turbiedad del agua cruda
Cf = Coliformes fecales UC = Unidades de color cloro platinado de cobalto
UNT = Unidades nefelométricas de turbiedad

Tabla N° 8: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PROCESOS EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE LA FUENTE (SOLSONA, 2003).

En los casos de alta turbiedad, la capacidad de los filtros lentos para reducirla es limitada. Ello se debe a que una alta turbiedad causa enlodamiento de la superficie del filtro, disminuye la capacidad de formación de la capa biológica y reduce drásticamente la duración de la carrera de filtración, lo cual además de afectar la calidad del agua producida, incrementa los costos de operación y mantenimiento (Solsona, 2003).

5.7 FILTRACIÓN RÁPIDA

Una planta de filtración rápida completa normalmente está integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección.

Estas plantas se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/m².d, de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones.

Como consecuencia de las altas velocidades con las que operan estos filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. En esta situación, se aplica el retrolavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos (dependiendo del tipo de sistema de lavado) para descolmatar el medio filtrante devolviéndole su porosidad inicial y reanudar la operación de la unidad (Vargas, 2004).

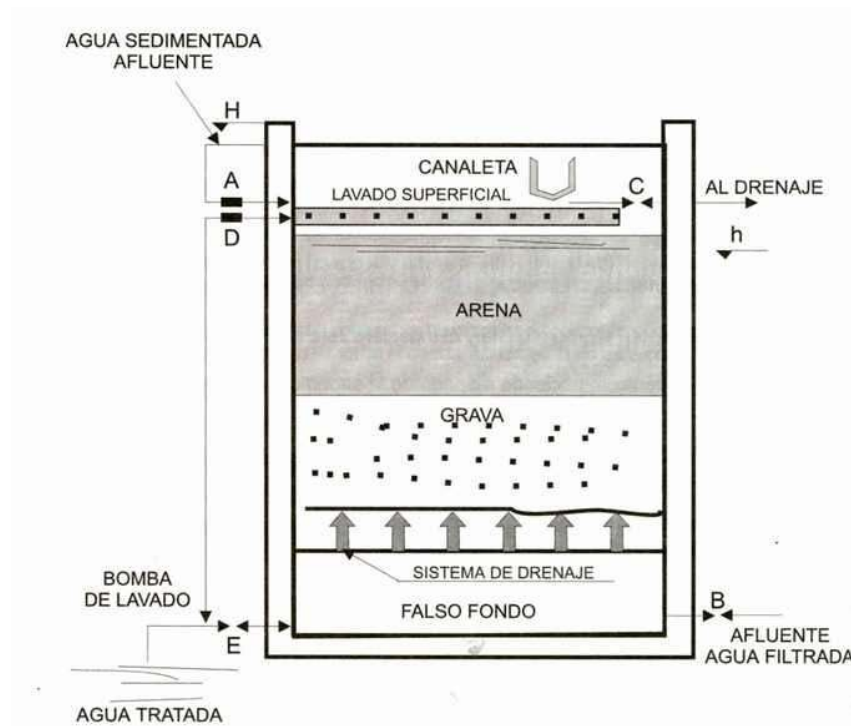


Figura Nº 14: ESQUEMA DE UN FILTRO RÁPIDO

Durante el proceso de filtrado, los granos del medio filtrante retienen material hasta obstruir el paso del flujo, lo que obliga a limpiarlos periódicamente. El período entre dos limpiezas sucesivas, o sea el lapso de tiempo que tarda en ensuciarse, es lo que se conoce como carrera de un filtro.

La finalización de una carrera se produce por dos motivos, que pueden ocurrir en el mismo o en diferentes instantes:

- Cuando se sobrepasa el valor límite estipulado de turbiedad (generalmente 1UNT) para el agua filtrada, instante que se produce cuando hay aumento brusco y continuo de la turbiedad por colmatación del lecho filtrante provocando una disminución rápida de la calidad del agua filtrada.
- Cuando la carga hidráulica disponible se ha agotado, o sea cuando la pérdida de carga ha alcanzado el valor límite (ENOHSA, 2001).

Generalmente se toma la turbiedad como el parámetro básico para evaluar la eficiencia del proceso de filtración. Esta se puede medir tanto en el afluente como en el efluente del filtro de forma constante (con el uso de monitores), o tomando muestras a intervalos regulares.

Cuando ocurren eventos que producen altos valores de turbiedad en el afluente, la carrera del filtro se acorta y, consecuentemente aumenta la frecuencia de lavado de filtros.

También pueden producirse cambios extremadamente bruscos en la calidad del agua, relacionada a la presencia de material en suspensión, que obliguen directamente a realizar una parada de los filtros, y por ende detener el funcionamiento de la planta.

Existe la posibilidad de seleccionar diversas tecnologías de tratamiento en función de las características del agua cruda, de su variabilidad a lo largo del año y de la capacidad técnica del personal a cargo de la operación de la planta, que pueden sintetizarse de la siguiente manera:

Parámetros del agua cruda	Frecuencia del periodo en un año %	Tecnología de Tratamiento con Filtración Rápida				
		Convencional (coagulación, floculación, sedimentación y filtración rápida descendente)	Directa descendente	Directa ascendente	Directa ascendente – descendente con manto de:	
					Arena gruesa	Grava
Turbiedad T (UT)	80	≤ 800	-	-	-	-
	90	≤ 1000	-	≤ 25	≤ 50	≤ 100
	95	-	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200
	100	≤ 1500 (a)	≤ 100 (d)	≤ 100	≤ 200	≤ 250
Color C (UT)	80	≤ 70	-	-	-	-
	90	≤ 150	-	≤ 20	≤ 50	≤ 100
	95	-	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200
	100	-	≤ 50 (e)	≤ 100	≤ 200	≤ 250
Coliformes (NMP/100 ml)	Totales (CT/100 ml)	95	≤ 3000	≤ 500	-	-
		100	≤ 3000	≤ 2500	≤ 5000	≤ 20000
	Fecales (CF/100 ml)	95	≤ 600 (b)	≤ 100	-	-
		100	≤ 600 (b)	≤ 500	≤ 1000	≤ 5000
Concentración de algas (UPA/ml)	90	(c)	≤ 500	-	-	
	100	(c)	≤ 1000	≤ 500	≤ 2500	

- (a) Para turbiedad T>1500, presedimentar (sedimentación natural) en embalses naturales: estanques lagunas, embalses, etc.
(b) Para coliformes fecales CF>600 NMP/100 ml se debe preclarar y para CF>10.000 NMP/100 ml se debe cambiar de fuente.
(c) Sin restricciones.
(d) Para el color verdadero inferior a d = UC : turbiedad T≤200 UT.
(e) Para turbiedad inferior a T = 5 UT : color verdadero C≤100 UC.

Tabla N° 9: TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO CON FILTRACIÓN RÁPIDA, DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS DEL AGUA CRUDA (ENOHSA, 2001)

Vargas (2004) resume los rangos de calidad del agua en los que puede considerarse la alternativa de tratamiento por filtros rápidos de la siguiente manera:

Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Turbiedad (UNT)	< 1.000	< 800	< 1.500; si excede, considerar presedimentación
Color (UC)	< 150	< 70	
NMP de coliformes termotolerantes/100 mL	< 600		Si excede de 600, se debe considerar predesinfección

Tabla N° 10: LÍMITES DE CALIDAD DEL AGUA PARA TRATAMIENTO MEDIANTE FILTRACIÓN RÁPIDA COMPLETA (VARGAS, 2004).

5.8 DESINFECCIÓN

La desinfección del agua es definida por la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud como el proceso mediante el cual se asegura la destrucción o inactivación de agentes patógenos y otros organismos indeseables presentes en el agua.

La OMS define que el objetivo de la desinfección del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente salubre, mediante la destrucción de los agentes patógenos,

manteniendo una barrera protectora contra los agentes patógenos que se introducen en el sistema de distribución, y suprimiendo el posible futuro crecimiento microbiológico en el sistema.

La desinfección es un proceso que siempre debe realizarse al agua destinada a consumo humano y que bajo ninguna circunstancia debe obviarse, independientemente de la calidad del agua cruda.

El proceso de desinfección, se emplea, como parte de una serie de tratamientos que constituyen una planta potabilizadora. Cuando las aguas naturales para consumo son de buena calidad, como las aguas subterráneas o las aguas de manantial, la desinfección se utiliza como único tratamiento.

Cuando el proceso de desinfección forma parte de una serie compleja de unidades de tratamiento, su uso tiene, normalmente, como fin la:

- Reducción del contenido inicial de microorganismos presentes en el agua cruda (pre-desinfección). Este tratamiento se aplica solamente en determinados casos.
- Desinfección final, precedida de uno o más procesos de tratamiento (post-desinfección). Este es su uso más importante.

En general, las aguas a ser desinfectadas deben estar libres de partículas coloidales causantes de turbiedad y color que puedan interferir con la acción del agente desinfectante. Así la desinfección alcanza su máxima eficiencia con las aguas claras. Por lo tanto es importante optimizar los procesos previos de clarificación del agua de modo de lograr una eficiente remoción de la turbiedad y del color de la misma (ENOHSA, 2001).

Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de desinfectante. En muchos casos no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales, aglomerados o absorbidos por partículas (Marcó, 2004).

En una planta con tratamiento completo, la etapa anterior a la desinfección es la filtración rápida. El agua proveniente de los filtros debe estar en sus mejores condiciones, ya que una baja turbiedad coadyuvará a una más eficiente desinfección (CEPIS, 2004).

La turbidez debe ser baja para que la desinfección sea eficaz, por lo que la turbidez superior a 5 UNT, no debe sobrepasar ninguna muestra (OMS, 2011).

A continuación se describe la influencia de la turbiedad en los principales métodos de desinfección.

5.8.1 CLORACIÓN

La cloración, es decir la adición de cloro o un compuesto de cloro al agua, es el método de desinfección más antiguo y de mayor uso en el mundo. Cuando es correctamente operado, el proceso de cloración es un método seguro, práctico y efectivo para destruir los organismos patógenos (Solsona, 2003).

Si bien en los comienzos de la cloración se la aplicaba como última etapa en el proceso de potabilización, actualmente el cloro se utiliza en distintas etapas del tratamiento y aún en los sistemas de distribución.

Progresivamente se van utilizando, cada vez más, esquemas de cloración múltiple. Con frecuencia, estas prácticas sirven, también, para optimizar la eficiencia de muchos de los procesos de tratamiento del agua. El/los punto/s en el/los cual/es se agrega el cloro, depende/n de los fines para los cuales se utiliza la cloración, y de aspectos técnico, práctico, de seguridad, económico, etc.

Según el punto de aplicación del cloro, la práctica se denominará cloración simple, pre-cloración, post-cloración o cloración final, y recloración.

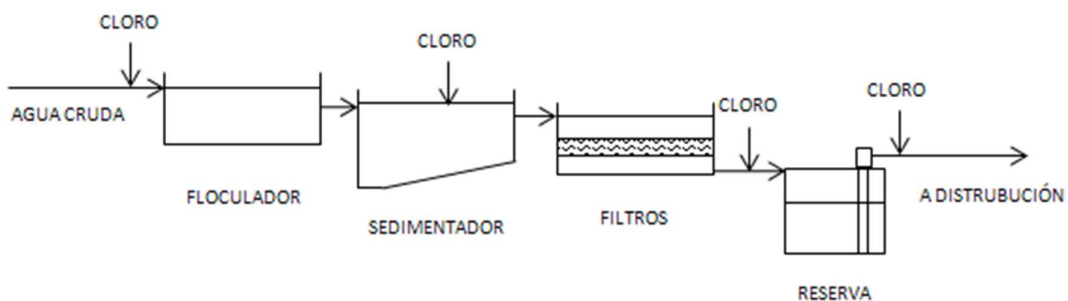


Figura Nº 15: PUNTOS TÍPICOS DE APLICACIÓN DE CLORO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO CONVECCIONALES (CON FILTROS RÁPIDOS)

El agua turbia debe clarificarse siempre que sea posible para que su desinfección sea eficaz. Las concentraciones objetivo mínimas de cloro en el lugar de suministro son de 0,2 mg/l en circunstancias normales y de 0,5 mg/l en circunstancias de riesgo alto (Barrenechea & Vargas, 2004).

El cloro se comporta como un desinfectante eficiente solo si entra en contacto con los organismos a eliminar. La turbidez interfiere con este contacto protegiendo a los patógenos. Por lo tanto, para que la cloración sea efectiva, la turbiedad debe ser reducida al máximo posible, mediante tratamientos como la coagulación, floculación y filtración (ENOHSA, 2001)

La turbiedad es un factor importante en la desinfección, ya que una excesiva turbiedad reducirá la efectividad por absorción del cloro y, por otro lado, protegería a las bacterias y virus de su efecto oxidante. Por este motivo, la OMS recomienda una turbiedad menor de 5 UNT, siendo lo ideal menos de 1 UNT.

5.8.2 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta es un método práctico que puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas que cuenten con los recursos técnicos y económicos necesarios para su implementación.

La gran ventaja de esta tecnología es que no produce la aparición de subproductos de la desinfección lo cual se contrabalancea con su notoria desventaja: la radiación UV no otorga ningún residual al agua tratada para hacer frente a eventuales futuras contaminaciones en las redes de distribución o en las viviendas. Por ello, es necesaria la adición de una dosis de otro desinfectante con poder residual (por ejemplo cloro) que proteja la calidad microbiológica del agua en la red de distribución.

A pesar de esto último, la desinfección con radiación ultravioleta se ha venido utilizando ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeños establecimientos, como hospitales, industrias de alimentos y bebidas y hoteles.

La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. En el agua para consumo humano, la concentración de los sólidos en suspensión es generalmente inferior a 10 partes por millón, nivel al que empieza a experimentar problemas con la absorción de la luz ultravioleta. La turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de 5 UNT (Solsona, 2003).

5.8.3 OZONIZACIÓN

El mecanismo de desinfección en la ozonización se basa en el alto poder del ozono como oxidante protoplasmático general. Esta condición convierte al ozono en un eficiente destructor de bacterias y la evidencia sugiere que es igual de efectivo para atacar virus, esporas y quistes resistentes de bacterias y hongos.

Las dosis necesarias para desinfectar el agua varían según la calidad de la misma de la siguiente manera:

- Para aguas superficiales de buena calidad bacteriológica, luego de la filtración, se requieren de 2 a 3 mg/L de ozono.
- Para aguas superficiales contaminadas, luego de la filtración, se debe aplicar entre 2,5 y 5 mg/L de ozono.

Se considera que el ozono es el desinfectante de mayor eficiencia microbicida y requiere tiempos de contacto bastante cortos. Se ha demostrado que cuando el ozono es transferido al agua mediante un mezclador en línea sin movimiento, las bacterias son destruidas en dos segundos. Por ello, el tiempo de contacto en la ozonización no tiene mayor importancia.

Debido a su gran poder oxidante, su uso puede ser recomendable como pre-desinfección del agua, permitiendo además un ahorro en coagulantes y tiempos de retención.

Experimentalmente, se ha demostrado que se requiere menos cantidad de ozono que de cloro en procesos similares de tratamiento y no imparte al agua color, olor ni sabor (Barrenechea & Vargas, 2004).

La desventaja más importante del ozono como desinfectante del agua radica en que no tiene poder residual, lo que hace necesaria la posterior utilización de otro desinfectante que cuente con poder residual (generalmente cloro), que asegure la calidad del agua hasta que llegue al consumidor (Solsona, 2003).

Al igual que con otros desinfectantes, la eficacia del ozono depende de su contacto con los microorganismos, por lo que debe evitarse que estos se agrupen y protejan. Es por esto que la eficiencia de la desinfección con ozono disminuye con el aumento de la turbiedad del agua.

De lo desarrollado hasta aquí, varios autores coinciden en las diferentes combinaciones de los procesos de potabilización, a fin de lograr la clarificación del agua de la manera más adecuada.

En la Tabla N° 11 se puede ver como ejemplo, la metodología adoptada por el CEPIS, con la que coinciden la OPS y el ENOHSA, para seleccionar procesos de tratamiento de agua. Allí se pueden apreciar las diferentes soluciones tecnológicas para clarificar aguas, considerando dos parámetros, turbiedad y contenido de partículas, así como también el grado de desarrollo de la comunidad. Se supone que el agua cruda cumple con los límites permisibles para el resto de las características físico-químicas y bacteriológicas, caso contrario, se debe considerar adicionalmente los procesos unitarios correctivos. Para ello, se ha considerado turbiedad originada principalmente por partículas en suspensión con un tamaño mayor a una micra, para seleccionar los procesos de componentes de plantas de filtración lenta.

Clasificación de la comunidad	Capacidad de operación	Desarrollo Industrial	Turbiedad UN (Normal - Media - Máxima) y Tamaño de Partícula > 10 Micrones					
			5 - 10 - 20	30 - 50 - 100	100 - 150 - 250	250 - 750 - 1200	250 - 750 - 1500	10,000
URBANA	Sin capacidad	Sin posibilidad de prefabricación	Filtración Lenta	Filtración lenta	Sedimentación preliminar y filtración lenta	Filtración gruesa de grava + sedimentación preliminar y filtración lenta	Sedimentación estanques naturales + sedimentación preliminar y filtración lenta	Uso de otras fuentes
	Con capacidad	Sin posibilidad de prefabricación	Filtración directa descendente	Filtración directa ascendente	Filtración directa ascendente - descendente	Filtración rápida	Filtración rápida con o sin sedimentación en estanques naturales	Filtración rápida + sedimentación en estanques naturales
		Con posibilidad de prefabricación	Filtración directa descendente	Filtración directa ascendente	Filtración directa ascendente - descendente	Filtración rápida	Filtración rápida con o sin sedimentación en estanques naturales	Filtración rápida + sedimentación en estanques naturales
RURAL	Sin capacidad	Sin posibilidad de prefabricación	Desinfección	Filtración Lenta	Filtración gruesa de grava y filtración lenta	Sedimentación preliminar + Filtración gruesa de grava y filtración lenta	Sedimentación en estanques naturales + sedimentación preliminar + filtración gruesa de grava y filtración lenta	Uso de otras fuentes

Fuente: Programa Regional HPE / OPS / CEPIS de Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano - Manual II

Tabla N° 11: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA

Aguas crudas con turbiedades originadas por partículas en estado coloidal requieren indefectiblemente procesos correctivos en plantas de filtración rápida, con la inyección de coagulantes.

Ahora, desde el punto de vista del consumidor/usuario de agua potable, la variación de la turbiedad del agua se torna un aspecto muy relevante. Es así que el consumidor, durante una variación brusca de la turbiedad de la fuente, pueda percibir el agua como sucia o con olor y/o gusto a cloro, aunque estas características no tengan, en sí mismas, ninguna consecuencia directa para la salud.

Esta situación de variación en las características organolépticas generará quejas en los consumidores, disminuirá la confianza en el sistema de suministro de agua potable y puede llegar a conducir al consumo de agua de fuentes menos seguras.

Otro aspecto a considerar durante las variaciones bruscas de turbiedad de la fuente, es la posibilidad de que la capacidad de tratamiento de la planta se vea sobrepasada y necesariamente deba reducir y/o suspender la operación. Desde ese instante, la cantidad de agua potable disponible disminuirá, pudiendo llegar a producirse el desabastecimiento de agua por unas horas, quedando la población expuesta a una situación de riesgo sanitario.

La respuesta a estas variaciones en la calidad del agua de la fuente no involucra solamente alternativas técnico operativas en la planta de potabilización, sino que las respuestas deben encontrarse desde la gestión integral del agua con sus múltiples actores, fomentando la participación comunitaria que tienda a lograr un uso racional del agua.

6 GESTION INTEGRAL DEL AGUA

Las formas de gestión del agua pueden clasificarse en dos grupos: la línea dura y la línea blanda. La primera obedece a políticas basadas en el manejo de la oferta que se corresponde con el enfoque tradicional, predominante y restringido que ha conducido a la crisis del agua. Mientras que la línea blanda se basa en el manejo de la demanda y responde mucho mejor a los principios rectores de la “nueva cultura” del agua y a su gestión integrada.

Línea Dura - Manejo de la oferta

Esta aproximación al manejo del agua es la más extendida y se basa en aumentar la oferta de agua y hacerla más estable en el tiempo y en el espacio, mediante la construcción de obras de infraestructura, tales como embalses de regulación, canales de conducción, túneles, trasvase de caudales y en general de todas las obras que permiten contar con una oferta mayor y más estable de agua a lo largo del año, o una disponibilidad en zonas que presentan déficit.

En esta línea no se considera el tema de la producción natural del agua mediante la conservación y restauración de los ecosistemas productores y protectores, es decir que no considera el ciclo hidrológico de manera integral. Su planificación y gestión del recurso se centran en la programación, construcción y operación de obras civiles y el empleo de instrumentos administrativos del tipo concesiones y permisos de vertido. Además en ella la participación de los usuarios en la planificación y gestión del recurso es prácticamente nula.

Línea Blanda - Manejo de la demanda

Esta aproximación a la comprensión del agua y a su gestión se basa en la búsqueda de la sostenibilidad de la disponibilidad a partir de la racionalización de los usos y el consumo y se caracteriza por tener impactos ambientales menores que los que implica la Línea Dura. Su objetivo fundamental es la conservación de la oferta de agua y su uso más eficiente, dando consideración integral al ciclo hidrológico y con base en cambios de actitudes y comportamientos de los usuarios con respecto a la valoración del agua como un recurso finito y la consecuente limitación de su disponibilidad y el desarrollo y empleo de tecnologías más eficientes.

La generación de nuevos y más racionales comportamientos de la sociedad con respecto al agua para lograr cambios en sus patrones de consumo y un manejo sostenible, implica la revalorización simbólica y cultural del agua y la utilización conjunta de instrumentos de diverso tipo como la educación ambiental, los instrumentos económicos como tasas retributivas y compensatorias, la aplicación de instrumentos administrativos como los mercados regulados

de permisos de agua en zonas o períodos deficitarios y el manejo concertado y participativo con los usuarios de la asignación de derechos de agua y demás interesados en la administración y el uso del recurso.

La comunidad internacional preocupada por la crisis planetaria del agua, ha concluido que es necesario cambiar la tradicional y limitada relación entre ésta y la sociedad, para generar una nueva cultura del agua, que tenga un enfoque integral y actúe sobre la demanda, es decir que aplique la llamada Línea Blanda para gestionar el recurso, y que busque la sostenibilidad (GUHL, 2008).

Según el Programa para el Desarrollo de Naciones Unidas (UNDP) la gestión integrada de recursos hídricos es un proceso sistemático para el desarrollo, asignación y monitoreo de los usos del agua, de acuerdo con objetivos sociales, económicos y ambientales que buscan el desarrollo sostenible.

Desde el punto de vista de la unidad espacial de planeación, se ha adoptado por amplio consenso de que debe realizarse a nivel de cuenca, ya que surge con claridad como la unidad lógica para planificar y ejecutar la gestión integrada del recurso.

Para que la gestión sea sustentable se requiere una estrategia a largo plazo que no sólo proteja los aspectos de calidad y cantidad sino que se preocupe por una distribución justa y equitativa del recurso. El conocimiento de los diferentes significados del agua, de sus distintos valores sociales y de los múltiples y, en muchas ocasiones, contradictorios usos sociales es también una exigencia para una correcta gestión del agua (Aledo et al, 2006).

Tal como lo expresa la Asociación Mundial del Agua (GWP, 2000) la gestión integral del agua es un reto para las prácticas convencionales, actitudes y certezas profesionales, que confronta los arraigados intereses sectoriales y requiere que el recurso hídrico sea gestionado de manera holística para el beneficio de todos.

Es fundamental destacar que la forma en que se implemente la gestión integral del agua en los diversos casos, debe basarse en las particularidades biogeográficas, socioeconómicas y culturales del territorio donde se propone aplicar y las de la población que lo habita. Para lograrlo, son indispensables el conocimiento en todas sus formas y la participación en la planificación y en la gestión del recurso por parte de los actores interesados (GUHL, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

7 ESTUDIO DE CASO

El lugar elegido para el estudio de caso es la localidad de Chos Malal. Esta se encuentra ubicada sobre la Ruta Nacional Nº 40, en la Zona Norte de la Provincia de Neuquén; República Argentina, a una latitud de 37° 22' 44" Sur y longitud 70° 16' 23" Oeste.

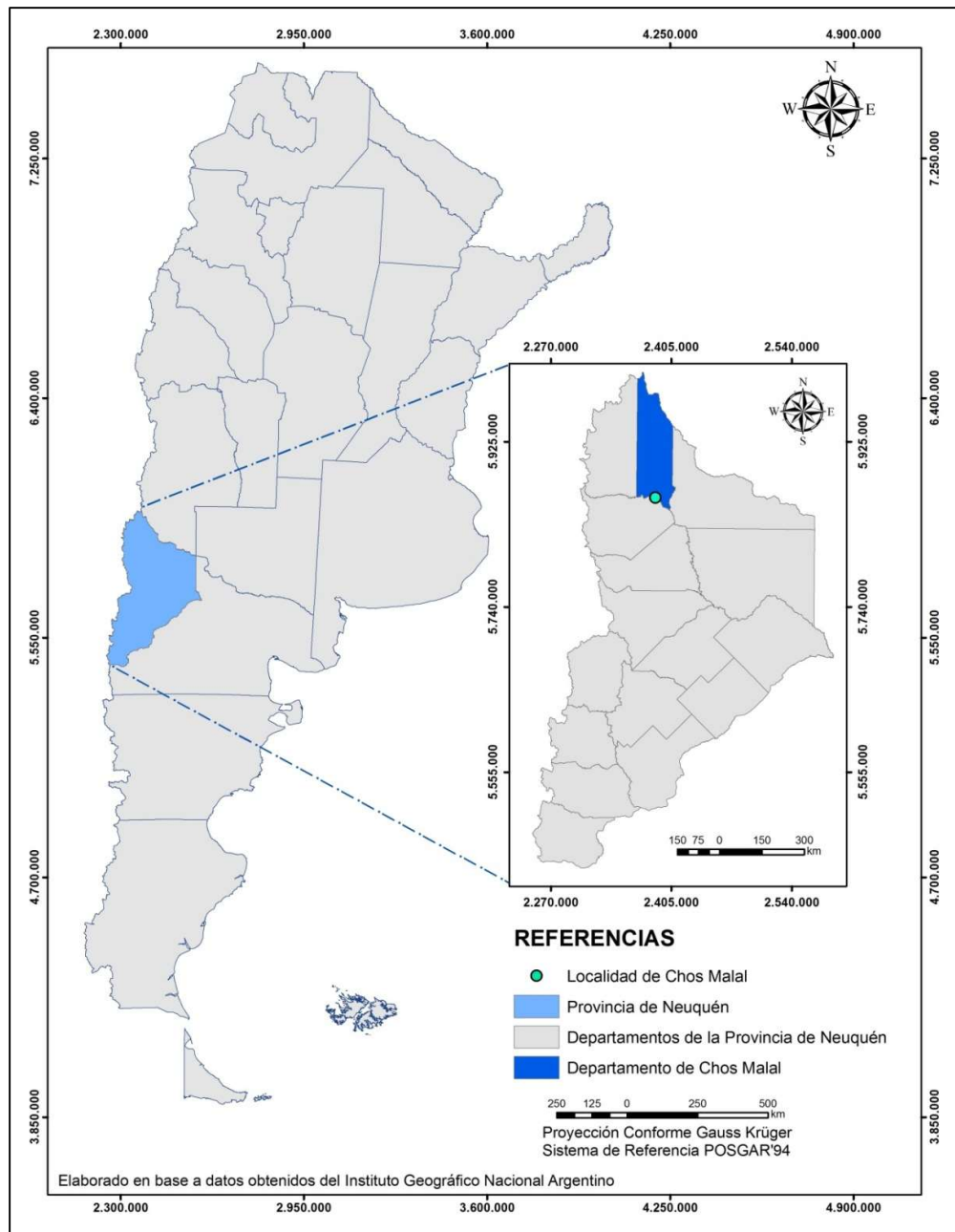


Figura Nº 16: MAPA DE UBICACIÓN DE LA LOCALIDAD DE CHOS MALAL.

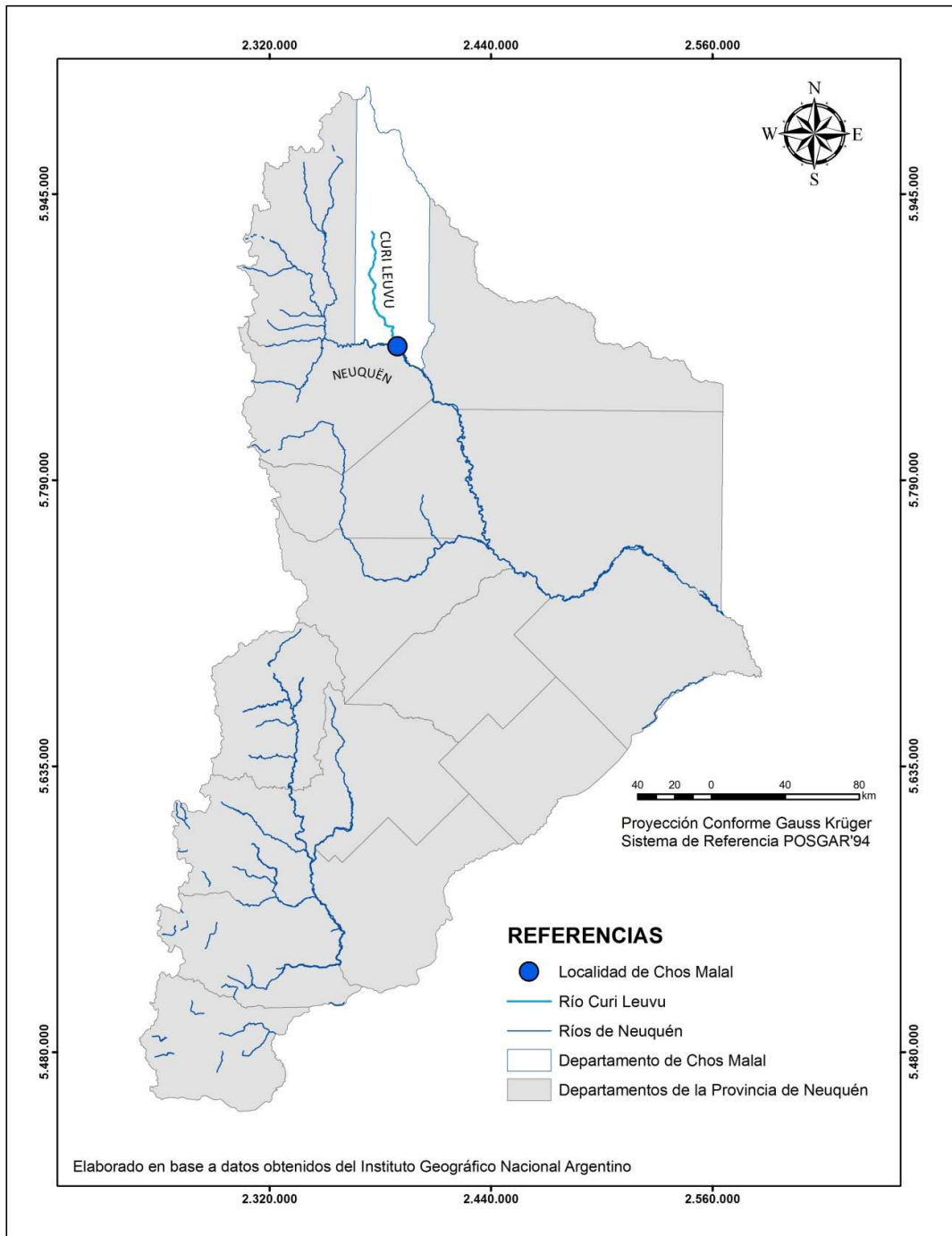


Figura N° 17: MAPA DE UBICACIÓN DEL RÍO CURILEUVU

La localidad de Chos Malal se seleccionó para el estudio de caso debido a que posee un tamaño demográfico entre 2000 y 19999 habitantes lo que la incluye como una localidad urbana menor, según la CEPAL (2012) o como una pequeña comunidad, urbana (CFI, 2006).

Como localidad cabecera de su departamento, Chos Malal cuenta con una planta modelo en comparación con el resto de las plantas de potabilización del norte neuquino. Esto se debe no solo a su infraestructura, sino también al desarrollo técnico del personal, a la disponibilidad de insumos y recursos y al sistema de seguimiento y vigilancia implementado sobre el sistema de abastecimiento de agua potable.

Con respecto a la planta potabilizadora, esta es del tipo convencional con filtros rápidos. El Ente que opera el servicio lleva un detallado registro anual de operaciones.

Otro aspecto, considerado es que la fuente de abastecimiento de agua es del tipo superficial y presenta una gran variabilidad de turbiedad, con valores mínimos menores a 10 UNT y valores extraordinarios mayores a 10.000 UNT.

7.1 OFERTA DE AGUA

7.1.1 FUENTE DE ABASTECIMIENTO

La fuente de abastecimiento de agua para la localidad de Chos Malal es el Río Curi Leuvú. Este constituye el drenaje natural de las laderas orientales de la Cordillera del Viento, entre las latitudes 36° 58' Sur y 37° 27' Sur aproximadamente, desembocando en el Río Neuquén muy cerca de la ciudad.

Según EPAS Chos Malal, el régimen hidrológico natural, de rasgo pluvio-aluvional, se caracteriza por poseer dos épocas de crecida. La primera de ellas ocurre en el período invernal cuando se produce del 80 al 90% del total de precipitaciones que anualmente se contabilizan en la cuenca. Una parte importante de ellas se acumulan en forma de nieve y la parte que precipita en la cuenca media y baja en forma de lluvia es la que produce la crecida invernal, caracterizada por tener un pico de gran magnitud respecto del volumen que transporta. La segunda onda de crecida es más moderada que la invernal y es habitual hacia fines de la primavera. Tiene como origen fundamental el deshielo de la nieve acumulada durante el invierno.

El estiaje del río Curi Leuvú habitualmente comienza en la época del otoño, hasta el comienzo de las crecidas invernales.



Figura Nº 18: RÍO CURI LEUVÚ DESDE PUNTO PANORÁMICO

7.1.2 PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

La oferta de agua potable disponible actualmente en la localidad de Chos Malal está dada por la producción que aporta la planta potabilizadora ubicada en la intersección de las calles San Martín y Sarmiento. El tratamiento que se realiza consiste en Coagulación/Floculación, Decantación, Filtración y Desinfección.

La planta recibe agua del río Curi Leuvú a través de dos tomas, canal norte (fuente principal de abastecimiento y de uso en condiciones normales de operación) y canal sur (toma de seguridad y de uso eventual).

Desde el Canal Norte mediante dos tuberías, una de PVC de 200 mm y otra de PVC de 250 mm se conduce por gravedad el agua cruda hasta la cámara de carga de las dos plantas potabilizadoras (planta grande y planta chica).

Ante un problema en el canal Norte se recurre a la toma de seguridad sobre el canal Sur donde la captación es a través de dos bombas flyght con capacidad de impulsión de 120 m³/h cada una. Estas bombas impulsan el agua cruda hasta la misma cámara.



Figura Nº 19: a) OBRA DE TOMA CANAL NORTE b) ELECTROBOMBAS SUMERGIBLES TOMA DE SEGURIDAD

En la cámara de carga de la Planta Potabilizadora, es donde se inicia el proceso de potabilización. Allí se adicionan sulfato de aluminio como coagulante y, según los resultados de ensayo de jarras, puede adicionarse un ayudante de coagulación.

La mezcla rápida de los agentes coagulantes se lleva a cabo en la canaleta parshall que a su vez cumple la función de medir el caudal de agua que está ingresando a la planta.

La desinfección también se realiza en la cámara de carga, para lo cual se utiliza una solución de hipoclorito de sodio que permite trabajar con agua desinfectada durante todo el proceso.

El agregado de ambas drogas se realiza mediante bombas dosificadoras ubicadas en la Casa Química, lugar donde se preparan las soluciones de sulfato de aluminio, polielectrolito e hipoclorito de sodio.

De la cámara de carga el agua pasa mediante la canaleta parshall a los 2 floculadores donde, mediante un agitador de paletas, el fluido es movido a bajas revoluciones facilitando la formación de los flóculos.

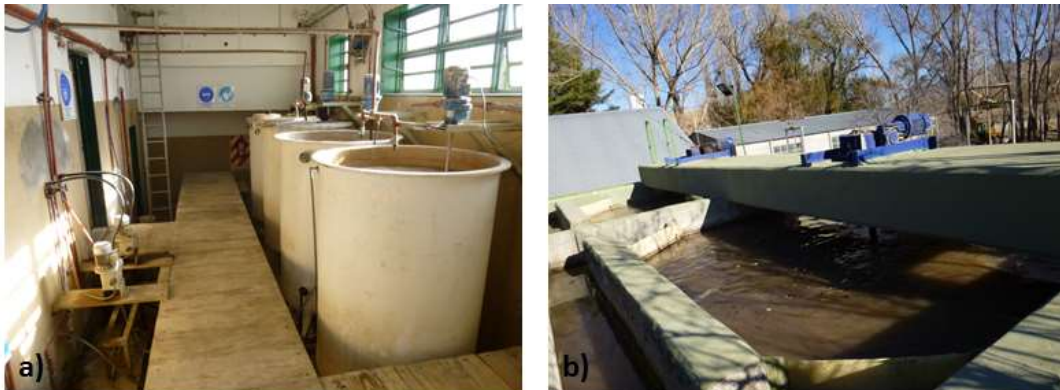


Figura Nº 20: a) CASA QUÍMICA b) FLOCULADORES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE CHOS MALAL

En el siguiente paso el agua llega a los 2 decantadores de placas. En este lugar se inicia el proceso de clarificación. Allí el floc formado en el proceso anterior; se adhiere a la superficie de las placas y, por su propio peso, se deposita en el fondo del decantador. Durante la operación normal la turbiedad del agua a la salida de los floculadores ronda las 500 - 1000 UNT, mientras que a la salida de los decantadores se reduce a 10 – 20 UNT.

El último proceso que se realiza en la Planta de Chos Malal es el de filtración. El agua llega a los 3 filtros rápidos donde se retienen el resto de los floculos que no quedaron en el decantador. El agua filtrada alcanza valores de turbiedad menores a 5 UNT.

Una vez filtrada el agua, ya clorada al inicio del proceso, pasa por tuberías a la cisterna de bombeo, desde donde se eleva al tanque de distribución que está ubicado en el Cerro de la Cruz.



Figura Nº 21: a) DECANTADORES b) FILTROS RÁPIDOS DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE CHOS MALAL

Desde que el agua cruda llega a la cámara de carga hasta ser bombeada al tanque de reserva y distribución, transcurren aproximadamente 45 minutos. Durante este proceso los Operadores de Planta controlan y miden, en forma periódica, los caudales de agua cruda que se tratan, el volumen de agua en el tanque de reserva, las dosis de sulfato de aluminio, polielectrolito e hipoclorito de sodio que se deben inyectar y se miden los valores de turbidez y de cloro residual del agua filtrada antes de ser elevada al tanque de distribución. Estas operaciones se realizan durante las 24 horas del día y durante todo el año.

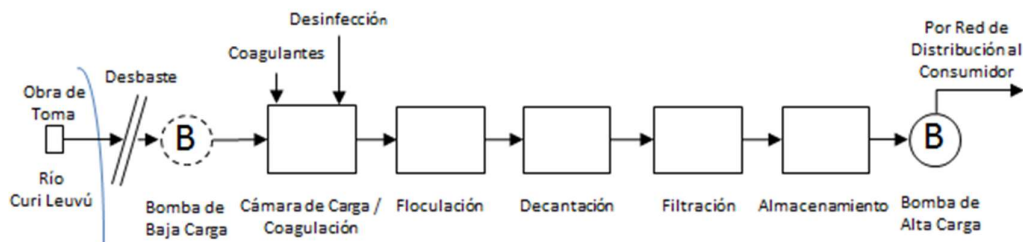


Figura Nº 22: ESQUEMA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN PLANTA POTABILIZADORA DE CHOS MALAL

La planta de Chos Malal produce agua potable mediante tres sistemas:

Sistema1: Planta Potabilizadora Grande

La planta potabilizadora grande tiene una máxima capacidad de producción, según diseño, de 180 m3/h.

Sistema 2: Planta Potabilizadora Chica

La planta potabilizadora chica tiene una máxima capacidad de producción, según diseño, de 90 m3/h.

Sistema 3: Pozos Filtrantes Margen Izquierda Río Curi Leuvú

La captación se realiza a través de bombas electrosumergibles que impulsan el líquido hasta la cisterna de bombeo de la planta chica. El tratamiento para este sistema consiste solamente desinfección con hipoclorito de sodio.

El sistema 1 se encuentra operativo durante todo el año, mientras que los sistemas 2 y 3 ingresan en etapa de operación en las épocas de mayor consumo. Para este estudio se considerará solamente al Planta Potabilizadora Grande, ya que cuenta con un registro anual de operación.

La oferta se resume en el siguiente cuadro:

Datos Producción Agua Potable Servicio Chos Malal según el EPAS
CAPACIDAD MAXIMA DE POTABILIZACIÓN
400 m ³ / hora
DISTRIBUIDOS DE LA SIGUIENTE MANERA
Planta Potabilizadora Grande
Producción: 250 m ³ / hora
(Capacidad de diseño: 180 m ³ / hora)
Planta Potabilizadora Chica
Producción: 120 m ³ / hora
(Capacidad de diseño: 90 m ³ / hora)
Pozos Filtrantes
Producción: 30 m ³ / hora

Tabla N° 12: DATOS PRODUCCIÓN AGUA POTABLE SERVICIO CHOS MALAL SEGÚN EL EPAS

7.1.3 SISTEMA DE BOMBEO Y TANQUES DE RESERVA

El agua producida en la planta potabilizadora es enviada a un tanque se reserva elevado mediante el empleo de dos acueductos de impulsión, uno de diámetro 200 mm y otro de diámetro 400mm, con una longitud de aproximadamente 1250 metros y elevando el líquido una altura de más de 95 metros.

El sistema posee dos cisternas de bombeo, una a la salida de la planta grande, con tres bombas (una en reserva) de 85 HP cada una, que bombean a través del acueducto de impulsión de 400 mm. Y otra a la salida de la planta chica, con dos bombas (una de reserva) de 50 HP cada una y una bomba de 100 HP, que bombean a través del acueducto de impulsión de 200 mm.

Cabe destacar que el acueducto de impulsión de 400 mm cuenta con protección antiarriete en tanto que el de 200 mm no tiene sistema de protección.



Figura Nº 23: a) BOMBAS DE 85 HP SOBRE CISTERNA DE LA PLANTA GRANDE. b) SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIARRIETE

El tanque de reserva principal es de hormigón armado, presenta una forma circular en planta con paredes de 4,50 metros de altura, techo en bóveda, con una capacidad de almacenamiento de 3000 metros cúbicos.

Además existe un segundo tanque de 300 metros cúbicos, también de hormigón armado y abastecido por una estación de rebombeo, destinado a cubrir las necesidades del barrio Cordillera del Viento.



Figura N° 24: TANQUE DE RESERVA DE 3000 M³

7.1.4 RED DE DISTRIBUCIÓN

Desde el tanque de reserva elevado se abastece a la población mediante una red de distribución formada por cañería de PVC en diámetros que van desde 250 mm en el inicio hasta 50 mm en los sectores más alejados, pasando por diámetros intermedios de 160 mm, 125 mm, 110 mm, 90 mm, 75 mm y 63 mm.

Teniendo en cuenta los grandes desniveles topográficos y que la red existente posee cañerías clase 6, se ha dividido al sistema de distribución en dos redes independientes.

La primera red alimenta el sector sudoeste de la localidad el cual queda limitado prácticamente por las calles Gral. Justo y los ríos Curi Leuvú y Neuquén. En su inicio dispone de una válvula reductora de presión, bajando la carga en unos 30 a 35 metros para evitar roturas de cañería.

La segunda red resuelve la distribución de agua potable del sector nordeste de la localidad que presenta un desnivel máximo de solo 40 metros. Esta red a su vez se encuentra subdividida en sectores de corte más pequeños.

En el Barrio Parque La Hoya se ubica una estación de bombeo que recibe agua del tanque de 3000 m³ y la bombea hacia otro tanque más elevado de menor tamaño (300 m³) destinado a abastecer el Barrio Cordillera del Viento.

El radio servido con la red de agua potable alcanza al 98% de la población, quedando un 2% sin contar con servicio de red, en puntos aislados ubicados en zona de chacras o cerros alejados del casco urbano. Estos datos aportados por el EPAS Zona Norte son concordantes con los

relevados durante el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado por el INDEC en 2010.

En cuanto a cantidad de usuarios existen 1321 conexiones sin medidor (33,4%) y 2640 conexiones con medidor (66,6%) haciendo un total de 3961 conexiones. Actualmente el EPAS se encuentra trabajando para incluir a más usuarios en el sistema medido de suministros de agua potable.

7.1.5 CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA

La vigilancia de la calidad del agua producida en la planta potabilizadora y entregada a la población es monitoreada en forma permanente por el EPAS. Por lo tanto, el mismo Ente es el organismo responsable de la vigilancia y de la provisión de agua potable.

Los controles que se realizan se detallan a continuación:

- **Turbidez:** cada 2 horas, las 24 horas, los 365 días del año en seis puntos distintos a saber: agua cruda al ingreso a la planta, a la salida de los decantadores (planta chica y planta grande), a la salida de los filtros (planta chica y planta grande), red de distribución (al frente de la planta potabilizadora).
- **Cloro residual:** cada 2 horas, las 24 horas, los 365 días del año en las dos cisternas de bombeo a la salida de la planta potabilizadora y cada 15 días en ocho puntos distintos de la red de distribución.
- **Análisis bacteriológico:** se realiza cada 15 días en ocho puntos distintos de la red de distribución.
- **Análisis físico-químico:** se realiza cada seis meses en ocho puntos distintos de la red de distribución.
- **Análisis de la fuente:** cada dos años se realiza un análisis físico-químico de la fuente.

La Figura N° 25 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta un esquema con los puntos de muestreo en la red de distribución de agua, cuya ubicación está relacionada con los sectores de corte y la ubicación de las válvulas de limpieza de la red.

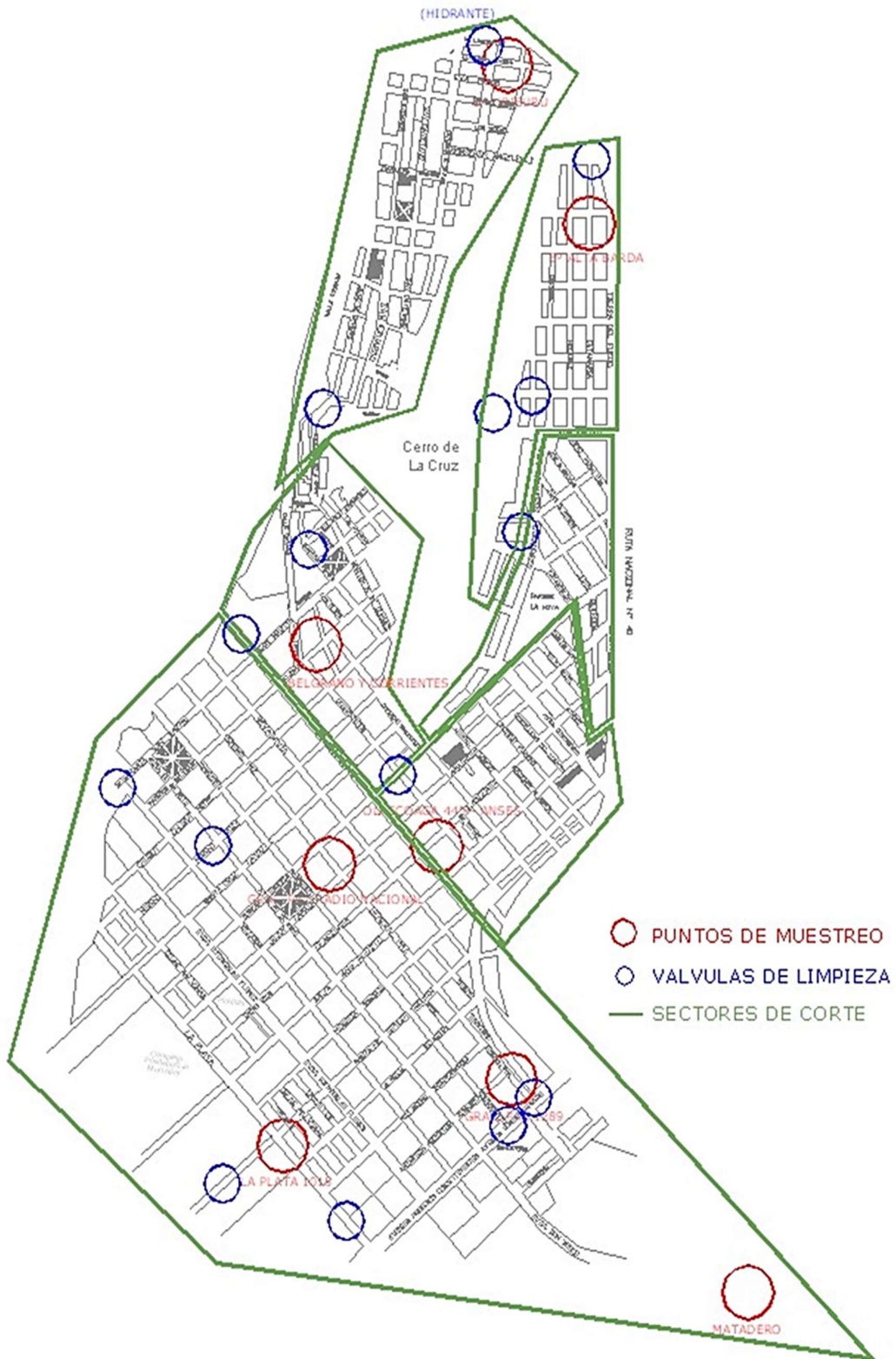


Figura Nº 25: PUNTOS DE MUESTREO RELACIONADOS CON SECTORES DE CORTE Y VÁLVULAS DE LIMPIEZA DE LA RED

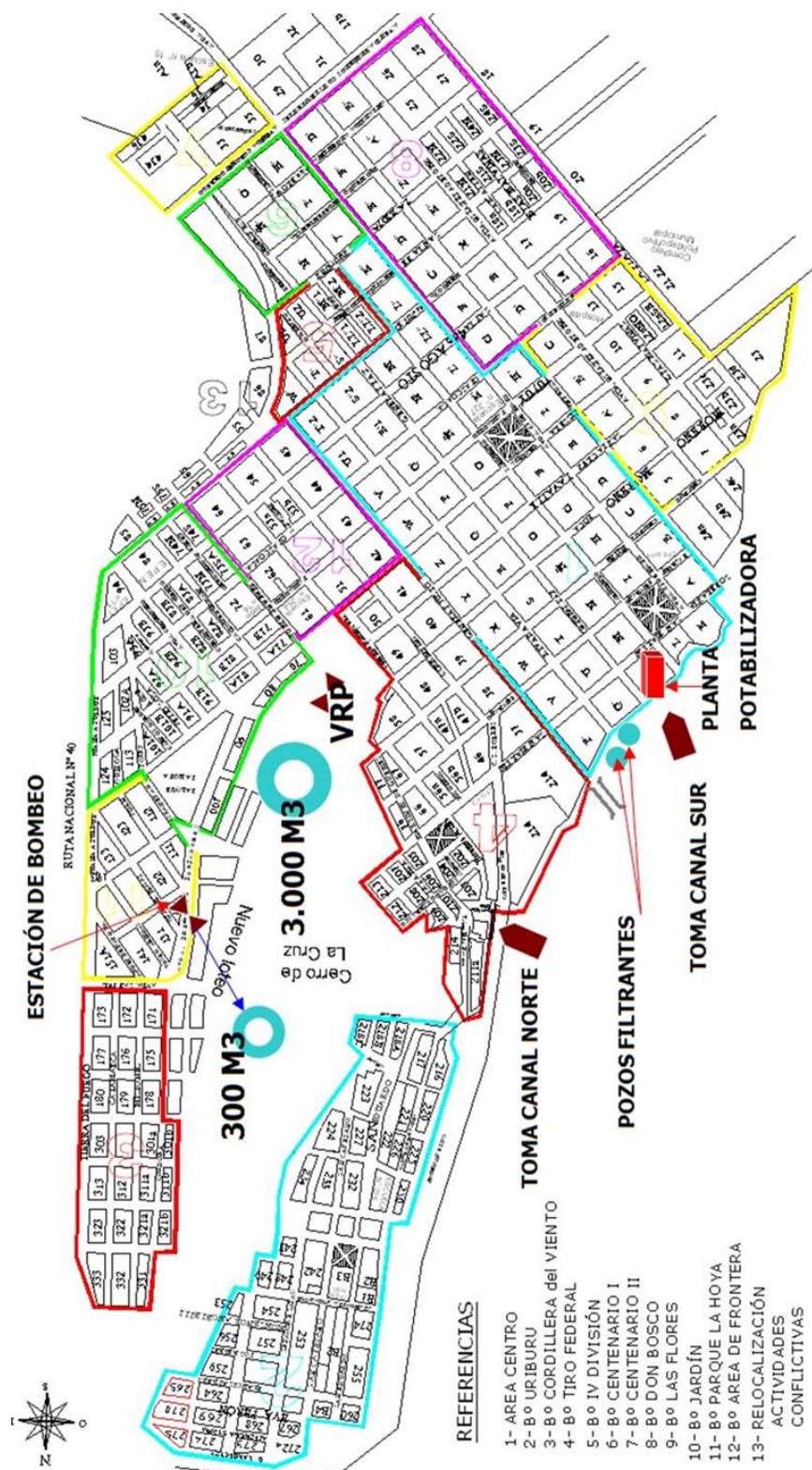


Figura N° 26: ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CHOSMALAL

7.2 DEMANDA DE AGUA POTABLE

La población actual de Chos Malal alcanza aproximadamente los 15.500 habitantes teniendo en cuenta los datos censales de INDEC (2010).

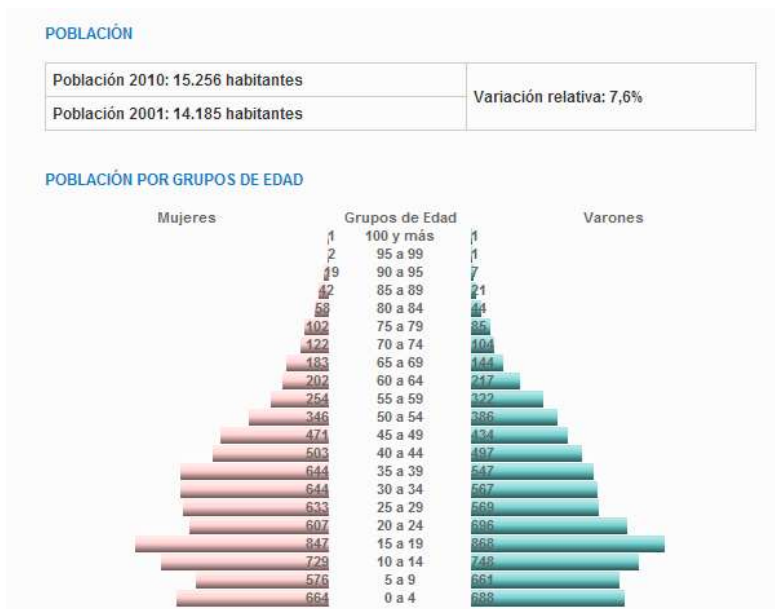


Tabla N° 13: CANTIDAD DE HABITANTES Y POBLACIÓN POR GRUPOS DE EDAD – CHOS MALAL (INDEC, 2010)

Considerando que la producción máxima diaria de agua potable es de 9600 m³/día y que se utilizan 300 m³/día en tareas de limpieza de ambas Plantas Potabilizadoras, retrolavado de filtros rápidos, purgado de decantadores y floculadores, la cantidad de agua máxima diaria que se envía a la red de distribución es de 9300 m³/día.

Considerando una población de 15500 habitantes, la disponibilidad de agua por habitante por día es 600 LITROS/ HABITANTE/ DIA.

CAPACIDAD MAXIMA DE POTABILIZACIÓN
400 m ³ / hora
PRODUCCIÓN MÁXIMA DIARIA
400 m ³ / día x 24 horas = 9.600 m ³ / día
PRODUCCIÓN MÁXIMA MENSUAL
9.600 m ³ / día x 30 días = 288.000 m ³ / mes
CANTIDAD DE AGUA QUE SE ENVÍA A LA RED DE DISTRIBUCIÓN
9.600 m ³ / día - 300 m ³ / DÍA = 9.300 m ³ / día
DISPONIBILIDAD DE AGUA POR HABITANTE POR DÍA
9.300 m ³ / día : 15.500 HAB. = 600 LITROS/ HABITANTE/ DIA

Tabla N° 14: DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE POR HABITANTE POR DÍA EN CHOSMALAL

Estos valores de la Tabla N° 14 indican la máxima cantidad de agua que se envía a la red durante los meses de mayor consumo, que son diciembre, enero y febrero.

7.3 SITUACIÓN OPERATIVA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE CHOS MALAL

El servicio de agua potable es operado y mantenido por el Ente Provincial de Agua y Saneamiento (EPAS) tanto en la parte de producción de agua potable (operación y mantenimiento de la planta potabilizadora) como la parte de distribución (operación y mantenimiento de redes) y de vigilancia de la calidad del agua suministrada.

Los valores de producción de la planta indican que se encuentra operando de manera sobre exigida en función del caudal de diseño. Esta situación, se presenta principalmente durante los meses de diciembre, enero y febrero, momento en el cual se registran los mayores consumos.

En cuanto a la red de distribución y capacidad de almacenamiento no existen restricciones para el aprovechamiento de la oferta de agua potable producida por la planta. Solo se producen breves interrupciones en el servicio, en sectores acotados, durante las tareas de mantenimiento.

Respecto de los equipos de bombeo y el resto de equipos electromecánicos de la planta, tampoco se presentan limitaciones importantes, excepto cuando se interrumpe la provisión de energía eléctrica, situación que ocurre en muy pocas ocasiones.

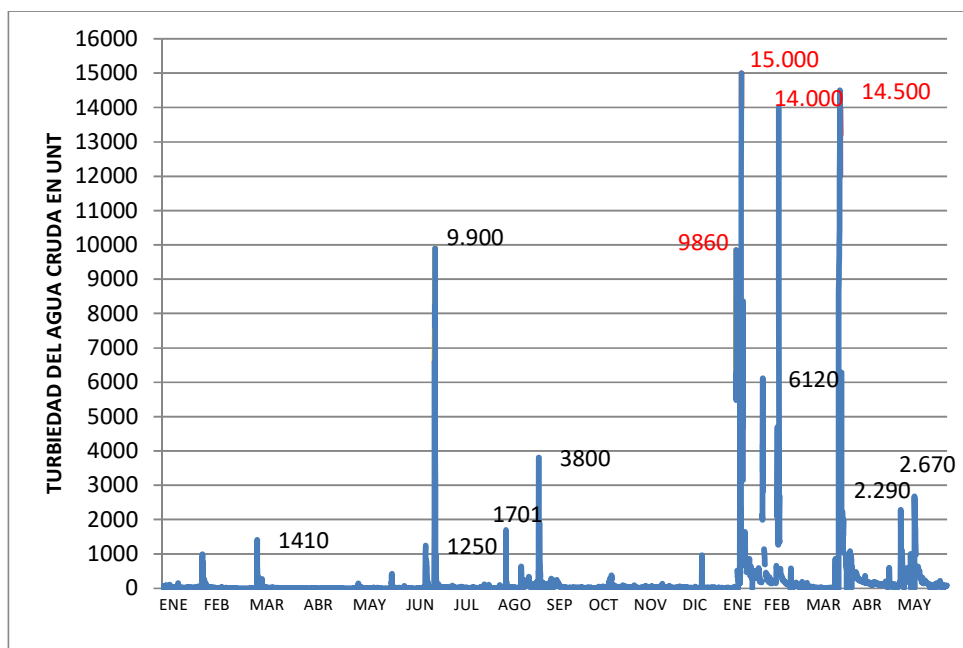


Figura N° 27: VARIABILIDAD DE LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA. PERÍODO ENERO 2010 - MAYO 2011

En relación a la provisión de agua cruda a la planta, se presenta el inconveniente de los aumentos de turbidez en el Río Curi Leuvú en épocas de crecidas, por lo que la planta puede quedar fuera de servicio por algunas horas. Además, debido a fuertes tormentas se han producido embanques y roturas en las obras de toma.

En la Figura N° 27 se presentan los valores de turbiedad del agua cruda desde Enero de 2010 hasta Mayo de 2011. Durante este período se originaron 4 eventos que derivaron en la suspensión de la producción de agua potable. Los mismos se dieron los días 30/12/2010, 03/01/2011, 26/01/2011 y 06/03/2011.

En algunas oportunidades, han transcurrido 24 horas de parada de planta. Esta situación ha producido un desabastecimiento importante para la población, a pesar de contar con 3000 m³ de reserva de agua potable.

Otros eventos posteriores han quedado evidenciados en los titulares de los principales periódicos de la región:

- Diario Río Negro (29/05/2012). Chos Malal recuperó el sistema de agua y habrá clases. El temporal de lluvia provocó una crecida del río Curi Leuvú que dejó fuera de servicio. Por la mañana se suspendieron las clases en los establecimientos de la localidad.
- Diario La Mañana del Neuquén (09/02/2013). Por alta turbidez en ríos y arroyos, suspenden producción de agua potable. La turbiedad llegó a superar las 80 mil UNT, razón por la cual se debió suspender la producción de agua potable en la Planta Potabilizadora de Chos Malal.
- Diario Río Negro (10/02/2013). Normalizan provisión de agua potable en Chos Malal. Si bien en un principio se paralizó la producción de agua debido a la turbidez, durante el día se pudo normalizar de manera parcial la provisión de agua.
- Diario La Mañana del Neuquén (10/02/2013). Mejoraba el panorama en el interior tras el fuerte temporal de lluvia. Interrupción del servicio de agua potable, debido a la turbidez del río.

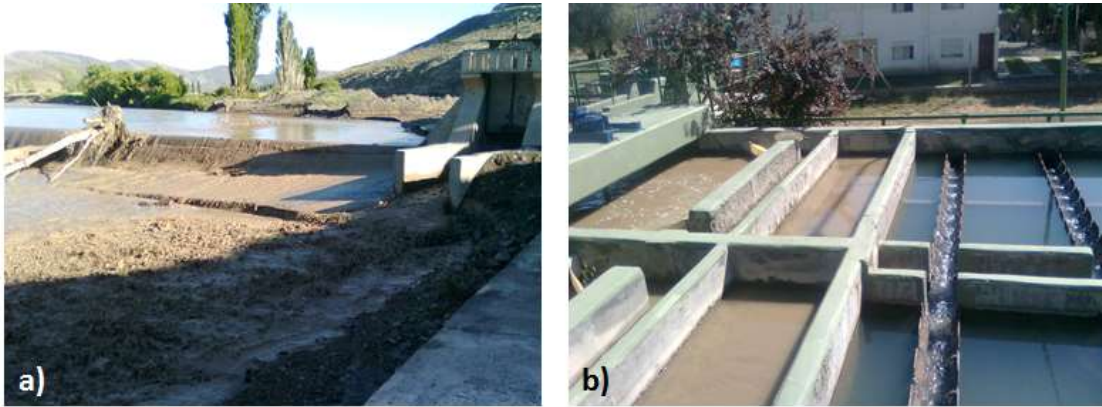


Figura N° 28: a) RIO CURI LEUVÚ b) PLANTA POTABILIZADORA DURANTE UN EVENTO MAYOR A 5000 UNT

La sedimentación o acumulación de materiales en el canal norte, fuente principal de abastecimiento, puede llegar a producir un embanque de la obra de toma. El depósito de materiales se debe a los fenómenos erosivos producidos por la rápida fusión de las nieves o las tormentas con lluvias intensas. Este inconveniente puede salvarse utilizando la toma de emergencia en el canal sur.

Estas situaciones también han sido registradas en la noticias de la región:

- Diario Río Negro 06/03/2010 Falta agua en Chos Malal y programan cortes. Un canal que abastece a la planta potabilizadora tiene sedimentos.
- Diario Río Negro 09/09/2010 Problemas en Chos Malal con el agua. Está embancado el canal Norte y eso provoca que no llegue el líquido a la planta potabilizadora.



Figura N° 29: EMBANQUE CANAL NORTE

Frente a estas circunstancias, las propuestas de intervención pueden plantearse desde las diferentes formas de gestión, ya sea desde el manejo de la oferta o de la demanda. Este estudio apunta a realizar aportes desde la gestión de la demanda o línea blanda de gestión.

8 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Existen dos formas de gestión, como se desarrolló anteriormente. Desde el enfoque de la línea dura, la problemática de la influencia de la variabilidad de la turbiedad en los procesos de potabilización debería centrarse en la gestión de la oferta. Es decir, apuntar a dar soluciones técnico operativas que posibiliten alcanzar los valores de turbiedad establecidos en las normas de calidad, durante el transcurso de eventos extraordinarios. Esto implica centrar la atención en la programación, construcción y operación de las obras civiles necesarias. Esta alternativa de solución no contempla la participación del usuario en la gestión.

La línea de gestión blanda, basada en la gestión de la demanda, las propuestas de intervención deben aspirar al uso más eficiente del agua, con base en cambios de actitudes y comportamientos de los usuarios con respecto a la valoración del agua, junto con el conocimiento del sistema de potabilización y sus consecuentes limitaciones. Está postura, no busca simplemente una reducción en el consumo de agua potable, sino una participación activa del usuario en la gestión integral de agua que, conociendo el sistema de potabilización, sus limitantes y la variabilidad de la fuente, actué en consecuencia.

La participación comunitaria en el desarrollo de la gestión integral del agua se presenta como un elemento clave para el abordaje de la problemática del agua y resulta una solución aplicable y adaptable a la zona de influencia. Esta participación implica que los responsables de las políticas y el público en general cobren mayor conciencia de la importancia del agua.

A partir de aquí, en una primera instancia, se propone definir los siguientes niveles de operación en función de los valores de turbiedad del agua cruda. Posteriormente se establecerán los lineamientos para el diseño e implementación de programas de control y alerta.

8.1 NIVELES DE OPERACIÓN

En base a los registros de la Planta Potabilizadora Grande durante 17 meses consecutivos, que van desde Enero de 2010 hasta Mayo de 2011, se propone definir los siguientes Niveles de Operación en función de los valores de turbiedad del agua cruda. Para cada nivel de operación, se sugiere la inclusión de aspectos operativos a considerar en planta.

8.1.1 NIVEL DE OPERACIÓN NORMAL

Turbiedad de Agua Cruda: Menor a 1.000 UTN

Caudal máximo: 250 m³/h

Sulfato de Aluminio: Concentrado al 10%, consumo de 20 a 80 l/h

Ayudante de Coagulación: Concentrado al 1%, consumo de 0 hasta 40 l/h

Hipoclorito de Sodio: Concentrado al 25%, consumo 18 l/h

La operación normal implica considerar una serie de actividades que se detallan a continuación:

- A. Control de los procesos: medición de caudal, medición de parámetros básicos como turbiedad de agua cruda, decantada y filtrada y cloro residual del agua filtrada y en la red. Este control de los procesos se efectúa cada dos horas.
- B. Preparación de soluciones de sulfato de aluminio, polielectrolito e hipoclorito de sodio.
- C. Ajuste de dosificación de químicos.
- D. Lavado de filtros cada 24 horas.
- E. Limpieza de la casa de operaciones y mantenimiento de las áreas adyacentes.
- F. Control de calidad.

Habitualmente la Operación Normal comprende todas las actividades destinadas a que la planta produzca el caudal para el cual fue diseñada con la calidad determinada por las normas correspondientes. Esto excluye cualquier actividad que deba desarrollarse en caso de reducción parcial o total del caudal de diseño.

8.1.2 NIVEL DE OPERACIÓN CRÍTICA

Turbiedad de Agua Cruda: Entre 1.000 y 3.000 UTN

Caudal máximo: 180 - 220 m³/h

Sulfato de Aluminio: Concentrado al 10%, consumo de 60 a 80 l/h

Ayudante de Coagulación: Concentrado al 2%, consumo de 40 hasta 80 l/h

Hipoclorito de Sodio: Concentrado al 25%, consumo 25 l/h

Ocurrencias durante período de referencia: 5 Eventos (02/03/2010; 16/06/2010; 07/08/2010; 13/04/2011; 22/04/2011)

El estado Crítico de Operación implica una reducción en el caudal de agua potable a valores máximos de 180 – 220 m³/h, sin suspender la producción. Deben considerarse las siguientes actividades:

- A. Control de los procesos: medición del caudal, medición de parámetros básicos como turbiedad de agua cruda, decantada y filtrada y cloro residual del agua filtrada y en la red. La frecuencia de control debe incrementarse, a fin de poder redefinir la operación en función la variación de la turbiedad. Se sugiere realizarlo cada 30 minutos.
- B. Regulación del caudal.
- C. Ajuste de dosificación de coagulantes con la información de la curva de dosificación y el funcionamiento de la planta en general.
- D. Ajuste de la dosis de hipoclorito de sodio.
- E. Realización del ensayo de jarras y posterior ajuste preciso del dosificador.
- F. Aumento de la frecuencia de lavado de filtros en función de la pérdida de carga y/o de la turbiedad del agua filtrada.
- G. Realizar análisis bacteriológico durante el transcurso del evento, en la totalidad de los puntos de muestreo a fin de garantizar la calidad del agua suministrada y brindar mayor seguridad al consumidor.

Es importante destacar que la posibilidad de remoción de la turbiedad está íntimamente relacionada con la naturaleza de los coloides. En todos los casos la posibilidad de tratamiento se define mediante la realización de los respectivos ensayos de jarras.

Por otra parte, el aumento de la dosis de desinfectante puede provocar que los usuarios perciban el agua con un incremento en el sabor y olor a cloro. Esto puede causar rechazo en los usuarios, por lo que se les debe dar aviso de esta de esta situación.

8.1.3 NIVEL DE OPERACIÓN LÍMITE

Turbiedad de Agua Cruda: Entre 3.000 y 10.000 UTN

Caudal: Menor a 180 m³/h - Corto período de tiempo - Puede quedar FUERA DE SERVICIO

Sulfato de Aluminio: Concentrado al 10%, consumo de 80 a 100 l/h

Ayudante de Coagulación: Concentrado del 2 al 4%, consumo de 80 l/h

Hipoclorito de Sodio: Concentrado al 25%, consumo 25 l/h

Frecuencia durante período de referencia: 4 Eventos (23/06/10; 28/8/2010; 30/12/2010; 16/01/2011)

La Operación Límite implica también una reducción en el caudal de agua potable, pero en este caso el valor máximo está por debajo de los 180 m³/h, pudiéndose llegar a suspender la producción. Las actividades a considerar en planta son similares a la operación crítica:

- A. Control de los procesos: medición del caudal, medición de parámetros básicos como turbiedad de agua cruda, decantada y filtrada y cloro residual del agua filtrada y en la red. Este control de los procesos se efectúa cada 30 minutos.
- B. Regulación del caudal
- C. Ajuste de dosificación de coagulantes con la información de la curva de dosificación y el funcionamiento de la planta en general.
- D. Ajuste de la dosis de hipoclorito de sodio.
- E. Realización del ensayo de jarras y posterior ajuste preciso del dosificador.
- F. Aumento de la frecuencia de lavado de filtros en función de la pérdida de carga y/o de la turbiedad del agua filtrada.
- G. Realizar análisis bacteriológico durante el transcurso del evento, en la totalidad de los puntos de muestreo a fin de garantizar la calidad del agua suministrada y brindar mayor seguridad al consumidor.

Durante la operación límite pueden derivarse diferentes situaciones:

1ra El ensayo de jarras evidencia que es factible la remoción de la turbiedad considerando la capacidad de la planta. El evento de turbiedad se mantiene durante un corto período de tiempo, no mayor a 12 horas. Esto permite que la planta opere con reducción de caudal pero sin suspender la producción.

2da Los resultados del ensayo de jarras demuestran que no es posible la remoción de la turbiedad en función de la capacidad de la planta o el evento de turbiedad se mantiene por un periodo mayor a 12 horas dificultando las operaciones de limpieza de filtros. En esta situación, la planta suspende la producción de agua potable, quedando fuera de servicio.

En función de la demanda de agua durante el lapso de tiempo que la planta este fuera de servicio, y de la disponibilidad de agua en reserva, puede llegar a producirse desabastecimiento de agua potable a la población.

8.1.4 NIVEL DE OPERACIÓN EMERGENCIA

Turbiedad de Agua Cruda: Mayor a 10.000 UTN

Caudal: FUERA DE SERVICIO

Sulfato de Aluminio: FUERA DE SERVICIO

Ayudante de Coagulación: FUERA DE SERVICIO

Hipoclorito de Sodio: FUERA DE SERVICIO

Frecuencia durante período de referencia: 3 Eventos (03/01/2011; 26/01/2011; 06/03/2011).

La Planta Potabilizadora comienza a operar en Emergencia cuando se produce un cambio brusco de la turbiedad del agua cruda por encima de las 10.000 UNT. Estos valores de turbiedad superan los límites de tratamiento de la planta e inevitablemente se debe proceder a la suspensión de la producción de agua, quedando fuera de servicio hasta tanto se restablezca la calidad de la fuente.

Esta situación de emergencia conduce, indefectiblemente al desabastecimiento de agua a la población, una vez agotado el volumen de reserva. La falta de agua potable en las viviendas coloca a la población en un escenario de riesgo sanitario, reduciendo la disponibilidad de agua para beber y preparar alimentos y dificultando la higiene personal, la higiene de la vivienda y la eliminación de las excretas.

Puede ocurrir que algunos habitantes opten por consumir agua de otras fuentes disponibles pero menos seguras, lo cual aumenta aún más el riesgo a contraer enfermedades de origen hídrico durante el transcurso del evento de turbiedad.

8.2 LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE CONTROL Y ALERTA

Para este estudio se define como programa de control y alerta al establecimiento de una metodología y procedimientos destinados a afrontar las situaciones de desabastecimiento de agua potable frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos que, produzcan variabilidad en la turbiedad del agua cruda condicionando el proceso de potabilización.

El espíritu de estos lineamiento es proponer alternativas de respuesta ante el desabastecimiento de agua potable producido por la variabilidad de la turbiedad. Estos

lineamientos se basan en la gestión integral del agua como soporte o contribución a las soluciones técnicas o de ingeniería, las cuales son acotadas por su propia definición de diseño.

Por tal motivo, las relaciones con la comunidad, la comunicación y la toma de decisiones durante situaciones límite o de emergencia deben ser consideradas en el diseño y aplicación de los programas de control y alerta.

En este sentido, la empresa concesionaria o ente prestador de servicio, da participación a los organismos del estado acerca de las condiciones que van a afrontarse durante la ocurrencia de un evento de turbiedad, para que se pongan en marcha una serie de acciones tendientes a afrontar las situaciones de emergencia.

8.2.1 OBJETIVOS

Los objetivos de estos programas son establecer una metodología y códigos de comunicación entre los distintos actores involucrados ante una situación de emergencia. Estos objetivos deben ser evaluados periódicamente ya que pueden cambiar a través del tiempo por distintas razones: construcción de obras en el sistema, ampliación de la red de distribución, cambios de autoridades de gobierno, cambio de prestadores de servicio, etcétera.

8.2.2 ALCANCE

Los programas de control y alerta deben ser realizados para cada localidad, teniendo en cuenta sus particularidades. Estas particularidades están relacionadas con las características de la fuente, la variabilidad de la turbiedad, el proceso de potabilización establecido, la capacidad de respuesta de la planta, los consumos y sus variaciones, la capacidad de reserva, el tiempo disponible desde la ocurrencia de los fenómenos hidrometeorológicos hasta la aparición del evento y duración de los mismos, entre otras.

8.2.3 RESPONSALES DE COMUNICAR ALERTA A LA POBLACION

Es aconsejable adoptar y poner en funcionamiento acuerdos en materia de comunicación entre los organismos de gobierno, el prestador de servicio y los usuarios. En cuanto a este punto, la emisión y difusión de la alerta, debe estar a cargo exclusivamente de un único vocero designado (Ej Municipio, Defensa Civil, Servicios de Salud), quien a su vez debe realizar las

recomendaciones necesarias tendientes a la reducción del consumo de agua mientras retorna la calidad de la fuente.

Los mensajes a comunicar deben ser claros, concretos y concisos, de manera tal que no den lugar a malas interpretaciones.

8.2.4 SITUACIONES QUE ORIGINAN LA ALERTA

Pronósticos hidrometeorológicos. El conocimiento de la posible ocurrencia de precipitaciones en la cuenca, posibilita anticiparse a la ocurrencia de un aumento de turbiedad del agua cruda y poder tomar medidas en un estado de alerta temprana.

Precipitaciones efectivas aguas arriba de las obras de toma. Contar con un adecuado sistema de estaciones hidrometeorológicas también brinda la posibilidad de establecer una alerta temprana. Esto es debido a que, conociendo la localización e intensidad de las precipitaciones puede establecerse el tiempo que transcurrirá hasta que se manifieste el aumento de turbiedad de la fuente, pudiéndose implementar las medidas tendientes a evitar o mitigar los efectos.

Aumento de la turbiedad de la fuente, sin comprometer el abastecimiento. El aumento de la turbiedad en este caso, implica un ajuste de los procesos desarrollados en planta, pero no tiene efectos en cuanto al caudal de agua potable producido.

Disminución de la producción de agua potable por debajo de la capacidad de diseño. Una vez manifestado un aumento de la turbiedad, hasta valores cercanos al máximo establecido para los procesos de potabilización, la planta puede continuar operando con una disminución del caudal de agua impulsada a la red.

Suspensión de la producción de agua potable. Esta situación se presenta cuando se produce una parada de planta, debido a que los valores de turbiedad de la fuente son mayores a la capacidad de procesamiento de la planta potabilizadora.

8.2.5 COMUNICACIÓN DE NIVELES DE OPERACIÓN

En función de los valores de turbiedad del agua cruda, se propone establecer distintos Niveles de Operación para el sistema de potabilización.

8.2.5.1 NIVEL DE OPERACIÓN NORMAL

Los programas de control y alerta no incluyen recomendaciones u acciones específicas a desarrollar durante situaciones de funcionamiento normal del sistema de potabilización.

8.2.5.2 NIVEL DE OPERACIÓN CRÍTICA

La declaración de Nivel de operación crítica significa que la turbiedad del agua cruda se ha incrementado, pero esta situación se salva ajustando los procesos en la planta potabilizadora.

El prestador del servicio notifica a las autoridades respecto de la situación. A su vez las autoridades informarán a la población, por los canales de comunicación establecidos, sobre las variaciones en las características organolépticas que pueda presentar el agua potable, tales como aspecto turbio, olor y/o sabor a cloro, a fin de tranquilizar a los consumidores ante el cambio en el aspecto del agua.

8.2.5.3 NIVEL DE OPERACIÓN LÍMITE

El Nivel de Operación Límite implica la disminución de la producción de agua potable por debajo de la demanda. Esta situación puede conducir al desabastecimiento de agua a la población.

El Prestador de servicio notificará a las autoridades sobre las condiciones de operación del sistema y de los posibles acontecimientos.

Las autoridades informarán a la población a través del vocero oficial, de las restricciones de uso del agua, de la necesidad de extremar el ahorro de agua y de la posibilidad de suspensión del suministro, además de dar aviso de los cambios en las características organolépticas del agua.

8.2.5.4 NIVEL DE OPERACIÓN EN EMERGENCIA

Este nivel implica la suspensión de la provisión de agua, desabastecimiento a la población y su consecuente riesgo sanitario.

La notificación de la Operación en Emergencia estará a cargo del prestador de servicio. Este dará aviso a las autoridades quienes podrán dar intervención a otras dependencias para desplegar las acciones de control necesarias para reducir el impacto.

El vocero oficial dará el alerta a la población sobre la suspensión del suministro. Se establecen las restricciones de uso, se recomienda extremar el ahorro de agua, se comunica la suspensión de actividades en escuelas y edificios públicos y también se hace mención de las variaciones que se pueden llegar a percibir en el agua potable.

El incremento de la turbiedad en la fuente de abastecimiento puede desarrollarse lentamente o súbitamente. La primera situación permite analizar respuestas en etapas, mientras que en la segunda el evento se presenta sin seguir una secuencia determinada. Por ello cada nivel de operación debe considerar medidas de control y alerta en forma independiente a los demás niveles. Si las variaciones de las características de la fuente se producen de manera abrupta, puede declararse desde un principio un nivel de operación en emergencia.

8.2.6 DIAGRAMA DE LINEAS DE COMUNICACIÓN

La comunicación para todos los niveles de operación y alerta se debe realizar formalmente entre los responsables de las diferentes instituciones.

A continuación se sugieren diagramas de comunicación para cada nivel de operación, junto con un modelo de formulario para su comunicación formal.



FORMULARIO DE COMUNICACIÓN DE LA SITUACIÓN DEL PRESTADOR DE SERVICIO AL ORGANISMO DE VIGILANCIA

FECHA: 03.09.2013
 HORA: 17:30
 RESPONSABLE DE LA EMISIÓN DEL MENSAJE: Señor X
 RECEPTOR DEL MENSAJE Señora Y

MENSAJE: Aumento de la turbiedad del agua cruda a 2500 UNT. El agua potable posee aspecto turbio y aumenta la dosis de cloro residual. Aplicar acciones correspondientes.

NIVEL DE OPERACIÓN: CRÍTICA



FORMULARIO DE COMUNICACIÓN DE LA SITUACIÓN DEL PRESTADOR DE SERVICIO AL ORGANISMO DE VIGILANCIA

FECHA: 03.09.2013
 HORA: 17:30
 RESPONSABLE DE LA EMISIÓN DEL MENSAJE: Señor X
 RECEPTOR DEL MENSAJE Señora Y

MENSAJE: Aumento de la turbiedad del agua cruda a 8000 UNT. Reducción de producción de agua potable por debajo de caudal de demanda. 3000 m3 de reserva. El agua potable posee aspecto turbio y aumenta la dosis de cloro residual. Solo 12 hs de operación en esta situación. Aplicar acciones correspondientes.

NIVEL DE OPERACIÓN: LÍMITE



FORMULARIO DE COMUNICACIÓN DE LA SITUACIÓN DEL PRESTADOR DE SERVICIO AL ORGANISMO DE VIGILANCIA

FECHA: 03.09.2013
 HORA: 17:30
 RESPONSABLE DE LA EMISIÓN DEL MENSAJE: Señor X
 RECEPTOR DEL MENSAJE Señora Y

MENSAJE: Turbiedad del agua cruda superior a 10.000 UNT. Planta Potabilizadora FUERA DE SERVICIO. 3000 m3 de reserva. Se estima desabastecimiento en 5 horas. Agua potable con aspecto turbio y con notoria presencia de cloro residual. Aplicar acciones correspondientes.

NIVEL DE OPERACIÓN: EN EMERGENCIA

9 RECOMENDACIONES

Es indudable que una buena planificación de las acciones a desarrollar durante la ocurrencia de un evento que altere el normal funcionamiento del sistema de potabilización, constituye la mejor manera de actuar para controlar el riesgo de desabastecimiento de agua potable.

Para ello, deben considerarse algunos aspectos para cada uno de los actores de la gestión integral del agua.

Se hace necesario, incentivar a las autoridades locales a:

- Legislar sobre las normas de que regulen los usos del agua de red, que limite los horarios para riego y otros usos, que establezca claramente los derechos y obligaciones para el usuario y determine las sanciones en caso de incumplimiento
- Establecer cantidades mínimas de reserva para edificios públicos (Hospitales, Centros de Salud, Escuelas, Municipalidad, etc) en función de la duración de los eventos característicos de la localidad.
- Abastecer puntualmente a centros de salud, hospitales, comedores comunitarios, hogares de niños y ancianos y demás edificios considerados como prioritarios, que no cuenten con la capacidad de reserva apropiada para hacer frente a las situaciones de emergencia.
- Instrumentar un sistema de control en donde las funciones de vigilancia del sistema y el control de la calidad sean realizadas por entidades diferentes e independientes, debido al conflicto de intereses que se produce cuando ambas funciones se combinan.
- Evaluar el desempeño del prestador de servicio de abastecimiento y realizar las inversiones necesarias que garanticen el abastecimiento de agua a la ciudadanía en cuanto a calidad y cantidad.
- Desarrollar programas de educación ambiental formal, no formal e informal destinados a promover el uso responsable del agua.
- Adoptar y poner en funcionamiento acuerdos en materia de comunicación con el prestador de servicio y los usuarios.
- Hacer el seguimiento de las distintas situaciones para la actualización o reorientación de las acciones de control.

En cuanto a los prestadores de servicio, deberían:

- Elaborar planes de mantenimiento y mejora del servicio de abastecimiento de agua para consumo.
- Incorporar un sistema medido de provisión de agua potable, donde la facturación este en función del caudal consumido.
- Instrumentar un régimen de beneficios, para aquellos usuarios que utilicen en sus domicilios, equipos o dispositivos de bajo consumo de agua.
- Llevar adelante controles para detectar conexiones clandestinas a la red.
- Contar con un adecuado suministro de repuestos y materiales.
- Implementar programas de capacitación y entrenamiento dirigidos al personal que opera la planta, para atender eventos de alta turbiedad de la fuente.
- Participar activamente en la implementación y difusión de programas educativos sobre el uso racional del agua.
- Dar a conocer los distintos niveles de operación de la planta, frente a los valores de turbiedad de la fuente.
- Dar aviso al organismo responsable de la vigilancia del sistema de agua potable ante la ocurrencia de eventos que alteren el normal funcionamiento de la planta, y realizar las recomendaciones tendientes a lograr un mejor aprovechamiento de las reservas de agua mientras perdura esta situación.

Con respecto a los usuarios, es fundamental para la gestión del agua que:

- Conozcan el sistema de potabilización de la localidad, con sus fortalezas y limitaciones.
- Conozcan las características de la fuente, su comportamiento, las variaciones estacionales y su impacto en el proceso de potabilización.
- Participen de eventos, reuniones, capacitaciones, foros, cursos, jornadas y todo tipo de actividades relacionadas a la gestión del agua.
- Hagan y promuevan un uso racional del agua, basados en el principio de solidaridad.

Por último, a partir de este estudio quedan planteadas inquietudes que pueden desarrollarse en futuros trabajos, dando continuidad a esta línea de investigación. Como ser:

- Evaluación de los beneficios y obstáculos de la implementación de un sistema de alerta temprana;
- Análisis de distintas alternativas de participación comunitaria que fortalezcan el uso racional del agua;
- Elaboración de instrumentos que permitan determinar el grado de compromiso de los usuarios en la gestión integral del agua.

10 CONCLUSIONES

Si bien los aumentos de la turbiedad del agua cruda inciden sobre todos los procesos de clarificación de una planta potabilizadora convencional, la filtración es la etapa más sensible. Una incorrecta coagulación condiciona el funcionamiento de los decantadores, quienes a su vez afectan el funcionamiento de las unidades de filtración.

Es recomendable realizar un estricto control del proceso de coagulación durante eventos con alta turbiedad, para aplicar rápidamente medidas operativas que optimicen la eficiencia de los filtros.

Si la fuente de abastecimiento presenta valores esporádicos de turbiedad mayores a 500 UNT y la planta potabilizadora cuenta con filtros lentos sin agregado de coagulantes, debe considerarse la instalación de una unidad de pre-sedimentación. Por otra parte, si la planta potabilizadora es del tipo convencional con filtros rápidos y la turbiedad del agua cruda está por encima de los 1500 UNT, también es fundamental contar con pre-sedimentadores para mejorar la eficiencia de los procesos de clarificación.

Debe ajustarse la dosis de desinfectante a las variaciones de la turbiedad de la fuente, teniendo en cuenta su interferencia en el proceso de desinfección.

Es recomendable aumentar la frecuencia y puntos de monitoreo de calidad del agua potable durante el lapso de tiempo en que la turbiedad del agua filtrada este por encima de las 3 UNT.

La vigilancia del sistema de agua potable y el control de calidad deben ser realizados por diferentes entidades u organismos, con el fin de evitar conflicto de intereses entre las funciones.

Puede considerarse la necesidad de modificar las capacidades estándar de reserva en edificios de instituciones públicas y privadas, previo diagnóstico y estudio de caso, como medida para disminuir el impacto en las actividades de la comunidad durante la suspensión de la producción de agua potable.

Deben establecerse los distintos niveles en los que opera el sistema de potabilización, junto con al conjunto de acciones operativas en planta, y un programa de control y alerta que establezca la metodología y los códigos de comunicación entre los distintos actores involucrados ante una situación de emergencia.

Para la localidad de Chos Malal se establecieron 4 niveles de operación que abarcan desde el funcionamiento normal del sistema, hasta la suspensión de la producción y su consecuente

desabastecimiento de agua potable a la población. Debe considerarse la instalación de una etapa de pre-sedimentación del agua cruda. Por otra parte, la planta se encuentra trabajando sobre exigida en cuanto a sus caudales de diseño, debido a la demanda de agua en los meses de verano, donde se producen los mayores consumos.

La participación de los usuarios en la gestión integral del agua va mucho más allá de simplemente informarse, recibir información o de disminuir el consumo. La idea es que los usuarios conozcan, a partir de la interacción con los diferentes actores, el sistema de potabilización de la localidad, las características de la fuente, su comportamiento, las variaciones estacionales, su impacto en el proceso de potabilización, las acciones de desarrollar durante situaciones de emergencia y los canales de comunicación establecidos.

Si la gestión del agua incluye la participación activa de los usuarios, donde se expresen sus necesidades y visiones, se aporta al empoderamiento de la comunidad. Sólo así, la comunidad podrá adecuar sus hábitos hacia el uso racional de del agua y afrontar de la mejor manera las distintas situaciones de emergencia.

11 BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, A; NAVARRETE LE BLAS, F (2004). Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- ARBOLEDA VALENCIA, J (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición. Mc Graw Hill. ACODAL, Colombia.
- BARCELÓ, D (2008). Aguas continentales Gestión de recursos hídricos, continentales y calidad del agua. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- BARRENECHEA MATEL, A. Capítulo 4: Coagulación. En VARGAS, L (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. OPS/CEPIS
- BARRENECHEA MATEL, A. Capítulo 7: Desinfección. En VARGAS, L (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. OPS/CEPIS
- BARTRAM, J; CORRALES, L; DAVISON, A; DEERE, D; DRURY, D; GORDON, B; HOWARD, G; RINEHOLD, A; STEVENS, M (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. OMS.
- CALCAGNO, A; MENDIBURO, N; GAVIÑO NOVILLO, M. (2000). Informe sobre la gestión del agua en la republica argentina. Asociación Mundial del Agua. Comité Técnico Sudamericano.
- CÁRDENAS LEÓN, J (2005). Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales. Notas de clase. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
- CARRASCO, W (2011). Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CEPIS (2004) Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada.
- CHOW, V; MAIDMENT, D; MAYS, L (1994). Hidrología aplicada. Mc Graw Hill.
- CHRISTMAN, R; GHASSEMI, M (1961). "The nature of organic color in water" Journal AWWA; 58:723.

- Código Alimentario Argentino. Ley 18284/69. Decreto reglamentario 2126/71. Actualizaciones.
- COMITÉ ESPECIAL DE LA CEPAL SOBRE POBLACIÓN Y DESARROLLO (2012). Población, territorio y desarrollo sostenible.
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (2006). Plan estratégico de desarrollo local para Chos Malal.
- DOUROJEANNI, A; JOURAVLEV, A (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- DOUROJEANNI, A; JOURAVLEV, A (2002). Evolución de políticas hídricas en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- DOUROJEANNI, A; JOURAVLEV, A; CHÁVEZ, G (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- ECHENIQUE, R.; GIANNUZZI, L.; FERRARI, L. & GONZALEZ, D. (2002). Estudio sobre la Calidad del agua de red en Bahía Blanca, Argentina. Bahía Blanca, Argentina.
- ENOHSÁ (2001). Criterios para el diseño de instalaciones de agua potable.
- GIAI, M. (2005). Potabilización y abastecimiento de agua en el desierto de Patagonia, Argentina. Hospital Militar Campo de Mayo. Buenos Aires, Argentina.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (2000). Integrated Water Resources Management.
- GUHL, E (2008). Hacia una Gestión Integrada del Agua en la Región Andina. Comunidad andina de naciones.
- HERTLER, H. (2002). Evaluación del funcionamiento de una planta potabilizadora. Optimización. Aguas de corrientes S.A. Corrientes, Argentina.
- JOURAVLEV, A (2003). Los municipios y la gestión de los recursos hídricos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- JOURAVLEV, A (2004). Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- LEE, J W (2004). Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. OMS.
- LEE, T; JOURAVLEV, A (1998). Los precios, la propiedad y los mercados en la asignación del agua. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

- LÓPEZ ORIZABAL, M. (2002). Efecto del color y la turbiedad en la eliminación de coliformes fecales al aplicar el método de desinfección solar. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- MALDONADO YACTAYO, V. Capítulo 7: Sedimentación. En VARGAS, L (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. OPS/CEPIS
- MARCO, L; AZARIO, R; METZLER, M; GARCIA, C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina).
- MARTEL, A. (2004). Capítulo 1: Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En: VARGAS, L. Tratamiento de agua para consumo humano. CEPIS/OPS.
- MENDONÇA, S (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Mc Graw Hill.
- MONTOYA, C; LOAIZA, D; TORRES, P; CRUZ, C; ESCOBAR, J (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 16, p. 137-148. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).
- NAJUL, M.; LÓPEZ E.; SÁNCHEZ R.; BLANCO H.; & RINCONES M. (1995). Metodología para la determinación de parámetros de operación de sistemas de tratamiento para potabilización de aguas con baja turbiedad. Caracas, Venezuela.
- OBLITAS DE RUIZ, L (2010). Servicios de Agua Potable y Saneamiento en el Perú: Beneficios potenciales y determinantes de éxito. CEPAL.
- OMS (2005). Celebración del decenio internacional para la acción “El agua, fuente de vida”.
- OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable. 3ra edición.
- OMS (2011). Guidelines for drinking-water quality. 4th edition.
- ONU (2008). Status Report on Integrated Water Resources Management and. Water Efficiency Plans.
- OXMAN, S Y OXER, P (2000). Privatización del sector sanitario chileno: Análisis de un proceso inconcluso. Ediciones Cesoc.

- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (UNDP) (2008). Human Development Reports.
- RED INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO DE CAPACIDADES EN LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO (CAP-NET); GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP); PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (UNDP) (2005). Planes de gestión integrada del recurso hídrico - Manual de capacitación y guía operacional
- ROGER, M y ESPINOZA HUANCA, G (2003). Control de Calidad en Fuentes. Asociación Nacional de empresas de servicio de agua potable y alcantarillado. La Paz, Bolivia.
- ROMERO ROJAS, J (2005). Calidad del Agua. 2da Edición. Alfaomega.
- SOLSONA, F Y MÉNDEZ, J P (2003). Desinfección del agua. CEPIS/OPS.
- TCHOBANOGLIOUS, G (1995). Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Metcalf & Eddy, INC. Mc Graw Hill.
- VARGAS, L (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. OPS/CEPIS
- YUNES, M (2006). Cuadernos de Cátedra: Unidad 8. Saneamiento I. Licenciatura en Saneamiento y Protección Ambiental. Facultad de ciencias del Ambiente y la Salud. Universidad Nacional del Comahue.