



CARRERA DE POSGRADO DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA SANITARIA

TRABAJO FINAL

EFFECTOS DEL DIÓXIDO DE CLORO SOBRE LA GENERACIÓN DE TRIHALOMETANOS EN SISTEMAS DE GRANDES ACUEDUCTOS

Verónica Pidustwa

Bioquímica. Universidad Nacional de Rosario

Directora: Dra. Virginia Paccini
Codirector: Ing. Juan Carlos Zatta

Santa Fe, Argentina

Año 2021

AGRADECIMIENTOS

A Virginia Paccini y Juan Carlos Zatta, por la disponibilidad y apoyo brindado en el transcurso de este trabajo.

A Aldo Nota, Jefe de Laboratorio y Operaciones de ASSA, Acueducto Centro Oeste, por su buena disposición para aportar datos de operación de la planta potabilizadora Monje y su permanente entusiasmo para lograr mejoras en el proceso.

A Silvina Zamar, a cargo de la puesta en marcha de la Planta Potabilizadora Reconquista, con quien trabajamos a la par en los ensayos realizados en dicho sistema, los cuales no hubieran sido posibles sin su apoyo y compromiso.

A mis compañeros del ENRESS que colaboraron en las determinaciones analíticas y me apoyaron en esta labor.

A mi familia y a mi pareja por acompañar siempre.

Especialmente al Dr. Helio Vázquez, con quien iniciamos estos estudios en el año 2013, por contagiarme su entusiasmo por estudiar y analizar las diferentes problemáticas de la calidad del agua y su relación con la salud.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
3.2.1. Primera etapa - ACO	7
3.2.2. Segunda etapa - Reconquista.....	7
4. ANTECEDENTES E INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1. DESINFECCIÓN DEL AGUA. SUBPRODUCTOS DE LA CLORACIÓN.....	8
4.1.1. Proceso de generación de THMs: precursores y variables intervinientes.....	9
4.2. TRIHALOMETANOS: NORMATIVAS DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO, EFECTOS EN LA SALUD.....	11
4.2.1. Valores de Referencia OMS.....	12
4.2.2. Límites admitidos en otras Normas de Calidad de agua.....	14
4.3. MÉTODOS GENERALES DE REDUCCIÓN DE THMS.....	15
4.4. PRECLORACIÓN CON DIÓXIDO DE CLORO.....	17
4.4.1. Características y reactividad del dióxido de cloro	17
4.4.2. Usos del dióxido de cloro en el tratamiento del agua	18
4.4.3. Producción y control del dióxido de cloro.....	19
4.4.4. Equipo de preparación de dióxido de cloro.....	19
4.4.5. Recomendaciones del ENOHSA para el uso de dióxido de cloro en el tratamiento del agua.....	20
4.4.6. Efectos en la salud del clorito y el clorato.....	22
5. PRIMERA ETAPA. EVALUACION DE LA GENERACIÓN DE TRIHALOMETANOS EN EL ACUEDUCTO CENTRO OESTE (ACO).....	23
5.1. OBJETIVOS PRIMERA ETAPA.....	23
5.1.1. Objetivo general.....	23
5.1.2. Objetivos específicos.....	23
5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DEL ACUEDUCTO CENTRO OESTE.....	23
5.2.1. Generalidades.....	23
5.2.2. Ubicación.....	24
5.2.3. Captación de agua cruda.....	25
5.2.4. Cámara de carga.....	26
5.2.5. Cámara de dispersión.....	26
5.2.6. Floculación.....	27
5.2.7. Sedimentación.....	27
5.2.8. Filtros.....	28
5.2.9. Desinfección de agua filtrada.....	29
5.2.10. Alcalinización.....	29
5.2.11. Almacenamiento.....	29
5.2.12. Sistema de bombeo.....	30
5.2.13. Distancias entre las localidades abastecidas y la planta potabilizadora:.....	31
5.3. TRIHALOMETANOS EN EL SISTEMA DEL ACO- ANTECEDENTES.....	32
5.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.5.1 Calidad de agua cruda . Periodo 2018 - 2019.....	36
5.5.2. Calidad de agua tratada. Concentración de THMs. Periodo 2018 - 2019.....	38
5.5.3 Concentración de THMs en salida PPM en diferentes condiciones de precloración .	43
5.6. ANÁLISIS DE COSTOS DE INSUMOS DE POTABILIZACIÓN EN PPM.....	44
5.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRIMERA ETAPA.....	48

6. SEGUNDA ETAPA . EVALUACIÓN DE LA FORMACIÓN DE THM EN LA PLANTA POTABILIZADORA DEL ACUEDUCTO RECONQUISTA	50
6.1. OBJETIVOS SEGUNDA ETAPA.....	50
6.1.1. Objetivo general:.....	50
6.1.2. Objetivos específicos.....	50
6.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DEL ACUEDUCTO RECONQUISTA.....	50
6.2.1. Ubicación de la Planta Potabilizadora Reconquista.....	50
6.2.2. Generalidades.....	51
6.2.3. Mezcla Rápida.....	53
6.2.4. Floculadores.....	53
6.2.5. Sedimentadores de alta carga.....	54
6.2.6. Filtros Rápidos.....	55
6.2.7. Cámara Amortiguadora, cámara de Carga y canales de vinculación entre unidades	56
6.2.8. Cisterna de Agua Tratada	56
6.2.9. Cloración.....	57
6.2.10. Sistema de Dosificación de dióxido de cloro.....	57
6.2.11. Características del agua cruda.....	58
6.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
6.4. CONCENTRACIÓN DE THMs EN EL AGUA TRATADA DE PPR	61
6.4.1. Calidad del agua cruda.....	62
6.4.2. Resultados de THMs.....	63
6.4.3. Potencial de Formación de THMs.....	68
6.4.4. Ensayos de Demanda de dióxido de cloro.....	70
6.5. ANÁLISIS DE COSTOS DE INSUMOS DE POTABILIZACIÓN EN PPR.....	71
6.6. CONCLUSIONES SEGUNDA ETAPA.....	73
7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PPM Y PPR	74
8. CONCLUSIONES.....	77
9. RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS FINALES.....	78
9. BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores de Referencia para los THMs. Guías para la Calidad del Agua Potable 4ta edición – Organización Mundial de la Salud.....	12
Tabla N° 2: Evolución de Valores de Referencia para cloroformo. Guías para la Calidad del Agua Potable – OMS.....	14
Tabla N° 3: Límites máximos admitidos para THMs en agua potable en Normas de calidad de agua	14
Tabla N° 4: Límites máximos admitidos de THMs para agua potable en Normas de calidad de agua potable en la República Argentina.....	15
Tabla N° 5: Valores promedios mensuales de parámetros fisicoquímicos en el agua cruda de la PPM – Año 2018.....	36
Tabla N° 6: Valores promedios anuales de parámetros fisicoquímicos del agua cruda de la PPM – Año 2018.....	37
Tabla N° 7: Promedios mensuales de parámetros fisicoquímicos del agua cruda de la PPM – Año 2019.....	37
Tabla N° 8: Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos del agua cruda de la PPM – Año 2019.....	37
Tabla N° 9: Calidad fisicoquímica promedio del agua tratada en PPM – Año 2018.....	39
Tabla N° 10: Calidad fisicoquímica promedio del agua tratada en PPM – Año 2019.....	39
Tabla N° 11: Estadísticas anuales de la concentración de THMs en PPM con y sin agregado de dióxido de cloro.....	43
Tabla N° 12: Estimación de costo de insumos químicos PPM.....	45
Tabla N° 13: Calidad fisicoquímica del agua del Río San Jerónimo.....	60
Tabla N° 14: Calidad fisicoquímica del agua cruda de la PPR . Estadísticas de los análisis realizados entre Enero y Diciembre de 2020.....	62
Tabla N° 15: Cambios en operaciones de precloración en PPR.....	64
Tabla N° 16: Parámetros fisicoquímicos de agua cruda, dosis de precloración y calidad fisicoquímica y concentración de THMs en agua tratada.....	64
Tabla N° 17: Resumen de PFTTHMs en diferentes condiciones operativas	70
Tabla N° 18: Resultados de demanda de dióxido de cloro en agua cruda, condiciones de precloración y calidad de agua tratada de PPR.....	70
Tabla N° 19: Estimación de costo de insumos químicos PPR.....	72
Tabla N° 20: Comparativo de características de agua cruda y tratada y algunas condiciones operativas de PPM y PPR y concentración de THM en salida de planta	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Equipo generador de dióxido de cloro de PPM.....	19
Figura N° 2: Puntos de aplicación de dióxido de cloro en plantas convencionales.....	21
Figura N° 3: Ubicación Planta Potabilizadora de Monje - Pcia. de Santa Fe.....	24
Figura N° 4: Foto aérea de la Planta Potabilizadora de Monje	24
Figura N° 5: Toma de PPM sobre el Río Coronda - Pcia. de Santa Fe.....	25
Figura N° 6: Obra de Toma y Bombas de la Planta Potabilizadora Monje - ACO.....	25
Figura N° 7: Floculadores PPM.....	27
Figura N° 8: Sedimentadores de PPM, tipo laminar.....	27
Figura N° 9: Filtros de PPM.....	28
Figura N° 10: Cisterna de agua tratada PPM.....	29
Figura N° 11: Diagrama de flujo etapas de tratamiento de PPM.....	30
Figura N° 12: Trazo del ACO.....	31
Figura N° 13: Paneles de media sombra en decantadores de PPM.....	34
Figura N° 14: Turbiedad y Conductividad del agua cruda de PPM – Promedios mensuales periodo 2018 – 2019.....	38
Figura N° 15: Gráficos de dispersión entre parámetros de agua cruda y concentración de THMs en agua tratada en PPM.....	40
Figura N° 16: Concentración de THMs en el agua tratada en la PPM . Periodo 2018 - 2019.....	41
Figura N° 17: Concentración de DBCM en relación a la Conductividad del agua cruda.....	42
Figura N° 18: Concentración de Bromoformo en relación a la Conductividad del agua cruda....	42
Figura N° 19: Concentración de THMs en PPM, con y sin dióxido de cloro - 2018.....	43
Figura N° 20: Concentración de THMs en PPM, con y sin dióxido de cloro - 2019.....	44
Figura N° 21: Costos de insumos químicos por m3 de agua - PPM.....	46
Figura N° 22: Ubicación PPR.....	49
Figura N° 23: Foto general de la PPR, desde cámara de ingreso.....	50
Figura N° 24: Foto general de la PPR, vista lateral.....	50
Figura N° 25: Floculadores.....	52
Figura N° 26: Sedimentadores con media sombra.....	53
Figura N° 27: Filtro en etapa de llenado.....	54
Figura N° 28: Diagrama de flujo de etapas de tratamiento de PPR.....	55
Figura N° 29: Generador de dióxido de cloro.....	56
Figura N° 30: Gráfico de Turbiedad y Color del Río San Jerónimo – 2008 - 2009.....	57
Figura N° 31: Turbiedad y Color del agua cruda en cámara de ingreso de la PPR – Promedios semanales. Febrero a Julio de 2020.....	61
Figura N° 32: Turbiedad del agua cruda y concentración de THMs en agua tratada	64
Figura N° 33: Concentración de THMs en agua tratada y Turbiedad del agua cruda.....	65
Figura N° 34: Concentración de THMs en agua tratada y Color del agua cruda.....	65
Figura N° 35: Ensayos de CTHMSDS en diferentes condiciones de agua cruda y precloración. 67	
Figura N° 36: Costos de insumos químicos por m 3 de agua - PPR.....	71

ANEXOS

Anexo I - "Dinámica de formación de trihalometanos en el Acueducto Centro Oeste de la Provincia de Santa Fe". Bioq. Verónica Pidustwa, 2017.

Anexo II - Resultados de THMs en PPM años 2018 y 2019

Anexo III - Resultados de análisis fisicoquímicos de agua cruda, decantada y tratada en PPR, año 2020.

ABREVIATURAS

ACO: Acueducto Centro Oeste

ASSA: Aguas Santafesinas S.A.

BDCM: Bromodiclorometano

DBCM: Dibromoclorometano

CIIC: Centro de Investigación Internacional sobre Cáncer, OMS.

CTHMSDS: Concentración de trihalometanos en Sistemas de Distribución Simulada.

ENOHSA: Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento.

ENRESS: Ente Regulador de Servicios Sanitarios

NTP: National Toxicology Program (Programa Nacional de Toxicología, de los EE. UU.)

OMS: Organización Mundial de la Salud

PM: Peso Molecular

PPM: Planta Potabilizadora Monje, abastece al Acueducto Centro Oeste

PPR: Planta Potabilizadora Reconquista, abastece al Acueducto Reconquista.

SPD: Subproductos de la desinfección.

THMs: Trihalometanos

1. RESUMEN

A partir de la puesta en funcionamiento, en el año 2010, del primer gran acueducto de la Provincia de Santa Fe, Acueducto Centro Oeste (ACO), que conduce agua superficial tratada en la Planta Potabilizadora Monje (PPM) a 13 localidades, a lo largo de mas de 120 km de distancia, se observaron serias dificultades para cumplir con el límite de trihalometanos totales (THMs) en el agua abastecida.

En el periodo 2013 a 2016, se realizó un seguimiento de la concentración de THMs en diferentes puntos del sistema del ACO y se evaluó la eficiencia de la aplicación de dióxido de cloro como tratamiento para la reducción de los mismos. En ese periodo se obtuvo una reducción promedio del 25% en la formación de THMs con la preoxidación de la materia orgánica con dióxido de cloro, no resultando suficiente dicha operación para cumplimentar la normativa de calidad vigente.

En el año 2018, como parte del presente trabajo, se retoma la evaluación estadística de la concentración de THMs en el agua tratada y su relación con variaciones en la calidad del agua cruda y en la dosificación de dióxido de cloro, con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso de eliminación de precursores de los THMs aplicando cambios en el proceso recomendados en la bibliografía específica consultada.

Como resultado de este estudio, se ha observado que el aumento de salinidad del agua cruda, producto de la bajante, se acompañó de un marcado incremento de los trihalometanos bromados, (BDCM, DBCM y Bromoformo) con el consiguiente incremento de THMs totales.

En dichas condiciones operativas, en el periodo estudiado (2018-2019), se pudo verificar que la adición de dióxido de cloro no ha reportado una reducción significativa del contenido de THMs totales en el agua tratada.

Paralelamente, a fin del año 2019, se pone en marcha la Planta Potabilizadora que abastece al Acueducto Reconquista (PPR). En los primeros meses de funcionamiento se verificó un aumento de la concentración de THMs en el agua tratada.

En la segunda etapa del presente trabajo, desde Febrero a Setiembre de 2020 se evaluó la calidad fisicoquímicos del agua cruda de la PPR, se modificaron las condiciones de precloración y puntos de aplicación de dióxido de cloro y su impacto en la calidad en el agua tratada.

Se logró establecer un programa de control sistemático de parámetros fisicoquímicos a lo largo del proceso de potabilización y la determinación periódica de la demanda de dióxido de cloro del agua cruda, como base para establecer la dosis a aplicar.

En esta segunda etapa, se alcanzó el objetivo propuesto de reducción de los subproductos de la desinfección (SPD), lográndose reducir sostenidamente la concentración de trihalometanos desde niveles cercanos a 100 µg/L a valores entre 35 y 50 µg/L.

Por último se realizó la evaluación de costos de insumos de potabilización en ambos sistemas y se calculó que la incidencia del costo del dióxido de cloro corresponde a entre un 30 a 35% del gasto total de insumos químicos, por lo cual es necesario evaluar cuidadosamente la necesidad de su aplicación y la dosis adecuada.

Palabras clave: dióxido de cloro, trihalometanos, agua potable, grandes acueductos, costos.

2. INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Santa Fe existen al año 2021, 422 servicios de agua, que abastecen a aproximadamente 3,2 millones de habitantes, representando una cobertura de agua de más de 95% de la población urbana.

De los 422 servicios de agua, 377 utilizan agua de fuente subterránea, abasteciendo al 40% aproximadamente de la población provincial que cuenta con servicio de agua, mientras que los restantes servicios utilizan como fuente de abastecimiento, agua de tipo superficial proveniente del sistema hidrológico del río Paraná.

Las aguas subterráneas, principalmente en la zona oeste de la provincia, presentan alguna problemática de calidad química, requiriendo algún tratamiento para resultar aptas para consumo humano. Los problemas de calidad mas frecuentes son: alta salinidad, con altos contenidos de Sodio, Sulfatos, Cloruros; presencia de Arsénico, Nitratos, Hierro y/o Manganeseo por encima de los límites admitidos.

A fin de resolver los problemas de calidad y /o cantidad de agua para consumo humano en la región centro y oeste de la provincia, el gobierno provincial desde el año 2001 ha encarado un Programa de abastecimiento de agua potable mediante sistemas de grandes acueductos que transportarán agua superficial tratada proveniente del sistema del Río Paraná a casi 300 localidades., el cual se puede consultar en la página oficial: [www. santafe.gov.ar](http://www.santafe.gov.ar).

El Acueducto Centro Oeste (ACO), es el primer gran acueducto en la Provincia de Santa Fe, inaugurado el año 2010, siendo la primer experiencia en cuanto al desafío de su operación por parte de la empresa Prestadora y de control por parte del Ente Regulador.

El sistema del ACO está integrado por una planta potabilizadora, Planta Potabilizadora Monje (PPM) que capta agua del río Coronda y conduce agua superficial tratada a 13 localidades de la provincia de Santa Fe, a lo largo de mas de 120 km de distancia, a una población total de aproximadamente 70.000 habitantes.

El Ente Regulador de Servicios Sanitarios tiene el poder de policía, de control y regulación de los servicios sanitarios en todo el ámbito provincial. Cuenta con laboratorios propios con el equipamiento y personal capacitado para realizar la vigilancia de la calidad del agua suministrada a los usuarios.

En cuanto a problemáticas de calidad, siendo la fuente de provisión del ACO, agua superficial, se debe prestar principal atención a los parámetros microbiológicos (bacteriológicos,

protistológicos y parasitológicos), a los posibles contaminantes de origen antropogénico que puedan incorporarse aguas arriba de la toma de agua y a los compuestos derivados de la reacción del cloro con materia orgánica presente en las aguas superficiales, es decir los subproductos de la desinfección (SPDs).

Considerando las particularidades del sistema de abastecimiento de un gran acueducto, con toda su complejidad, los kilómetros de longitud de cañería, acoples, válvulas de protección, etc, resulta prioritario mantener un nivel de cloro residual a lo largo de todo el sistema a fin de asegurar la calidad microbiológica del agua que reciben las localidades conectadas al mismo, meta que ha sido satisfactoriamente cumplimentada por el operador del mismo.

La desinfección es una operación incuestionable en la seguridad del abastecimiento de agua para consumo humano, reduciendo en general el riesgo de enfermedades de origen microbiano, siendo la cloración el proceso de desinfección mayormente utilizado en los servicios centralizados de agua de la provincia de Santa Fe

La desventaja de la cloración es la producción de subproductos de la desinfección (SPD), dentro de los cuales los mayormente estudiados son los trihalometanos (THMs). Este grupo de compuestos incluye al cloroformo, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano y Bromoformo.

Las normas de calidad de agua para consumo humano establecen límites máximos para el total de trihalometanos y algunas lo hacen también para los compuestos individuales.

En la Provincia de Santa Fe la Norma de Calidad de Agua Potable, dispuesta por la Ley provincial N° 11.220 en su Anexo A, establece un límite máximo obligatorio de 100 µg/L para los THMs totales y de 30 µg/L para el cloroformo. De acuerdo a reglamentaciones posteriores al dictado de la ley, el límite de cloroformo no se considera obligatorio, siempre y cuando los THMs totales no superen los 100 µg/L.

La importancia sanitaria del control de los THMs en agua para consumo humano radica en los posibles efectos en la salud derivados de la ingesta de los mismos a través del agua, principalmente para el cloroformo y Bromodiclorometano, clasificados como "posibles carcinógenos para el ser humano" a partir de estudios con animales, con resultados positivos en la aparición de tumores en hígado. (OMS, 2018)

En el transcurso de la operación del ACO, en los controles de calidad realizados por el ENRESS se verificaron concentraciones de THMs por encima del límite vigente en muestras de agua extraídas en las cisternas de las localidades del sistema y en ocasionalmente en salida de la planta potabilizadora, mientras el resto de los parámetros tanto microbiológicos como químicos cumplieron en general con la normativa de calidad.

Esto motivó la realización de un estudio de evaluación de la generación de THMs en la Planta Potabilizadora Monje en sus distintas etapas y en distintos tramos del acueducto, realizado en los años 2013 – 2016.

En dicho estudio se evidenció un incremento marcado en la concentración de THMs durante el almacenamiento de agua tratada en planta potabilizadora, prácticamente se duplican con relación a los niveles detectados en agua en salida de filtros y se observó un aumento de THMS menos importante, del orden del 25%, durante el transporte del agua mediante el acueducto.

A fin de reducir las concentraciones de THMs en el agua en el sistema de provisión de agua del ACO, a partir del mes de julio de 2015, el operador implementó la precloración con dióxido de cloro.

La aplicación de dióxido de cloro tiene como fin la eliminación o reducción de los compuestos orgánicos precursores de THMs, ya que a diferencia del cloro gaseoso o del Hipoclorito de Sodio, utilizados habitualmente en la precloración, el dióxido de cloro oxida la materia orgánica sin producir reacciones de adición de haluros, por tanto la generación de trihalometanos es casi nula.(Marta de la Cruz, et al, 2013)

Existen algunas limitaciones sanitarias al uso de dióxido de cloro, la dosis no puede ser mucho mayor a 1 mg/L, para evitar formación de cloratos y cloritos que pueden presentar efectos tóxicos. Es por ello, que se utiliza mayormente como pretratamiento y no como desinfectante final.(Charissa Larine Harris. 2001; manual del ENOHSA)

En la Planta Potabilizadora de Monje (PPM), el dióxido de cloro se aplica en cámara de carga, con una dosis entre 0,5 mg/L y 0,8 mg/L.

En el **Anexo I** se adjunta el informe del estudio "DINÁMICA DE FORMACIÓN DE trihalometanos EN EL ACUEDUCTO CENTRO OESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA FE", realizado en el periodo 2013-2016, que sirve como base para la primer etapa del presente trabajo.

En la Primer Etapa del presente trabajo, se evalúa durante el periodo 2018 – 2019 la variación de la concentración de THMs en agua tratada en diferentes condiciones de calidad de agua cruda y de aplicación de dióxido de cloro y se realizan propuestas de mejoras.

Por otra parte, a fines de 2019 se concluyeron las obras correspondientes a la Planta Potabilizadora Reconquista (PPR) que abastece de agua superficial tratada al Acueducto del mismo nombre.

En la puesta en marcha de dicha planta se verificaron problemas para cumplir con el límite de THMs totales en el agua tratada. A comienzos del 2020 se inicia la Segunda Etapa de

este trabajo, con la colaboración de personal de la UTE que construyó la PPR y que tenía a cargo la puesta en marcha de la misma.

Se realizaron pruebas de cambios de puntos de dosificación del dióxido de cloro, ensayos de demanda de Dióxido, determinación de potencial de formación de THMs en diferentes condiciones de operación, lográndose los objetivos propuestos en esta segunda etapa de trabajo.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la dinámica de formación de THMs en el sistema de provisión de agua potable del Acueducto Centro Oeste y del Acueducto Reconquista y la eficacia de la aplicación de dióxido de cloro para reducir los mismos.

3.2. OBJETIVOS PARTICULARES

3.2.1. Primera etapa - ACO

- Analizar las variaciones en la calidad del agua utilizada como fuente de abastecimiento del ACO y su incidencia en la formación de THMs.
- Evaluar la eficacia de la aplicación de dióxido de cloro en la reducción de la formación de THMs en las condiciones del sistema estudiado.
- Evaluar la incidencia del punto de dosificación de dióxido de cloro en la formación de THMs.
- Evaluar los costos asociados a la dosificación de dióxido de cloro.

3.2.2. Segunda etapa - Reconquista

- Analizar las variaciones en la calidad del agua utilizada como fuente de abastecimiento de la PPR y su incidencia en la formación de THMs.
- Evaluar la concentración de THMs en diferentes escenarios de dosificación de dióxido de cloro.
- Evaluar los costos asociados a la dosificación de dióxido de cloro.
- Proponer una metodología de evaluación analítica de las características del agua cruda para definir dosis de dióxido de cloro.

4. ANTECEDENTES E INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. DESINFECCIÓN DEL AGUA. SUBPRODUCTOS DE LA CLORACIÓN

La desinfección del agua refiere a la destrucción o inactivación de organismos patógenos presentes en ella, siendo la cloración el proceso de desinfección mayormente utilizado en los servicios centralizados de agua de la provincia de Santa Fe, con la excepción de algunas plantas de ósmosis inversa que utilizan radiación ultravioleta.

La cloración constituye una barrera eficaz contra numerosos patógenos (especialmente bacterias) reduciendo el riesgo de enfermedades de transmisión hídrica, aunque tiene una eficacia limitada frente a protozoos patógenos, en particular para *Cryptosporidium*. (OMS. 2018)

La cloración ha resultado ser un proceso con amplias ventajas en relación a otros: es eficiente, fácil de aplicar y posee un poder residual que protege la contaminación del agua durante la distribución y es fácilmente medible y controlable.

La Norma de Calidad de Agua vigente en Santa Fe establece como límite Obligatorio una concentración máxima de cloro Activo de 1,2 mg/L y un Límite Recomendado entre 0,2 y 0,5 mg/L.

La desventaja de la cloración es la producción de subproductos de la desinfección (SPD), en especial los trihalometanos que fueron descubiertos en la década de 1970.

Los THMs representan una fracción de los SPDs que pueden generarse por la cloración pero han sido los más investigados, siendo los que la mayoría de las normas de calidad de agua utilizan como indicadores de dichos productos y poseen límites máximos como THMs totales o en forma individual.

El cloroformo (CHCl_3) es el Trihalometano más común y el principal subproducto de la desinfección del agua de consumo humano clorada, siguiendo en general en concentración el Bromodiclorometano (BDCM: CHCl_2Br), Dibromoclorometano (DBCM: CHClBr_2) y Bromoformo (CHBr_3), según los análisis realizados por el ENRESS y por ASSA en sistemas de potabilización de aguas superficiales, que coinciden con la bibliografía. (Hernández Sánchez, C., et al. 2011, Galvin, R. M., 2015)

No obstante los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos, los mismos son relativamente bajos en comparación a los riesgos asociados a una desinfección insuficiente, tal es así que la OMS expresa que: "El intento de controlar los subproductos de la cloración, no debe poner en peligro la desinfección".

4.1.1. Proceso de generación de THMs: precursores y variables intervinientes

Los compuestos orgánicos asociados a la generación de THMs son los ácidos fúlvicos y ácidos húmicos, compuestos naturales de mayor presencia en aguas superficiales (60-80%).

Las sustancias húmicas se dividen usualmente en dos componentes: ácidos húmicos (HA), los cuales son solubles en medios alcalinos diluidos pero precipitan en medio ácido y los ácidos fúlvicos (FA) que permanecen en solución a pH bajos.

La estructura de ambos son similares pero las dos fracciones difieren considerablemente en el peso molecular y la composición del grupo funcional.

El PM de los ácidos Fúlvicos varían entre 200 y 1000 UMA, mientras que los rangos de los ácidos húmicos están por encima de 200.000 UMA.

Estos compuestos poseen grupos polares hidrofílicos en su superficie que incluyen fenoles polihidroxilados y ácidos fenólicos.

Otros precursores como las algas, productos metabólicos algales, la clorofila, fenoles halogenados, anilinas, ácido tánico y aún polielectrolitos usados en la potabilización del agua han sido identificados, y se caracterizan por contener grupos hidroxilados ácidos.

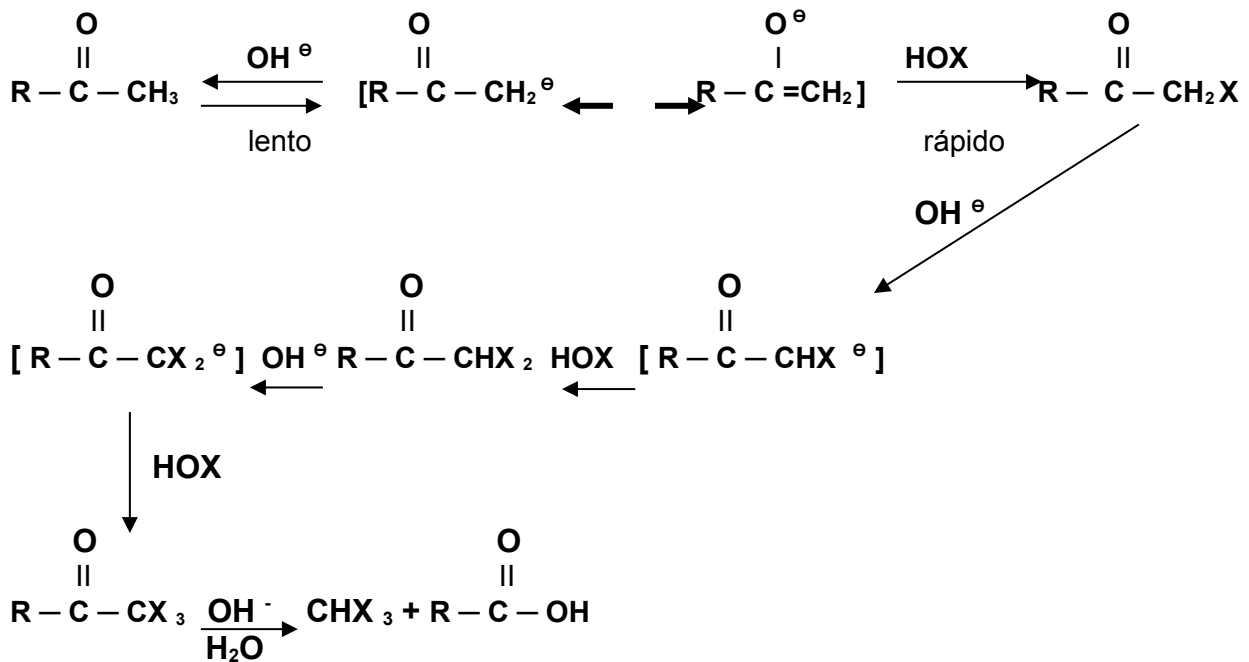
Se ha postulado que los THMs se forman vía la reacción clásica de los halógenos en donde el Hipoclorito acuoso reacciona con la Metil acetona, bajo condiciones básicas para dar Trihalometanos.

Luego de haber sido sustituidos tres átomos de Hidrógeno por tres átomos de Cloro, ocurre la hidrólisis que da lugar a los THMs. Sin embargo se ha demostrado que existen otras reacciones complejas que llevan a la producción de estos compuestos. (Deininger, R.A. et al, 1998).

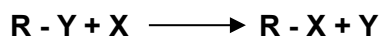
Por otra parte, si el agua natural contiene Bromuros, el Hipoclorito oxida los Bromuros a ácido Hipobromoso y este último puede luego participar en reacciones de sustitución para dar THMs con más de un tipo de halogeno; Bromodiclorometano, Dibromoclorometano, Bromoformo.

En su tesis de Magister, la Ing, Vilma Ortolani, ha recabado y resumido las reacciones de formación de THMs mediante la reacción de sustitución de los Halógenos, postuladas por Rook en 1974 aunque se ha estudiado que no es la única vía de formación y existen otros mecanismos involucrados.(Peters et al., 1980; Tomita et al., 1982; Boyce y Hornig, 1983).

Se transcribe a continuación el modelo de producción de THMs vía reacción halofórmica:



La reacción de sustitución puede simplificarse de la siguiente manera:



Efecto de algunas variables en la formación de THMs

Efecto del pH: La reacción clásica de los halógenos es catalizada por las bases por tanto un aumento en el pH incrementa los niveles de THMs. Este incremento se debe a un aumento de la velocidad de reacción.

Un pH ácido favorece a la destrucción de los precursores de THMs y a su vez los grupos funcionales ácidos de los ácidos húmicos se encuentran no ionizados lo que conduce a la agregación de las moléculas debido a fuerzas de Van der Waals disminuyendo los sitios reactivos disponibles.

A pH > 9 la velocidad de formación de THMs es mayor.

Temperatura: La velocidad de formación de los THMs aumenta con el incremento de la Temperatura. Se ha estudiado que los valores se duplican cuando se comparan datos a 3°C y a 25°C para un tiempo dado.

En general, para un mismo sistema, los THMs en verano son más altos que en invierno pero esto no se debe solamente a la temperatura sino que deben considerarse otros factores vinculados al agua cruda y su composición estacional.

Efecto de la Dosis de cloro: La formación de THMs principalmente se debe a reacciones de sustitución. Los THMs solamente se forman en presencia de cloro libre.

En ese sentido dependerá de la cantidad de cloro libre y del tiempo de contacto.

Con la adición de cloro al agua hay una demanda de cloro inmediata, principalmente inorgánica, y durante la misma sólo se forman trazas de THMs, seguida de un incremento rápido de THMs si se aumenta la dosis de cloro.

Cuando todos los precursores han reaccionado, los niveles de THMs alcanzan una estabilización o aumentan muy lentamente en el tiempo.

Contenido de Bromuro:

Se ha estudiado que el aumento de la concentración de Bromuro provoca no solamente un aumento del porcentaje de los THMs bromados, sino también un incremento de la concentración total de de THMs y de su velocidad de formación.

Distintos estudios han demostrado que cuanto mayor es el contenido de bromuro del agua más rápidamente proceden las reacciones y mayor será la concentración de SPDs y entre estos aumentará la cantidad de especies bromadas que se forman. (10)

En síntesis, la presencia de THMs representa un fenómeno complejo donde existen diferentes fenómenos acoplados como la cinética de la generación, desaparición por reacción, adsorción y volatilización, hidrólisis, etc. en los cuales intervienen, tanto variables del proceso (pH, temperatura, precursores), el tipo de mecanismo de desinfección (pre y post cloración) y de la eficiencia del sistema potabilizador de eliminar materia orgánica.

4.2. TRIHALOMETANOS: NORMATIVAS DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO, EFECTOS EN LA SALUD.

A partir de la década de 1970 se han llevado a cabo numerosos estudios epidemiológicos sobre los posibles vínculos entre el consumo de agua clorada y los efectos en la salud, especialmente cáncer.

La mayoría de los estudios realizados en diferentes poblaciones, mayormente en EUA, Canadá, Finlandia y Noruega han sido de tipo ecológicos pero se han realizado también estudios de casos y controles y se han concentrado en la evaluación del riesgo de cáncer.

Los tipos de cáncer que se han asociado a la exposición a SPDs son de colon, recto y vejiga, detectándose evidencias de correlaciones entre débiles y moderadas, en algunos de ellos. Los resultados positivos están relacionados con la exposición prolongada al agua clorada (de 30 a 40 años).(Corey G, 1996)

Las evidencias científicas actuales son insuficientes para aseverar que la cloración del agua representa un riesgo significativo de cáncer. Sin embargo, las investigaciones de

laboratorio han proporcionado buenos indicios del potencial mutagénico y carcinogénico en animales de alguno de los THMs. (OMS, 2018)

Por lo tanto, a fin de proteger la salud de los usuarios de los servicios de agua, debe primar el principio de precaución y los prestadores de los servicios deben adoptar las medidas preventivas y correctivas al tratamiento del agua de manera de reducir los SPDs tanto como sea posible sin comprometer la desinfección del agua.

4.2.1. Valores de Referencia OMS

A partir de estudios de toxicidad en animales y ensayos in vitro, la Organización Mundial de la Salud establece los Valores de Referencia para los SPD en agua segura para consumo humano. De acuerdo a las investigaciones más recientes, los compuestos bromados presentan mayor toxicidad para el ser humano que el cloroformo, siendo el Bromodiclorometano el que presenta un Valor de Referencia para agua potable más bajo.

Tabla N° 1: Valores de Referencia para los THMs. Guías para la Calidad del Agua Potable 4ta edición – Organización Mundial de la Salud

Compuesto	Valor de Referencia (ug/l)
cloroformo	300
Bromodiclorometano	60
Dibromoclorometano	100
Bromoformo	100

Estos valores se basan en evaluaciones de Ingesta Diaria Tolerable (IDT), excepto para el Bromodiclorometano (BDCM) que por ser un compuesto probablemente cancerígeno sin umbral se utiliza la metodología de extrapolación lineal.

Los efectos en la salud descriptos para estos compuestos por la OMS se resumen a continuación:

Cloroformo El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el cloroformo como posiblemente cancerígeno para el ser humano (**Grupo 2B**), con base a la existencia de pruebas suficientes de su capacidad cancerígena en animales de experimentación y en la escasez de pruebas de su capacidad cancerígena en el ser humano. En diversos estudios con animales se ha verificado producción de tumores hepáticos con un mecanismo de inducción con umbral. Por este motivo, la OMS ha calculado una IDT de la cual deriva el VR para agua potable.

Bromodiclorometano: El CIIC ha clasificado el BDCM en el **Grupo 2B** (posiblemente cancerígeno para el ser humano).

Diversos ensayos in vitro e in vivo de genotoxicidad del BDCM dieron resultados tanto positivos como negativos. En un bioensayo, el BDCM indujo adenomas y adenocarcinomas renales en ratas de ambos sexos y en ratones macho, tumores poco comunes del intestino grueso (pólipos adenomatosos y adenocarcinomas) en ratas de ambos sexos, adenomas y adenocarcinomas hepatocelulares en ratones hembra. Sin embargo, en un reciente bioensayo del NTP sobre la carcinogenicidad, en el que se dosificó el BDCM en el agua de consumo humano, el resultado fue negativo. La exposición al BDCM también se ha relacionado con un posible aumento de los efectos sobre la función reproductora (mayor riesgo de aborto espontáneo o morbinatalidad).

Dibromoclorometano

El CIIC ha clasificado el DBCM en el **Grupo 3** (no clasificable con respecto a su capacidad cancerígena para los seres humanos⁹). Varios ensayos han estudiado la genotoxicidad del DBCM, pero los datos disponibles no se consideran concluyentes.

Bromoformo . El CIIC ha clasificado el bromoformo en el **Grupo 3** (no clasificable con respecto a su capacidad cancerígena para los seres humanos). Existe alguna evidencia de generación de tumores en ratas pero no concluyente. Los datos de diversos ensayos de genotoxicidad del bromoformo son ambiguos.

La OMS propone para la evaluación de los THMs totales utilizar el siguiente algoritmo:

$$C_{\text{Bromof}} / VR_{\text{Bromof}} + C_{\text{DBCM}} / VR_{\text{DBCM}} + C_{\text{BDCM}} / VR_{\text{BDCM}} + C_{\text{Clorof}} / VR_{\text{Clorof}} \leq 1$$

Donde:

C_{Bromof} : Concentración de Bromoformo en ug/L.

VR_{Bromof} : Valor de Referencia para Bromoformo en ug/L.

C_{DBCM} : Concentración de DBCM en ug/L.

VR_{DBCM} : Valor de Referencia para DBCM en ug/L.

C_{BDCM} : Concentración de BDCM en ug/L.

VR_{BDCM} : Valor de Referencia para BDCM en ug/L.

C_{clorof} : Concentración de Cloroformo en ug/L.

VR_{clorof} : Valor de Referencia para cloroformo en ug/L.

Utilizando este algoritmo se pueden admitir valores de THMs totales cercanos a 200 ug/l.

El Valor de referencia para el cloroformo propuesto por la OMS en la última edición de las "Guías para la calidad del agua potable", se ha elevado considerablemente respecto del recomendado en ediciones anteriores, según se muestra en el siguiente cuadro resumen:

Tabla N° 2: Evolución de Valores de Referencia para cloroformo. Guías para la Calidad del Agua Potable – OMS.

Guías OMS para el agua potable	VR cloroformo (ug/L)	Observaciones
2da Edición - Año 1993/97	200	IDT: 15 ug/Kg. Proporción de la ingesta asignada al agua: 50%
3ra Edición - Año 2004	200	IDT: 15 ug/Kg. Proporción de la ingesta asignada al agua: 50%
4ta Edición - Año 2011	300	IDT: 15 ug/Kg. Proporción de la ingesta asignada al agua: 75%

La explicación de esta modificación para el VR del cloroformo se basa en el cambio de ponderación de las vías de exposición de los seres humanos a los THMs. La OMS considera como principal vía de exposición al agua potable clorada.

Siendo el calculo de Valor de Referencia para agua de bebida:

$$VR = \frac{IDT \times P_c \times P_{\text{agua}}}{C}$$

P_c: Peso corporal
 P_{agua}: Proporción de la ingesta asignada al agua
 C: Consumo diario de agua

La estimación de la IDT (ingesta diaria tolerable) no se ha modificado pero al incrementarse la proporción de la ingesta asignada al agua, el VR es mayor. Esta es la explicación del cambio de VR para el cloroformo en el agua apta para la bebida.

4.2.2. Límites admitidos en otras Normas de Calidad de agua

Sin embargo, otras Normas de calidad de agua para consumo humano en países desarrollados, que representan una referencia al momento de establecer normativas locales, establecen límites para THMs totales muchos más bajos que la OMS, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla N° 3: Límites máximos admitidos para THMs en agua potable en Normas de calidad de agua

Norma de calidad	Límite de THMs en agua (ug/L)
USEPA (2009)	80
UE (1998) en revisión	100
Canadá (2006)	100

En la República Argentina, como Reglamento nacional de calidad de agua potable, existe el Código Alimentario Argentino (CAA) y asimismo algunas provincias tienen sus Normas de calidad de agua que no deben ser más permisivas que el CAA.

Tabla N° 4: Límites máximos admitidos de THMs para agua potable en Normas de calidad de agua potable en la República Argentina

Norma de calidad	Límite de THMs Totales en agua (ug/L)
Código Alimentario Argentino	100
Ley 11.220 Anexo A – Pcia de Santa Fe	100
Norma de calidad para Aysa y otros Prestadores de la Pcia. de Bs As	100

4.3. MÉTODOS GENERALES DE REDUCCIÓN DE THMS

La cantidad de THMs totales que se formarán en un sistema de potabilización en el que se realiza cloración dependerá de la cantidad de precursores, relacionado con el Carbono Orgánico Total, de la dosis de cloro, el tiempo de contacto y otras variables que fueron descriptas anteriormente.

En el manual “Teoría y Práctica de la Purificación del Agua” de Jorge Arboleda Valencia se plantean tres alternativas para la eliminación de los THMs:

- a) Remover los THMs luego de su formación.
- b) Reducir la concentración de compuestos orgánicos o la demanda en el agua antes de la cloración.
- c) Cambiar el cloro por otros desinfectantes alternativos que no producen THMs o minimizan su producción.

Se describen a continuación los pro y contra de estas alternativas:

a) Remover THMs luego de su formación

Se plantea como la alternativa más difícil y costosa de las tres: podrían adsorberse los THMs con Carbón activado granular, agregar Carbón activado en polvo o eliminar por aereación en torres especiales.

b) Reducir la concentración de compuestos orgánicos antes de la cloración.

Para ello se plantean diferentes opciones:

1. Oxidar los compuestos orgánicos con compuestos no clorados: Agua oxigenada, Permanganato de potasio, Ozono. Debe haber un recinto de pretratamiento.
2. Predesinfectar con algún compuesto no productor de THMs como el Ozono o el dióxido de cloro,
3. Cambiar los puntos de pre y post cloración, ej, la precloración luego de la sedimentación o suprimir la precloración si no hay problemas de desarrollo de algas.
4. Agregar Carbón activado y adsorber compuestos orgánicos antes de clorar.

c) Cambiar el cloro por otros desinfectantes.

No hay un desinfectante alternativo al cloro que a igualdad de costo pueda competir con los beneficios del cloro.

Ozono: El ozono requiere alto consumo de energía eléctrica, equipos costosos y difíciles de operar. Se aplica en zonas de bajas temperaturas donde el crecimiento de bacterias en red de distribución no requiere un residual de desinfectante. Se aplica en aguas con bajo contenido de Carbono Orgánico Total y con tiempos de residencia en red de distribución menores a 12 horas.

Dióxido de cloro: Se usa principalmente como pretratamiento, para oxidar materia orgánica en el agua cruda y luego cloro como desinfectante final. Una desventaja es el costo. El clorito de Sodio utilizado para su producción es un insumo caro. La operación de generación es compleja, se requiere personal especializado.

A continuación se tratará en detalle todo lo concerniente a la aplicación de dióxido de cloro como pretratamiento en la potabilización del agua por procesos convencionales.

4.4. PRECLORACIÓN CON DIÓXIDO DE CLORO

4.4.1. Características y reactividad del dióxido de cloro

La utilización del dióxido de cloro (ClO₂) como desinfectante del agua se remonta a principios del siglo pasado, pero es bastante después cuando se emplea más generalmente como alternativa al cloro al comprobar que proporciona al agua mejores propiedades organolépticas. (Deininger, R.A. et al.1998)

Por otra parte, el incremento de la contaminación del agua y los problemas derivados de la formación de trihalometanos y otros compuestos organoclorados, abren nuevas posibilidades y ventajas en el empleo del dióxido de cloro.

El dióxido de cloro es una molécula pequeña, volátil y muy soluble en agua, unas cinco veces mayor que el cloro, que se hidroliza muy lentamente, por lo que existe en solución como una molécula sin disociar y tiene un poder de oxidación de 2,5 veces mayor que el cloro.

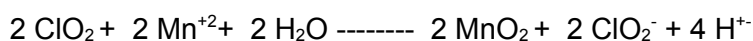
A temperatura ambiente, el dióxido de cloro es un gas amarillo verdoso, con un distintivo olor similar al cloro; el olor se percibe en el aire a 0,1 ppm y a 45 ppm es irritante, es unas 2,4 veces más denso que el aire.

Es bastante inestable y no puede ser comprimido ni licuado por peligro de explosión, por lo que debe ser generado en el lugar y en el momento de su empleo.

En solución acuosa el dióxido de cloro absorbe luz ultravioleta produciéndose su fotodescomposición a ácido hipocloroso y ácido clorhídrico.

Su poder bactericida y su potencial redox es poco afectado por el pH a valores de entre 6 y 10, al contrario de lo que ocurre con el cloro.

Oxida y reacciona con el Hierro y Manganeseo a velocidades de reacción mayores que el cloro. En la reacción de oxidación del Hierro y Manganeseo, el dióxido de cloro se reduce a clorito y el Hierro (+2) pasa a Hierro (+3), como Hidróxido Férrico y con el Manganeseo (+2) a Manganeseo (+4), como MnO₂ :



No reacciona con el Amoniaco; por tanto no forma Cloraminas.

El dióxido de cloro reacciona con la materia orgánica natural del agua, entre ellas los ácidos húmicos y fúlvicos, formando compuestos orgánicos oxidados en muy baja concentración como aldehídos y ácidos carboxílicos, pero sin producir reacciones de adición de haluros, por tanto la generación de Trihalometanos es casi nula. (Deininger, R.A. et al.1998; Ciurana Gay, C de, 2000)

Cuando el ClO₂ reacciona con los precursores de THMs, los deja en situación de no reactividad para formar posteriormente los SPDs, de forma que esta propiedad es el fundamento

aplicado en el tratamiento de preoxidación–desinfección: utilizar primero el ClO_2 que inhibe la formación de THMs y posteriormente cloro como desinfectante secundario tras la fase de filtración. (Arjona, Sindy et al. 2012)

Se debe considerar que la dosis máxima de ClO_2 estará limitada por la formación de cloritos, lo cual puede ocasionar que en algún caso no sea suficiente la dosis máxima de ClO_2 aplicada.

El dióxido de cloro empleado en la desinfección puede reaccionar con agentes reductores reduciéndose a clorito ($\text{ClO}_2 + e^- \rightarrow \text{Cl}_2\text{O}^-$), el cual puede considerarse como subproducto de la desinfección y puede tener efectos perjudiciales para la salud.

Es frecuente que se forme una cantidad de clorito del orden del 50% del ClO_2 que ha reaccionado con los compuestos del agua. La EPA, en Estados Unidos, fija un nivel máximo de clorito, como subproducto de la desinfección, de 1 mg/L. Mientras que la OMS estima un Valor de Referencia para agua potable de 0,70 mg/L.

4.4.2. Usos del dióxido de cloro en el tratamiento del agua

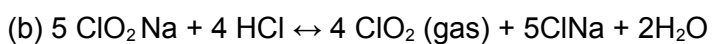
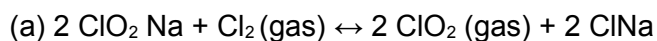
La dosificación de dióxido de cloro en el proceso de tratamiento del agua puede tener distintos objetivos, según describen varios autores y se sintetiza en las normas del ENOHSA, capítulo X, "Desinfección". a saber:

- **Desinfección:** el poder de oxidación y bactericida es superior al cloro, es eficaz en la inactivación de virus, bacterias y quistes protozoarios habitualmente encontrados en aguas crudas. Tiene ventaja con respecto al cloro pues se ha demostrado su eficiencia en la eliminación de *Cryptosporidium* y los Poliovirus.
- **Control de olores y sabores.** No produce clorofenoles, elimina compuestos orgánicos responsables de algunos sabores desagradables, no produce Cloraminas
- **Alguicida:** elimina algas y actúa sobre los productos de descomposición responsables de la mayor parte de los sabores.
- **Eliminación de color:** elimina el color producido por la clorofila y otros pigmentos
- **Precipitación de Hierro y/o Manganeseo:** oxida rápidamente los compuestos de Hierro y Manganeseo a sus formas insolubles:
- Presenta un elevado tiempo de permanencia en la red de distribución de agua tratada.
- Se lo utiliza para el control de los SPDs : No produce THMs y compuestos halogenados totales.

4.4.3. Producción y control del dióxido de cloro

Debido a su inestabilidad el dióxido de cloro debe generarse in situ. Para la generación del dióxido de cloro existen diversos sistemas, basados en la reacción del clorito Sódico con: cloro gas (vía cloro gas) (a) o con Ácido Clorhídrico (vía ácido clorhídrico) (b).

Las reacciones involucradas en el proceso son:



4.4.4. Equipo de preparación de dióxido de cloro

Los componentes principales del generador de dióxido de cloro son: los sistemas de medida, de regulación y control de los reactivos, la torre de reacción y los dispositivos de seguridad.

Se muestra en la figura N° 1 las instalaciones del generador de dióxido de cloro instalado en PPM vía cloro gas. En este caso, las dosificaciones de cloro gas se ajustan en el rotámetro y la de clorito de Sodio en la bomba dosificadora, acorde con la estequiometría de la reacción y de la cantidad de dióxido de cloro a generar.



4.4.5. Recomendaciones del ENOHSA para el uso de dióxido de cloro en el tratamiento del agua

En el Capítulo X, "Fundamentos" de las Guías del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) se analizan las ventajas y desventajas que presenta actualmente el uso del dióxido de cloro como desinfectante alternativo de los tradicionalmente utilizados en el país: cloro e Hipoclorito.

Considerando las condiciones técnicas y económicas de los abastecimientos de nuestro país, concluye que muy difícilmente éstos puedan hoy o en un futuro próximo implementar el uso del dióxido de cloro como desinfectante con una relación costo-beneficio aceptable.

El costo de la materia prima básica (clorito de sodio), el costo de los equipos generadores (que aún no se fabrican en el país) y fundamentalmente el de operación y mantenimiento de los mismos (repuestos importados, con frecuencia, falta de la apoyatura técnica local necesaria, etc.); el costo de los controles a realizar; la necesidad de implementar etapas de tratamiento adicionales al proceso convencional existente, para lograr una calidad de agua que pueda ser eficientemente desinfectada con los niveles de dióxido de cloro que normalmente se pueden utilizar como desinfectante secundario, con seguridad superan todavía los beneficios que se pueden obtener con el uso del dióxido de cloro.

Su implementación exige una rigurosa evaluación técnico-económica que debe incluir necesariamente, una serie de ensayos tanto en planta piloto como a escala real para determinar la factibilidad de su aplicación.

En relación a la aplicación como pre desinfectante o como pretratamiento, se evalúan las siguientes opciones de puntos de aplicación, que es importante tener en cuenta.

Puntos de Aplicación de dióxido de cloro

Tomando los recaudos necesarios durante las etapas de diseño, instalación y capacitación de los operarios, el dióxido de cloro se puede incorporar a las prácticas convencionales de tratamiento del agua sin interferir con las mismas y con gran eficiencia.

El dióxido de cloro, se puede aplicar en distintas etapas del tratamiento, como se muestra en la figura N° 2, para por ejemplo: controlar variaciones estacionales en la calidad del agua cruda, olores y sabores, el desarrollo ocasional de algas en las unidades de tratamiento, remover compuestos reductores (Hierro, Manganeso, Sulfuro) y para desinfectar.

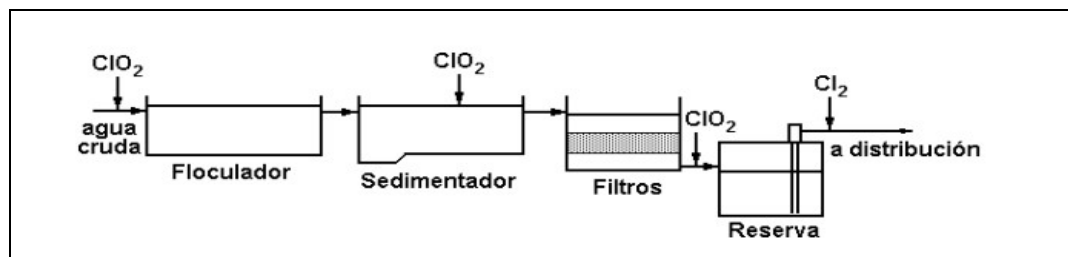


Figura N° 2: Puntos de aplicación de dióxido de cloro en plantas convencionales

Preferentemente se debe diseñar un sistema de inyección lo suficientemente flexible como para poder utilizarlo en puntos alternativos del proceso de tratamiento. En aquellos casos en que el dióxido de cloro se aplica como refuerzo de la desinfección con cloro, se puede utilizar los mismos equipos que se emplean en la cloración como ser: cloradores, reguladores de vacío, inyector, difusores, e inclusive sectores de las cañerías que se puedan adaptar fácilmente para el uso con soluciones de dióxido de cloro.

El dióxido de cloro se puede, habitualmente, aplicar en los mismos puntos en los que se inyecta cloro gaseoso o en solución.

Si bien frecuentemente se utiliza las cámaras de mezcla rápida para inyectar el dióxido de cloro, ya que, típicamente, cuentan con las instalaciones necesarias para la incorporación de cloro (cañerías, válvulas, inyector, etc.), no es aconsejable utilizarlas porque suelen resultar en un incremento del consumo de dióxido de cloro, debido a una mayor demanda química o por pérdida física del mismo. Además, resulta difícil mantener un residual de Dióxido por un periodo de tiempo prolongado dentro de éstas.

Es preferible aplicar el dióxido de cloro luego del tratamiento de coagulación, para permitir que se elimine, primero, la mayoría de los componentes sedimentables que ejercen demanda de desinfectante, antes de pretender oxidar solo una parte de la carga orgánica que pudiera contener el agua cruda.

Se debe evitar la aplicación justo antes de un resalto hidráulico debido a que se favorece la liberación del dióxido de cloro, aumentando la concentración del mismo en el aire en las proximidades del punto de aplicación y reduciendo el Dióxido residual que pudiera existir.

También se deben tomar los recaudos necesarios para evitar la aplicación de Dióxido en las proximidades de los puntos donde se inyecta cal en el tratamiento, debido a que a pH elevado el dióxido de cloro se descompone perdiéndose su utilidad.

Para optimizar la desinfección y la relación costos-beneficios, se recomienda dividir la dosis total de dióxido de cloro a aplicar, al agua cruda, clarificada o filtrada, en distintos puntos.

Esto reduce la cantidad total de dióxido de cloro que se consumiría si se lo inyecta solamente en el agua cruda, para control simultáneo de los trihalometanos y los olores y sabores. Esta forma de aplicación del dióxido de cloro también se ha utilizado para controlar el desarrollo de algas en las unidades de tratamiento, aún cuando esta división de las dosis, puede resultar en una menor cantidad de este compuesto que se aplica al agua cruda, la que podría no alcanzar a satisfacer la demanda de Dióxido de la misma.

Es necesario lograr una buena difusión del dióxido de cloro en la corriente de agua para que la aplicación sea efectiva, por lo que no se aconseja utilizar como inyector caños abiertos sólo en el extremo en lugar de difusores correctamente diseñados.

Por lo tanto, para lograr todos los beneficios que resultan del uso del dióxido de cloro, no sólo se lo debe generar eficientemente sino que, además, se lo debe aplicar correctamente.

4.4.6. Efectos en la salud del clorito y el clorato

Es importante conocer los potenciales efectos en la salud de los subproductos que se originan por reducción del dióxido de cloro, es decir los iones clorito y clorato.

Como se mencionó anteriormente, la OMS establece un Valor de Referencia (VR) para el clorito y clorato en agua para consumo humano de 0,7 mg/L para cada compuesto pero no establece VR para el dióxido de cloro, pues el mismo una vez ingerido se reduce totalmente a cloruro, clorito y clorato..

En un documento publicado por OMS en el año 2016, utilizado como antecedente para el desarrollo de las Guías de Calidad del Agua Potable, se sintetizan los estudios de toxicidad y carcinogenicidad realizados hasta ese momento para estos compuestos.

En resumen, en dicha publicación se indica que los hallazgos más consistentes sobre la toxicidad aguda del clorito de sodio se asocian con efectos sobre los eritrocitos en varias especies animales, por mecanismos de acción aún en discusión.

Estudios sobre la acción del clorato de sodio en varias especies han resultado en cambios en parámetros hematológicos y principalmente cambios en la histología de las glándulas tiroideas y consecuentemente en las hormonas tiroideas.

5. PRIMERA ETAPA. EVALUACION DE LA GENERACIÓN DE TRIHALOMETANOS EN EL ACUEDUCTO CENTRO OESTE (ACO)

5.1. OBJETIVOS PRIMERA ETAPA

5.1.1. Objetivo general

Reducir la concentración de THMs en el agua tratada de la Planta Potabilizadora del Acueducto Centro Oeste.

5.1.2. Objetivos específicos

- Analizar las variaciones en la calidad del agua utilizada como fuente de abastecimiento del ACO y su incidencia en la formación de THMs.
- Evaluar la eficacia de la aplicación de dióxido de cloro en la reducción de la formación de THMs en las condiciones del sistema estudiado.
- Evaluar la incidencia del punto de dosificación de dióxido de cloro en la formación de THMs.
- Evaluar los costos asociados a la dosificación de dióxido de cloro.

5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DEL ACUEDUCTO CENTRO OESTE

5.2.1. Generalidades

- La planta potabilizadora del ACO abastece 15 servicios de agua de localidades que se encuentran a una distancia entre 15 y 120 km de distancia aproximadamente desde la planta potabilizadora.
- Población servida aproximada: 70.500 habitantes.
- La fuente de provisión de agua cruda es el Río Coronda, río aluvial perteneciente al sistema del Río Paraná.
- El tratamiento de potabilización es de tipo convencional.
- Presenta una sola salida a red (acueducto) mediante estación de bombeo.
- La capacidad de tratamiento actual es de aproximadamente 600 m³/h.
- La calidad del agua producida debe cumplir con la Ley 11.220 Anexo A y normativa vigente.

5.2.2. Ubicación

La Planta Potabilizadora del Acueducto Centro Oeste se encuentra ubicada en la zona rural de la localidad de Monje, a aproximadamente 100 km al sur de la ciudad de Santa Fe. La toma de agua se encuentra a 6 km de la planta potabilizadora, sobre el río Coronda.



Figura N° 3: Ubicación Planta Potabilizadora de Monje - Pcia. de Santa Fe



Figura N° 4: Foto aérea de la Planta Potabilizadora de Monje .

5.2.3. Captación de agua cruda

La captación de agua cruda se realiza mediante 4 bombas sumergibles ubicadas en un muelle en el Río Coronda. Actualmente se opera habitualmente con 2 bombas, siendo su rendimiento 350 m³/h para una bomba, 560 m³/h para 2 bombas y 660 m³/h para 3 bombas.

En la toma de agua, se lleva a cabo una precloración intermitente con hipoclorito de Sodio, habitualmente una o dos veces por semana, durante un turno de 8 horas, a fin de controlar el crecimiento de algas y la colonización del sistema con *Limnoperna fortunei*, en los meses de primavera y verano.



Figura N° 5: Toma de PPM sobre el Río Coronda - Pcia. de Santa Fe



Figura N° 6: Obra de Toma y Bombas de la Planta Potabilizadora Monje - ACO

5.2.4. Cámara de carga

Cámara a cielo abierto de HºAº subdividida en tres subcámaras en serie, mediante un tabique vertical. En la segunda subcámara se divide el caudal en dos líneas.

En la primer sub-cámara se lleva a cabo la precloración, dosificando cloro gaseoso hasta setiembre de 2016 y dióxido de cloro desde entonces hasta la actualidad.

En esta cámara también se puede dosificar carbón activado en polvo cuando el agua cruda presenta algún contaminante orgánico de origen natural o antrópico.

Dimensiones: **1er sub cámara:** 2.00m x3.80m, con una altura máxima de tirante líquido de 1,24m, en ese nivel existe un vertedero hacia una cámara de desborde.

2da subcámara:1.60mx3.80m.

Calculo del tiempo de permanencia promedio del agua en ambas subcámaras:

$$T1=V/Q$$

$$T1=(2 \times 3.8 \times 1.24\text{m}^3 / 560\text{m}^3/\text{h}) \times 3600$$

$$\mathbf{T1 = 60\text{seg (primer subcámara)}}$$

$$T2=(1.60 \times 3.8 \times 1.24 \text{ m}^3 / 560\text{m}^3/\text{h}) \times 3600$$

$$\mathbf{T2 = 48 \text{ seg (2da subcámara)}}$$

5.2.5. Cámara de dispersión

El agua cruda preclorada llega a cada línea de clarificación. La cámara cuenta con vertederos destinados a la equirrepartición del caudal.

1ra Cámara de coagulación

En esta cámara se lleva a cabo el proceso de coagulación de la materia coloidal y partículas en suspensión. Se dosifica el coagulante (Sulfato de Aluminio en solución acuosa) y se realiza mezcla rápida mediante un electroagitador.

La dosis de coagulante metálico se determina por ensayos Jar-Test, variando según las características del agua cruda. Las dosis varían en un rango entre 60 a 130 mg/L según datos relevados en las inspecciones.

2da Cámara de coagulación

En esta cámara se dosifica coagulante orgánico, poliamidas catiónicas de alto peso molecular (polielectrolito), unos 5 segundos después del agregado de coagulante metálico. Se realiza mezcla rápida mecánica. La dosis habitualmente ronda los 1,5 mg/L.

En estas condiciones, el agua coagulada y con un pH de 6 a 6.5 unidades, ingresa a los floculadores.

5.2.6. Floculación

Consta de 4 líneas de 3 cámaras de floculación en serie cada una, con agitación mecánica a paletas verticales (4 brazos de 4 paletas verticales cada uno) y variaciones de velocidad de operación manual.



Figura N° 7: Floculadores PPM

5.2.7. Sedimentación

El agua floculada ingresa a una zona de distribución que disminuye la velocidad del flujo. En esta zona se efectúa una primera sedimentación de flocs. Luego el agua circula a través de seditubos con flujo ascendente. Estos seditubos son de plástico, de sección hexagonal e inclinación a 60°, produciéndose la sedimentación laminar.

El agua clarificada ingresa en la batería de filtros a partir de un canal que recoge agua decantada.

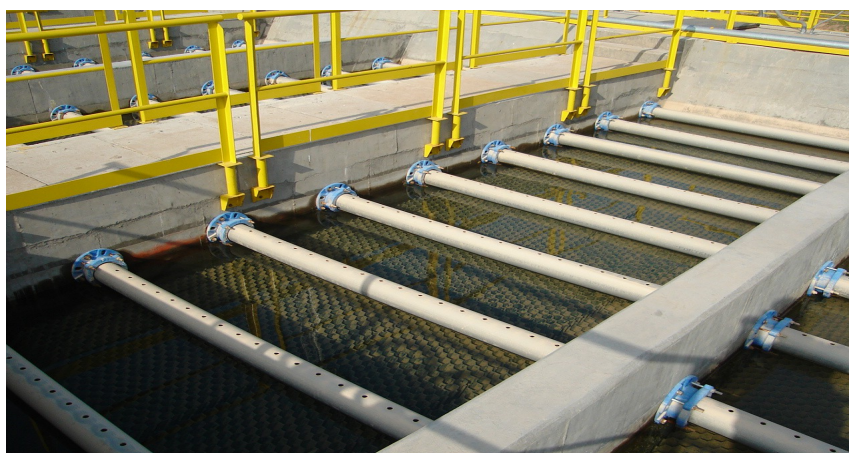


Figura N° 8: Sedimentadores de PPM, tipo laminar

5.2.8. Filtros

El proceso de filtración se lleva a cabo en una batería de 8 filtros rápidos de manto dual, arena y antracita, de flujo descendente y a presión atmosférica, con tasa de filtración variable declinante.

La velocidad de filtración de diseño es del orden de 10 m/h.

Calculo de tasa de filtración según caudal de producción promedio del mes de marzo de 413 m³/h:

$$\text{Área de filtración total: } (1,55\text{m} \times 3,90\text{m}) \times 8 = 48.36 \text{ m}^2$$

$$V=Q/A= 413\text{m}^3/\text{h}/48.36\text{m}^2= \mathbf{8.5 \text{ m/h}}$$

Velocidad de filtración con un filtro fuera de servicio;

$$\text{Área filtración: } (1,55\text{m} \times 3,90\text{m}) \times 7 = 42.31 \text{ m}^2$$

$$V=Q/A= 413\text{m}^3/\text{h}/42.31\text{m}^2= \mathbf{9.8 \text{ m/h}}$$

La carrera de los filtros es de 24 hs excepto se detecten problemas de Turbiedad en agua filtrada.

La operación de lavados de filtros se realiza por mecanismo de autolavado.

El método de lavado de los filtros es deficiente, debido al propio diseño de las unidades y se debe realizar un lavado de la superficie del manto con agua a presión para ayudar a retirar las algas que quedan retenidas en los primeros centímetros del mismo. Esto conlleva un gasto importante de agua de lavado, tiempo y mano de obra.

Actualmente se está evaluando la posibilidad de incorporar aire al proceso de lavado por lo que debe modificarse el falso fondo de los filtros.



Figura N° 9: Filtros de PPM

5.2.9. Desinfección de agua filtrada

Se realiza con gas cloro arrastrado por corriente de agua en el canal de agua filtrada, mediante un difusor, previo al ingreso a la cisterna de almacenamiento de agua tratada.

La dosis de cloro oscila entre 2,5 a 3,0 mg/L de cloro.

5.2.10. Alcalinización

La alcalinización hasta pH de saturación, se realiza con lechada de cal en agua filtrada, previo al ingreso a la cisterna.

5.2.11. Almacenamiento

Cisterna de agua tratada: Cisterna de H°A° de 4000 m³ de capacidad, dividida en dos compartimentos.

El tiempo de retención de agua tratada en la cisterna es de aproximadamente 8 hs a 9 hs.

$T=V/Q$ (caudal promedio producido febrero –marzo 493 m³/h)

T= 8 hs



Figura N° 10: Cisterna de agua tratada PPM

5.2.12. Sistema de bombeo

Estación de bombeo N°1 (EB1) – predio de la planta potabilizadora

El agua tratada, almacenada en la cisterna, es impulsada a las cisternas de la Estación de Bombeo N° 2 (EB2) y a la localidad de Monje, mediante dos bombas centrifugas horizontales, con un rendimiento de 300 m³/h para una bomba y 580 m³/h para dos bombas. Las bombas van alternándose según la demanda, se operan automáticamente desde el SCADA.

Desde el SCADA se puede visualizar también el cloro libre y operar un sistema de cloración con Hipoclorito de Sodio a la salida de planta.

Estación de Bombeo N° 2. Ubicada entre las localidades de Monje y Diaz. Desde allí se impulsa agua a la Estación de Bombeo N° 3 (EB3) y a las localidades de San Genaro, San Jenaro Norte, Clason, Totoras y Centeno, mediante 2 bombas con un Caudal nominal de 250 m³ /h cada una.

El control es automático por SCADA y también se puede operar sistema de hipocloración.

Estación Bombeo N° 3 (EB3): El agua almacenada en la cisterna de esta estación es impulsada a la Estación de Rebombeo N° 4 (EB4), las Rosas , Las Parejas, Los Cardos, mediante dos bombas de 160 m³/h cada una.

El control es automático por SCADA y también se puede operar sistema de hipocloración.

Estación Rebombeo N° 4 (EB4): El agua almacenada en la cisterna de esta estación es impulsada a las cisternas de las localidades de Montes de Oca, Bouquet y María Susana, mediante dos bombas de 64 m³/h cada una.

El control es automático por SCADA y también se puede operar sistema de hipocloración.

Diagrama de línea de tratamiento PPM

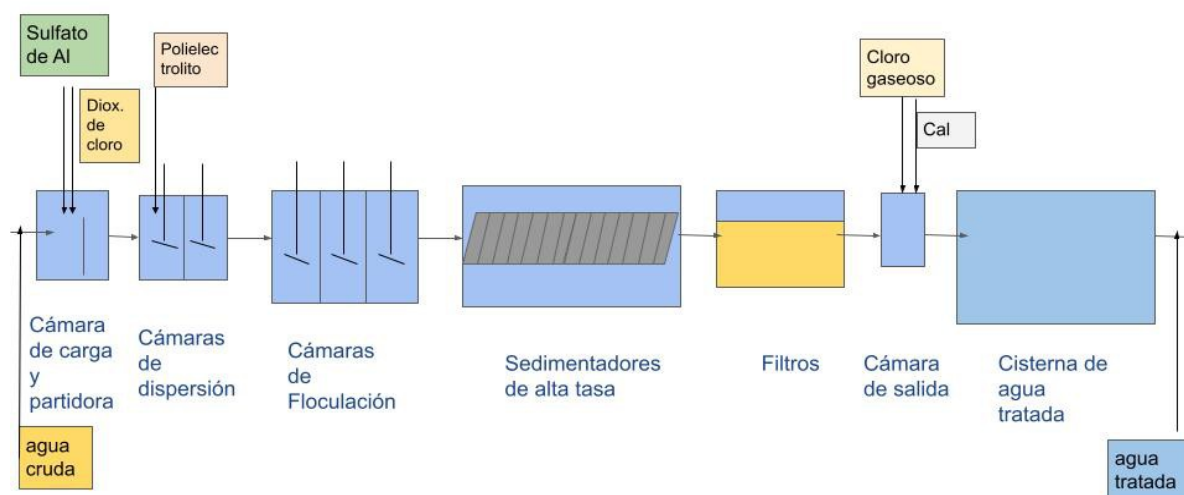


Figura N° 11: Diagrama de flujo etapas de tratamiento de PPM

5.2.13. Distancias entre las localidades abastecidas y la planta potabilizadora:

Las distancias desde la Planta Potabilizadora a la localidad mas cercana (Monje) es de 1 km, hasta la EB1 de 15 km aprox y hasta la localidad más lejana (María Susana) de 120 km, contando con 4 estaciones de bombeo.

En la imagen siguiente se muestra la traza del ACO con la ubicación de las estaciones de bombeo.

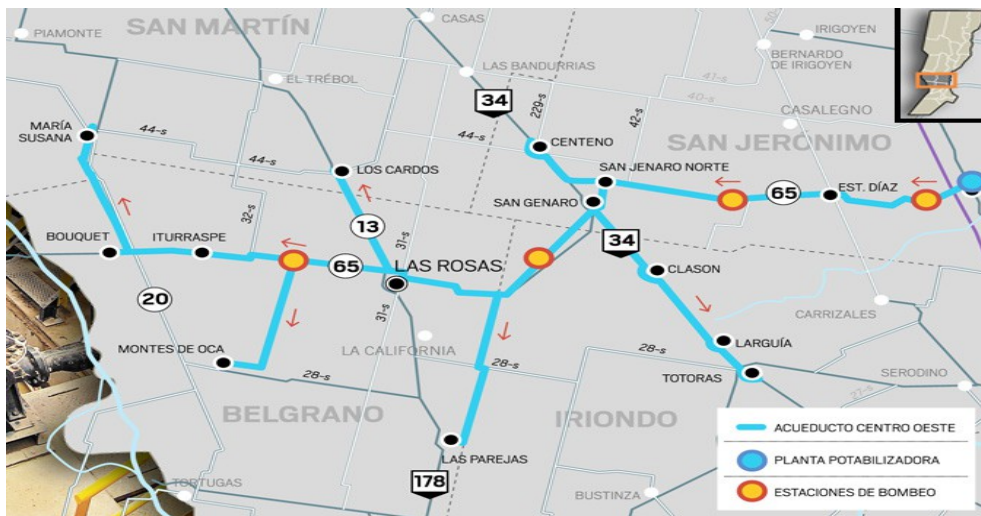


Figura Nº 12: Traza del ACO

5.3. TRIHALOMETANOS EN EL SISTEMA DEL ACO- ANTECEDENTES

Como se comentó anteriormente, el Acueducto Centro Oeste, es el primer gran acueducto de la Provincia de Santa Fe y resultó en la primer experiencia en cuanto al desafío de su operación por parte de la empresa Prestadora y de control por parte del Ente Regulador.

En cuanto a problemática de calidad, siendo la fuente usada agua superficial, los problemas habituales de calidad podrían ser de origen microbiológico, contaminación con químicos o materia orgánica de origen antropogénico por actividades aguas arriba de la toma de agua, y los derivados de la materia orgánica natural presente en las aguas superficiales que en combinación con el cloro pueden originar los SPDs.

En el transcurso de la operación de este acueducto, el único parámetro que resultó fuera de los límites vigentes fueron los THMs, mientras el resto de los parámetros tanto microbiológicos como fisicoquímicos se han mantenido dentro de los límites vigentes para agua potable.

Considerando las particularidades del sistema de distribución de un gran acueducto, debe ser prioritaria la eficacia de la desinfección y el mantenimiento de cloro residual a lo largo de todo el sistema a fin de asegurar la calidad microbiológica del agua que reciben las

localidades conectadas al mismo. Meta que ha sido satisfactoriamente cumplimentada por el Prestador del servicio.

En el periodo 2013 a 2016, se realizó un seguimiento sistemático de la concentración de THMs en distintos puntos del sistema del ACO y se evaluó el impacto de la aplicación de dióxido de cloro como preoxidante de precursores orgánicos en la reducción de THMs con el objetivo de cumplir la Normativa de calidad vigente.

Asimismo, se realizaron algunos ensayos Jar Test a fin de comparar si la producción de THMs en condiciones controladas difería según la calidad del agua cruda. Para ello se utilizó agua proveniente de la Toma de agua de la Planta Potabilizadora del ACO (Río Coronda, altura Monje) y se comparó con el agua proveniente de la Toma de la Planta Potabilizadora Rosario (Río Paraná, km 420)

En el **Anexo I** se presentan los resultados completos de la evaluación del sistema de potabilización del ACO, desde el año 2013 al 2016, haciendo foco en la concentración de THMs.

Las conclusiones y recomendaciones más relevantes de dicho estudio se sintetizan a continuación:

- El punto crítico donde se observa el mayor incremento de THMs se produce durante el almacenamiento de agua clorada en la cisterna de la PPM, producto del tiempo de contacto entre el cloro y los precursores orgánicos. El incremento de THMs totales en esta etapa es del orden del 100 % .
- El incremento de THMs observado desde salida de PPM al ingreso de las cisterna de las localidades abastecidas, se encuentra en el orden del 30-40%.
- De acuerdo a los Ensayos de Jarras realizados, no se han verificado diferencias significativas en la formación de THMs, comparando el agua cruda que abastece la PPM (Río Coronda) y la que abastece Planta Potabilizadora Rosario (Río Paraná). En dichos ensayos se ha verificado que en condiciones de mayor pH, la formación de THMs es mayor.
- El pre tratamiento implementado por ASSA, de adición de dióxido de cloro en cámara de carga, ha resultado en una disminución de los THMs en salida de planta cercana al 25%.
- Esta disminución en los THMs en Salida de Planta no resulta suficiente para cumplir con la normativa de calidad vigente, se han detectado niveles de THMs que superan el límite admitido de 100 ug/l.
- Se propone realizar una prueba de cambio en el punto de dosificación de dióxido de cloro al canal de agua decantada o bien repartir la dosis, basado en la hipótesis de que podría

resultar más eficiente la oxidación de los precursores luego de haber eliminado parte de los mismos en la coagulación-sedimentación.

- Asimismo, se debería implementar alguna medida tendiente a reducir el importante incremento de THMs durante el almacenamiento de agua clorada en la cisterna de la Planta Potabilizadora.
- Otra oportunidad de mejora es, evitar o reducir el desarrollo de algas en los sedimentadores.
- Por último, se observan dificultades para mantener en forma continua y constante la dosificación del dióxido de cloro por dos motivos: problemas reiterados en el equipo generador, que requiere un mantenimiento constante por corrosión de componentes y periódicas dificultades en la adquisición del clorito de Sodio.

Consideraciones en relación al uso del dióxido de cloro

En relación al uso de dióxido de cloro como pretratamiento para disminuir la formación de THMs se han detectado en planta las siguientes dificultades:

- La dosificación de dióxido de cloro no se realiza en forma continua sostenida en el tiempo, por problemas de abastecimiento de insumos, es decir de clorito de sodio. En general el prestador adquiere clorito de sodio para un periodo de aproximadamente 3 meses, y luego hay una demora en el abastecimiento, por lo que existen algunos periodos ventana en los cuales se retorna a la precloración con cloro gaseoso.
- En cuanto al equipo generador de dióxido de cloro, ha presentado problemas con una unión de teflón que se deteriora por corrosión y debe ser reemplazada cada 20 o 30 días, esto provoca también algunas paradas en cuanto a la dosificación del dióxido de cloro.
- En relación al punto de dosificación, existe una propuesta de cambiar el punto de aplicación al canal de agua decantada, de manera de que la dosis aplicada de dióxido de cloro resulte mas eficiente en eliminar precursores de THMs debido a que la concentración de materia orgánica en agua decantada es mucho menor que en agua cruda. Por otro lado, al ser el dióxido de cloro una molécula volátil, parte de lo agregado puede estar perdiéndose durante el proceso de mezcla rápida.
- Otro punto a considerar, es el costo del insumo, el clorito de sodio tiene un costo elevado.
- Dosis: según la bibliografía, la dosis recomendada para dióxido de cloro como pretratamiento es del orden de 1 a 2 mg/L, actualmente en la Planta del ACO se dosifica en valores entre 0,5 a 0,7 mg/L.

- Control: el nivel de dióxido de cloro es controlado mediante una técnica colorimétrica que utiliza Dietil p-fenilendiamina (DPD).

Subproductos de la cloración con dióxido de cloro: debería controlarse el nivel de clorito y/o clorato en agua. El kit analítico utilizado para medir dióxido de cloro, permite determinar clorito. No se ha implementado esta práctica en la planta del ACO, aunque cabe esperar que con las dosis aplicadas, no se supera el Valor de Referencia de la OMS de 0,7 mg/L para clorito o clorato.

Como logros del estudio realizado se puede resaltar la colocación de paneles con media sombra sobre los sedimentadores para opacar los rayos solares y disminuir el crecimiento de algas.

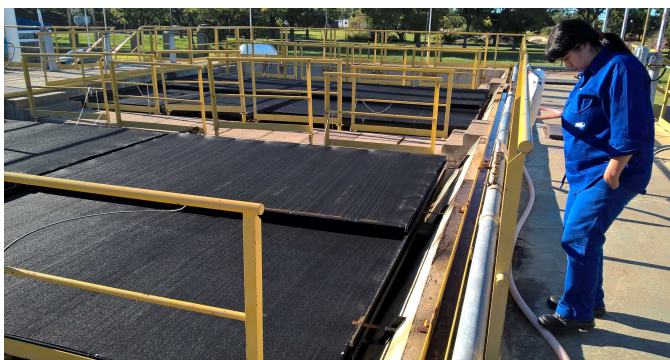


Figura N° 13: Paneles de media sombra en decantadores de PPM

Asimismo, el personal de la empresa prestadora adquiere experiencia y práctica en la operación del equipo generador de dióxido de cloro que puede ser transferida a los operadores de los próximos sistemas de potabilización que opten por esta tecnología.

En el año 2019, se decide retomar este trabajo, con el apoyo de personal de ASSA, con el objetivo de optimizar la aplicación de dióxido de cloro, a partir del análisis de datos de calidad de agua cruda y su posible correlación con la generación de THM, plantear cambios en la dosis y puntos de aplicación del dióxido, siguiendo las recomendaciones del ENOHSA, Capítulo X, Desinfección.

5.4. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta etapa del trabajo, se solicitó a la Empresa ASSA datos de calidad de agua cruda, datos de dosificación de insumos de potabilización, incluyendo el dióxido de cloro y resultados de trihalometanos en salida de planta potabilizadora del ACO, para el periodo 2018 y 2019. En el Anexo II, se adjuntan las tablas completas con los datos de calidad de agua cruda y tratada aportado por ASSA.

Las planillas de análisis de agua cruda incluyen los parámetros : Temperatura, pH, Turbiedad, Color, Conductividad, Alcalinidad y Cloruros, que se realizan en el laboratorio de plantra de la PPM, cada una hora, los 365 días del año.

En relación a los datos aportados por ASSA sobre análisis en el agua tratada, se incluyen los parámetros: Temperatura, pH, Turbiedad, Color, Conductividad, Alcalinidad, Cloruros, cloro Activo, medidos cada hora y las concentraciones de los trihalometanos totales e individuales en salida de PPM, con una frecuencia semanal.

Para la evaluación de la concentración de THMs, el laboratorio de calidad de ASSA utiliza la metodología de Cromatografía Gaseosa con concentración por Purga y Trampa y detector de Captura de electrones (ECD), contando con un Cromatografo Agilent, un concentrador marca Tekmar, con una columna HP-5.

Las muestras son extraídas por el operador de la PPM y remitidas al laboratorio central de calidad de ASSA siguiendo la metodología de conservación del Standard Methods for Water and Wastewater.

5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.5.1 Calidad de agua cruda . Periodo 2018 - 2019

Se presenta a continuación un resumen de parámetros de calidad del agua cruda en el periodo 2018 – 2019 y datos promedio de insumos químicos para la potabilización.

Cada dato mensual representa el valor medio de un total aproximado de 360 determinaciones por mes, realizadas por el personal de ASSA en el laboratorio de la PPM que efectuó controles cada 2 horas sobre el agua cruda.

Se muestran también los valores promedio anuales para cada determinación, el desvío estándar y valores máximos y mínimos. Las estadísticas anuales se realizan para un n=4320 para cada parámetro.

Tabla N° 5: Valores promedios mensuales de parametros fisicoquímicos en el agua cruda de la PPM – Año 2018

	Turb (UNT)	pH pH	Cond (uS/cm)	Alc. (uS/cm)	Cl- (mg/l)	Color (mg/l)	Temp °C
Ene/18	76	7,7	224	32	43	22	28
Feb/18	24	7,6	152	35	26	23	29
Mar/18	37	7,2	163	43	26	24	26
Abr/18	32	7,2	204	40	33	22	25
May/18	56	8,0	267	46	45	21	21
Jun/18	74	7,4	288	44	50	29	15
Jul/18	77	8,3	333	45	61	30	14
Ago/18	65	8,1	378	45	72	24	15
Set/18	61	8,2	418	43	82	18	20
Oct/18	67	7,8	282	34	52	22	21
Nov/18	42	7,6	254	36	40	23	25
Dic/18	21	7,5	276	42	46	18	26

Tabla N° 6: Valores promedios anuales de parametros fisicoquímicos del agua cruda de la PPM – Año 2018

Año 2018	Turb (UNT)	pH pH	Cond (uS/cm)	Alc. (uS/cm)	Cl- (mg/l)	Color (mg/l)	Temp °C
Promedio N= 4320	52,6	7,7	270,0	40,5	48,1	23,0	22,0
SD	20,3	0,4	79,8	4,9	17,1	3,6	5,2
MAX	76,6	8,3	417,9	46,4	82,4	29,7	28,5
MIN	21,0	7,2	152,2	32,2	26,0	17,7	14,0

En el Año 2018 se observa poca variación en los parámetros que pueden afectar la potabilización del agua : Turbiedad, Color y Salinidad. Estos valores son los habituales del Río Coronda, según los datos de calidad relevados en años anteriores.

Se presentan en las Tablas N° 7 y 8 los resultados promedios mensuales y anuales para los mismos parámetros fisicoquímicos en agua cruda del año 2019.

Tabla N° 7: Promedios mensuales de parametros fisicoquímicos del agua cruda de la PPM – Año 2019

	Turb (UNT)	pH pH	Cond (uS/cm)	Alc. (uS/cm)	Cl- (mg/l)	Color (mg/l)	Temp °C
Ene/19	35	7,9	281	46	48	22	27
Feb/19	25	8,4	332	56	55	25	27
Mar/19	113	8,1	416	72	70	32	24
Abr/19	152	7,9	440	73	77	38	23
May/19	60	7,7	424	71	74	36	20
Jun/19	37	7,6	360	62	70	34	17
Jul/20	41	8,0	433	64	86	34	14
Ago/19	82	8,0	580	48	128	35	16
Set/19	88	8,1	809	48	198	35	18
Oct/19	102	8,2	919	44	225	32	22
Nov/19	146	8,0	824	42	239	32	26
Dic/19	170	10,4	716	32	170	33	25

Tabla N° 8: Promedios anuales de parámetros fisicoquímicos del agua cruda de la PPM – Año 2019

	Turb (UNT)	pH pH	Cond (uS/cm)	Alc. (uS/cm)	Cl- (mg/l)	Color (mg/l)	Temp °C
Año 2019							
Promedio N=4320	88	8,0	545	55	120	32	22
SD	50	0,2	218	13	70	5	5
MAX	170	8,4	919	73	239	38	27
MIN	25	7,6	281	32	48	22	14

Se puede observar que a partir del 2do trimestre de 2019 ocurre un incremento pronunciado en la salinidad del agua cruda (Conductividad, Cloruros) que coincide con la bajante extraordinaria del sistema del Río Paraná y con el prolongado periodo de sequía. Históricamente la Conductividad del Río Coronda se encuentra en un rango entre 200 a 400 uS/cm, mientras que en estas condiciones extraordinarias la misma se incrementó a valores cercanos a 1000 uS/cm, sosteniéndose en el tiempo durante meses.

Se presenta a continuación un gráfico que abarca el periodo completo 2018 – 2019 con la variación de Turbiedad y Conductividad del agua cruda.

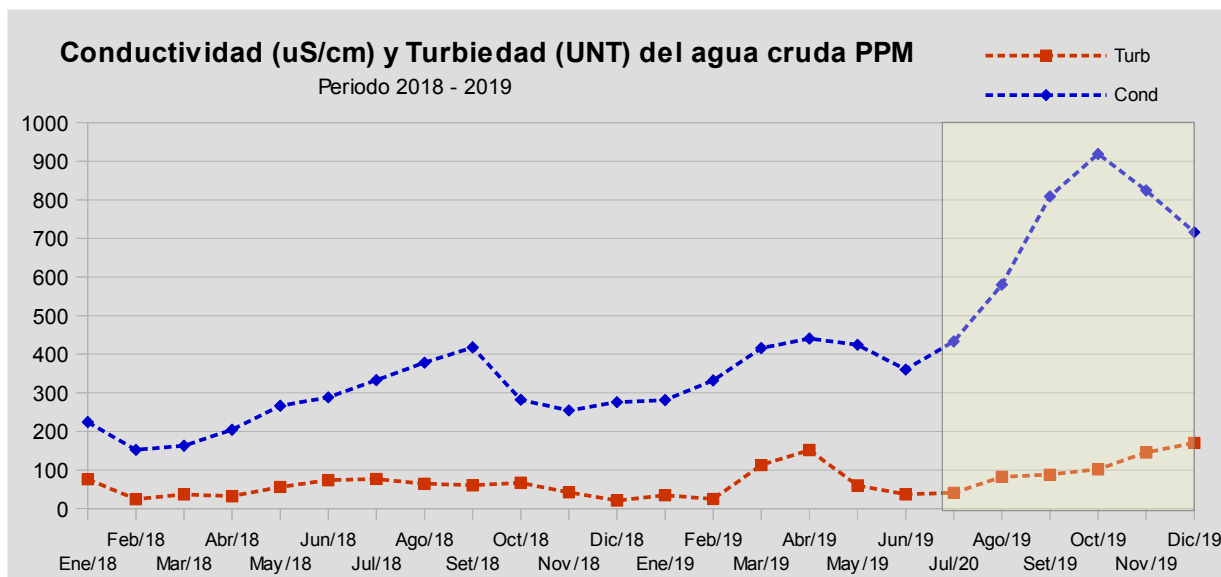


Figura N° 14: Turbiedad y Conductividad del agua cruda de PPM – Promedios mensuales periodo 2018 – 2019.

Se visualiza en el gráfico anterior el incremento marcado de la salinidad del agua cruda a partir de julio de 2019 y algunos picos de Turbiedad, en Abril y Diciembre de 2019 que no representan valores anómalos si se comparan con datos históricos,

Asimismo, si se comparan los datos de calidad fisicoquímica del agua cruda del año 2019 con los del 2018 (que representan las condiciones habituales de dicha fuente de agua), se observa un aumento en la media y valores máximos de la Alcalinidad, Cloruros y pH.

Estos incrementos de salinidad, alcalinidad y pH, provocan un cambio en las condiciones de tratamiento, dificultando el proceso de coagulación – floculación, debiendo incrementarse la dosificación de coagulante para lograr una clarificación adecuada del agua.

Se describirá a continuación como afectan estas condiciones en la generación de THMs.

5.5.2. Calidad de agua tratada. Concentración de THMs. Periodo 2018 - 2019

A partir de los datos de calidad fisicoquímica del agua tratada en los que se incluye la determinación de THMs, se muestran en las Tablas N° 9 y 10, los valores promedios anuales de los parámetros : cloro libre, pH, Turbiedad, Conductividad y Materia Orgánica.

Los valores representados corresponden a los promedios, desvío estándar, Máximos y Mínimos anuales de muestras semanales tomadas en salida de planta,

En el **Anexo II** se presentan los resultados completos de dichos muestreos semanales, aportados por el operador del ACO.

Tabla N° 9: Calidad fisicoquímica promedio del agua tratada en PPM – Año 2018

AÑO 2018	Cloro libre (mg/l)	pH	Turbiedad (UNT)	Conductividad (uS/cm)	Materia orgánica (UV)
promedio	1,3	7,7	0,36	362	0,06
sd	0,2	1,2	0,16	87	0,01
max	1,7	8,7	0,90	500	0,08
min	0,1	7,3	0,14	76	0,05

Tabla N° 10: Calidad fisicoquímica promedio del agua tratada en PPM – Año 2019

AÑO 2019	Cloro libre (mg/l)	pH	Turbiedad (UNT)	Conductividad (uS/cm)	Materia orgánica (UV)
promedio	1,1	7,7	0,5	795	0,08
sd	0,2	1,1	0,2	341	0,04
max.	1,6	9,0	1,0	1435	0,30
min.	0,2	7,4	0,2	336	0,05

De los datos analizados se puede concluir que la calidad del agua tratada en el periodo 2018-2018 cumplen con los límites de calidad vigentes en la Pcia. de Santa Fe, observándose un incremento en la salidad del agua tratada en el año 2019, que proviene de la variación de dicha característica en la fuente, acompañado por un leve incremento de la Turbiedad promedio.

A fin de relacionar influencia de las características del agua cruda en la generación de Trihalometanos se realizan pruebas de correlación entre diferentes parámetros del agua cruda: Temperatura, Conductividad, Color y Turbiedad y concentración de Trihalometanos totales en agua tratada en PPM, a partir de los valores promedio mensuales del periodo 2018 - 2019, utilizando el software MINITAB 14.

Se presentan a continuación los gráficos de dispersión y el resultado de los coeficientes de correlación Pearson y los p-value para cada parámetro.

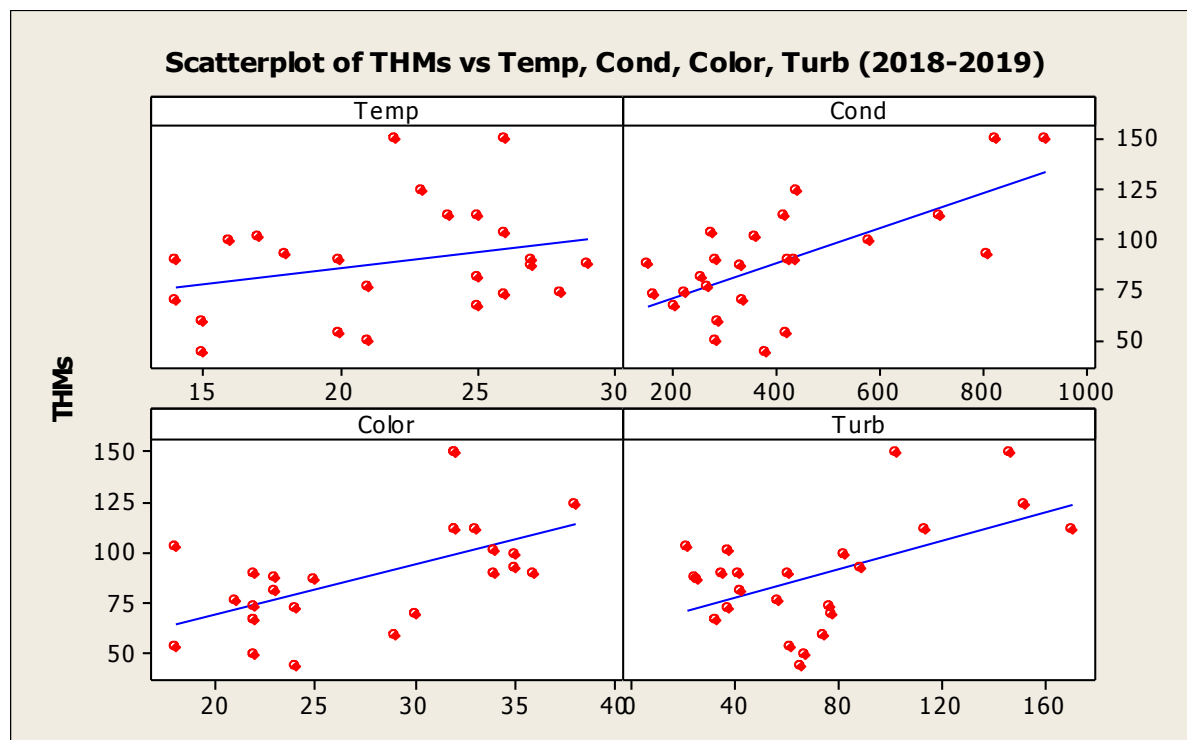


Figura N° 15: Gráficos de dispersión entre parámetros de agua cruda y concentración de THMs en agua tratada en PPM

Correlations: THMs, Temp

Pearson correlation of THMs and Temp = 0.281
 P-Value = 0.184 - correlación estadísticamente no significativa

Correlations: thms, Cond

Pearson correlation of thms and Cond = 0.674
 P-Value = 0.000

Correlations: thms, Color

Pearson correlation of thms and Color = 0.557
 P-Value = 0.005

Correlations: THMs, Turb

Pearson correlation of THMs and Turb = 0.534
 P-Value = 0.007

De los resultados obtenidos se observa una correlación positiva moderada estadísticamente significativa entre la Conductividad, el Color y la Turbiedad con la concentración de THMs en agua tratada. Mientras que no se evidencia correlación estadísticamente significativa entre la Temperatura del agua cruda y la concentración de THMs.

A fin de estudiar la variación de THMs en agua tratada y su relación con la dosificación de dióxido de cloro, se representan en el gráfico de la figura N° 14 los resultados de THMs de las muestras de agua semanales del periodo 2018 y 2019. (N = 97) En el mismo gráfico se visualizan los periodos en los cuales se aplicó dióxido de cloro como pretratamiento en cámara de carga.

Las dosis de dióxido de cloro aplicadas en cámara de ingreso varían en valores entre 0,50 en los meses de frío y 0,80 mg/L en los meses de mayor temperatura (de noviembre a marzo)

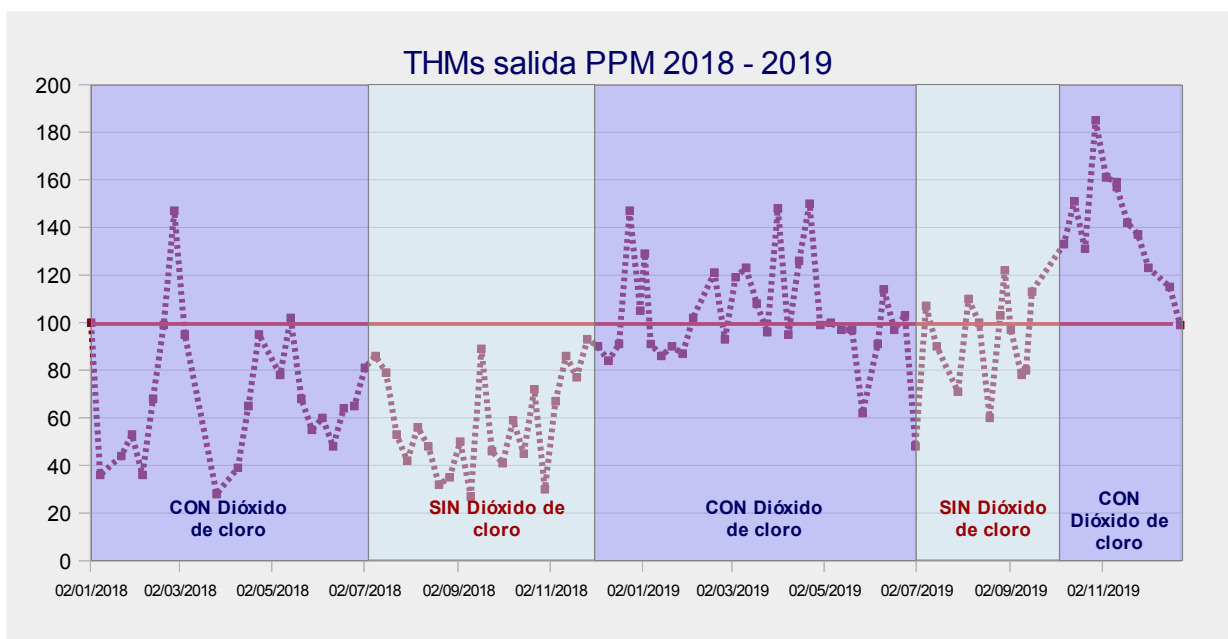


Figura N° 16: Concentración de THMs en el agua tratada en la PPM . Periodo 2018 - 2019

Puede visualizarse, que en el año 2018 las concentraciones de THMs se encuentran mayormente por debajo del límite permitido de THMs en agua potable, de 100 ug/L, mientras que en el año 2019, las concentraciones superan en muchos casos dicho límite.

Asi también puede observarse que a priori que no hay una reducción de las concentraciones de THMs en los periodos donde se aplicó dióxido de cloro. Este punto se desarrollará en el próximo ítem. Cabe aclarar que en los periodos en que no se aplica dióxido de cloro, se preclora en cámara de carga con gas cloro, a una dosis aproximada de 0,50 mg/L.

Si se analizan las concentraciones de los THMs individuales en el año 2019 (**Anexo II**) se observa un incremento marcado de los compuestos bromados como el Dibromoclorometano, Diclorobromometano y Bromoformo, que acompaña el incremento de la salinidad del agua cruda, al punto de representar una fracción mayor a la del cloroformo, que en condiciones normales es el THM dominante. Este fenómeno se podría explicar por un aumento de bromatos en el agua cruda.

En los gráficos siguientes se puede visualizar la correlación entre los compuestos bromados (DBCM y Bromoformo) y la Conductividad del agua cruda.

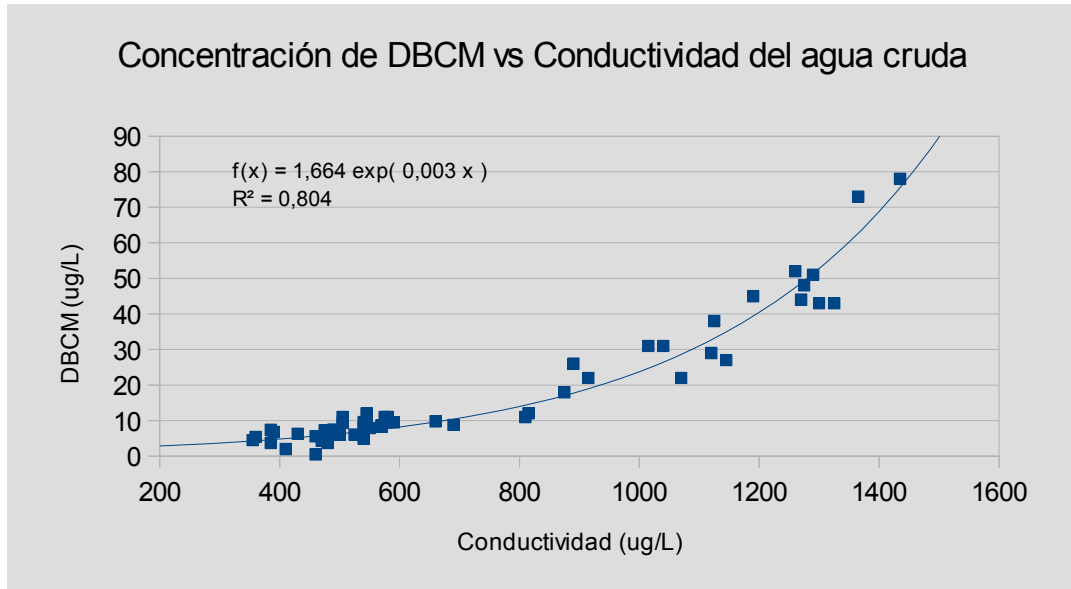


Figura Nº 17: Concentración de DBCM en relación a la Conductividad del agua cruda

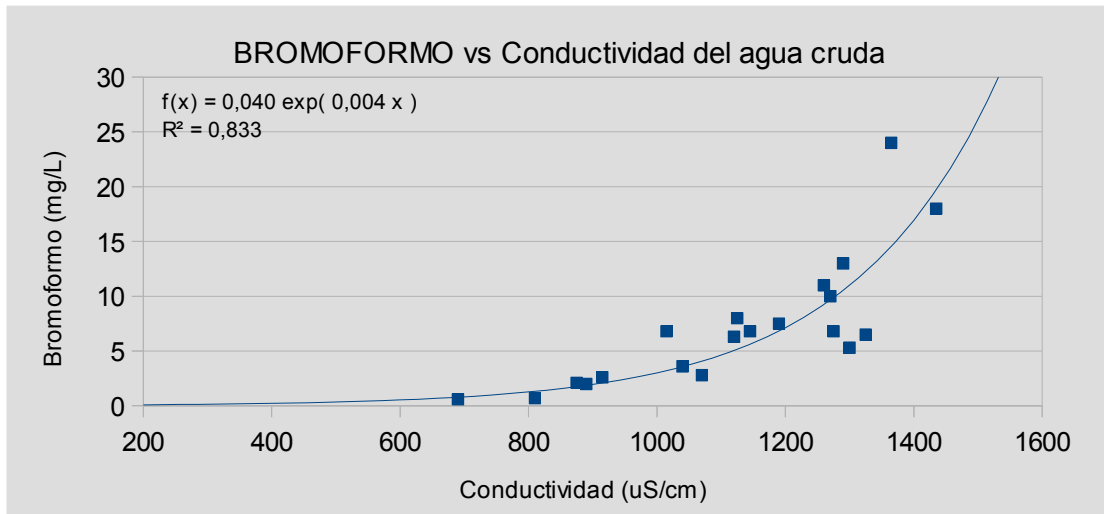


Figura Nº 18: Concentración de Bromoformo en relación a la Conductividad del agua cruda

Se observa una fuerte correlación entre la salinidad del agua cruda (Conductividad) y la concentración de DBCM y Bromoformo.

Algunas investigaciones han demostrado que un aumento de la concentración del ión bromuro no solamente resulta en un incremento del porcentaje de trihalometanos bromurados, sino también en un incremento de la concentración total de Trihalometanos y velocidad de formación (Trussel y Umphres, 1978; Minear y Bird, 1980; Oliver, 1980).(19)

5.5.3 Concentración de THMs en salida PPM en diferentes condiciones de precloración

A fin de estudiar estadísticamente la eficiencia de la aplicación de dióxido de cloro en la reducción de las concentraciones de THMs en salida de PPM, se recopilan los valores de THMs en los años 2018 y 2019, analizando en principio ambos años por separado, debido a la importante diferencia en la calidad del agua cruda observada en esos años. Los datos completos se encuentran en el **Anexo II**, utilizados para el cálculo de las siguientes estadísticas descriptivas:

Tabla N° 11: Estadísticas anuales de la concentración de THMs en PPM con y sin agregado de dióxido de cloro

	THMs con dióxido de cloro (N=25)	THMs sin dióxido de cloro (N= 21)		THMs con dióxido de cloro (N= 41)	THMs sin dióxido de cloro (N=9)
AÑO 2018			AÑO 2019		
PROMEDIO	77	60	PROMEDIO	114	90
SD	30	20	SD	27	25
MAX	147	93	MAX	185	122
MIN	36	30	MIN	62	48

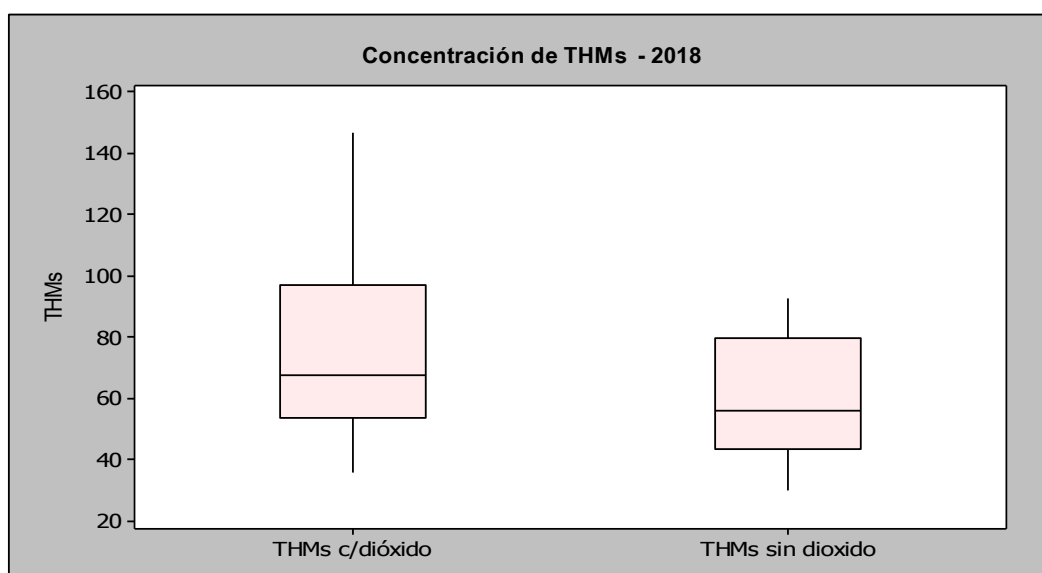


Figura N° 19: Concentración de THMs en PPM, con y sin dióxido de cloro - 2018

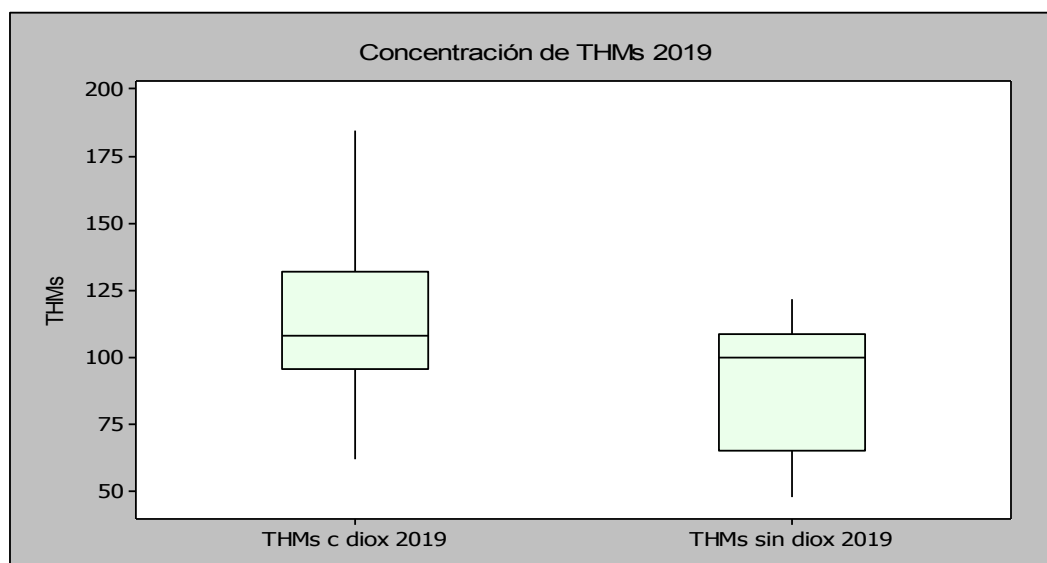


Figura N° 20: Concentración de THMs en PPM, con y sin dióxido de cloro - 2019

Se puede concluir que en las condiciones operativas dadas, el agregado de dióxido de cloro como oxidante de los precursores de los THMs no resulta eficiente, siendo que el promedio de THMs en salida de PPM, no muestra diferencias significativas cuando se aplica este preoxidante con relación a cuando no se dosifica.

5.6. ANÁLISIS DE COSTOS DE INSUMOS DE POTABILIZACIÓN EN PPM

A partir de datos aportado por ASSA sobre dosificación promedio de insumos químicos para la potabilización del agua en PPM, en el periodo 2018-2019, y con un valor del cambio de 100 \$/dólar, se realizó una estimación de incidencia del costo de la aplicación de dióxido de cloro en relación al costo total de los productos químicos.

Se considera solamente en este análisis el costo del insumo más importante, en términos de costos, en la generación de dióxido de cloro, que es el clorito de sodio.

Tabla N° 12: Estimación de costo de insumos químicos PPM

MONJE

Dólar

100

Estimación consumo de productos químicos			Costo
Caudal de tratamiento		600 m3/h	
SULFATO DE ALUMINIO			
Dosis MEDIA de Producto		77 mg/l	218 u\$s/ton
Cantidad de producto	HORA	46,2 kg/h	
	MES	33818 kg/mes	
		25,1 m3/mes	
Precio		21,8 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		1,68 \$/m3	
PAC			
Dosis MEDIA de Producto		0 mg/l	0,7 u\$s/kg
Cantidad de producto	HORA	0,0 kg/h	
	MES	0 kg/mes	
		0,0 m3/mes	
Precio		70 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,00 \$/m3	
CAL HIDRATADA			
Dosis MEDIA de Producto		16 mg/l	cal 5078 \$/ton
Cantidad de producto por hora		9,6 kg/h	transporte 1500 \$/ton
	MES	7027 kg/mes	
		7,0 ton/mes	
Precio		7,8 \$/kg	total 7800 \$/ton
Costo por m3 de agua a tratar		0,12 \$/m3	
POLIELECTROLITO			
Dosis MEDIA de Producto		1,4 mg/l	2,5 u\$s/kg
Cantidad de producto por hora		0,840 kg/h	
	MES	615 kg/mes	
		0,5 m3/mes	
Precio		250 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,35 \$/m3	
GAS CLORO (pre y postcloración)			
Dosis MEDIA de Producto		3,7 mg/l	990 u\$s/ton
Cantidad de producto por hora		2,22 kg/h	
	MES	1625 kg/mes	
		1,6 ton/mes	
Precio		99 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,37 \$/m3	
CLORITO DE SODIO			
Dosis MEDIA de Producto (Para 0,7 m/l)		3 mg/l	3 u\$s/kg
Cantidad de producto	HORA	1,8 kg/h	
	MES	1318 kg/mes	
		1,0880 m3/mes	
Precio		300 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,90 \$/m3	
COSTO OPERATIVO DE PRODUCCIÓN		3,42 \$/m3	

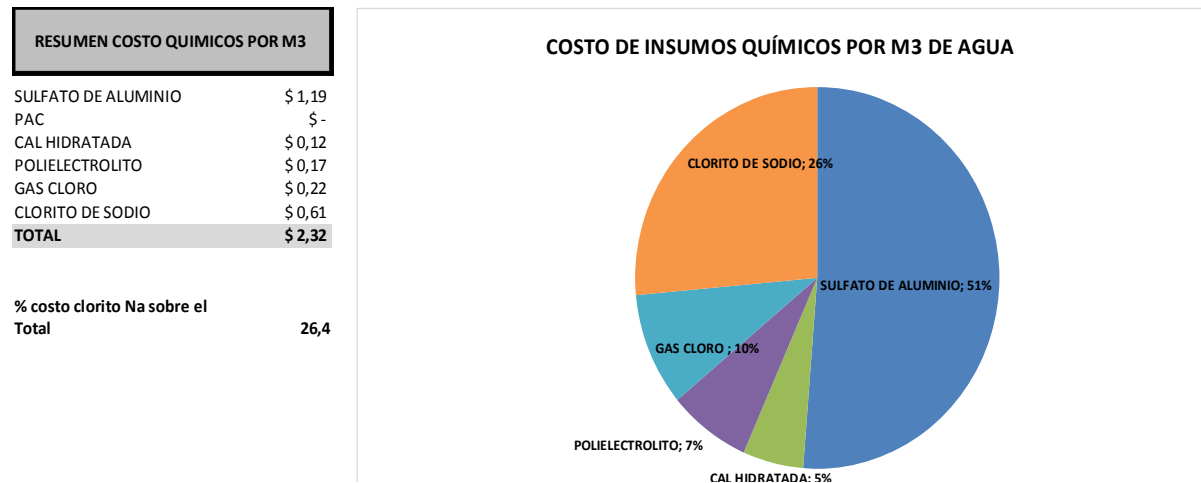


Figura N° 21: Costos de insumos químicos por m³ de agua - PPM

La incidencia del costo del clorito de sodio en el costo total de insumos químicos para la potabilización es del 26%, representando un incremento de \$0,90/m³ de agua producida, en las condiciones estudiadas.

5.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRIMERA ETAPA

En el año 2019, las condiciones del agua cruda (incremento de salinidad) debido a la bajante extraordinaria del río, han resultado en un incremento en los THMs que no ha tenido precedentes desde la puesta en marcha del sistema de provisión de agua del ACO.

Se observa correlación positiva entre el aumento de la salinidad del agua cruda y el incremento de los THMs bromados, probablemente debido a un aumento de bromuros en la misma. Para valores de Conductividad del agua cruda mayores a 500-600 uS/cm se verifica un incremento marcado de los trihalometanos bromados, con un crecimiento que se ajusta a una relación exponencial.

En las condiciones de operación estudiadas en la PPM en el periodo 2018 – 2019, se puede concluir que la adición de dióxido de cloro en agua cruda como preoxidante de la materia orgánica, no ha resultado en una reducción de las concentraciones de trihalometanos en el agua tratada. El tratamiento implementado en esas condiciones no es eficiente para reducir la generación de trihalometanos y cumplir con el límite de calidad vigente.

No pudieron ensayarse cambios de puntos de aplicación de dióxido de cloro a fin de evaluar mejoras en la reducción de trihalometanos, debido a las prioridades surgidas por la bajante extraordinaria del Río Paraná que afectó a la toma de agua de PPM.

Se ha determinado que la incidencia del costo del clorito de sodio en el total de insumos químicos de potabilización de un 26%, incrementando en 0,90 \$/m³ de agua tratada el costo de insumos químicos.

Se sugiere realizar pruebas de cambios de puntos de dosificación de dióxido de cloro, cambios en el punto de post cloración, evaluar la incidencia del pH y del punto de adición de cal.

Se recomienda implementar en forma sistemática ensayos de demanda de dióxido de cloro a fin de determinar la dosis efectiva a aplicar, evitando dosificar en defecto (gasto de insumos sin lograr el efecto deseado) o en exceso (evitando la generación de subproductos y gasto de insumo innecesario).

6. SEGUNDA ETAPA . EVALUACIÓN DE LA FORMACIÓN DE THM EN LA PLANTA POTABILIZADORA DEL ACUEDUCTO RECONQUISTA

En el mes de diciembre de 2019 comienza la puesta en marcha de la nueva Planta de Reconquista (PPR) que abastecerá agua al Acueducto de igual nombre.

Desde el mes de Febrero de 2020 se realiza en conjunto con profesionales de la UTE a cargo de la PPR, un estudio de evaluación de THMs en agua tratada en forma sistemática con el objetivo determinar criterios de dosificación de dióxido de cloro de acuerdo a las condiciones del agua cruda a fin de reducir las concentraciones de dichos compuestos.

6.1. OBJETIVOS SEGUNDA ETAPA

6.1.1. Objetivo general:

Reducir la concentración de THMs en el agua tratada de la Planta Potabilizadora del Acueducto Reconquista.

6.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la formación de THMs en diferentes condiciones de operación de la PPR
- Evaluar parámetros del agua cruda que puedan inferir una mayor producción de THMs
- Evaluar opciones de puntos de dosificación de dióxido de cloro como preoxidante de materia orgánica
- Desarrollar criterios de aplicación de dióxido de cloro para diferentes condiciones del agua cruda.
- Realizar estudio de costos de insumos de la potabilización

6.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DEL ACUEDUCTO RECONQUISTA

6.2.1. Ubicación de la Planta Potabilizadora Reconquista

La Planta Potabilizadora se encuentra en la zona rural de la ciudad de Reconquista, ubicada en el norte de la Provincia de Santa Fe a unos 165 km de la capital provincial.

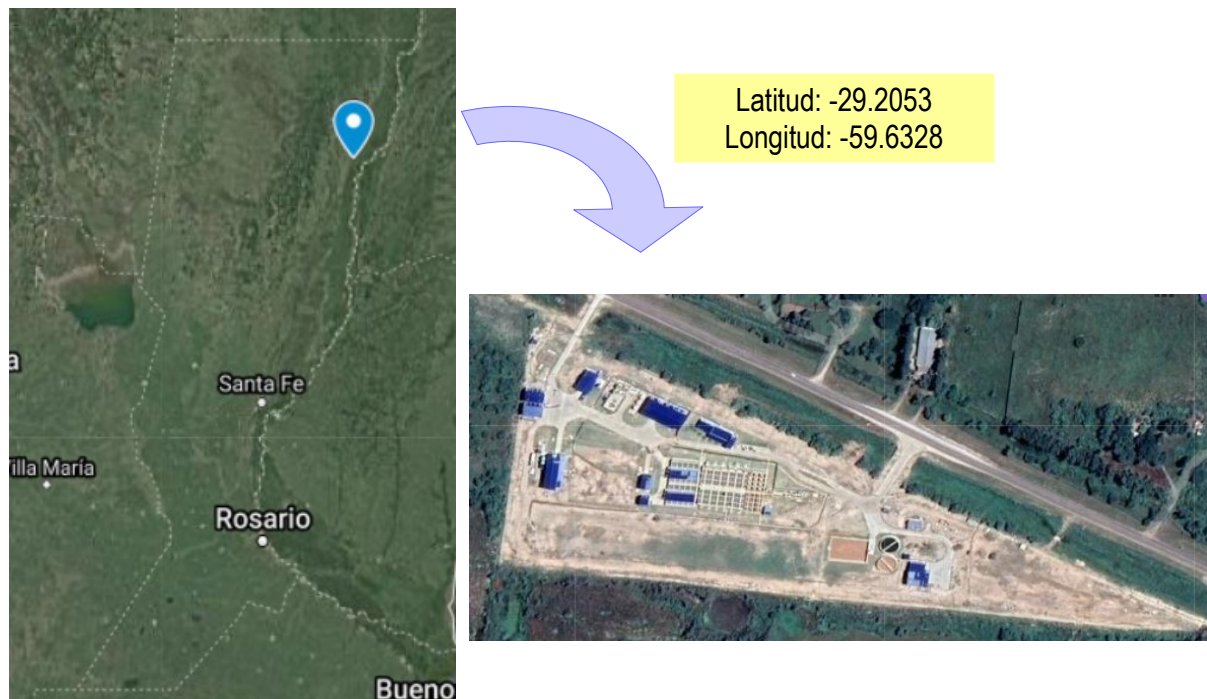


Figura N° 22: Ubicación PPR

6.2.2. Generalidades

La Planta Potabilizadora opera según un proceso de tratamiento convencional de aguas superficiales, cuya principal finalidad es la remoción de turbiedad y color del agua cruda proveniente del Río San Jerónimo (Río Paraná), como así también materia orgánica y microorganismos.[9]

El proceso de tratamiento incluye las siguientes etapas:

1. Pre oxidación, mediante la inyección de dióxido de cloro
2. Coagulación, mediante inyección de Sulfato de Aluminio y/o PAC18 en cámara de dispersión
3. Floculación, en floculadores de turbina y con la ayuda de floculantes (polielectrolitos)
4. Sedimentación, en sedimentadores de alta carga
5. Filtración, en filtros rápidos con lechos de arena gruesa
6. Desinfección, con solución de gas cloro

Contempla, además:

- Inyección de Carbón Activado al inicio del proceso, para casos de presencia de contaminantes orgánicos.
- Inyección de Agua de Cal, al inicio y al final del proceso, para ajuste de pH de coagulación y pH para consumo, respectivamente.

El Módulo Potabilizador en su totalidad (módulo sur y módulo norte) está diseñado para tratar un caudal máximo de 1250 L/s, admitiéndose operar también a caudales menores. En el periodo de realización del presente trabajo el caudal de producción se mantuvo en valores cercanos a 360 L/s (1300m³/h)

El Tren Potabilizador se compone por dos módulos (norte y sur) que separan en el ingreso a las líneas de mezcla, y cuenta con las siguientes unidades de tratamiento:

1. 2 (dos) líneas de Mezcla Rápida, compuestas por 3 (tres) cámaras de dispersión
2. 6 (seis) líneas de Floculación:
 - cada línea compuesta por 4 recintos con floculadores a turbina
 - 3 (tres) líneas de Floculación en el módulo sur y 3 (tres) en el módulo norte
3. 12 (doce) líneas de Sedimentación de alta carga:
 - 6 (seis) líneas de Sedimentación en el módulo sur y 6 (seis) en el módulo norte
4. 20 (veinte) Filtros Rápidos
 - 10 (diez) Filtros en el módulo sur y 10 (diez) en el módulo norte



Figura N° 23: Foto general de la PPR, desde cámara de ingreso



Figura N° 24: Foto general de la PPR, vista lateral

6.2.3. Mezcla Rápida

Se cuenta con 2 (dos) líneas de Mezcla Rápida, cada una está diseñada para tratar un caudal máximo de 625 L/s.

Para cada línea se disponen en serie 3 (tres) cámaras de dispersión mecanizadas donde se aplican el coagulante y los floculantes. Se describe a continuación las principales características operativas de cada cámara de dispersión:

- Cámara de Mezcla N°1 (para caudal máximo):
 - Producto Químico: Sulfato de Aluminio y/o PAC18
 - Tiempo de permanencia: 9 s
 - Gradiente hidráulico máximo (G_{max1}) inducido por dispersor: 1100 seg^{-1}
 - Revoluciones de dispersor para G_{max1} : 113 rpm
 - Potencia de motor para G_{max1} : 12,5 HP (1450 r.p.m.)

- Cámara de Mezcla N°2 (para caudal máximo):
 - Producto Químico: Polielectrolito
 - Tiempo de permanencia: 60 s
 - Gradiente hidráulico máximo (G_{max1}) inducido por dispersor: 500 seg^{-1}
 - Revoluciones de dispersor para G_{max1} : 100 rpm
 - Potencia de motor para G_{max1} : 15 HP (1450 rpm)

- Cámara de Mezcla N°3 (para caudal máximo):
 - Producto Químico: Poliacrilamida
 - Tiempo de permanencia: 60 s
 - Gradiente hidráulico máximo (G_{max1}) inducido por dispersor: 150 seg^{-1}
 - Revoluciones de dispersor para G_{max1} : 43 rpm
 - Potencia de motor para G_{max1} : 2 HP (1450 r.p.m.)

6.2.4. Floculadores

Cuenta con 6 (seis) líneas de Floculación y cada una está diseñada para tratar un caudal máximo de 208 L/s.

Para cada línea se disponen en serie 4 (cuatro) cámaras de floculación mecanizadas. La permanencia total de una línea de floculación es 26 min. Sus principales características operativas se describen a continuación:

- Cámara de Floculación N°1 (para caudal máximo):
 - Tiempo de permanencia: 6 min 46 s
 - Gradiente hidráulico máximo (G_{max1}) inducido por el floculador: 70 seg^{-1}

- Cámara de Floculación N°2 (para caudal máximo):
 - Tiempo de permanencia: 6 min 46 s
 - Gradiente hidráulico máximo (G_{max1}) inducido por el floculador: 54 seg^{-1}
 - Revoluciones de floculador para G_{max1} : 39 rpm

- Cámara de Floculación N°4 (para caudal máximo):
 - Tiempo de permanencia: 6 min 46 s
 - Gradiente hidráulico máximo (G_{max1}) inducido por el floculador: 22 seg^{-1}



Figura N° 25: Floculadores

6.2.5. Sedimentadores de alta carga

Cuenta con 12 (doce) líneas de Sedimentadores de alta carga. Cada una está diseñada para tratar un caudal máximo de 104 L/s.

Todas las líneas de Sedimentación son idénticas en dimensiones y cuentan con 2 (dos) compartimientos donde se alojan los seditubos. Sus principales características operativas se describen a continuación:

- Tiempo de permanencia: 10 min 30 s
- Velocidad crítica superficial: 144 m/día
- Velocidad ascensional de sedimentador: 5,6 m/h
- Velocidad promedio de flujo dentro de seditubo: 6,4 m/h

- Dimensiones Seditubos: hexagonales 600x600x1000mm (ancho x largo x altura)
- Inclinación Seditubos: 60°
- Cantidad de canaletas de recolección: 32 (16 por compartimiento)
- Cantidad de conductos de descarga: 26 conductos DN100mm (13 por compartimiento)



Figura N° 26: Sedimentadores con media sombra

6.2.6. Filtros Rápidos

Cuenta con 20 (veinte) Filtros Rápidos, 10 (diez) en cada módulo, con las siguientes características operativas:

- Caudal nominal de cada filtro: 62,50 L/s
- Caudal máximo de trabajo de cada filtro (este escenario se da cuando la planta funciona a su capacidad máxima y se tienen hasta 2 unidades fuera de servicio): 69,44 L/s
- Dimensiones: 4,50 x 6,00 m
- Área filtrante: 27 m²
- Velocidad de filtración a caudal nominal: 8,33 m/h
- Velocidad de filtración a caudal máximo: 9,26 m/h
- Altura de manto de arena: 1,10 m
- Granulometría de manto de arena: TE= 1,00 mm (Cu<1,5)
- Tipo de Operación (opcional)
 - Filtración a nivel fijo
 - Filtración a nivel variable
- Toberas



Figura N° 27: Filtro en etapa de llenado

6.2.7. Cámara Amortiguadora, cámara de Carga y canales de vinculación entre unidades

Tanto las Cámaras de la obra de cabecera (Amortiguadora y de carga) como los canales intermedios de recolección/repartición de agua entre cada operación unitaria cuentan con una o dos válvulas de desagote alojadas en cámaras de mampostería u H°A° ubicadas al pie de la unidad, las cuales se accionarán solo para vaciado por mantenimiento, reparación o limpieza de la unidad en cuestión.

6.2.8. Cisterna de Agua Tratada

- Almacena el agua potable producida en el Módulo Potabilizador
- Proporciona cámaras de aspiración para el Bombeo de Lavado de Filtros y los Bombeos de Agua Tratada
- Proporcionar tiempo de contacto entre el agua producida y el gas cloro inyectado en la salida del Módulo Potabilizador
- Proporciona tiempo de contacto y mezcla entre el agua producida y el agua de cal (pos alcalinización)

Cada Módulo de Almacenamiento tiene una capacidad de 4655 m³, dando un total de 9310 m³ para la Cisterna Completa.

Para un caudal de consumo medio igual al máximo de producción de la Planta (1250 L./s), la Cisterna de Agua Tratada tendrá una autonomía aproximada de 2 hs.

Para el caudal actual de tratamiento de 360 L/s el tiempo de permanencia sería de 7 hs aproximadamente.

6.2.9. Cloración

Posee tres sistemas independientes. El primero es la línea de dosificación de gas cloro, el cual comienza con 4 contenedores conectados y monitoreados con balanzas y sensores de presión, y termina los respectivos puntos de dosificación de solución clorógena (salida de agua filtrada y salida de sedimentadores)

Ingreso a Cisterna de Agua Tratada: 2,00 a 3,00 mg/L de **gas cloro** (a verificar según tenor de cloro libre detectado en cisternas de localidades)

El segundo es el sistema de generación de dióxido de cloro para la precloración al inicio del proceso de potabilización, constituido principalmente por un generador compacto de este producto, almacenamientos de reactivos y equipos de bombeo de agua y solución preparada.

Diagrama de línea de tratamiento PPR

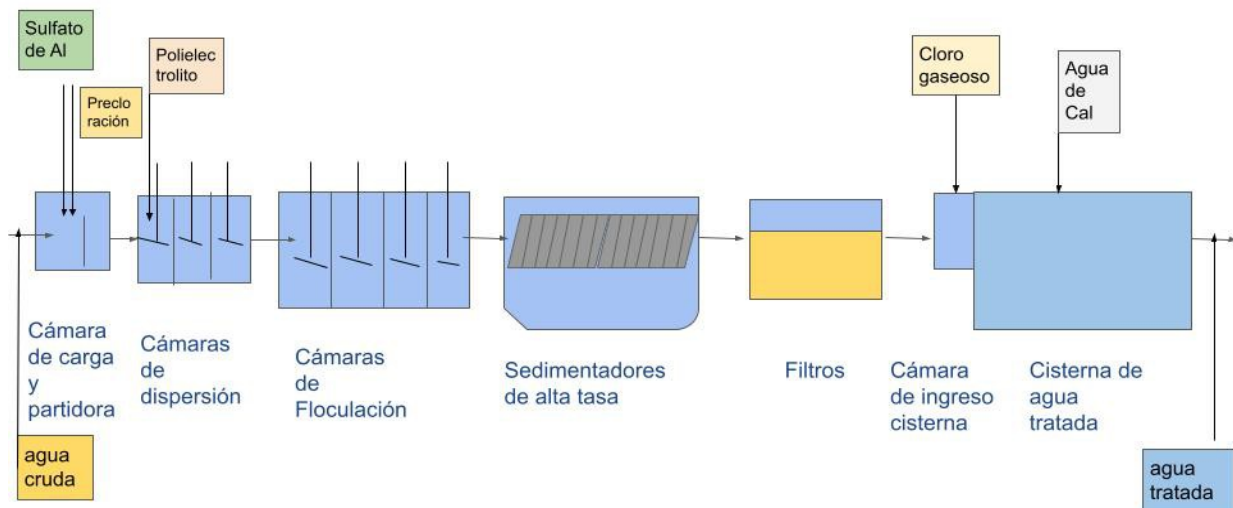


Figura N° 28: Diagrama de flujo de etapas de tratamiento de PPR

6.2.10. Sistema de Dosificación de dióxido de cloro

El dióxido de cloro se genera de la mezcla de clorito de Sodio, Gas cloro y Agua. La reacción de estos productos ocurre en las cañerías del equipo generador de dióxido de cloro, que también cuenta con su propio microprocesador de control, el cual comanda y regula las dosis de los compuestos para formar el dióxido de cloro. Una vez formado el producto, este se almacena dentro de un tanque de PRFV, integrado al mismo equipo de preparación.

Las dosis recomendadas en el manual de operación de la planta potabilizadora son:

- Se recomienda suministrar **dióxido de cloro** en el ingreso a Planta hasta tener un cloro libre aproximado de 0,20 mg/L (medido en la cámara de carga)
- Salida Sedimentadores: 0,20 a 0,40 mg/L de **gas cloro**



Figura N° 29: Generador de dióxido de cloro

6.2.11. Características del agua cruda

Dentro de los estudios de factibilidad de la Planta Potabilizadora Reconquista (PPR), en el año 2008, el Ministerio de Aguas Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Pcia. de Santa Fe encarga la realización un estudio de evaluación de la calidad y tratabilidad del agua del Río San Jerónimo a la altura de la futura toma de la planta.

Se describen a continuación algunos resultados relevantes de dicho estudio, realizado por "Tecnología de Aguas QIMADH" durante 15 meses, entre Julio de 2008 y Diciembre de 2009, que caracterizan la calidad fisicoquímica del agua cruda en la zona de captación de la PPR.[18]

Lo más destacado de esta evaluación de calidad del agua del Río San Jerónimo es la amplitud de los valores de Turbiedad y Color observados que van desde 45 a 950 NTU y 10 a 260 mg/L, respectivamente.

Se verifica un pico de Turbiedad en los meses de diciembre de 2008 a abril de 2009. Fuera de este período, el río ha mostrado condiciones estables para este parámetro en valores reducidos (la mayoría de ellos por debajo de 50 NTU).

Respecto del Color, se comprueba en forma general la misma tendencia, con un pico central, aunque se distingue que no siempre un aumento de Turbiedad va acompañado de un aumento de Color y viceversa.

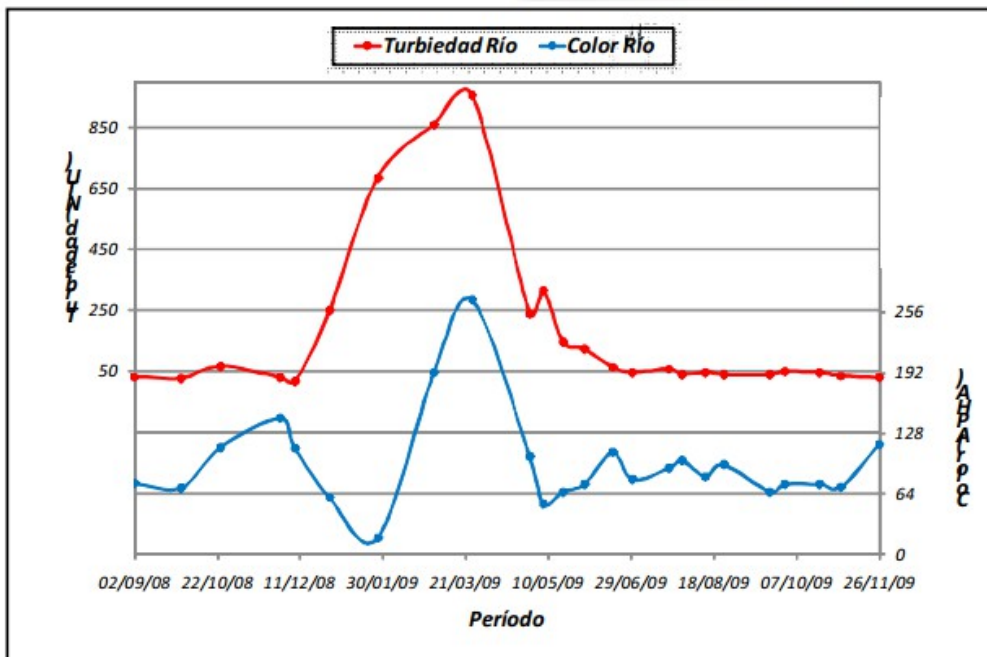


Figura Nº 30: Gráfico de Turbiedad y Color del Río San Jerónimo – 2008 - 2009

En el periodo estudiado se observó una variación del pH del agua entre 7,0 y 8,0, una alcalinidad: entre 35 y 45 mg/L como CaCO3.

Además del análisis y estudio de las características físicas del agua antes y después del tratamiento, se realizaron otros análisis químicos del río San Jerónimo en su nueva toma, entre ellos: carga orgánica (DQO, DBO(5), COT), metales pesados, pesticidas (organoclorados y organofosforados), fenoles, sales solubles, hidrocarburos totales, trihalometanos, etc. Se informa que no se han detectado indicios de contaminación o exceso en alguno de sus valores característicos.

Estudio de Tratabilidad del Agua del Río San Jerónimo

Otro estudio de tratabilidad del agua mas reciente, año 2017, realizado por el Centro de Ingeniería Sanitaria de la UNR con el objetivo de evaluar las condiciones de tratabilidad de la fuente de agua de la futura planta potabilizadora, puede considerarse como un antecedente de la calidad del agua cruda y de los requerimientos para su clarificación.

Dicha evaluación comprendió 3 muestreos del agua cruda y una serie de ensayos de Jarras.

Los muestreos se realizaron en diferentes épocas del año: Abril, Agosto y Noviembre de 2017.

De los resultados de los análisis fisicoquímicos resultan de interés los siguientes parámetros:

Tabla N° 13: Calidad fisicoquímica del agua del Río San Jerónimo.

	pH	Color (mg/L)	Turbiedad (NTU)	SST (mg/L)	Fe Total (mg/L)	Fe soluble (mg/L)	Mn Total (mg/L)	Mn soluble (mg/L)
1er Muestreo (24/04/2017)	7,7	40	310	530	3,3	0,15	0,015	0,010
2do Muestreo (28/08/2017)	7,6	30	38	27	0,6	0,55	0,042	0,038
3er muestreo (27/11/2017)	7,2	50	36	36	1,1	0,65	0,160	0,030

Como puede observarse, tanto la Turbiedad como los Sólidos Suspendidos Totales (SST) fueron variables en los tres muestreos, con valores entre 27 mg/L y 530 mg/L para los SST y entre 36 NTU y 310 NTU para la Turbiedad.

En cuanto al pH, este presentó valores normales entre 7,2 y 7,7.

Respecto al contenido de Hierro, se observa una amplia variación en cantidad de Hierro total y en la porción soluble, que se observa aumentada en el 2do y 3er muestreo, coincidiendo con valores de Turbiedad y SST mas bajos.

En las tres muestras, el Manganeseo soluble presentó valores inferiores al recomendado por la Ley N° 11.220.

En resumen, de ambos estudios se puede concluir que la fuente usada en la PPR presenta amplias variaciones en los parámetros Turbiedad, Color, SST, Hierro y Manganeseo.

6.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el periodo de Febrero a Julio de 2020 se evaluó la calidad del agua tratada en la PPR, en diferentes escenarios de dosificación de dióxido de cloro como tratamiento para la reducción de los SPD, haciendo foco en el contenido de THMs.

Se realizaron muestreos de agua en diferentes puntos del sistema de tratamiento: agua cruda, agua decantada, en salida de filtros y en salida de planta, con una frecuencia semanal.

Los muestreos estuvieron a cargo de profesionales de la UTE que operaba en ese momento el sistema de potabilización. En el laboratorio de la Planta se determinaron parámetros fisicoquímicos y para la determinación de THMs las muestras se derivaron al laboratorio Rosario del ENRESS.

Las muestras para THMs fueron extraídas en frascos de vidrio color caramelo de 125 ml, sin cámara de aire y acondicionadas con Tiosulfato de Sodio para eliminar el cloro Residual, se mantienen refrigeradas a temperaturas menores a 8°C hasta su procesamiento, en un tiempo máximo de 7 días.

Los análisis de THMs (cloroformo, BDCM, DBCM y Bromoformo) se realizaron en el Laboratorio Rosario del ENRESS, mediante Cromatografía Gaseosa con concentrador de Purga y Trampa y Detector de Captura de Electrones, utilizando un Cromatógrafo Perkin Elmer Autosystem XL, con columna capilar PE-5, dentro de un plazo máximo de 7 días desde la extracción, método 6232D modificado del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd.

Se realizan periódicamente controles de calidad analíticos con estándares certificados, análisis de reproducibilidad mediante procesamiento de replicados de muestras y muestras diluidas.

A su vez, en la mayoría de los muestreos se realizaron curvas de demanda de dióxido de cloro del agua cruda o floculada, de acuerdo a la metodología propuesta por Rafael Marín Galvin, 1995.

Complementariamente se realizaron ensayos de "Concentración de trihalometanos en Sistemas de Distribución Simulada" (CTHMSDS) para estimar la concentración máxima de THMs que pueden generarse en el agua tratada luego de 7 a 9 días de tiempo de permanencia en las condiciones de cada muestreo (cloro residual, Temperatura, materia orgánica, pH, etc). Método 5710D del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd.

Para realizar esta prueba, se toman muestras de agua tratada y se guardan al abrigo de la luz y sin cámara de aire a fin de evitar la volatilización de los trihalometanos y se deja actuar el cloro residual con los precursores existentes en el agua. Se determinan las concentraciones de THMs durante un periodo de 7 días como mínimo.

6.4. CONCENTRACIÓN DE THMs EN EL AGUA TRATADA DE PPR

Cuando se inicia este estudio, en Febrero de 2020, en la PPR se estaba realizando una precloración con Dióxido de cloro en cámara de ingreso a una dosis de 0,50 a 1.0 mg/L , una segunda precloración con gas cloro en agua decantada a 1,0 mg/L y post cloración en cisterna de agua tratada con cloro gaseoso a 1,5 mg/L.

En esas condiciones operativas, en la primer campaña de muestreo, el 4 de febrero de 2020, se determinó que la concentración de THMs totales se encontraba en valores entre 120 a

140 ug/L, superando ampliamente el límite admitido en la normativa de calidad de agua vigente en la Provincia de Santa Fe.

A partir de dichos resultados, se realizaron cambios operativos en función de los análisis de calidad del agua cruda (Turbiedad y Color) y de los resultados de los análisis de THMs obtenidos en los sucesivos muestreos semanales.

Complementariamente se realizaron los ensayos de potencial de formación de THMS (PFTTHMs) y las Curvas de Demanda de dióxido de cloro con el objetivo de evaluar si estos ensayos permiten definir la necesidad de la preoxidación con Dióxido y/o las dosis a aplicar.

6.4.1. Calidad del agua cruda

En cada muestreo semanal se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos en el agua cruda, en cámara de ingreso del establecimiento potabilizador: Temperatura, pH, Turbiedad, Color, Conductividad, Hierro total y Manganeseo total.

A fin de valorar la variabilidad de la calidad fisicoquímica del agua que ingresa a la PPR, en la Tabla N°14 se presentan las estadísticas de algunas de estas determinaciones, correspondiente a 21 muestreos realizados entre Enero y Diciembre de 2020, con una frecuencia semanal.

Las planillas con los resultados completos se presentan en el **Anexo III**

Tabla N° 14: Calidad fisicoquímica del agua cruda de la PPR . Estadísticas de los análisis realizados entre Enero y Diciembre de 2020

	pH	Turb UNT	Cond uS/cm	T°	Color mg/L	Alc mg/L
Promedio N = 21	7,5	212	209	24	41	40
SD	0,3	158	48	3	16	6
SD %	3,4	75	23	12	39	16
máx	8,0	537	360	29	67	52
mín	7,1	35	134	18	22	30

Se puede observar que al igual que en los estudios previos de tratabilidad del agua del Río San Jerónimo presentados precedentemente, los parámetros que presentan mayor variabilidad son la Turbiedad y el Color.

A fin de valorar con mayor precisión la variación de la Turbiedad y el Color, se solicitaron las mediciones diarias realizadas en la PPR por el personal a cargo de la operación de la misma, en el periodo de Febrero a Julio de 2020. En la figura N° 31 se muestran los promedios semanales de los análisis diarios de Turbiedad y Color.

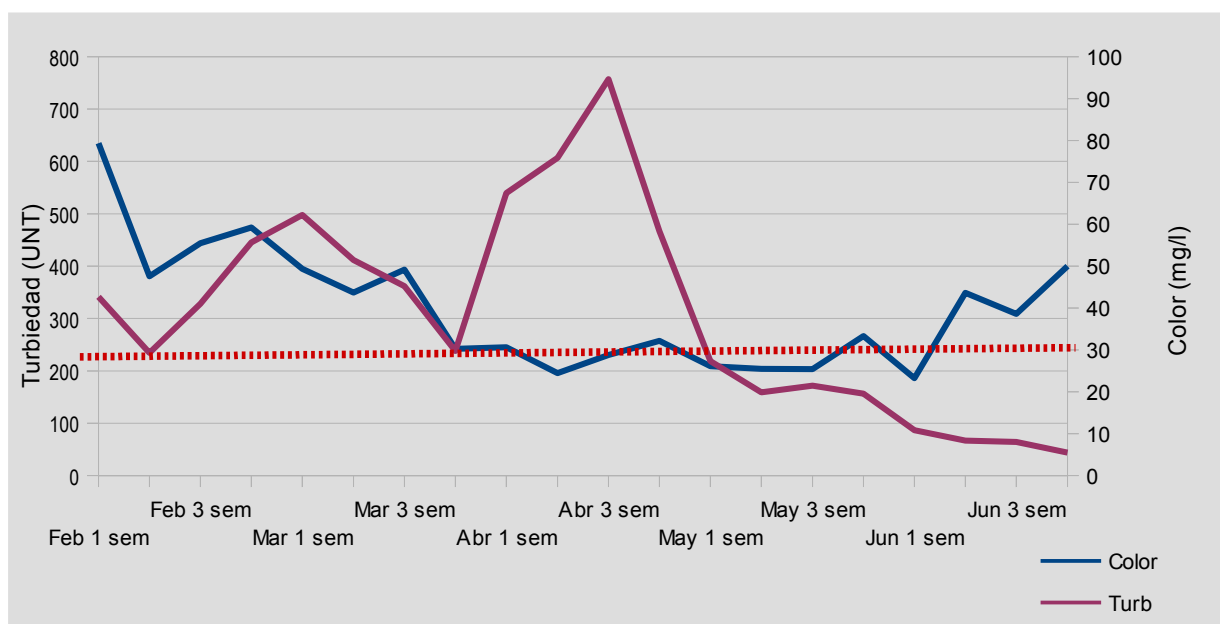


Figura N°31: Turbiedad y Color del agua cruda en cámara de ingreso de la PPR – Promedios semanales. Febrero a Julio de 2020.

Se puede observar un pico de Turbiedad del agua cruda en el mes de Marzo, acompañado por un incremento del Color y otro pico de Turbiedad más importante en el mes de Abril, con valores bajos de Color.

Según los resultados de análisis aportados por el operador de la PPR, en este periodo no hubo incrementos significativos de las concentraciones de Hierro y/o Manganeseo en el agua cruda.

Se puede concluir que la potabilización del agua debe centrarse en procesos de remoción de Turbiedad y Color considerando una considerable variación estacional, mayor de la que se ha observado en la otra planta potabilizadora evaluada en este trabajo, la PPM.

6.4.2. Resultados de THMs

Desde el mes de Febrero al mes de Agosto del año 2020, se determinaron los THMs en salida de PPR, con una frecuencia de 7 a 15 días aproximadamente. En función de los resultados obtenidos y de otros parámetros fisicoquímicos del agua cruda, se realizaron los siguientes cambios operativos en relación a la precloración:

Tabla N° 15: Cambios en operaciones de precloración en PPR

Periodo	Precloración
04/02 al 16/03	Precloración con dióxido de cloro en cabecera a dosis entre 0,45 a 1,0 mg/L y con cloro gaseoso en canal de agua decantada a dosis 1,0 mg/L.
17/03 al 20/04	Se suspende la dosificación de cloro gaseoso en agua decantada. Precloración con dióxido de cloro en cabecera a dosis 0,9 mg/L.
21/04 al 06/05	Se reparte la dosificación de dióxido de cloro en cabecera y en agua decantada. Las dosis respectivas son: 0,6 y 0,2 mg/L.
06/05 al 11/05	Se dosifica dióxido de cloro sólo en agua decantada a dosis 0,3 mg/L.
12/05 al 10/06	No se preclora.
11/06 al 31/06	Se vuelve a dosificar dióxido de cloro repartido en cabecera y en agua decantada a dosis 0,3 y 0,2 mg/L.
01/07 al 19/08	Precloración con dióxido de cloro en cabecera a dosis 0,4 - 0,5 mg/L

En la Tabla N°16 se presentan los resultados de algunos parámetros fisicoquímicos del agua cruda y del agua tratada, las dosis de dióxido de cloro y/o cloro gaseoso y la concentración de trihalometanos totales en salida de planta, en los diferentes muestreos realizados en dicho periodo.

Los muestreos se realizaron luego de aproximadamente una semana de realizar los cambios en los puntos de aplicación o cambio de dosis de la precloración de manera de dejar un tiempo de estabilización del sistema.

Tabla N° 16: Parámetros fisicoquímicos de agua cruda, dosis de precloración y calidad fisicoquímica y concentración de THMs en agua tratada

Fecha Extracción	AGUA CRUDA				DIÓXIDO DE CLORO, Dosis (mg/l)		GAS CLORO Dosis (mg/l)	AGUA TRATADA EBAP			
	pH	T° (°C)	Turb (UNT)	Color (mg/L)	cabecera	canal agua decantada	canal agua decantada	Turb (UNT)	Color (mg/L)	Cloro libre (mg/L)	THM's (µg/l)
PRECLORACIÓN CON DIOXIDO EN CABECERA Y CON GAS CLORO EN AGUA DECANTADA											
4/02/20	7,35	29	369	67	0,8	0	1,0	0,10	2	1,46	127
18/02/20	7,42	27	274	66	0,45	0	1,0	0,16	1	1,46	144
26/02/20	7,37	27	416	62	0,7	0	1,0	0,35	1	1,16	123
03/03/20	7,49	26	437	45	0,8	0	0,9	0,20	3	1,64	96
09/03/20	7,6	26	362	48	1,0	0	0,9	0,17	1	1,82	107
16/03/20	7,56	25	319	65	0,9	0	0,9	0,27	3	1,80	102
17/03/20	SE SUSPENDE LA PRECLORACIÓN CON GAS CLORO EN AGUA DECANTADA										
20/04/20	7,98	24	537	47	0,9	0	0	0,34	4	1,66	44
21/04/20	SE REPARTE LA PRECLORACIÓN CON DIÓXIDO DE CLORO EN CABECERA Y EN AGUA DECANTADA										
27/04/20	7,99	24	396	43	0,6	0,2	0	0,34	1	1,48	57
04/05/20	7,6	23	199	23	0,6	0,2	0	0,20	<1	1,64	42
6/05/20	PRECLORACIÓN CON DIÓXIDO SÓLO EN AGUA DECANTADA										
11/05/20	7,73	23	142	25	0	0,3	0	0,30	<1	1,64	41
12/05/20	SE SUSPENDE LA PRECLORACIÓN CON DIÓXIDO DE CLORO – NO SE PRECLORA										
14/05/20	7,78	22	222	25	0	0	0	0,25	<1	1,56	50
18/05/20	7,7	24	159	24	0	0	0	0,32	2	1,6	47
26/05/20	7,7	22	156	27	0	0	0	0,34	2	1,67	34
01/06/20	7,7	18	119	22	0	0	0	0,33	1	1,50	43
10/06/20	SE REPARTE LA PRECLORACIÓN CON DIÓXIDO EN CABECERA Y EN AGUA DECANTADA										
16/06/20	7,32	19	64	44	0,3	0,2	0	0,26	1	1,45	43
22/06/20	7,37	22	57	39	0,3	0,2	0	0,29	<1	1,79	45
1/07/20	PRECLORACIÓN CON DIÓXIDO EN CABECERA										
12/07/20	7,1	18	57	26	0,5	0	0	0,15		1,5	34
19/08/20	7,1	18	35	25	0,4	0	0	0,10	<2	1,55	40

Se puede observar una reducción importante de los THMs en el agua tratada a partir del muestreo del 20 de Abril.

Si se presta atención a las características del agua cruda, desde el inicio del estudio hasta fines de Abril, la Turbiedad del agua cruda se mantuvo relativamente alta, por encima de los 300 UNT y el Color mayor a 45 mg/L.

En esas condiciones de alta Turbiedad y Color en agua cruda, se logró reducir los niveles de THMs en el agua tratada, cuando se suspendió la aplicación de cloro gaseoso en agua decantada y se mantuvo la precloración con dióxido de cloro en cabecera a una dosis relativamente alta, de 0,9 mg/L.

En condiciones de Turbiedad del agua cruda menor a 200 UNT y Color menor a 40 mg/L, las concentraciones de THMs en agua tratada se mantuvieron bastante por debajo del límite admitido para agua potable en diferentes condiciones de aplicación de dióxido de cloro (en cabecera o repartido entre cabecera y agua decantada), siempre sin precloración con cloro gaseoso.

Se observa que en el periodo entre el 14 de Mayo y el 10 de Junio, de baja Turbiedad y Color del agua cruda, en el que no se dosificó dióxido de cloro, la concentración de THMs en agua tratada se mantuvo en valores relativamente bajos, entre 43 y 50 ug/L.

En la figura N° 32 se grafica la evolución de Turbiedad en agua cruda y la concentración de THMs en el periodo estudiado. La reducción de THMs coincide en general con la reducción de Turbiedad y Color en agua cruda.

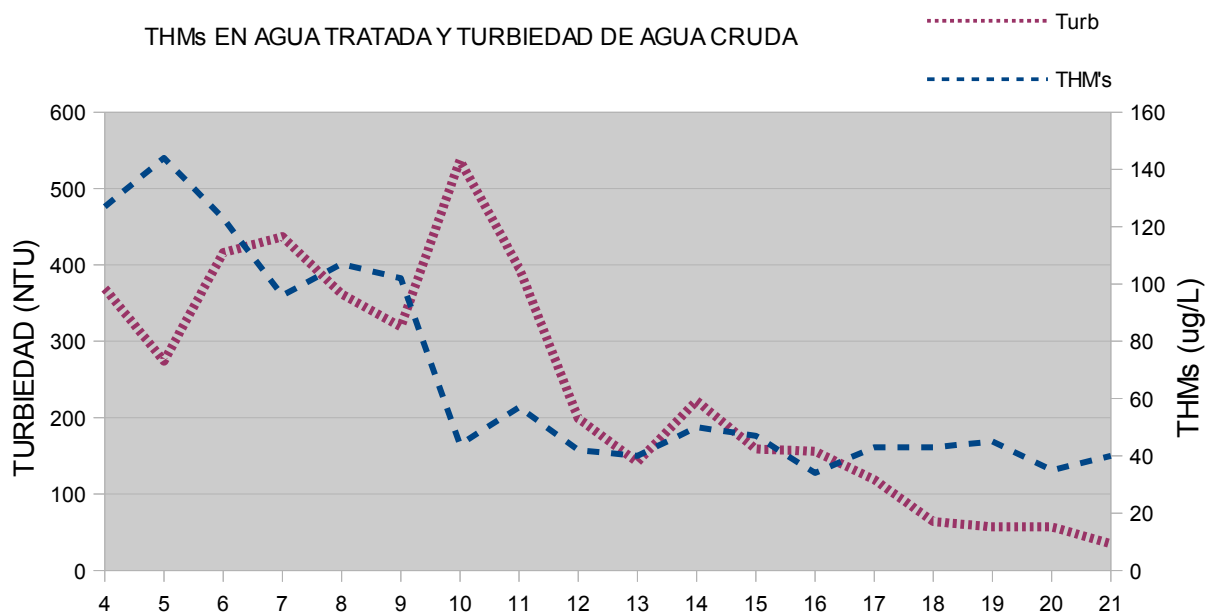


Figura N° 32: Turbiedad del agua cruda y concentración de THMs en agua tratada

Sin embargo si se grafica la concentración de THMs en agua tratada en función de la Turbiedad del agua cruda (figura N°33), no se encuentra una correlación significativa ($R^2=0,3$).

Esto podría explicarse porque en el momento del pico de Turbiedad se realizaron cambios en el tratamiento en relación a las operaciones de precloración: se cortó la cloración en ingreso a filtros y se aumentó dosis de Dioxido en cabecera.

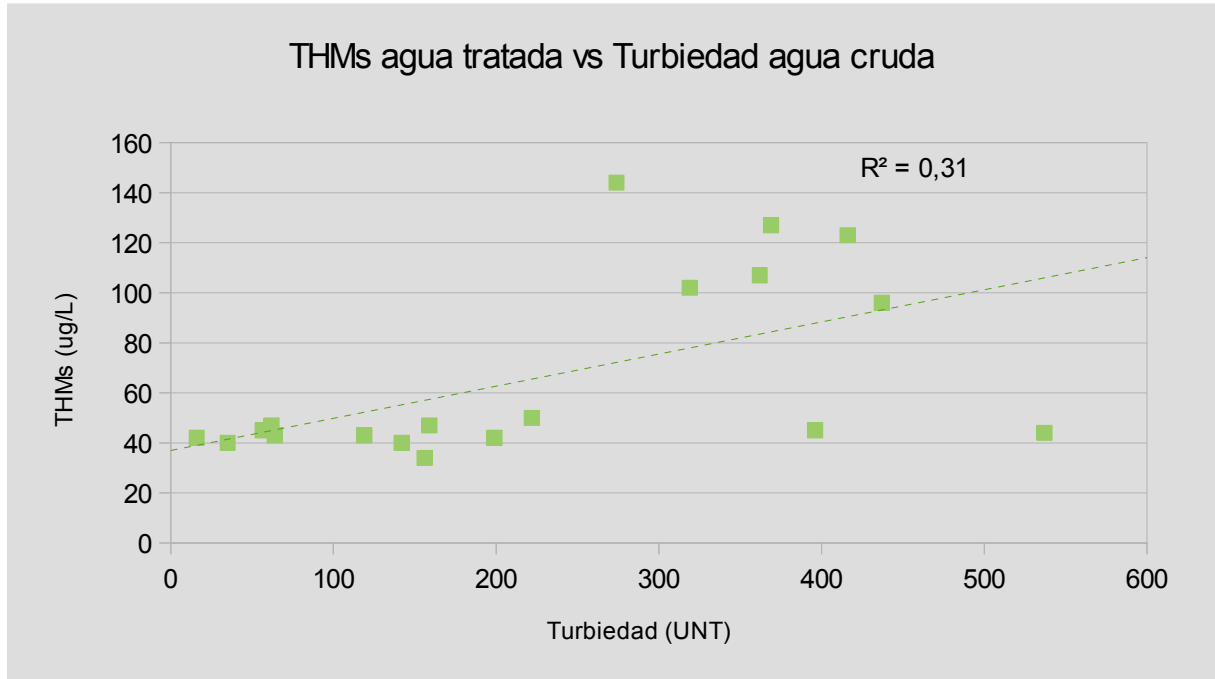


Figura N° 33: Concentración de THMs en agua tratada y Turbiedad del agua cruda

En tanto que se observa una correlación significativa ($R^2=0,7$) entre la concentración de THMs en agua tratada y el Color del agua de ingreso a planta (figura N°34).

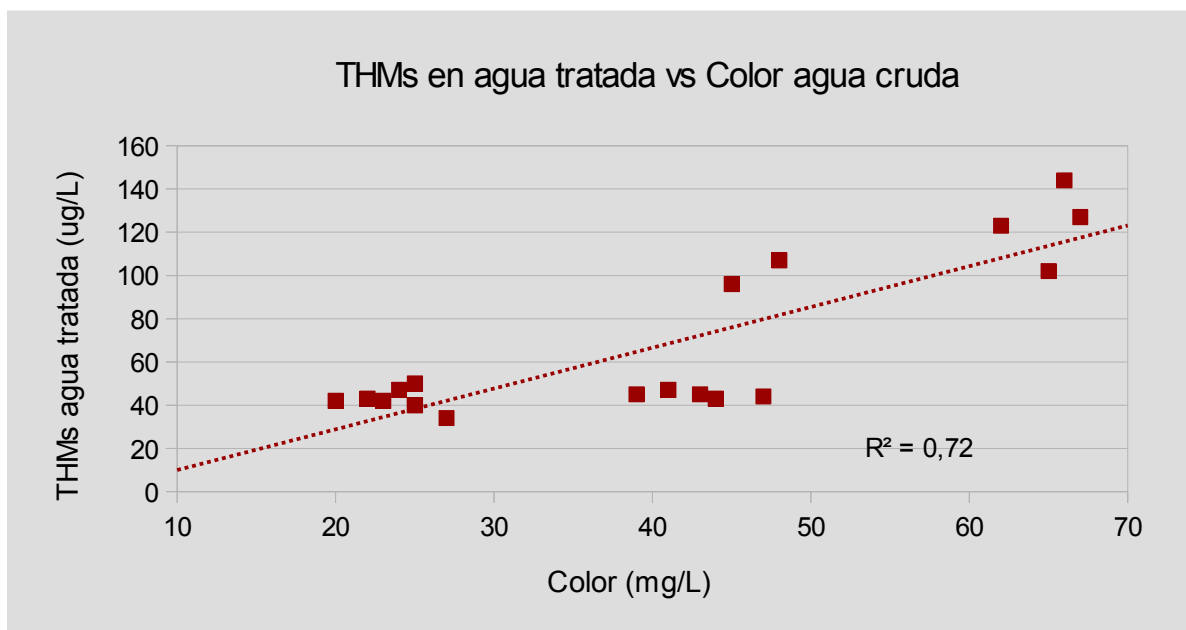


Figura N° 34: Concentración de THMs en agua tratada y Color del agua cruda

Cabe aclarar que en todo el periodo la operación de coagulación - floculación - sedimentación resultó satisfactoria, presentando el agua sedimentada Turbiedades entre 1,3 y

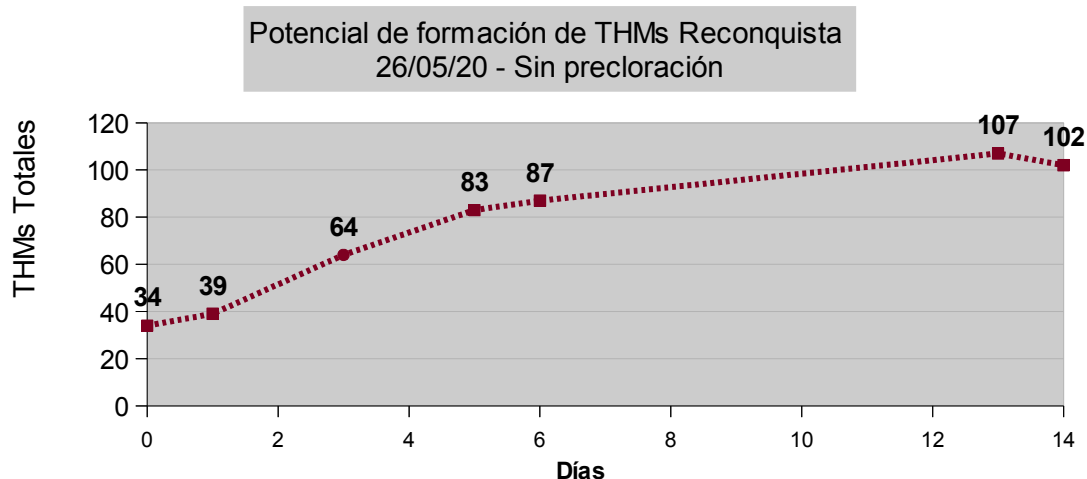
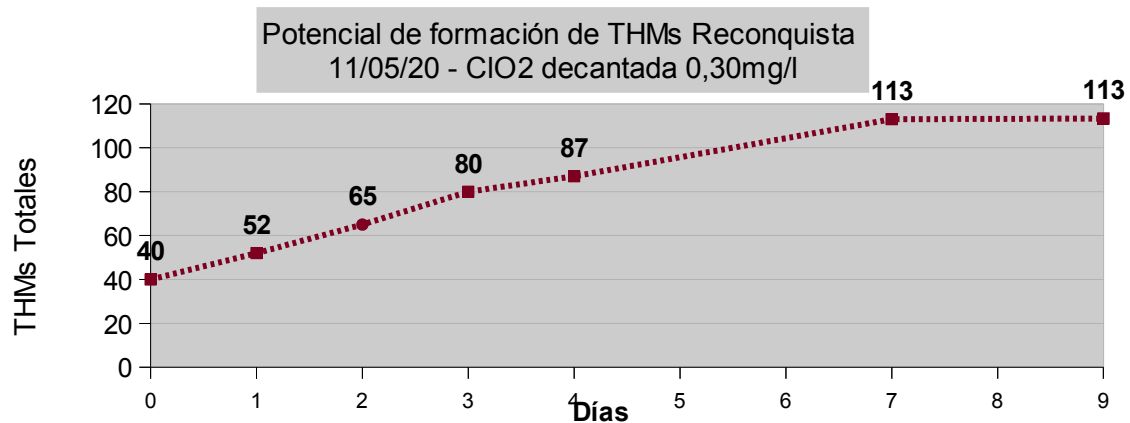
2,7 UNT y Color entre 8 y 13 mg/L. La dosificación de coagulante Sulfato de Aluminio comenzó en valores entre 80 y 90 mg/L, hasta el 20 de Abril aproximadamente, reduciéndose paulatinamente a una dosis de 65 a 60 mg/L mg/L a partir de principio de Junio. En el Anexo III se presentan las planillas completas de dosificación de insumos químicos y mediciones fisicoquímicas del agua cruda, sedimentada y tratada realizada en cada muestreo.

Otros parámetros de interés en este sistema de potabilización, por las características de la fuente de agua, son el Hierro y Manganeseo. Sin embargo en el periodo estudiado no se verificaron valores elevados de dichos elementos, manteniendo la concentración de Hierro total en valores entre 0,12 a 0,38 mg/L y de Manganeseo total entre <0,01 a 0,02 mg/L.

6.4.3. Potencial de Formación de THMs

A fin de evaluar la evolución de la formación de THMs en el tiempo, se realizaron cuatro ensayos de Concentración de trihalometanos en Sistemas de Distribución Simulada (CTHMSDS) en diferentes condiciones de agua cruda y de preoxidación de la misma.

En la figura N° 35 se presentan las gráficas de variación de los THMs en el tiempo para los diferentes ensayos.



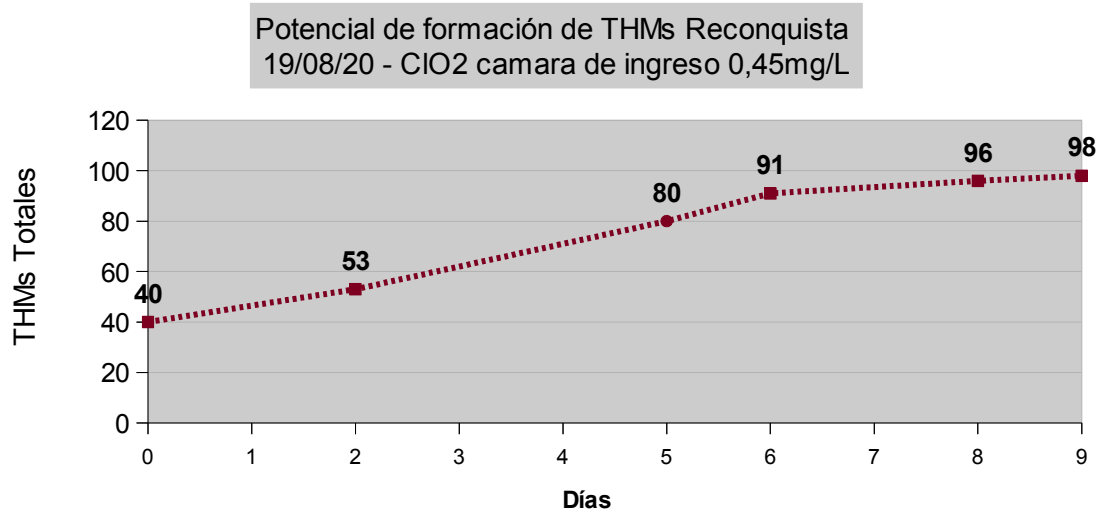


Figura N° 35: Ensayos de CTHMSDS en diferentes condiciones de agua cruda y precloración

Se resume en la Tabla N° 17 las condiciones del agua cruda y operativas en relación a la preoxidación en las fechas que se realizaron los ensayos de CTHMSDS.

Tabla N° 17: Resumen de PFTHMs en diferentes condiciones operativas

Fecha	Características del agua cruda	Condiciones de precloración	PFTHMs (ug/L)
11/05/20	Turb: 142 NTU, Color: 25 mg/L	Dioxido en cámara de carga a dosis 0,3 mg/L	113
26/05/20	Turb: 158 NTU, Color: 27 mg/L	Sin precloración	98
19/08/20	Turb: 35 NTU, Color: 25 mg/L	Dioxido en cámara de carga a dosis 0,4 mg/L	98
11/11/20	Turb: 16 NTU, Color: 20 mg/L	Dioxido en cámara de carga a dosis 0,4 mg/L	111

Si bien se requiere realizar mayor número de ensayos para poder inferir conclusiones generales, se puede observar que el agregado de dióxido de cloro como preoxidante de la materia orgánica en las condiciones ensayadas no resultó en menor potencial de formación de THMs.

Tampoco se observa asociación entre el CTHMSDS y la Turbiedad del agua, en los ensayos realizados. El Color del agua se mantuvo relativamente constante en los cuatro muestreos.

Debido a que las muestras se mantuvieron a una temperatura de 20°C durante los días que duró el ensayo no resulta relevante el valor de la Temperatura del agua en el momento del muestreo.

En dos de los cuatro ensayos la concentración de THMs máxima obtenida supera el límite obligatorio vigente para agua potable.

6.4.4 Ensayos de Demanda de dióxido de cloro

En la Tabla N° 18 se presentan los resultados de los ensayos de demanda de dióxido de cloro, realizados sobre el agua post floculada, junto con algunas características del agua cruda, condiciones de precloración y concentración de THMs en agua tratada.

Tabla N° 18: Resultados de demanda de dióxido de cloro en agua cruda, condiciones de precloración y calidad de agua tratada de PPR

	AGUA CRUDA			PRECLORACION CON DIÓXIDO DE CLORO, Dosis (mg/l)		PRECLORACION C/ GAS CLORO (mg/l)	AGUA TRATADA EBAP		
	Turb (UNT)	Color (mg/L)	Demanda de ClO ₂ (mg/L)	cabecera	canal agua decantada	canal agua decantada	Turb (UNT)	Color (mg/L)	THM's (µg/l)
26/02/2020	416	62	0,8	0,7	0	1,0	0,35	<1	123
03/03/2020	437	45	2,0	0,8	0	0,9	0,20	3	96
20/04/2020	537	47	1,0	0,9	0	0	0,34	4	44
27/04/2020	396	43	1,0	0,6	0,2	0	0,34	1	57
04/05/2020	199	23	0,7	0,6	0,2	0	0,20	<1	42
11/05/2020	142	25	0,5	0	0,3	0	0,30	<1	49
18/05/2020	159	24	0,5	0	0	0	0,32	2	47
01/06/2020	119	22	0,7	0	0	0	0,33	1	43

Se pueden observar valores de demanda de dióxido de cloro levemente superiores para condiciones de agua cruda de mayor Turbiedad y Color sin embargo se requiere realizar mayor cantidad de ensayos para poder inferir la dosis de dióxido de cloro a aplicar para oxidar los precursores de los THMs.

Si se logra asociar la demanda de dióxido de cloro con algún parámetro fisicoquímico más sencillo como es el Color o la Turbiedad, siempre será conveniente recurrir a análisis de menor complejidad para agilizar los cambios operativos en un sistemas de tratamiento.

6.5. ANÁLISIS DE COSTOS DE INSUMOS DE POTABILIZACIÓN EN PPR

A partir de datos aportados por el operador de la PPR se determinan los costos de los diferentes insumos químicos utilizados en la potabilización y se estima la incidencia del clorito de Sodio para una dosificación de dióxido de cloro de 0,9 a 1,0 mg/L.

El valor de cambio utilizado es de 100 \$/u\$s.

Tabla N° 19: Estimación de costo de insumos químicos PPR

RECONQUISTA

Dólar		100	
Estimación consumo de productos químicos			Costo
Caudal de tratamiento		1300 m3/h	
SULFATO DE ALUMINIO			
Dosis MEDIA de Producto		80 mg/l	218 u\$s/ton
Cantidad de producto	HORA	104,0 kg/h	
	MES	76128 kg/mes	
		56,4 m3/mes	
Precio		21,8 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		1,74 \$/m3	
PAC			
Dosis MEDIA de Producto		0 mg/l	0,7 u\$s/kg
Cantidad de producto	HORA	0,0 kg/h	
	MES	0 kg/mes	
		0,0 m3/mes	
Precio		70 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,00 \$/m3	
CAL HIDRATADA			
Dosis MEDIA de Producto		16 mg/l	5078 \$/ton transporte 1500 \$/ton total 7800 \$/ton
Cantidad de producto por hora	MES	20,8 kg/h	
		15226 kg/mes	
		15,2 ton/mes	
Precio		7,8 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,12 \$/m3	
POLIELECTROLITO			
Dosis MEDIA de Producto		1 mg/l	2,5 u\$s/kg
Cantidad de producto por hora	MES	1,300 kg/h	
		952 kg/mes	
		0,7 m3/mes	
Precio		250 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,25 \$/m3	
GAS CLORO (pre y postcloración)			
Dosis MEDIA de Producto		3,3 mg/l	990 u\$s/ton
Cantidad de producto por hora	MES	4,29 kg/h	
		3140 kg/mes	
		3,1 ton/mes	
Precio		99 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		0,33 \$/m3	
CLORITO DE SODIO			
Dosis MEDIA de Producto (Para 0,9-1,0 m/l)		4,5 mg/l	3 u\$s/kg
Cantidad de producto	HORA	5,9 kg/h	
	MES	4282 kg/mes	
		3,5361 m3/mes	
Precio		300 \$/kg	
Costo por m3 de agua a tratar		1,35 \$/m3	
COSTO OPERATIVO DE PRODUCCIÓN		3,80 \$/m3	

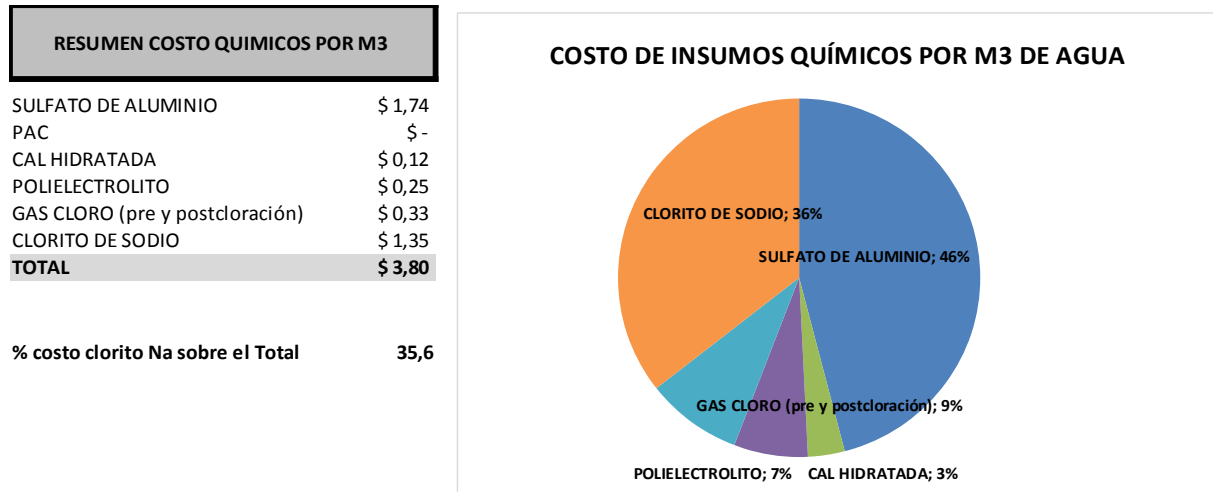


Figura N° 36: Costos de insumos químicos por m³ de agua - PPR

Este análisis de costo arroja una incidencia del 35.6% del costo total de insumos químicos el costo del clorito de Sodio, representando \$1.35 por m³ de los 3,80 \$/m³ del total de insumos químicos.

Si el caudal promedio de producción es de 1300 m³/h, entonces por día representa un gasto de \$ 42.000 diarios, si se aplica dióxido de cloro en forma continua a una dosis de 0,9-1,0 mg/L.

6.6. CONCLUSIONES SEGUNDA ETAPA

A partir de investigaciones anteriores y de los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede verificar una amplia variabilidad en la Turbiedad y Color de la fuente de agua cruda utilizada en el abastecimiento en PPR.

En el periodo estudiado, se ha determinado una asociación significativa entre el Color (del agua cruda y la concentración de Trihalometanos ($R^2=0,7$) en PPR,

De acuerdo a los resultados de los análisis de THMs en agua tratada, se puede concluir que al eliminar la precloración con gas cloro en el ingreso a filtros se produjo una reducción significativa de la concentración de THMs en el agua tratada, en similares condiciones del agua cruda y manteniendo la preoxidación con dióxido de cloro en cámara de carga.

Asimismo, se ha observado que en condiciones de baja Turbiedad y Color del agua cruda (menor a 200 NTU y menor a 40 mg/L respectivamente) resulta innecesaria la dosificación de dióxido de cloro como oxidante de los precursores de THMs.

El seguimiento de los parámetros Turbiedad y Color en el agua cruda podrían inferir la necesidad o no de aplicar dióxido de cloro.

El ensayo de demanda de Dióxido podría resultar un indicador sensible de la dosis necesaria de aplicación de dicho compuesto a los fines de reducir los THMs en el agua tratada. Sin embargo deberán recabarse mayor cantidad de datos a fin de adoptar un criterio en base a dicho ensayo.

Debería evaluarse la necesidad de la aplicación de dióxido de cloro con otros objetivos de calidad como puede ser eliminación de Hierro y Manganeseo o Color en caso de verificarse un incremento de dichos parámetros en agua cruda, como así también en épocas estivales para reducir el desarrollo de algas en sedimentadores y filtros.

De acuerdo al estudio de costos de insumos de potabilización realizado en las condiciones de operación del sistema, para una dosis de dióxido de cloro entre 0,9 y 1,0 mg/L, el costo de clorito de Sodio se traduce en 1,35 \$/m³ de agua tratada, resultando un 35% del costo total de insumos químicos.

Resulta un impacto importante el uso de dióxido de cloro como preoxidante en el costo del tratamiento del agua, por lo que resulta prioritario ajustar la dosificación de este compuesto en las concentraciones mínimas efectivas y cuando su aplicación es indispensable para controlar la generación de THMs.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PPM Y PPR

En la Tabla N° 20 se han sintetizado las características fisicoquímicas del agua cruda, las condiciones operativas y calidad del agua tratada en ambos sistemas potabilizadores estudiados.

Se han remarcado en rosa algunos valores o características particulares de cada sistema.

Se presentan también las concentraciones de THMs en el agua tratada de la PPM y PPR y los resultados de los ensayos de CTHMSDS.

Los valores de cada parámetro corresponden al promedio anual y entre paréntesis se indican los valores mínimo y máximo del periodo de tiempo indicado.

Para la PPM se separan los datos del 2018 y 2019 en virtud del significativo cambio en las características del agua cruda durante el año 2019 debido a la bajante extraordinaria de sistema del Río Paraná que provocó un incremento de los THMs.

Para la PPR los resultados corresponden al promedio, mínimo y máximo del periodo febrero a diciembre de 2020.

Tabla N° 20: Comparativo de características de agua cruda y tratada y algunas condiciones operativas de PPM y PPR y concentración de THM en salida de planta

MONJE				RECONQUISTA			
AGUA CRUDA	RÍO CORONDA			RÍO SAN JERÓNIMO			
		2018	2019		2020		
	TURB (NTU)	52 (21;77)	88 (25;170)	TURB (NTU)	220 (35;537)		
	COLOR (mg/L)	23 (18;30)	32 (22;38)	COLOR (mg/L)	39 (22;68)		
	COND (uS/cm)	270 (152;418)	545 (281;919)	COND (uS/cm)	209 (134;360)		
	pH	7,7 (7,2;8,3)	8,2 (7,9;10,4)	pH	7,5 (7,1;8,0)		
Alc (mg/L)	40 (32;46)	55 (32;73)	Alc (mg/L)	40 (30;52)			
PLANTA	CAUDAL (m3/h)	550	550	CAUDAL (m3/h)	1300		
	COAG (Sulfato de Al, mg/L)	77 (59;100)	131 (96;201)	COAG (Sulfato de Al, mg/L)	72 (60;98)		
	POLIELECTROLITO (mg/L)	1,4	1,6	POLIELECTROLITO (mg/L)	NO		
	PRECLORAC (Diox de Cl)	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8	PRECLORAC (Diox de Cl)	Dosis y pto de aplic variable		
	POST CLORAC (Cloro gaseoso)	3,7 (3,2; 4,2)	4,2 (3,6;4,8)	POST CLORAC (Cloro gaseoso)	2,5 (2,0;3,3)		
AGUA TRATADA	TURB (NTU)	04 (0,2;0,9)	0,5(0,2;1,0)	TURB (NTU)	0,3 (0,10;0,35)		
	COND (uS/cm)	260(179;500)	747 (355;1435)	COND (uS/cm)	210 (135;365)		
	COLOR (mg/L)	2 (1;4)	2 (1;4)	COLOR (mg/L)	2 (1;4)		
	CLORO RESIDUAL (mg/L)	1,3 (0,1;1,7)	1,1 (0,2;1,6)	CLORO RESIDUAL (mg/L)	1,6 (1,2-1,8)		
PLANTA POTABILIZADORA MONJE				PLANTA POTABILIZADORA RECONQUISTA			
	AÑO 2018	AÑO 2019		AÑO 2020			
THMs (ug/L)	69 (43;103)	109 (48;185)	THMs (ug/L)	65 (34; 144)			
CTHMSDS (ug/L)	NR	204	CTHMSDS (ug/L)	104 -113			

Queda demostrado que durante el año 2019 el promedio de THMs en el agua tratada por la PPM supera el límite admitido por la normativa vigente con un valor máximo que supera en un 85% dicho valor. En dicho periodo la preoxidación de precursore de THMs con dióxido de cloro no ha resultado una operación eficiente en la reducción de THMs.

Considerando el sistema del acueducto en forma completa, con sus estaciones de rebombeo donde se realiza un refuerzo de la cloración y en las mismas cisternas de los servicios abastecidos por el Acueducto, lo que lleva a un incremento extra de los SPD, llegando las concentraciones de THMs hasta valores de 280 ug/l, según mediciones realizadas en el laboratorio del Enress.

Para la PPR, el promedio de los 11 meses evaluados está bastante por debajo del límite admitido para agua para consumo humano, con un valor máximo de 144 ug/L.

Los valores de los ensayos realizados de CTHMSDS en ambos casos representan con bastante aproximación los valores máximos de THMs en salida de planta en ambos sistemas.

8. CONCLUSIONES

La reducción de los niveles de THM no es fácil puesto que no se puede comprometer la seguridad microbiológica del agua mediante la eliminación o reducción de la cloración.

En PPM se observa un incremento marcado de THMs durante la etapa de almacenamiento de agua tratada en la cisterna de la planta donde los tiempos de permanencia del agua clorada son de 8 a 10 hs.

En el periodo 2018 - 2019 el agregado de dióxido de cloro en cámara de ingreso de la PPM no resultó una operación eficiente para la reducción de THMs en agua tratada, en las condiciones operativas dadas.

Se observa que se realiza la dosificación de dióxido de cloro sin realizar ensayos de demanda ni otros ensayos que permitan inferir la dosis de Dióxido efectiva.

No pudieron realizarse las pruebas de cambio de punto de dosificación de Dióxido por la bajante extraordinaria del Río Paraná que generó otras prioridades para el operador del sistema.

El costo del insumo principal para la producción de dióxido de cloro, clorito de Sodio, impacta en un 26% del costo total de insumos químicos para la potabilización en PPM, resultando en un incremento en 0,90 \$/m³ de agua tratada.

En la PPR se logró reducir los THMs en el agua tratada en forma sostenida desde el 20 de abril al mes de diciembre a valores muy por debajo del límite admitido para agua potable. La eliminación de la precloración con gas cloro en agua decantada resultó fundamental para lograr la reducción de los THMs.

En PPR se pudo verificar que la aplicación de dióxido de cloro puede ser repartida en cámara de ingreso y canal de agua decantada lográndose reducir la dosis total de dióxido de cloro a aplicar y resultando en una reducción del desarrollo de algas en filtros.

Se comprobó que en algunos periodos, dependiendo de las características del agua cruda, puede eliminarse la aplicación de dióxido de cloro en PPR sin que se eleven los THMs en el agua tratada, resultando en un ahorro importante en el gasto de insumos químicos.

Se ha observado una relación entre el Color del agua cruda con la generación de THMs en la PPR, no así en PPM donde se obtuvo una asociación entre los THMs totales y la Conductividad del agua cruda para valores de Conductividad mayores a 500uS/cm.

Los ensayos de demanda de dióxido han mostrado una relación positiva con la dosis de dióxido efectiva, que debe ser verificada con mayor número de análisis.

Los valores obtenidos en los ensayos de CTHMSDS correlacionan con las máximas concentraciones de THMs halladas en ambos sistemas.

9. RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS FINALES

Las estrategias para reducción de THMs deben ser diseñadas para cada sistema de potabilización, considerando la calidad del agua cruda, los cambios en la misma y las posibilidades operativas de cada sistema.

Se deberían desarrollar criterios de dosificación de dióxido de cloro en base a una metodología analítica que permita cumplir con los objetivos de calidad propuestos con eficacia y eficiencia.

A tal fin, se recomienda determinar en forma sistemática en ambos sistemas, ensayos de demanda de dióxido de cloro, de CTHMSDS y correlacionar con las características del agua cruda, principalmente Turbiedad, Color y Conductividad, a fin de establecer la necesidad o no de aplicación de dióxido de cloro y la dosis óptima.

Asimismo, resulta fundamental hacer determinaciones de concentración de dióxido de cloro lograda con el generador, determinando la eficiencia de dicho proceso, realizando un registro de dicha información en forma periódica.

Si se demuestra que la preoxidación con dióxido de cloro no resulta eficiente para la reducción de la generación de THM en un sistema de potabilización, tal como lo observado en PPM en el periodo 2018-2019, deberán estudiarse e implementarse otros métodos propuestos en la bibliografía específica.

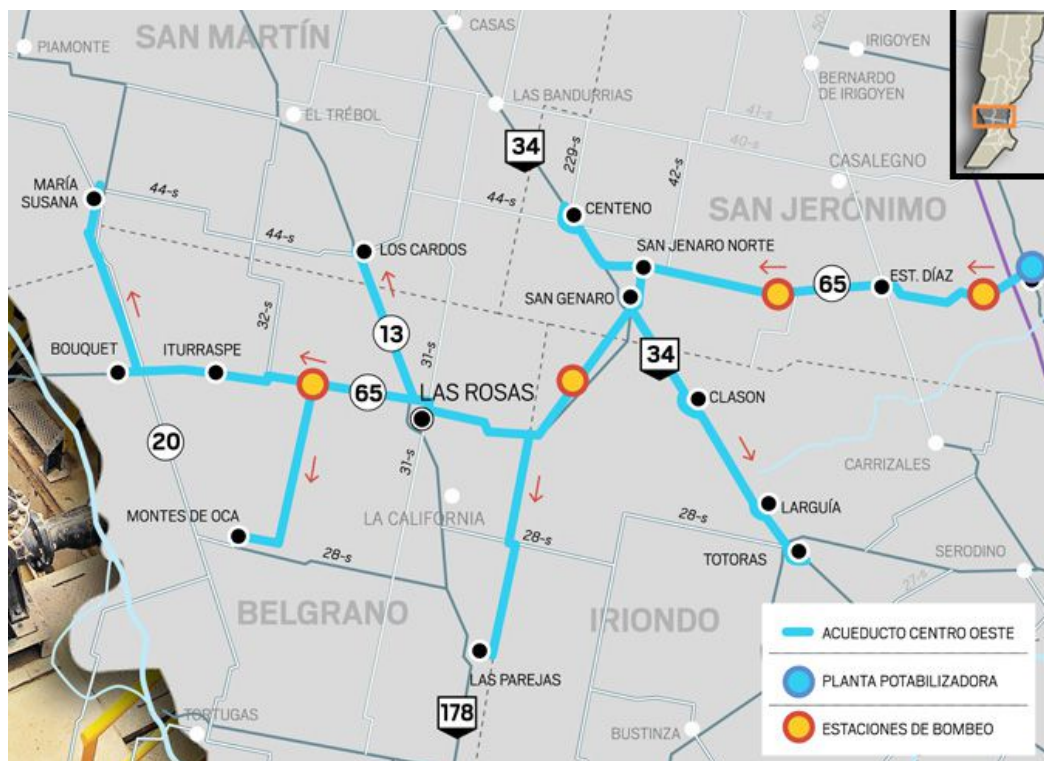
9. BIBLIOGRAFÍA

1. **American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.** 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23er edition. 5710 y 5910 p 5-67 a 5-78. ISSN 55-1979. 2017.
2. **Arboleda Valencia, Jorge.** 1992. Teoría y práctica de la purificación del agua. Cap.Nº11, p. 585-645.
3. **Arjona, Sindy et al.** 2012. "Effect of the prechlorination point on the trihalomethanes formation in conventional water treatment process". Revista Ingenierías, Universidad de Medellín, Colombia, vol 11, Nº. 20 pp. 57 - 66 - ISSN 1692 - 3324. 2012.
4. **Centro de Ingeniería Sanitaria.** 2017. Universidad Nacional de Rosario. "Estudio de Tratabilidad del Agua del Río San Jerónimo Futura Planta Potabilizadora".
5. **Charissa Larine Harris.** 2001. "The effect of predesinfection with Chlorine Dioxide on the formation of Haloacetic Acids and Trihalomethanes in a drinking water supply". Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia, USA. 2001.
6. **Ciurana Gay, C, 2000.** "Dióxido de cloro y su efecto en la formación de trihalometanos, Aplicación práctica en la ETAP de Montfulla". Revista Tecnología del agua. Girona.
7. **Corey, Germán.** 1996. "La investigación epidemiológica de los efectos adversos asociados a los subproductos de la cloración del agua potable". Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud. La calidad del agua potable en America Latina, p.115-134. ILSI Press, Washington DC.
8. **De la Cruz Vera, Marta, et al.** 2013. "Mejora en la calidad del agua suministrada en los municipios de la provincia de Córdoba mediante el empleo de dióxido de cloro" TecnoAqua, p. 34, 42. Julio-Agosto 2013
9. **Deininger, R.A. et al.** 1998. "Dióxido de cloro". Escuela de Salud Pública. The University of Michigan Ann Arbor, Michigan, EUA. Trabajo presentado en el Simposio OPS: Calidad de Agua, Desinfección Efectiva.
10. **ENOHSA. Normas.** "Desinfección". Fundamentos. Capitulo X.
11. **Environmental Protection Agency. (EPA)** 2009. National Primary Drinking Water Regulations.
12. **Galvin, Rafael Marín .** "Análisis de agua y ensayos de tratamiento". Editorial Barcelona ISBN 84-86052-20-3. 1995.
13. **Galvin, Rafael. Marín** 2015. "Evolución de compuestos orgánicos y subproductos de desinfección en sistemas de potabilización de agua Jefe de Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente" Disponible en: www.retema.es .
14. **Grundfos, Revista del agua.** "Reducción de Trihalometanos en agua potable mediante preoxidación con dióxido de cloro". <http://www.elaguapotable.com/reducci%C3%B3n%20trihalometanos%20co%20dióxido%20de%20cloro.pdf>
15. **Hernández Sánchez, C., et al.** 2011. "Trihalometanos en aguas de consumo humano". Asociación Española de Toxicología Pamplona, España. Revista de Toxicología. vol. 28, núm. 2, pp. 109-114. ISSN: 0212-7113.
16. **Holden, Glen W., 2017.** "Chlorine Dioxide Preoxidación for DBP Reduction". Journal AWWA 109:7, p. 36-43.
17. **Ingeniería de Aguas Rosario.** 2020. Manual de especificaciones técnicas, operación y mantenimiento. Planta Potabilizadora de Reconquista.

18. **Organización Mundial de la Salud.** "Guías para la calidad del agua de consumo humano". 4ta edición que incorpora la primera adenda. ISBN 978-92-4- 354995-8. 2018.
19. **Ortolani, Vilma C.** 2007. "Modelado de la generación transporte y permanencia de Trihalometanos en agua potable". Tesis de Magister en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario.
20. **Provincia de Santa Fe.** Programa: Abastecimiento de agua potable mediante Sistema de Grandes Acueductos de la Provincia de Santa Fe (Ley N° 12.668). www.santafe.gov.ar
21. **Ramírez Quirós. Francisco.** 2005. "Tratamiento de Desinfección del Agua Potable Empleo de cloro, hipoclorito, dióxido de cloro, cloraminas, ozono y permanganato potásico. Subproductos de la desinfección". Canal de Isabel II. Editorial Canal Educa Impresión: Punto Verde S.A.ISBN: 84-933694-3-8.
22. **Tecnología de Aguas QIMADH.** 2009. Informe sobre tratabilidad del Río San Jerónimo. 2009.
23. **World Health Organization.** 2016. Chlorine Dioxide, Chlorite and Chlorate in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2016.

Anexo I

DINÁMICA DE FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS EN EL ACUEDUCTO CENTRO OESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA FE



Bioq. Verónica Pidustwa
2017

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se analiza la formación de los subproductos de la cloración (Trihalometanos Totales) en el sistema de abastecimiento de agua correspondiente al Acueducto Centro Oeste (ACO) que transporta agua tratada a 13 localidades de la Provincia de Santa Fe, para una población servida de aproximadamente 70500 habitantes, siendo el primer gran acueducto construido en la provincia.

El agua transportada por el ACO procede de una planta potabilizadora de tipo convencional ubicada en la localidad de Monje, cuya fuente es el Río Coronda y produce un caudal medio de 500 m³/h.

El Río Coronda, es un río de llanura de tipo aluvial que transporta material en suspensión y materia orgánica en disolución. Parte de esta materia orgánica actúa como precursor de los trihalometanos que se generan cuando el agua es sometida a cloración.

Desde la puesta en servicio del Acueducto Centro Oeste, se ha detectado que el nivel de THMs en las localidades abastecidas por este sistema supera, en algunos casos ampliamente, el límite de THMs establecido en el Anexo A de la Ley 11.220 de **100 ug/l**.

Con el fin de reducir la generación de THMs, la empresa operadora del ACO implementó la dosificación de dióxido de cloro al agua cruda en cámara de carga, con la finalidad de eliminar mediante oxidación parte de la materia orgánica que actúa como precursora de THMs.

A partir de los análisis de THMs y parámetros fisicoquímicos realizados en distintos puntos del proceso de potabilización y del sistema del acueducto se buscará conocer la dinámica de la formación de estos compuestos en el sistema, determinar la eficacia del pretratamiento de oxidación de precursores con dióxido de cloro, así como los problemas operativos detectados en dicho proceso.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la dinámica de formación de THMs en el sistema de provisión de agua potable del Acueducto Centro Oeste y la eficiencia del dióxido de cloro para reducir los mismos, en las condiciones de operación del sistema.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar las características del agua utilizada como fuente de abastecimiento del ACO
- Evaluar la formación de THMs en las condiciones normales de operación de la Planta Potabilizadora, en sus diferentes etapas.
- Conocer la dinámica de formación los THMs en sectores del Acueducto.

- Evaluar estadísticamente la eficiencia de la aplicación de dióxido de cloro en la reducción de la formación de THMs en las condiciones de aplicación del sistema estudiado.
- Aportar sugerencias de mejoras en el proceso de tratamiento en relación a la problemática de los THMs.

ANTECEDENTES E INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Desinfección del agua. Subproductos de la cloración

La desinfección es una operación incuestionable en la seguridad del abastecimiento de agua para consumo humano.

La desinfección del agua refiere a la destrucción o inactivación de organismos patógenos presentes en ella, siendo la cloración el proceso de desinfección mayormente utilizado en los servicios centralizados de agua de la provincia de Santa Fe, con la excepción de algunas plantas de ósmosis inversa que utilizan radiación ultravioleta.

La cloración constituye una barrera eficaz contra numerosos patógenos (especialmente bacterias) reduciendo el riesgo de enfermedades de transmisión hídrica, aunque tiene una eficacia limitada frente a protozoos patógenos, en particular para *Cryptosporidium*.

La cloración ha resultado ser un proceso con amplias ventajas en relación a otros: es eficiente, fácil de aplicar y posee un poder residual que protege el agua durante la distribución y es fácilmente medible y controlable.

La Norma de Calidad de Agua vigente en Santa Fe fija como límite Obligatorio una concentración máxima de Cloro Activo de 1,2 mg/l y un Límite Recomendado entre 0,2 y 0,5 mg/l.

La desventaja de la cloración es la producción de subproductos de la desinfección (SPD), en especial los Trihalometanos que fueron descubiertos en la década de 1970 abriendo un campo de estudio del proceso de desinfección que incluyó la determinación de los SPD y la evaluación de sus posibles efectos en la salud humana.

Los THMs representa una fracción de los SPDs que pueden generarse por la cloración pero han sido los más investigados, siendo los que la mayoría de las Normas de Calidad de agua utilizan como indicadores de dichos productos y poseen límites máximos como THMs totales o menos frecuentemente en forma individual.

El Cloroformo (CHCl_3) es el trihalometano más común y el principal subproducto de la desinfección del agua de consumo humano clorada, siguiendo en general en concentración el Bromodiclorometano (BDCM: CHCl_2Br), Dibromoclorometano (DBCM: CHClBr_2) y Bromoformo (CHBr_3)

No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos, los mismos son relativamente bajos en comparación a los riesgos asociados a una desinfección insuficiente,

tal que la OMS expresa que: “El intento de controlar los subproductos de la cloración, no debe poner en peligro la desinfección”.

Proceso de generación de THMs: Precusores y variables intervinientes

Los compuestos orgánicos asociados a la generación de THMs son los ácidos fúlvicos y ácidos húmicos, compuestos naturales de mayor presencia en aguas naturales (60-80%).

Las sustancias húmicas acuáticas se dividen usualmente en dos componentes: ácidos húmicos (HA) el cual es soluble en medios alcalinos diluidos pero precipita en medio ácido y el ácido fúlvico (FA) el cual permanece en solución a pH bajos.

La estructura de ambos es similar pero las dos fracciones difieren considerablemente en el peso molecular y la composición del grupo funcional.

El PM de los ácidos Fúlvicos varían entre 200 y 1000, mientras que los rangos de los ácidos húmicos están por encima de 200.000 UMA.

Estos compuestos poseen grupos polares hidrofílicos en su superficie que incluyen fenoles polihidroxilados y ácidos fenólicos.

Otros precursores como las algas, productos metabólicos algales, la clorofila, fenoles halogenados, anilinas, ácido tánico y aún polielectrolitos usados en la potabilización del agua han sido identificados, caracterizados por contener grupos hidroxilados ácidos.

Se ha postulado que los THMs se forman vía la reacción clásica de los halógenos en donde el hipoclorito acuoso reacciona con la metil acetona, bajo condiciones básicas para dar trihalometanos.

Luego de haber sido sustituidos tres átomos de Hidrógeno por 3 átomos de Cloro, ocurre la hidrólisis que da lugar a los THMs. Sin embargo, se ha demostrado que existen otras reacciones complejas que llevan a la producción de los THMs.

El potencial redox del ácido hipocloroso es más elevado que el del ácido hipobromoso y por tanto en presencia de iones hipoclorito, el bromuro se oxidará a ácido hipobromoso.

Este compuesto puede luego participar en reacciones de sustitución para dar THMs con más de un tipo de halogeno; Bromodiclorometano, Dibromoclorometano, Bromoformo.

Efecto de algunas variables en la formación de THMs

Efecto del pH: La reacción clásica de los halógenos es catalizada por las bases por tanto un aumento en el pH incrementa los niveles de THMs. Este incremento se debe a un aumento de la velocidad de reacción.

Un pH ácido favorece a la destrucción de los precursores de THMs y a su vez los grupos funcionales ácidos de los ácidos húmicos se encuentran no ionizados lo que conduce a

la agregación de las moléculas debido a fuerzas de Van der Waals disminuyendo los sitios reactivos disponibles.

A pH > 9 la formación de THMs es mayor.

Temperatura: La velocidad de formación de los THMs aumenta con el incremento de la Temperatura. Se ha estudiado que los valores se duplican cuando se comparan datos a 3°C y a 25°C para un tiempo dado.

En general, para un mismo sistema, los THM en verano son más altos que en invierno, pero esto no se debe solamente a la temperatura, sino que deben considerarse otros factores vinculados al agua cruda y su composición estacional.

Efecto de la Dosis de Cloro: La formación de Thms principalmente se debe a reacciones de sustitución. Los THMs solamente se forman en presencia de cloro libre.

En ese sentido dependerá de la cantidad de cloro libre y del tiempo de contacto.

Con la adición de cloro al agua, hay una demanda de cloro inmediata, principalmente inorgánica, cuando solamente se forman trazas de THMs, seguida de un incremento rápido de THMs si se aumenta la dosis de cloro.

Cuando todos los precursores han reaccionado, los niveles de THMs alcanzan una estabilización o aumentan muy lentamente en el tiempo.

Contenido de Bromuro:

Se ha estudiado que cuando la concentración de Bromuro aumenta resulta no solamente un aumento del porcentaje de los THMs bromurados sino también en un aumento de la concentración total de de THMs y de su velocidad de formación.

Distintos estudios han demostrado que cuanto mayor es el contenido de bromuro del agua más rápidamente proceden las reacciones y mayor será la concentración de SPDs y entre estos aumentará la cantidad de especies brominadas que se forman.

Concluyendo, la presencia de THMs representa un fenómeno complejo donde existen diferentes fenómenos acoplados como la cinética de la generación, desaparición por reacción, adsorción y volatilización, hidrólisis, etc. en los cuales intervienen, tanto variables del proceso (pH, temperatura, precursores), el tipo de mecanismo de desinfección (pre y post cloración) y la estructura misma de las operaciones unitarias que componen el sistema de de potabilización y distribución.

TRIHALOMETANOS, EFECTOS EN LA SALUD Y NORMATIVAS DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

La importancia sanitaria del control de estos compuestos reside principalmente en estudios en animales de experimentación que demuestran asociación entre el cloroformo y generación de tumores en hígado. No hay pruebas suficientes sobre su acción cancerígena en seres humanos.

Asimismo, según estudios de toxicidad en animales utilizados por la OMS como base para establecer los valores de referencia para el agua de bebida, los compuestos bromados presentan mayor toxicidad para el ser humano que el cloroformo, siendo el Bromodiclorometano el que presenta un VR más bajo.

Compuesto	Valor guía (ug/l)
Cloroformo	300
Bromodiclorometano	60
Dibromoclorometano	100
Bromoformo	100

Estos valores se basan en evaluaciones de Ingesta Diaria Tolerable (IDT), excepto para el Bromodiclorometano (BDCM) que por ser un compuesto probablemente cancerígeno se utiliza la metodología de extrapolación lineal.

Los efectos en la salud descritos para estos compuestos por la OMS se resumen a continuación:

Cloroformo El CIIC ha clasificado el cloroformo como posiblemente cancerígeno para el ser humano (**Grupo 2B**), con base en la escasez de pruebas de su capacidad cancerígena en el ser humano y en la existencia de pruebas suficientes de su capacidad cancerígena en animales de experimentación. La prueba de tumores hepáticos en ratones concuerda, en conjunto, con un mecanismo de inducción con umbral.

Bromodiclorometano El CIIC ha clasificado el BDCM en el **Grupo 2B** (posiblemente cancerígeno para el ser humano). Diversos ensayos in vitro e in vivo de genotoxicidad del BDCM dieron resultados tanto positivos como negativos. En un bioensayo, el BDCM indujo adenomas y adenocarcinomas renales en ratas de ambos sexos y en ratones macho, tumores poco comunes del intestino grueso (pólipos adenomatosos y adenocarcinomas) en ratas de ambos sexos, y adenomas y adenocarcinomas hepatocelulares en ratones hembra. Sin embargo, en un reciente bioensayo del NTP sobre la carcinogenicidad, en el que se dosificó el BDCM en el agua de consumo humano, el resultado fue negativo. La exposición al BDCM también se ha relacionado

con un posible aumento de los efectos sobre la función reproductora (mayor riesgo de aborto espontáneo o mortinatalidad)

Dibromoclorometano

El CIIC ha clasificado el DBCM en el **Grupo 3** (no clasificable con respecto a su capacidad cancerígena para los seres humanos. Varios ensayos han estudiado la genotoxicidad del DBCM, pero los datos disponibles no se consideran concluyentes.

Bromoformo . El CIIC ha clasificado el bromoformo en el **Grupo 3** (no clasificable con respecto a su capacidad cancerígena para los seres humanos). Existe alguna evidencia de generación de tumores en ratas pero no concluyente. Los datos de diversos ensayos de genotoxicidad del bromoformo son ambiguos.

La OMS propone para la evaluación de los THMs totales utilizar el siguiente algoritmo:

$$C_{\text{Bromof}}/VG_{\text{Bromof}} + C_{\text{DBCM}}/VG_{\text{DBCM}} + C_{\text{BDCM}}/VG_{\text{BDCM}} + C_{\text{clorof}}/VG_{\text{Clorof}} \leq 1$$

Utilizando este algoritmo se pueden admitir valores de THMs totales cercanos a 200 ug/l.

Estos valores de referencia propuestos por la oms en sus guías se han elevado considerablemente de los establecidos en ediciones anteriores, según se muestra en el siguiente cuadro resumen:

Guías OMS para el agua potable	Valor de Referencia
2da Edición - Año	80
3ra Edición Año	100
4ta Edición - Año	100

La explicación de esta modificación para el VR del Cloroformo se basa en el cambio de ponderación de las vías de exposición de los seres humanos a los THMs.

Sin embargo, otras Normas de calidad de agua para consumo humano, que resultan una referencia importante a considerar, establecen límites para THMs totales muchos más bajos: 100 ug/l es el valor permitido por la Comunidad Europea; 80 ug/l por la USEPA y 100 ug/l por Canadá.

Norma de calidad	Límite de THMs en agua (ug/l)
USEPA	80
CE	100
Canadá	100

Límites en Normas Nacionales y Provinciales

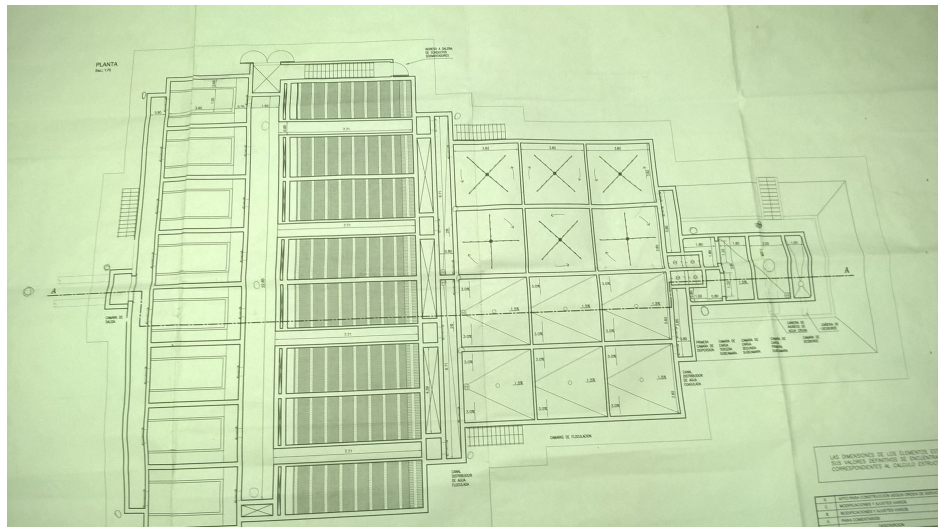
Norma de calidad	Límite de THMs Totales en agua (ug/l)
Código Alimentario Argentino	100
Ley 11.200 Anexo A – Pcia de Santa Fe	100
Norma de calidad en CABA y Pcia de Bs As	100

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DEL ACUEDUCTO CENTRO OESTE

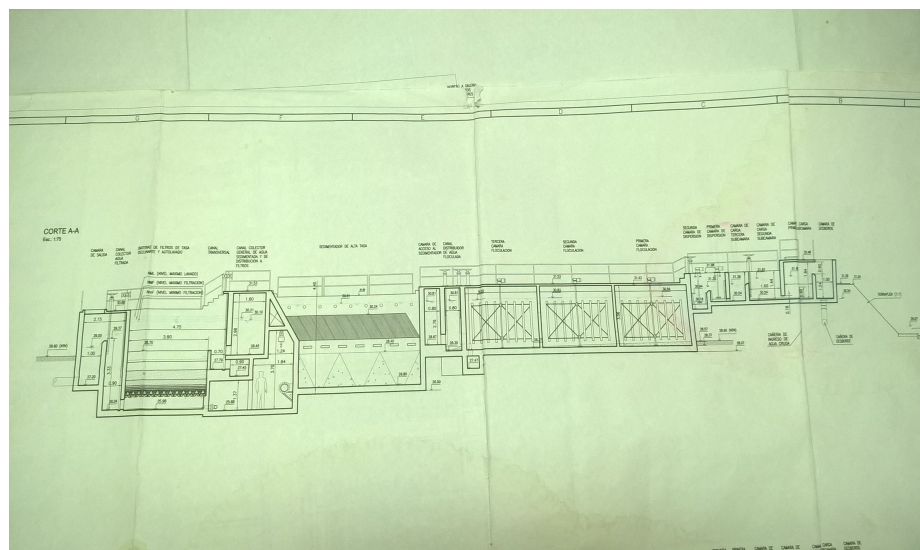
Generalidades

- La planta potabilizadora del ACO abastece 13 servicios de agua de localidades que se encuentran a una distancia entre 15 y 120 km de distancia de la planta potabilizadora.
- Población servida: 70.500 habitantes.
- La fuente de provisión de agua cruda es el Río Coronda, río aluvial perteneciente al sistema del Río Paraná.
- El tratamiento de potabilización es de tipo convencional.
- Presenta una sola salida a red (acueducto) mediante estación de bombeo.
- La capacidad de tratamiento actual es de aproximadamente 700 m³/h.
- La calidad del agua producida debe cumplir con la Ley 11.220 Anexo A y Normativa vigente.

Plano general de la Planta Potabilizadora



Corte A-A – Planta potabilizadora



Captación de agua cruda:

La captación de agua cruda se realiza mediante 4 bombas sumergibles ubicadas en un muelle en el Río Coronda. Actualmente se opera habitualmente con 2 bombas, siendo su rendimiento 350 m³/h para una bomba, 560 m³/h para 2 bombas y 660 m³/h para 3 bombas.

En la toma de agua, se lleva a cabo una desinfección intermitente con hipoclorito de sodio, habitualmente una o dos veces por semana, durante un turno de 8 horas, a fin de controlar el crecimiento de algas y la colonización del sistema con *Limnoperna fortunei*, en los meses de primavera y verano.

Cámara de carga

Cámara a cielo abierto de H^aA^a subdividida en tres subcámaras en serie, mediante un tabique vertical. En la segunda subcámara se divide el caudal en dos líneas.

En la primer sub-cámara se lleva a cabo la precloración, dosificando cloro gaseoso hasta setiembre de 2016 y dióxido de cloro desde entonces hasta la actualidad.

Cuando el agua cruda presenta algún contaminante orgánico de origen natural o antrópico, en esta cámara también puede dosificarse carbón activado.

Dimensiones: **1er sub cámara:** 2.00mx3.80m, con una altura máxima de tirante líquido de 1,24m, en ese nivel existe un vertedero hacia una cámara de desborde.

2da subcámara:1.60mx3.80m.

Cálculo del tiempo de permanencia promedio del agua en ambas subcámaras:

$$T1=V/Q$$

$$T1=(2 \times 3.8 \times 1.24 \text{m}^3 / 560 \text{m}^3/\text{h}) \times 3600$$

T1=60seg (primer subcámara)

$$T2=(1.60 \times 3.8 \times 1.24 \text{m}^3 / 560 \text{m}^3/\text{h}) \times 3600$$

T2= 48 seg (2da subcámara)

Cámara de dispersión

El agua cruda preclorada llega a cada línea de clarificación. La cámara cuenta con vertederos destinados a la equirrepartición del caudal.

1ª Cámara de coagulación

En esta cámara se lleva a cabo el proceso de coagulación de la materia coloidal y partículas en suspensión. Se dosifica el coagulante (sulfato de aluminio en solución acuosa) y se realiza mezcla rápida mediante un electroagitador. La puesta en marcha del electroagitador es manual.

La dosis de coagulante metálico se determina por ensayos Jar-Test, variando según las características del agua cruda. Las dosis varían en un rango entre 130 a 140 mg/l según datos relevados en las inspecciones.

2da Cámara de coagulación

En esta cámara se dosifica coagulante orgánico, poliamidas catiónicas de alto peso molecular (polielectrolito), unos 5 segundos después del agregado de coagulante metálico. Se realiza mezcla rápida mecánica. La dosis habitualmente ronda los 1,5 mg/l.

En estas condiciones, el agua coagulada y con un pH de 6 a 6.5 unidades, ingresa a los floculadores.

Floculación

Consta de 4 líneas de 3 cámaras de floculación en serie cada una, con agitación mecánica a paletas verticales (4 brazos de 4 paletas verticales cada uno) y variaciones de velocidad de operación manual.

Los G relevados en la inspección fueron de 29Hz, 25 Hz y 20 Hz, respectivamente.

Sedimentación

El agua floculada ingresa a una zona de distribución que disminuye la velocidad del flujo. En esta zona se efectúa una primera sedimentación de flocs. Luego el agua circula a través de seditubos con flujo ascendente. Estos seditubos son de plástico, de sección hexagonal e inclinación a 60°, produciéndose la sedimentación laminar.

El agua clarificada ingresa en la batería de filtros a partir de un canal que recoge agua decantada.

Filtros

El proceso de filtración se lleva a cabo en una batería de 8 filtros rápidos de manto dual, arena y antracita, de flujo descendente y a presión atmosférica, con tasa de filtración variable declinante.

La velocidad de filtración de diseño es del orden de 10 m/h.

Cálculo de tasa de filtración según caudal de producción promedio del mes de marzo de 413 m³/h:

$$\text{Área de filtración total: } (1,55\text{m} \times 3,90\text{m}) \times 8 = 48.36 \text{ m}^2$$

$$V=Q/A= 413\text{m}^3/\text{h}/48.36\text{m}^2= \mathbf{8.5 \text{ m/h}}$$

Velocidad en etapa de lavado de un filtro:

$$\text{Área filtración: } (1,55\text{m} \times 3,90\text{m}) \times 7 = 42.31 \text{ m}^2$$

$$V=Q/A= 413\text{m}^3/\text{h}/42.31\text{m}^2= \mathbf{9.8 \text{ m/h}}$$

En teoría no se supera la velocidad de filtración de diseño. Lo que se observa habitualmente es algún filtro fuera de servicio por mantenimiento, por tanto en el momento de lavado se supera la velocidad de filtración de diseño.

La carrera de los filtros es de 24 hs excepto se detecten problemas de turbiedad en agua filtrada.

La operación de lavados de filtros se realiza por mecanismo de autolavado.

El método de lavado de los filtros es deficiente, debido al propio diseño de las unidades y se debe realizar un lavado de la superficie del manto con agua a presión para ayudar a retirar las algas que quedan retenidas en los primeros centímetros del mismo. Esto conlleva un gasto importante de agua de lavado, tiempo y mano de obra.

Actualmente se está estudiando la posibilidad de incorporar aire al proceso de lavado por lo que debe modificarse el falso fondo de los filtros.

Desinfección de agua filtrada

Se realiza con gas cloro arrastrado por corriente de agua en el canal de agua filtrada, mediante un difusor, previo al ingreso a la cisterna de almacenamiento de agua tratada.

La dosis de cloro oscila entre 1,5 a 3,0 mg/l de cloro.

Alcalinización

La alcalinización hasta pH de saturación, se realiza con lechada de cal en agua filtrada, previo al ingreso a la cisterna.

Almacenamiento

Cisterna de agua tratada

Cisterna de H°A° de 4000 m³ de capacidad, dividida en dos compartimentos.

El tiempo de retención de agua tratada en la cisterna es de aproximadamente 8 hs a 9 hs.

$T=V/Q$ (caudal promedio producido febrero –marzo 493 m³/h)

T= 8 hs

Sistema de bombeo

Estación de bombeo N°1 – predio de la planta potabilizadora

El agua tratada, almacenada en la cisterna, es impulsada a las cisternas de la estación de rebombeo N° 2 y de la localidad de Monje, mediante dos bombas centrifugas horizontales, con un rendimiento de 300 m³/h para una bomba y 580 m³/h para dos bombas. Las bombas van alternándose según la demanda, se operan automáticamente desde el SCADA.

Desde el SCADA se puede visualizar también el cloro libre y operar un sistema de hipocloración a la salida de planta.

Estación de Rebombeo N° 2. Ubicada entre las localidades de Monje y Diaz. Desde allí se impulsa agua a la Estación de Rebombeo N° 3 y a las localidades de San Genaro, San Jenaro Norte, Clason, Totoras y Centeno, mediante 2 bombas con un caudal nominal de 250 m²/h cada una.

El control es automático por SCADA y también se puede operar sistema de hipocloración.

Estación Rebombeo N° 3: El agua almacenada en la cisterna de esta estación es impulsada a la Estación de Rebombeo N° 4, las Rosas, Las Parejas, Los Cardos, mediante dos bombas de 160 m³/h cada una.

El control es automático por SCADA y también se puede operar sistema de hipocloración.

Estación Rebombeo N° 4: El agua almacenada en la cisterna de esta estación es impulsada a las cisternas de las localidades de Montes de Oca, Bouquet y María Susana, mediante dos bombas de 64 m³/h cada una.

El control es automático por SCADA y también se puede operar sistema de hipocloración.

Distancias entre las localidades abastecidas y la planta potabilizadora: desde menos de 1 km: Monje, 16 km a Díaz hasta 120 km a María Susana.

EVALUACIÓN DE FORMACIÓN DE THMs EN EL SISTEMA DEL ACO – PERIODO 2013 – 2016

Como se comentó anteriormente, el Acueducto Centro Oeste, es el primer gran acueducto de la Provincia de Santa Fe y resultó la primera experiencia en cuanto al desafío de su operación por parte de la Empresa Prestadora y de control por parte del Ente Regulador.

Con relación a la problemática de calidad, siendo la fuente usada agua superficial, se debe prestar principal atención a los parámetros microbiológicos (bacteriológicos, protistológicos y parasitológicos), a lo derivado de la materia orgánica presente en las aguas superficiales, es decir los SPDs y a los posibles contaminantes de origen antropogénico que puedan incorporarse aguas arriba de la toma de agua.

En el transcurso de la operación de este acueducto, el único parámetro que resultó fuera de los límites vigentes fueron los THMs, mientras el resto de los parámetros tanto microbiológicos como químicos se han mantenido dentro de los límites vigentes para agua potable en la Pcia de Santa Fe.

Considerando las particularidades del sistema de distribución de un gran acueducto, con toda su complejidad, sus kilómetros de longitud de cañería, acoples, válvulas de protección, etc, debe ser prioritaria la eficacia de la desinfección y el mantenimiento de cloro residual a lo largo de todo el sistema a fin de asegurar la calidad microbiológica del agua que reciben las localidades conectadas al mismo. Meta que ha sido satisfactoriamente cumplimentada por el Prestador del servicio.

Desde el año 2013, se realizó una evaluación de las concentraciones de THMs en distintos puntos del sistema del ACO y se realizaron algunos ensayos Jar Test a fin de estudiar la generación de THMs a partir del agua de la fuente usada por dicho sistema (Río Coronda, altura Monje) en comparación al agua usada como fuente en la planta potabilizadora Rosario (río Paraná, km 420)

A continuación, se presentan los resultados de dichos estudios realizados en el ENRESS con el objeto de comprender las variables intervinientes en la producción de THMs en el sistema del ACO.

Características del agua cruda

En lo que respecta a la formación de Trihalometanos, interesa evaluar en el agua cruda, algún indicador de la materia orgánica disuelta que actúa como precursor de dichos compuestos. El parámetro de elección sería Carbono Orgánico Total. No se cuenta con el equipamiento para realizar dicha medición.

Por tal motivo, se presentan resultados de análisis de turbiedad, color y DQO del agua cruda. La turbiedad aporta una medida del material en suspensión y en estado coloidal que debe removerse durante el tratamiento. El color es una medida de la materia orgánica disuelta, aunque no resulta una medida lo suficientemente precisa por cuestiones de metodología de su determinación. La DQO, da una estimación general de la materia orgánica y otros compuestos susceptibles a oxidación con dicromato de potasio.

Se muestra la variación de estos 3 indicadores en el periodo 2013 – 2016, no contándose con las estadísticas de los primeros meses de 2017.

Año 2016

mes	turb	color	ph	DQO
enero	27			14
febrero	40			12
marzo	38			15
abril	52			16
mayo	40			17
junio	50			12
julio	35			10
agosto	47			10
setiembre	51			10
octubre	66			10
noviembre	63			11
diciembre	102			11

Año 2015

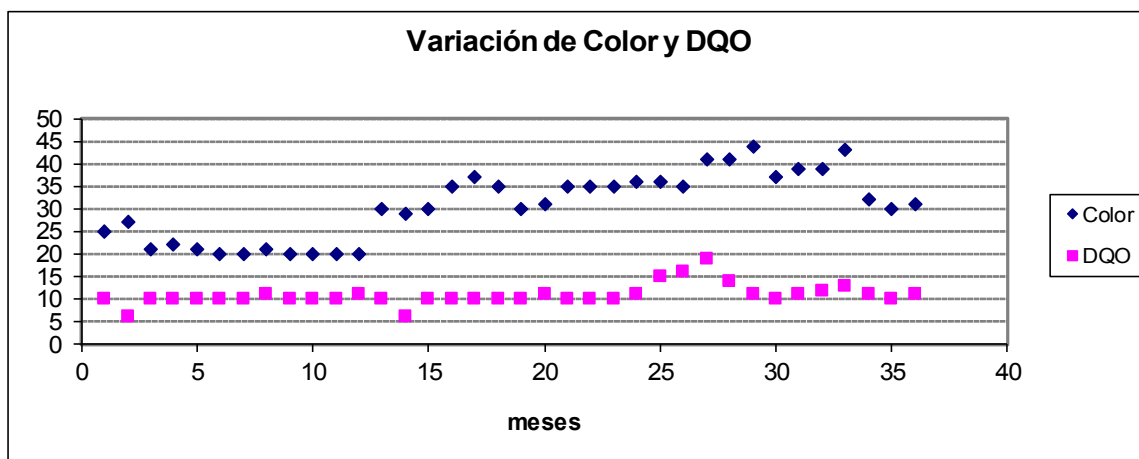
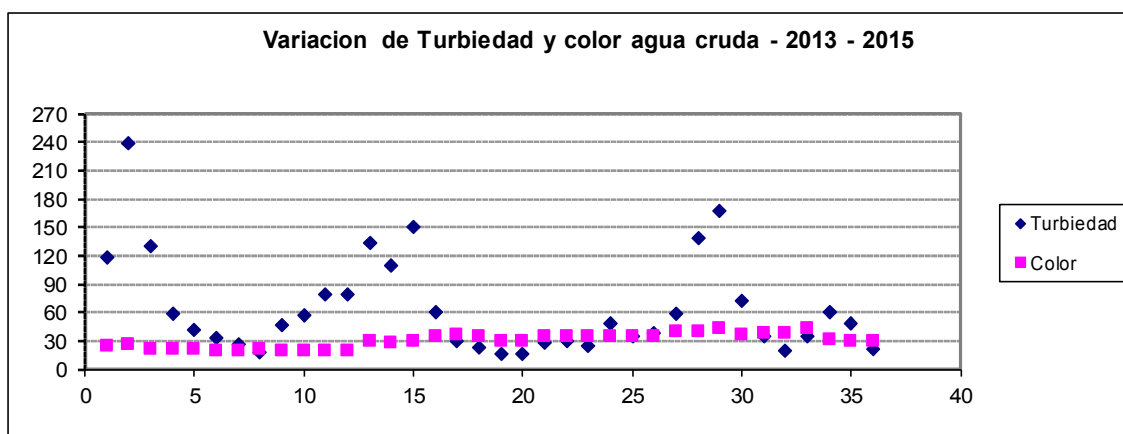
mes	turb	color	ph	DQO
enero	35	36	7.2	15
febrero	38	35	7.3	16
marzo	59	41	7.4	19
abril	139	41	7.6	14
mayo	167	44	7.6	11
junio	72	37	7.4	10
julio	35	39	7.4	11
agosto	20	39	7.4	12
setiembre	36	43	7.5	13
octubre	60	32	7.5	11
noviembre	49	30	7.4	10
diciembre	21	31	7.2	11

Año 2014

mes	turb	color	ph	DQO
enero	133	30	7.8	10
febrero	110	29	7.8	6
marzo	150	30	8.1	10
abril	61	35	7.8	10
mayo	30	37	7.8	10
junio	24	35	7.8	10
julio	17	30	7.7	10
agosto	17	31	7.3	11
setiembre	29	35	7.4	10
octubre	30	35	7.3	10
noviembre	25	35	7.3	10
diciembre	49	36	7.3	11

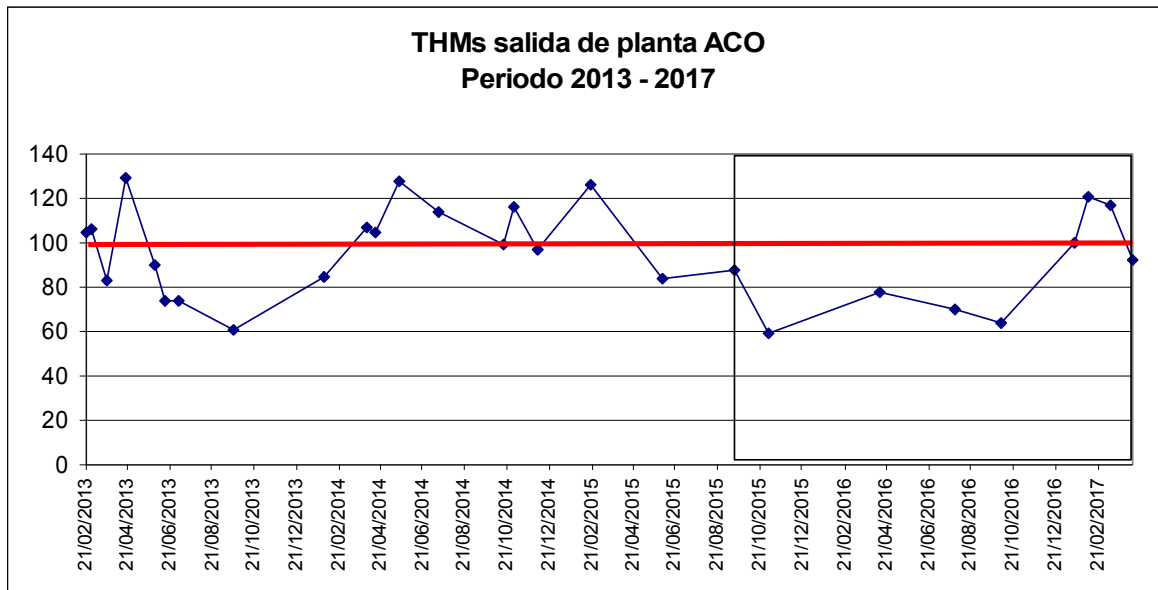
Año 2013

mes	turb	color	ph	DQO
enero	118	25	7.5	10
febrero	239	27	7.6	6
marzo	130	21	7.4	10
abril	59	22	7.2	10
mayo	42	21	7.2	10
junio	34	20	7.4	10
julio	27	20	7.3	10
agosto	18	21	7.4	11
setiembre	48	20	7.6	10
octubre	58	20	7.6	10
noviembre	80	20	7.6	10
diciembre	79	20	7.6	11

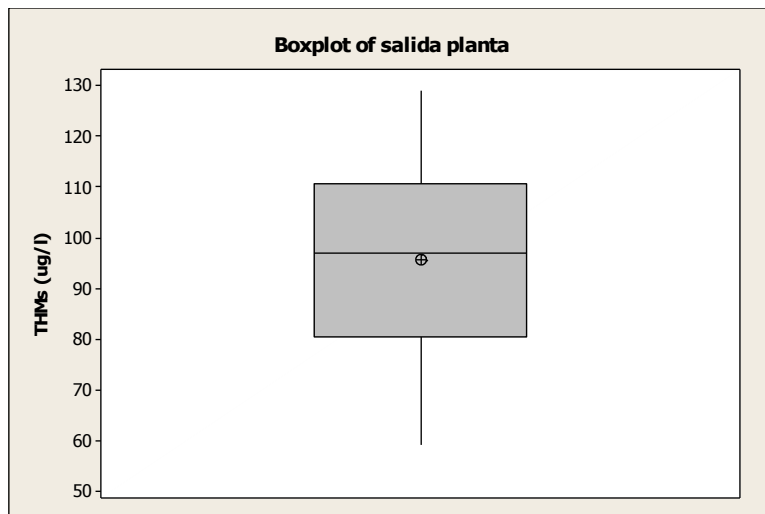


Resultados de análisis de THMs totales en agua tratada

El análisis estadístico que se presenta a continuación se basa en los resultados de THMs en muestras tomadas en el Laboratorio de la Planta Potabilizadora, en el período 2013 – abril 2017. Este punto de muestreo se considera como “**Salida de Planta**” y la calidad de las muestras ahí tomadas representa la calidad del agua que ingresa al Acueducto.



Representación Box – Plot de los resultados de THMs
en salida de planta del ACO – Periodo 2013 – 2016.



N	21
Media	95.6 ug/l
SD	20.7 ug/l
Mediana	97.0 ug/l
Q1	80.5 ug/l
Q3	110.5 ug/l

Del análisis estadístico descriptivo de las 21 muestras se deduce:

- El **valor promedio de THMs** totales en Salida de Planta del ACO es de **95 ug/l** con un desvío estándar de 20 ug/l, en el periodo estudiado.
- En un 75% de las muestras analizadas los valores de THMs se encuentran entre 80 y 110 ug/l.
- En el 40 % de los controles, el valor de THMs en salida de planta ha superado el límite de 100 ug/l establecido en la Ley 11220.

Relación entre los THMs totales y calidad de agua cruda

Para evaluar como incide la calidad del agua cruda en la generación de THMs sería conveniente tener mediciones de carbono orgánico Total. En virtud de no disponer de dichos datos, se realiza estudio de correlación entre los valores de THMs totales en salida de planta vs color de agua cruda y DQO de agua cruda, no hallándose asociación significativa.

Cabe aclarar, que la determinación de color se realiza por método de comparación visual con patrones de cloroplatino, que resulta un método poco preciso para estos fines.

Asimismo, se realizaron 3 ensayos Jar-Test con el objetivo de comparar el potencial de generación de THMs de agua proveniente de Río Coronda y agua del río Paraná, altura planta potabilizadora Rosario, no observándose diferencias significativas en los resultados obtenidos.

Ensayos de formación de Trihalometanos

Fecha de extracción de muestras: 27/06/2013

Sitio de extracción Río Coronda: Toma planta ACO; Río Paraná: Toma Planta Rosario

Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Agua Río Coronda	Agua Río Paraná
pH	7,76	7,82
Conductividad (uS/cm)	510	240
Cloruros (mg/l)	83	31
Amonio (mg/l)	4	5
DQO (mg/l)	25	13
Demanda de cloro (mg/l)	1,6	1,2
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	930	2400
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	150	430
E coli (NMP/100 ml)	91	230

Fecha realización Jar Test 28/06/2013

T° ambiente: 15,6°C, T° agua Coronda: 17,0 °C, T° agua Paraná: 18,0°C

- 1. Precloración.** Con hipoclorito de sodio a diferentes dosis
- 2. Agregado de Sulfato de Aluminio: Dosis:** 60 mg/l
- 3. Mezcla rápida**

Velocidad de rotación: 125 rpm

Tiempo: 1 minuto

4. Mezcla lenta

Velocidad de rotación 37 rpm

Tiempo 8 minutos

5. Sedimentación

Tiempo: 30 minutos

6 Filtración con filtro de papel banda negra

7. Alcalinización Sólo vaso N° 3

8. Post cloración con hipoclorito de sodio a dosis 1,5 mg/l

9. Determinación de THMs a distintos tiempos

vaso	Cloro residual precloracion (mg/l)	Ph post coagulacion (1)	Cloro residual postcloracion	THMs t=5 min (ug/l)	THMs t=1 hs (ug/l)	THMs t=3 hs (ug/l)	THMs t=5 hs (ug/l)	THMs t=24 hs (ug/l)
1 - Agua Río Coronda	Total:0,7 Libre: <0,05	6,5-7,0	1,2	CHCl ₃ : 10 BDCM: 3 DBCM: 1 BrCH ₃ : <1 THMsT: 14	CHCl ₃ : 15 BDCM: 5 DBCM: 2 BrCH ₃ : <1 THMsT: 22	CHCl ₃ : 17 BDCM: 6 DBCM: 3 BrCH ₃ : <1 THMsT: 26	CHCl ₃ : 14 BDCM: 5 DBCM: 2 BrCH ₃ : <1 THMsT: 21	CHCl ₃ : 4 BDCM: 1 DBCM: 1 BrCH ₃ : <1 THMsT: 6
2 - Agua Río Coronda	Total:1,4 Libre: 0,04	6,5-7,0	0,9	CHCl ₃ : 19 BDCM: 5 DBCM: 2 BrCH ₃ : <1 THMsT: 26	CHCl ₃ : 21 BDCM: 5 DBCM: 1 BrCH ₃ : <1 THMsT: 27	CHCl ₃ : 21 BDCM: 5 DBCM: 2 BrCH ₃ : <1 THMsT: 28	CHCl ₃ : 21 BDCM: 5 DBCM: 1 BrCH ₃ : <1 THMsT: 27	CHCl ₃ : 8 BDCM: 1 DBCM: 1 BrCH ₃ : <1 THMsT: 10
3 - Agua Río Coronda	Total: 1,4 Libre: 0,06	8,8	1,1	CHCl ₃ : 29 BDCM: 7 DBCM: 2 BrCH ₃ : <1 THMsT: 38	CHCl ₃ : 52 BDCM: 9 DBCM: 3 BrCH ₃ : <1 THMsT: 64	CHCl ₃ : 45 BDCM: 7 DBCM: 2 BrCH ₃ : <1 THMsT: 54	CHCl ₃ : 34 BDCM: 6 DBCM: 2 BrCH ₃ : <1 THMsT: 42	CHCl ₃ : 4 BDCM: 1 DBCM: <1 BrCH ₃ : <1 THMsT: 5

4 - Agua Río Paraná	Total: 0,7 Libre: <0,05	6,5-7,0	1	CHCl ₃ : 15 BDCM: 3 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 19	CHCl ₃ : 18 BDCM: 3 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 22	CHCl ₃ : 19 BDCM: 4 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 24	CHCl ₃ : 17 BDCM: 3 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 21	
5 - Agua Río Paraná	Total: 1,4 Libre: 0,09	6,5-7,0	1,6	CHCl ₃ : 24 BDCM: 4 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 29	CHCl ₃ : 28 BDCM: 4 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 33	CHCl ₃ : 27 BDCM: 4 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 32	CHCl ₃ : 26 BDCM: 4 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 31	CHCl ₃ : BDCM: DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 14

2do Ensayo 26/07/2013

Fecha de extracción de muestras: 25/07/2013

Sitio de extracción Río Coronda: Toma planta ACO; Río Paraná : Toma Planta Rosario

Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Agua Río Coronda	Agua Río Paraná
pH	7,73	7,67
Conductividad (uS/cm)	315	226
DQO (mg/l)	<10	<10
Demanda de cloro (mg/l)	0,8	0,6
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	NR	4600
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	NR	430

Fecha realización Jar Test 26/07/2013

T° ambiente: 16,5°C, T° agua Coronda: 17,0 °C, T° agua Paraná: 17,0°C

1. Precloración. Con hipoclorito de sodio a diferentes dosis

2. Agregado de Sulfato de Aluminio: Dosis: 60 mg/l

3. Mezcla rápida

Velocidad de rotación: 125 rpm

Tiempo: 1 minuto

4. Mezcla lenta

Velocidad de rotación 37 rpm

Tiempo 8 minutos

5. Sedimentación

Tiempo: 30 minutos

6. Filtración con filtro de papel banda negra

7. Alcalinización: Vasos N° 2, 3 y 5

8. Post cloración con hipoclorito de sodio a dosis 1,5 mg/l

9. determinación de THMs a distintos tiempos

vaso	Cloro residual precloracion	Ph post coagulacion	Cloro residual postcloracion	THMs t = 30 min (ug/l)	THMs t= 2,5 hs (ug/l)
1: agua río Coronda	Cl Total: 1,9	6,5-7,0	1,1	CHCl ₃ : 31 BDCM: 7 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 40	CHCl ₃ : 17 BDCM: 5 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 23
2 agua río Coronda	Cl Total: 2,8	8,7	1,5	CHCl ₃ : 39 BDCM: 7 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 31	CHCl ₃ : 25 BDCM: 6 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 33
3 agua río Coronda	Cl Total: 2,4	8,7	1,2	CHCl ₃ : 35 BDCM: 7 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 43	CHCl ₃ : 27 BDCM: 6 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 35
4 agua río Paraná	Cl Total: 2,1	6,9	1,2	CHCl ₃ : 27 BDCM: 5 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 34	CHCl ₃ : 18 BDCM: 4 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 23
5 agua río Paraná	Cl Total: 2,1	9	1,0	CHCl ₃ : 31 BDCM: 5 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 36	CHCl ₃ : 30 BDCM: 4 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 35

3er Ensayo 02/08/2013

Fecha de extracción de muestras: 01/08/2013

Sitio de extracción Río Coronda: Toma planta ACO.

Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Agua Río Coronda
pH	7,7
Conductividad (uS/cm)	370

Fecha realización Jar Test 02/08/2013

1. Precloración. Con hipoclorito de sodio a diferentes dosis

2. Agregado de Sulfato de Aluminio: Dosis: 60 mg/l

3. Mezcla rápida

Velocidad de rotación: 125 rpm

Tiempo: 1 minuto

4. Mezcla lenta

Velocidad de rotación 37 rpm

Tiempo 8 minutos

5. Sedimentación

Tiempo: 30 minutos

6 Filtración con filtro de papel banda negra

7. Alcalinización Sólo vaso N° 3

8. Post cloración con hipoclorito de sodio a dosis 1,5 mg/l

9. determinación de THMs a distintos tiempos

vaso	Cloro residual precloracion	Ph post coagulacion/ filtración	Cloro residual postcloracion	THMs t = 60 min (ug/l)	THMs t= 2,5 hs (ug/l)
1: agua río Coronda	Sin preclorar	6,8	1,7	CHCl ₃ : <1 BDCM: <1 DBCM: <1 BrCH ₃ . <1 THMsT: <4	CHCl ₃ : 10 BDCM: 4 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 16
2 agua río Coronda	Dosis: 2 mg/l; Cl libre: 0,47	6,9	1,6	CHCl ₃ : 39 BDCM: 7 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 31	CHCl ₃ : 19 BDCM: 6 DBCM: 1 BrCH ₃ . <1 THMsT: 26

3 agua río Coronda	Dosis: 2 mg/l; Cl libre: 0,50	8,9	1,4	CHCl ₃ : 35 BDCM: 7 DBCM: 2 BrCH ₃ . <1 THMsT: 43	CHCl₃: 36 BDCM: 8 DBCM: 2 BrCH₃. <1 THMsT: 46
-----------------------	----------------------------------	------------	-----	--	---

En los tres ensayos de Jarras realizados se pudo observar que no hubo diferencias significativas en la formación de THMs partiendo de aguacruda del Río Coronda o del Río Paraná.

En el tercer ensayo de Jarras, donde sólo se utilizó agua del Río Coronda, se observa un incremento en las concentraciones finales de THMs cuando se preclora y más aun cuando se alcaliniza el agua luego de la sedimentación. THMs totales: 16 (sin precloración); 26 ug/l (con precloración) y 46 ug/l (con precloración y alcalinización) , valores finales a las 2,5 hs.

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Evaluación de la evolución del contenido de THMs a lo largo del tratamiento de potabilización y en sistema de conducción

En sucesivos muestreos se ha evaluado el nivel de THMs en agua decantada, agua filtrada (ingreso a cisterna) y agua salida de planta

A medida que transcurre el proceso de potabilización desde el punto en que se dosifica cloro en toma de agua o en cámara de carga, los trihalometanos van generándose en forma continua, sin detectarse algún proceso que implique su reducción ya sea por volatilización o por fenómenos de adsorción.

A continuación, se muestran resultados de muestreos realizados en distintos puntos del sistema para evaluar contenido y evolución de los trihalometanos

Análisis comparativo de los valores de THMs en agua decantada, agua filtrada clorada y en agua en salida de planta

Durante el periodo de estudio presentado, se tomaron muestras en agua decantada, agua filtrada clorada con cloro gaseoso en el Ingreso a Cisterna de Almacenamiento y agua en Salida de Planta Potabilizadora, a fin de evaluar la evolución de THMs.

Los muestreos de agua decantada corresponden a un periodo en que se dosificaba gas cloro en cámara de carga en forma continua a una dosis de 0,50 mg/l y un shock de cloro semanal en toma de agua con hipoclorito a dosis de 1 mg/l.

Los valores de THM en agua decantada se muestran en la siguiente tabla:

Fecha de muestreo	THMs totales (ug/l)
21/03/13	29
18/04/13	18
31/05/13	19
04/07/13	15
13/03/13	17
14/09/15	15

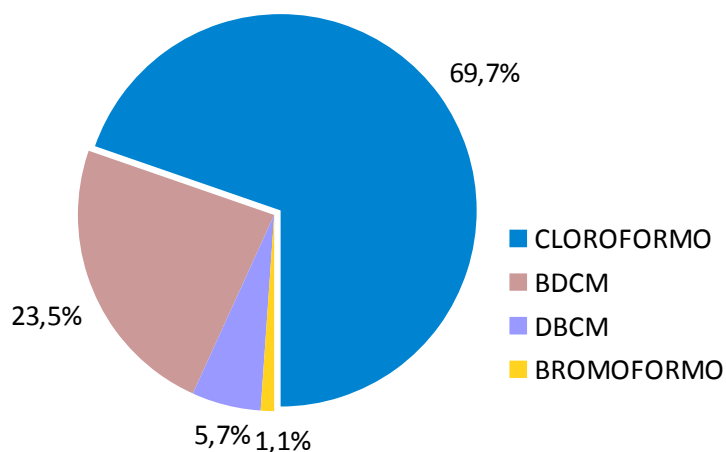
Estos valores de THMs se han considerado bajos por tanto no se repitió este punto de muestreo en las siguientes campañas.

Podría deberse a que el tiempo de contacto entre el cloro y los precursores orgánicos no es suficiente para generar el máximo de THMs potenciales. Además, es posible que los procesos de mezcla rápida favorezcan que se volatilice una parte de los THMs generados, aunque este punto es difícil de comprobar.

A continuación, se muestra el contenido de THMs comparativo entre el agua que ingresa a Cisterna de almacenamiento (agua filtrada sometida a cloración con cloro gaseoso) y agua en salida de planta (que ha permanecido un tiempo aproximado de 8hs en la cisterna).

La concentración de cloro residual libre en el agua que ingresa a la cisterna de almacenamiento es de 1,50 a 2,00 mg/l y en salida de planta se encuentra en niveles entre 0,80 y 1,10 mg/l.

Especiación de THMs en agua salida de Planta ACO



Análisis comparativo de THMs totales en agua al Ingreso la Cisterna de almacenamiento y en salida planta.

	INGRESO CISTERNA	SALIDA PLANTA
21/02/2013	36	105
28/02/2013	51	106
21/03/2013	46	83
19/04/2013	53	104
31/05/2013	37	90
14/06/2013	36	74
04/07/2013	35	74
20/09/2013	31	61
01/04/2014	45	107
19/05/2014	70	128
14/07/2014	57	114
05/12/2014	35	97
18/02/2015	59	126
03/06/2015	59	84
14/09/2015	34	88
12/04/2016	32	78
04/10/2017	37	64
10/04/2017	45	117
Promedio	44	94

Incremento promedio de THM's : 113 %

Si bien, para ser estrictos, el incremento de THMs durante la estadía del agua clorada en la cisterna debería analizarse muestreando luego de haber pasado un tiempo similar al tiempo de permanencia, se considera que el valor promedio de incremento entre los dos puntos de muestreo resulta un buen estimador, a los fines de este análisis.

Valoración del incremento de THMs en Cisterna de Almacenamiento

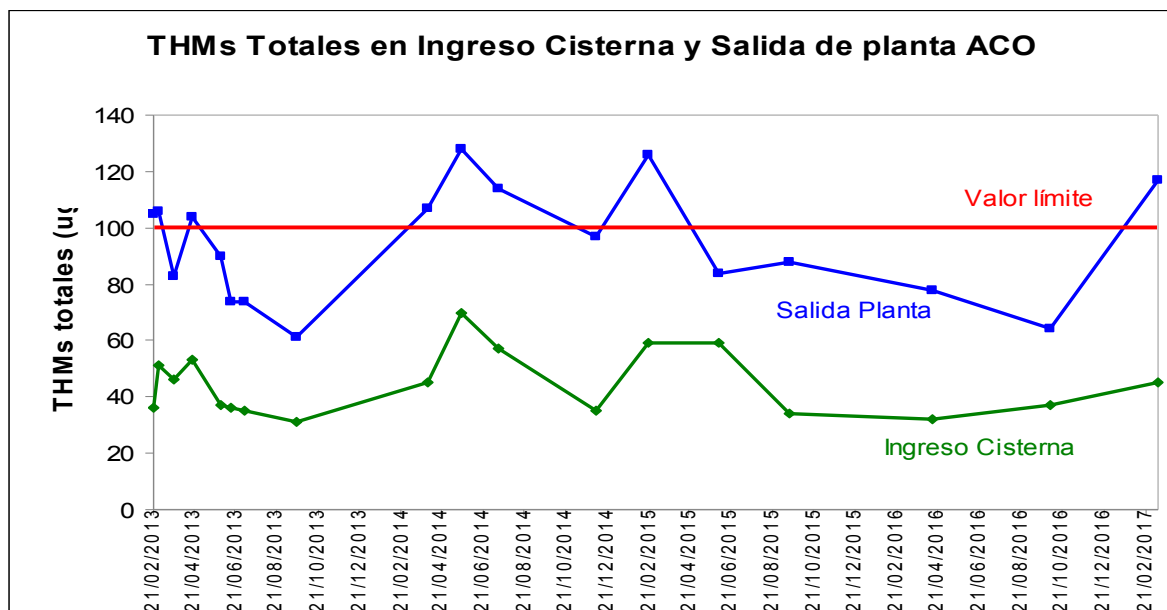
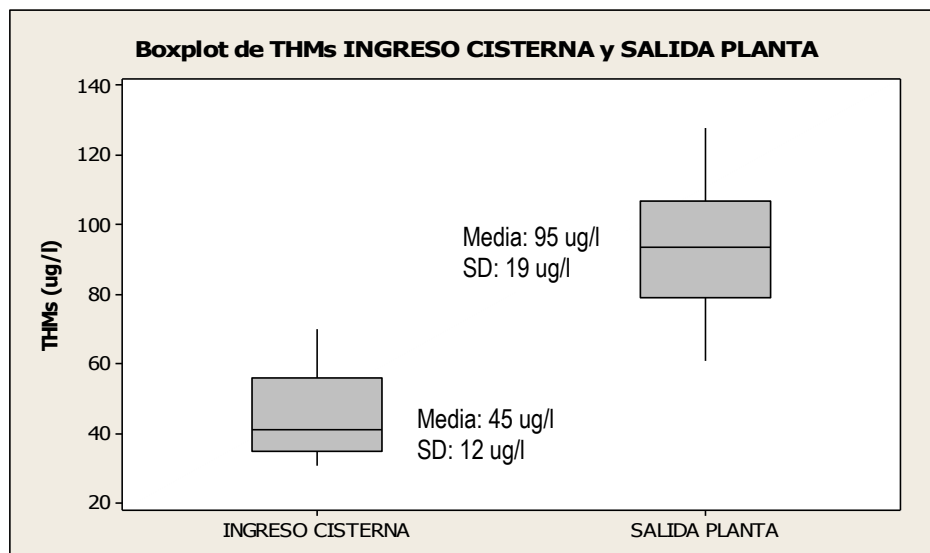


Gráfico Box – Plot de mediciones de THMs en Ingreso y Salida Cisterna



Del análisis estadístico descriptivo de los 18 muestreos (36 muestras) se deduce:

- El valor promedio de **THMs totales en Ingreso Cisterna** de Almacenamiento de la Planta Potabilizadora del ACO es de **45 ug/l** con un desvío estándar de 12 ug/l, mientras que el promedio de THMs en **Salida de Planta es de 95 ug/l** con un desvío estándar de 19 ug/l.

- El **porcentaje de incremento promedio** entre ambos puntos de muestreo es de **113%**.

-El valor de THMs en ingreso a Cisterna de almacenamiento, se encuentra muy por debajo del límite admitido por la Normativa vigente, observándose un incremento en la formación de THMs durante el tiempo de almacenamiento del agua en la cisterna (Tiempo de permanencia teórico entre 7 y 10 hs).

Evaluación del incremento de THMs en la estación elevadora N° 2 (EE2)

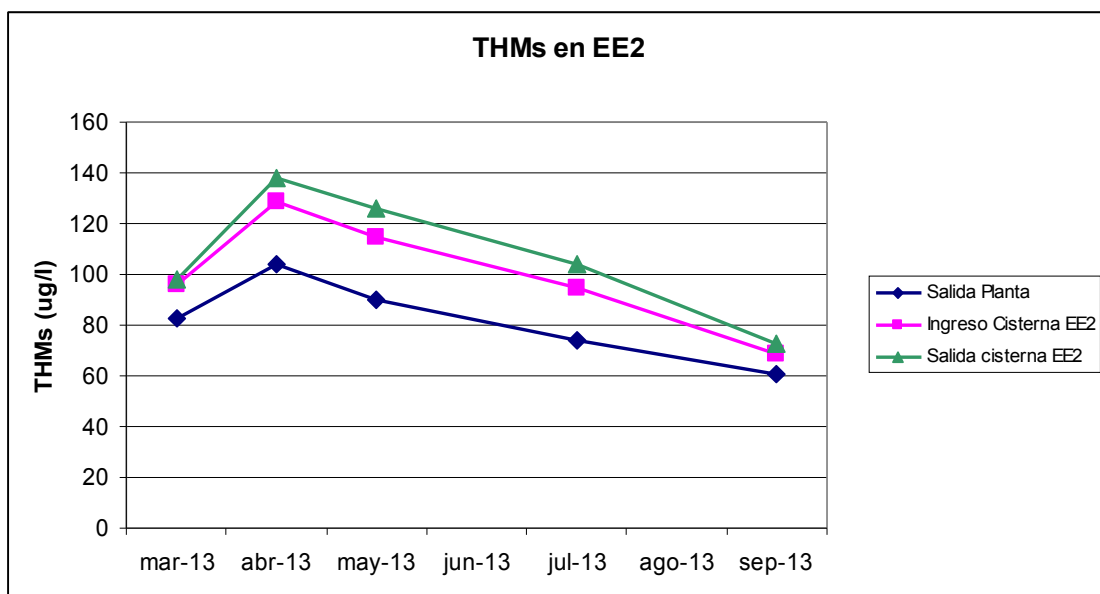
Durante el año 2013 se realizaron muestreos de agua en el ingreso y salida de la Cisterna ubicada en la Estación Elevadora N° 2 que se encuentra camino a la localidad de Díaz, sobre la ruta N° 54, a 23 km de la Planta Potabilizadora del ACO. Dicha Cisterna tiene un volumen de 3000 m³.

En la Tabla N° 2 y gráfico N° 6, se presentan los resultados de THMs en dichos puntos de muestreo.

Valoración del incremento de THMs en EE2

Fecha de muestreo	Salida Planta	Ingreso Cisterna EE2	Salida cisterna EE2
21/03/2013	83	96	98
19/04/2013	104	129	138
31/05/2013	90	115	126
04/07/2013	74	95	104
20/09/2013	61	69	73
	Promedio	101	108

Incremento promedio THM's: 7%



Se observa un **incremento promedio** en el nivel de THMs del **7%** durante el tiempo de permanencia en la cisterna de la EE2.

Se concluye pues, que no representa un punto crítico del sistema en la producción de THMs.

Concentraciones de THMs en agua de las localidades abastecidas por el ACO

Durante el transporte de agua por el acueducto se producen cambios en el contenido de THMs. Generalmente se observa un incremento del valor total, debido a reacciones de formación de THMs que dependerán del contenido de precursores, el nivel de cloro residual, el tiempo de permanencia y la temperatura.

En la tabla N° 3 se presenta los valores de THMs en muestras de agua tomadas en las cisternas de Servicios de Agua que abastecen a la población con agua proveniente del ACO sin realizar mezcla con agua de perforación.

Los valores de THMs corresponden al promedio anual y se comparan con el promedio anual de los THMs en Salida de Planta del ACO.

Se aclara que se han tomado algunos Servicios de Agua para el presente análisis, a modo de muestra.

Concentración de THMs en localidades que se abastecen del ACO y no realizan mezcla con agua de perforación

AÑO	SALIDA ACO	CLASON	LAS ROSAS	LOS CARDOS	LAS PAREJAS	MONTES DE OCA
2013	87	157	121	132	124	131
2014	112	126	150	127	161	150
2015	99	117	100	107	112	100
2016	78	119	157	s/d	151	157
Distancias aproximadas a Planta Potabilizadora del ACO		55 km	70 km	90 km	95 km	105 km

En la tabla N° 3 se observa que en el trayecto de conducción del agua por el acueducto los THMs totales se incrementan entre un 20 y un 40% del valor de Salida de Planta. Los THMs totales superan en valor límite establecido por la Ley 11.220 en dichos servicios en la mayoría de los controles realizados por el ENRESS.

Es de destacar, que en los controles que se han hecho en ingreso y salida de las cisternas ubicadas en las localidades abastecidas por el ACO, no se registran variaciones significativas.

No hay un patrón bien definido en la relación entre el incremento de THMs durante la conducción y la distancia. Deberían incorporarse más datos a este análisis para estudiar los tiempos de permanencia en cada caso.

Precloración con Dióxido de cloro

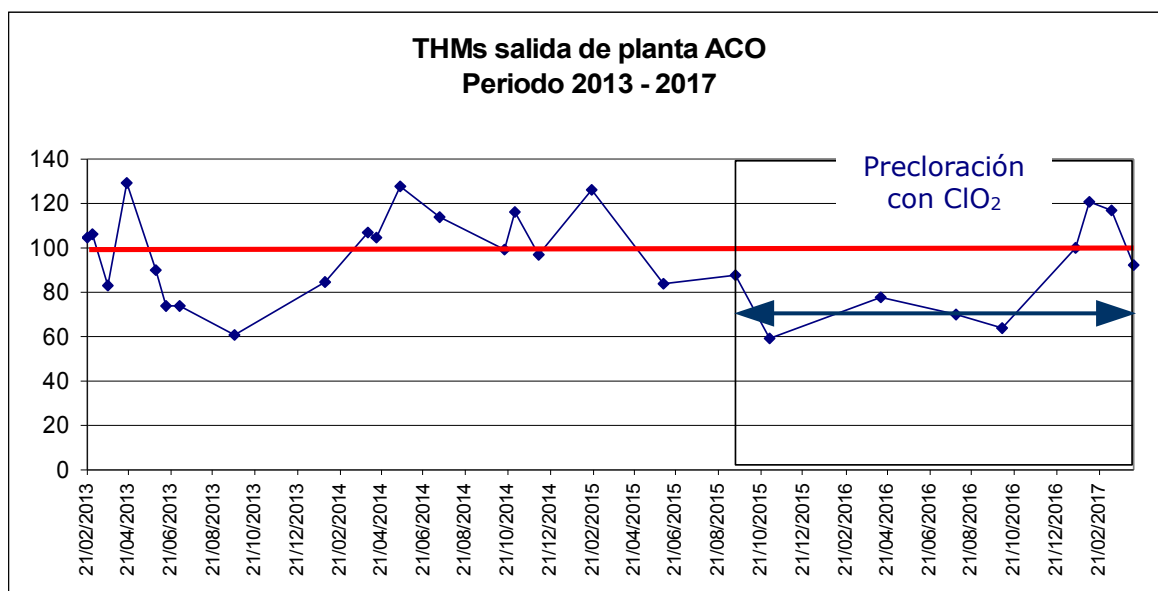
A fin de reducir el nivel de THMs en el agua producida por la Planta Potabilizadora del ACO, a partir del mes de julio de 2015 el Prestador, ASSA, ha implementado la precloración con dióxido de cloro.

La aplicación de dióxido de cloro tiene como fin la eliminación o reducción de los compuestos orgánicos precursores de THMs, ya que a diferencia del cloro gaseoso o del hipoclorito de sodio, el dióxido de cloro oxida la materia orgánica, pero sin producir reacciones de adición de haluros, por tanto, la generación de trihalometanos es casi nula.

Existen algunas limitaciones sanitarias al uso de Dióxido de Cloro, la dosis no puede ser superior a 1 mg/l, para evitar formación de cloratos y cloritos que presentan efectos tóxicos. Es por ello, que se utiliza como pretratamiento. El dióxido de cloro se aplica en cámara de carga, con una dosis de 0,5 mg/l.

Esquema de la Planta Potabilizadora del ACO con puntos de dosificación de Dióxido de cloro y Cloro gaseoso

En el gráfico siguiente, se han representado los resultados de THMs totales en Salida de Planta del ACO, de muestras tomadas y analizadas por personal de la GCC desde el año 2013 hasta abril de 2017, a fin de visualizar los cambios obtenidos a partir de la dosificación de dióxido de cloro.



En el gráfico N° 5 se destaca en celeste el período en que se implementó la precloración con dióxido de cloro.

A partir de la implementación de precloración con ClO_2 , los THMs totales no han superado el límite vigente, con un promedio en salida de planta de **75 ug/l**, lo que representaría una **disminución de aproximadamente el 25%**.

Para completar este análisis se tomaron los valores promedios mensuales de THMs en salida de planta informados por el prestador a fin de visualizar si hubo un cambio significativo en dicho parámetro a partir de la implementación del dióxido de cloro.

Consideraciones en relación al uso del dióxido de cloro

En relación al uso de dióxido de cloro como pretratamiento para disminuir la formación de THMs se han relevado en planta las siguientes dificultades o consideraciones a tener en cuenta:

- La dosificación de dióxido de cloro no se realiza en forma continua sostenida en el tiempo, por problemas de abastecimiento de insumos, es decir de clorito de sodio. En general el prestador adquiere clorito de sodio para un periodo de aproximadamente 3 meses, y luego hay una demora en el abastecimiento, por lo que existen algunos periodos ventana en los cuales se retorna a la precloración con cloro gaseoso.
- En cuanto al equipo generador de dióxido de cloro, ha presentado problemas con una unión de teflón que se deteriora por corrosión y debe ser reemplazada cada 20 o 30 días, esto provoca también algunas paradas en cuanto a la dosificación del dióxido de cloro.
- En relación al punto de dosificación, existe una propuesta de cambiar el punto de aplicación al canal de agua decantada, de manera de que la dosis aplicada de dióxido de cloro resulte más eficiente en eliminar precursores de THMs debido a que la concentración de materia orgánica en agua decantada es mucho menor que en agua cruda. Por otro lado, al ser el dióxido de cloro una molécula volátil, parte de lo agregado puede estar perdiéndose durante el proceso de mezcla rápida.
- Otro punto a considerar, es el costo del insumo, el clorito de sodio tiene un costo elevado. (averiguar)
- Dosis: según la bibliografía, la dosis recomendada para dióxido de cloro como pretratamiento es del orden de 1 a 2 mg/l, actualmente en la Planta del ACO se dosifica en valores entre 0,5 a 0,7 mg/l.
- Control: el nivel de dióxido de cloro es controlado mediante una técnica colorimétrica que utiliza DPD. Se controla en punto de aplicación, es decir en cámara de contacto. No se ha controlado en otros puntos del sistema para saber cual es el tiempo de desaparición del mismo.
- Subproductos de la cloración con dióxido de cloro: debería controlarse el nivel de clorito y/o clorato en agua. El kit analítico utilizado para medir dióxido de cloro, permite determinar clorito. No se ha implementado esta práctica en la planta del ACO. Aunque, cabe esperar que, con las dosis aplicadas, no se supera el valor guía de la OMS de 0,7 mg/l para clorito o clorato.

Conclusiones Generales y Recomendaciones

De todos los puntos analizados en el presente estudio, el punto crítico donde se observa el mayor incremento de THMs se produce durante el almacenamiento de agua clorada en la cisterna de la Planta Potabilizadora del ACO, producto del tiempo de permanencia. El incremento es del orden del 100 % o más.

El incremento de THMs observado desde salida de Planta a ingreso cisterna de las localidades abastecidas, se encuentra en el orden del 40 %.

El pre tratamiento implementado por ASSA, de adición de dióxido de cloro en cámara de carga, ha resultado en una disminución de los THMs en salida de planta cercana al 25%.

Esta disminución en los THMs en Salida de Planta no es suficiente para solucionar el problema en las localidades abastecidas por el ACO. En inspecciones realizadas durante el año en curso, se han detectado niveles de THMs que superan el nivel admitido de 100 ug/l.

Se considera oportuna la propuesta de cambio en el punto de dosificación de dióxido de cloro al canal de agua decantada.

Asimismo, se debería implementar alguna medida tendiente a reducir el importante incremento de THMs durante el almacenamiento de agua clorada en la cisterna de la Planta Potabilizadora.

Otra oportunidad de mejora es evitar o reducir el desarrollo de algas en los sedimentos de los sedimentadores. Las algas aportan material orgánico que puede actuar como precursor de THMs. Se ha colocado en los últimos meses paneles con media sombra para opacar los rayos solares.

Por último, en virtud de la pronta puesta en funcionamiento de otros acueductos en la Provincia de Santa Fe, Acueducto Norte 1 (Desvío Arijón) y Acueducto Gran Rosario (Ganadero Baigorria), debería considerarse este antecedente para diseño de estrategias a fin de reducir la formación de THMs en estos sistemas de abastecimiento mediante transporte de agua tratada por medio de grandes acueductos.

Anexo II
Resultados de THMs y calidad de agua cruda PPM

Nro. Muestra	Sitios de Extraccion	Fecha Ext.	Cloroformo	Bromodiclorome tano	Dibromocloro metano	Bromoformo	Trihalometanos
410696	Monje - Salida Planta Monje	02/01/2018 09:30	70	25	5	< 0.5	100
411044	Monje - Salida Planta Monje	08/01/2018 19:00	22	9,7	4,2	< 0.5	36
411411	Monje - Salida Planta Monje	15/01/2018 20:10	14	0,5	0,9	< 0.5	15
411789	Monje - Salida Planta Monje	22/01/2018 19:40	26	12	5,9	< 0.5	44
412188	Monje - Salida Planta Monje	29/01/2018 21:00	40	11	2,5	< 0.5	53
412476	Monje - Salida Planta Monje	05/02/2018 13:30	26	8,6	1,9	< 0.5	36
412918	Monje - Salida Planta Monje	12/02/2018 09:00	60	7,8	< 0.5	< 0.5	68
413327	Monje - Salida Planta Monje	19/02/2018 20:30	84	13	0,7	0,9	99
413724	Monje - Salida Planta Monje	26/02/2018 20:00	130	16	1,1	< 0.5	147
414117	Monje - Salida Planta Monje	05/03/2018 09:30	81	13	1,2	< 0.5	95
415419	Monje - Salida Planta Monje	26/03/2018 20:00	22	5,3	1,1	< 0.5	28
416295	Monje - Salida Planta Monje	09/04/2018 10:30	29	8,2	1,6	< 0.5	39
416638	Monje - Salida Planta Monje	16/04/2018 16:30	50	13	2,5	< 0.5	65
417185	Monje - Salida Planta Monje	23/04/2018 20:00	69	22	4,5	< 0.5	95
417897	Monje - Salida Planta Monje	07/05/2018 10:25	54	19	4,6	< 0.5	78
418301	Monje - Salida Planta Monje	14/05/2018 19:15	72	25	5	< 0.5	102
418763	Monje - Salida Planta Monje	21/05/2018 09:45	49	16	3,2	< 0.5	68
419190	Monje - Salida Planta Monje	28/05/2018 19:30	39	13	2,7	< 0.5	55
419567	Monje - Salida Planta Monje	04/06/2018 10:00	44	14	2,4	< 0.5	60
420038	Monje - Salida Planta Monje	11/06/2018 20:30	32	13	2,6	< 0.5	48
420457	Monje - Salida Planta Monje	18/06/2018 11:00	50	12	2,5	< 0.5	64
420734	Monje - Salida Planta Monje	25/06/2018 08:00	48	14	3,5	< 0.5	65
421297	Monje - Salida Planta Monje	02/07/2018 09:00	60	17	3,9	< 0.5	81
421648	Monje - Salida Planta Monje	09/07/2018 08:30	61	21	4,1	< 0.5	86
422127	Monje - Salida Planta Monje	16/07/2018 20:05	57	18	4,5	< 0.5	79
422542	Monje - Salida Planta Monje	23/07/2018 19:30	35	14	4,5	< 0.5	53
422933	Monje - Salida Planta Monje	30/07/2018 19:20	26	12	4,4	< 0.5	42
423368	Monje - Salida Planta Monje	06/08/2018 09:00	34	16	6	< 0.5	56
423804	Monje - Salida Planta Monje	13/08/2018 20:15	30	13	4,7	< 0.5	48
424104	Monje - Salida Planta Monje	20/08/2018 08:00	20	8,2	4	< 0.5	32
424581	Monje - Salida Planta Monje	27/08/2018 18:30	22	9,9	3,5	< 0.5	35
424980	Monje - Salida Planta Monje	03/09/2018 11:00	31	14	4,9	< 0.5	50
425497	Monje - Salida Planta Monje	10/09/2018 20:10	15	7,8	4,3	< 0.5	27
425899	Monje - Salida Planta Monje	17/09/2018 20:00	56	29	4,1	< 0.5	89
426257	Monje - Salida Planta Monje	24/09/2018 18:00	29	16	0,6	< 0.5	46
426663	Monje - Salida Planta Monje	01/10/2018 09:00	21	13	6,9	0,6	41
427216	Monje - Salida Planta Monje	08/10/2018 19:00	38	16	5,2	< 0.5	59
427491	Monje - Salida Planta Monje	15/10/2018 07:15	28	13	4	< 0.5	45
428017	Monje - Salida Planta Monje	22/10/2018 20:00	49	18	4,7	< 0.5	72
428425	Monje - Salida Planta Monje	29/10/2018 20:00	21	6,3	2,3	< 0.5	30
428834	Monje - Salida Planta Monje	05/11/2018 11:30	46	17	4,1	< 0.5	67
429310	Monje - Salida Planta Monje	12/11/2018 19:00	72	13	0,6	< 0.5	86
429606	Monje - Salida Planta Monje	19/11/2018 08:15	59	16	2,1	< 0.5	77
430113	Monje - Salida Planta Monje	26/11/2018 20:10	70	20	2,7	< 0.5	93
430525	Monje - Salida Planta Monje	03/12/2018 09:20	57	26	6,7	< 0.5	90
430963	Monje - Salida Planta Monje	10/12/2018 19:15	66	16	2	< 0.5	84
431439	Monje - Salida Planta Monje	17/12/2018 11:00	66	21	4,1	< 0.5	91
431754	Monje - Salida Planta Monje	24/12/2018 08:30	109	32	6,2	< 0.5	147
432175	Monje - Salida Planta Monje	31/12/2018 09:20	76	24	5	< 0.5	105
432523	Monje - Salida Planta Monje	07/01/2019 09:00	64	22	5,4	< 0.5	91
432960	Monje - Salida Planta Monje	14/01/2019 20:00	60	21	4,9	< 0.5	86
433404	Monje - Salida Planta Monje	21/01/2019 20:10	58	25	7,4	< 0.5	90
433801	Monje - Salida Planta Monje	28/01/2019 19:10	64	19	3,7	< 0.5	87
434171	Monje - Salida Planta Monje	04/02/2019 09:20	68	27	6,8	< 0.5	102
434658	Monje - Salida Planta Monje	11/02/2019 20:10	23	5,6	2	< 0.5	31
435113	Monje - Salida Planta Monje	18/02/2019 18:00	84	31	6,3	< 0.5	121
435496	Monje - Salida Planta Monje	25/02/2019 19:00	60	26	7,5	< 0.5	93
435846	Monje - Salida Planta Monje	04/03/2019 17:00	77	34	8	< 0.5	119
436270	Monje - Salida Planta Monje	11/03/2019 12:15	76	37	9,7	< 0.5	123
436707	Monje - Salida Planta Monje	18/03/2019 19:15	64	33	11	< 0.5	108
437005	Monje - Salida Planta Monje	25/03/2019 17:30	58	29	9,4	< 0.5	96
437389	Monje - Salida Planta Monje	01/04/2019 10:30	96	41	11	< 0.5	148
437844	Monje - Salida Planta Monje	08/04/2019 20:10	56	30	9,5	< 0.5	95
438294	Monje - Salida Planta Monje	15/04/2019 19:00	75	40	11	< 0.5	126
438669	Monje - Salida Planta Monje	22/04/2019 19:30	94	44	12	< 0.5	150
Nro. Muestra	Sitios de Extraccion	Fecha Ext.	Cloroformo	Bromodiclorome tano	Dibromocloro metano	Bromoformo	Trihalometanos

439070	Monje - Salida Planta Monje	29/04/2019 20:10	58	31	9,6	< 0.5	99
439393	Monje - Salida Planta Monje	06/05/2019 13:00	58	34	8,3	< 0.5	100
439783	Monje - Salida Planta Monje	13/05/2019 10:30	56	32	8,7	< 0.5	97
440252	Monje - Salida Planta Monje	20/05/2019 09:15	58	31	7,9	< 0.5	97
440638	Monje - Salida Planta Monje	27/05/2019 19:00	36	20	6,1	< 0.5	62
441325	Monje - Salida Planta Monje	06/06/2019 10:10	60	25	5,6	< 0.5	91
441499	Monje - Salida Planta Monje	10/06/2019 19:45	75	32	7,3	< 0.5	114
441832	Monje - Salida Planta Monje	17/06/2019 08:10	72	25	0,5	< 0.5	97
442297	Monje - Salida Planta Monje	24/06/2019 20:35	74	25	4,3	< 0.5	103
442645	Monje - Salida Planta Monje	01/07/2019 08:30	32	12	3,7	< 0.5	48
443043	Monje - Salida Planta Monje	08/07/2019 19:00	72	29	6,1	< 0.5	107
443393	Monje - Salida Planta Monje	15/07/2019 11:10	60	24	6	< 0.5	90
444269	Monje - Salida Planta Monje	29/07/2019 19:00	40	22	8,8	0,6	71
444645	Monje - Salida Planta Monje	05/08/2019 08:20	63	37	9,8	< 0.5	110
445106	Monje - Salida Planta Monje	12/08/2019 21:00	52	36	12	< 0.5	100
445501	Monje - Salida Planta Monje	19/08/2019 09:00	28	20	11	0,7	60
445997	Monje - Salida Planta Monje	26/08/2019 19:30	39	39	22	2,6	103
446359	Monje - Salida Planta Monje	02/09/2019 08:15	37	35	22	2,8	97
446791	Monje - Salida Planta Monje	09/09/2019 20:15	23	21	27	6,8	78
447025	Monje - Salida Planta Monje	12/09/2019 20:10	23	22	29	6,3	80
447230	Monje - Salida Planta Monje	16/09/2019 11:30	29	38	38	8	113
447580	Monje - Salida Planta Monje	23/09/2019 19:10	7,3	12	12	2,8	34
447924	Monje - Salida Planta Monje	30/09/2019 16:00	28	43	40	7,3	118
448343	Monje - Salida Planta Monje	07/10/2019 11:00	25	45	52	11	133
448657	Monje - Salida Planta Monje	14/10/2019 09:00	50	49	45	7,5	151
449107	Monje - Salida Planta Monje	21/10/2019 11:00	27	40	51	13	131
449443	Monje - Salida Planta Monje	28/10/2019 20:00	40	49	78	18	185
449834	Monje - Salida Planta Monje	04/11/2019 09:00	20	44	73	24	161
450280	Monje - Salida Planta Monje	11/11/2019 20:30	58	53	43	5,3	159
450578	Monje - Salida Planta Monje	18/11/2019 08:15	66	48	26	2	142
450999	Monje - Salida Planta Monje	25/11/2019 20:25	41	47	43	6,5	137
451414	Monje - Salida Planta Monje	02/12/2019 08:00	26	43	44	10	123
451863	Monje - Salida Planta Monje	09/12/2019 19:00	29	17	26	7,3	79
452315	Monje - Salida Planta Monje	16/12/2019 18:00	37	40	31	6,8	115
452763	Monje - Salida Planta Monje	23/12/2019 20:30	43	36	18	2,1	99
453103	Monje - Salida Planta Monje	30/12/2019 20:00	65	37	14	1,1	117

PRODUCCIÓN MONJE - LABORATORIO DE PLANTA

Se adjunta a modo de ejemplo las planillas de calidad de agua cruda del mes de Enero de 2019 registradas en el laboratorio de PPM.
Para el trabajo final se trabajo con los datos volcados en estos registros para el periodo de Enero de 2018 a diciembre de 2019.

**INFORME MENSUAL DE PARAMETROS DE CALIDAD
AGUA CRUDA**

01/19

<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>	<i>Turb</i> (UNT)	<i>pH</i> pH	<i>Cond</i> (uS/cm)	<i>Alc.</i> (uS/cm)	<i>Cl-</i> (mg/l)	<i>Color</i> (mg/l)	<i>Temp</i> °C
1 de ene de 19	1							
	2	40	7,6	300	43	49	15	28,4
	3							
	4	30	7,6	290	43	49	15	28,2
	5							
	6	28	7,3	320	44	50	20	27,0
	7							
	8	26	7,6	280	44	50	20	28,3
	9							
	10	25	7,6	280	44	50	20	28,4
	11							
	12	23	7,6	280	44	50	20	28,6
	13							
	14	23	7,3	310	43	51	20	27,5
	15							
	16	22	7,6	275	43	51	20	29,0
	17							
	18	20	7,6	275	43	51	20	29,1
	19							
	20	20	7,6	275	43	51	20	29,4
	21							
	22	24	7,3	300	42	53	20	28,1
	23							
	24	20	7,6	275	42	53	20	29,5
2 de ene de 19	1							
	2	22	7,6	270	42	53	20	29,3
	3							
	4	19	7,6	270	42	53	20	29,5
	5							
	6	20	7,3	310	45	50	20	27,8
	7							
	8	19	7,6	280	45	50	20	29,3
	9							
	10	17	7,6	285	45	50	20	29,2
	11							
	12	21	7,6	280	45	50	20	29,3
	13							
	14	22	7,4	305	42	47	20	28,1
	15							
	16	23	7,6	280	42	47	20	29,7
	17							
	18	23	7,6	280	42	47	20	30,0
	19							
	20	21	7,6	275	42	47	20	30,0
	21							
	22	30	7,6	290	41	49	20	29,2
	23							
	24	21	7,6	270	41	49	20	30,0
3 de ene de 19	1							
	2	20	7,6	260	41	49	20	30,0
	3							
	4	19	7,6	270	41	49	20	29,8
	5							
	6	25	7,7	300	44	50	20	28,3
	7							
	8	18	7,6	275	44	50	20	29,5
	9							
	10	19	7,6	270	44	50	20	29,4
	11							

Hoja1

	12	16	7,6	270	44	50	20	29,3
	13							
	14	20	7,9	300	40	48	20	27,8
	15							
	16	20	7,6	290	40	48	20	29,4
	17							
	18	24	7,6	280	40	48	20	29,3
	19							
	20	26	7,6	270	40	48	20	29,5
	21							
	22	45	7,7	290	44	53	20	28,5
	23							
	24	40	7,6	270	44	53	20	28,9
4 de ene de 19	1							
	2	40	7,6	260	44	53	20	28,8
	3							
	4	40	7,6	260	44	53	20	28,6
	5							
	6	45	7,8	290	40	48	20	27,7
	7							
	8	40	7,6	280	40	48	20	28,2
	9							
	10	35	7,6	280	40	48	20	27,9
	11							
	12	40	7,6	300	40	48	20	28,1
	13							
	14	55	7,8	315	42	51	20	27,8
	15							
	16	30	7,6	290	42	51	20	28,4
	17							
	18	30	7,6	280	42	50	20	28,4
	19							
	20	25	7,6	280	45	51	20	28,2
	21							
	22	27	7,7	300	43	54	20	27,1
	23							
	24	25	7,6	280	43	54	20	28,3
5 de ene de 19	1							
	2	20	7,6	270	43	54	20	28,2
	3							
	4	20	7,6	270	43	54	20	28,2
	5							
	6	22	7,8	295	42	49	20	26,6
	7							
	8	21	7,6	270	42	49	20	28,0
	9							
	10	22	7,6	270	42	49	20	27,9
	11							
	12	22	7,6	270	42	49	20	27,8
	13							
	14	25	7,8	290	44	50	20	26,7
	15							
	16	22	7,6	270	44	50	20	28,2
	17							
	18	22	7,6	270	44	50	20	28,1
	19							
	20	24	7,6	270	44	50	20	28,4
	21							
	22	37	7,7	285	43	53	20	27,6
	23							
	24	27	7,6	270	43	53	20	28,5
6 de ene de 19	1							
	2	25	7,6	270	43	53	20	28,6
	3							
	4	23	7,6	270	43	53	20	28,6
	5							
	6	32	7,9	295	41	48	20	27,5
	7							
	8	23	7,6	280	41	48	20	28,2

Hoja1

	9							
	10	23	7,6	285	41	48	20	28,0
	11							
	12	23	7,6	275	41	48	20	28,2
	13							
	14	30	7,8	290	42	49	20	27,6
	15							
	16	21	7,6	265	42	49	20	28,6
	17							
	18	21	7,6	265	42	49	20	28,6
	19							
	20	23	7,6	270	42	49	20	28,2
	21							
	22	24	7,7	300	45	49	20	27,0
	23							
	24	21	7,6	270	45	49	20	27,8
7 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	270	45	49	20	27,7
	3							
	4	27	7,6	260	45	49	20	27,7
	5							
	6	32	7,8	280	42	48	20	26,3
	7							
	8	40	7,6	270	42	48	20	27,6
	9							
	10	45	7,6	275	42	48	20	27,5
	11							
	12	45	7,6	270	42	48	20	27,5
	13							
	14	55	7,8	280	43	50	20	26,0
	15							
	16	55	7,6	265	43	50	20	27,6
	17							
	18	55	7,6	265	43	50	20	7,8
	19							
	20	55	7,6	265	43	50	20	20,0
	21							
	22	50	7,7	300	46	50	20	27,2
	23							
	24	50	7,6	280	46	50	20	28,0
8 de ene de 19	1							
	2	50	7,6	265	46	50	20	27,9
	3							
	4	50	7,6	260	46	50	20	27,8
	5							
	6	38	7,9	280	44	45	20	26,1
	7							
	8	40	7,6	255	44	45	20	27,7
	9							
	10	40	7,6	260	44	45	20	27,4
	11							
	12	36	7,6	260	44	45	20	27,5
	13							
	14	35	7,8	280	45	47	20	26,2
	15							
	16	33	7,6	260	45	47	20	27,9
	17							
	18	30	7,6	260	45	47	20	28,0
	19							
	20	30	7,6	260	45	47	20	28,0
	21							
	22	30	7,8	275	40	48	20	26,5
	23							
	24	29	7,6	255	40	48	20	28,0
9 de ene de 19	1							
	2	26	7,6	260	40	48	20	28,1
	3							
	4	26	7,6	265	40	48	20	28,1
	5							

Hoja1

	6	28	7,9	300	43	48	20	27,0
	7							
	8	25	7,6	300	43	48	20	28,1
	9							
	10	25	7,6	305	43	48	20	27,9
	11							
	12	25	7,6	305	43	48	20	27,9
	13							
	14	29	7,8	330	42	48	20	27,0
	15							
	16	30	7,6	300	42	48	20	27,8
	17							
	18	25	7,6	300	42	48	20	27,8
	19							
	20	23	7,6	305	42	48	20	27,9
	21							
	22	25	7,7	340	45	56	20	26,5
	23							
	24	25	7,6	310	45	56	20	27,8
10 de ene de 19	1							
	2	25	7,6	310	45	56	20	27,5
	3							
	4	28	7,6	310	45	56	20	27,5
	5							
	6	35	7,9	340	45	53	20	26,0
	7							
	8	40	7,6	315	45	53	20	27,4
	9							
	10	80	7,6	320	45	53	20	27,3
	11							
	12	75	7,6	315	45	53	20	27,3
	13							
	14	60	7,7	350	45	58	20	26,6
	15							
	16	55	7,6	315	45	58	20	27,1
	17							
	18	50	7,6	315	45	58	20	26,9
	19							
	20	50	7,6	315	45	58	20	26,6
	21							
	22	40	7,9	335	45	56	20	25,3
	23							
	24	45	7,6	305	45	56	20	26,3
11 de ene de 19	1							
	2	45	7,6	310	45	56	20	26,1
	3							
	4	45	7,6	300	45	56	20	25,8
	5							
	6	40	8,0	315	43	52	20	24,8
	7							
	8	45	7,6	285	43	52	20	25,5
	9							
	10	50	7,6	275	43	52	20	25,4
	11							
	12	60	7,6	265	43	52	20	25,6
	13							
	14	50	7,8	280	43	49	20	25,1
	15							
	16	70	7,6	255	42	49	20	25,8
	17							
	18	75	7,6	255	42	49	20	26,0
	19							
	20	80	7,6	250	42	49	20	26,1
	21							
	22	55	7,8	270	44	47	20	24,6
	23							
	24	55	7,6	270	44	47	20	26,0
12 de ene de 19	1							
	2	45	7,6	280	44	47	20	26,1

Hoja1

	3							
	4	50	7,6	280	44	47	20	26,1
	5							
	6	45	7,8	300	46	47	20	24,3
	7							
	8	50	7,6	275	46	47	20	26,0
	9							
	10	60	7,6	275	46	47	20	25,9
	11							
	12	60	7,6	275	46	47	20	25,9
	13							
	14	40	7,8	300	44	44	20	25,5
	15							
	16	40	7,6	270	44	44	20	26,3
	17							
	18	40	7,6	270	44	44	20	26,5
	19							
	20	35	7,6	270	44	44	20	26,7
	21							
	22	35	7,7	290	45	46	20	25,5
	23							
	24	30	7,6	270	45	46	20	27,0
13 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	270	45	46	20	26,9
	3							
	4	30	7,6	265	45	46	20	27,0
	5							
	6	35	7,8	295	44	44	20	26,0
	7							
	8	30	7,6	265	44	44	20	27,1
	9							
	10	27	7,6	265	44	44	20	27,0
	11							
	12	30	7,6	265	44	44	20	26,9
	13							
	14	45	7,7	280	44	45	20	25,9
	15							
	16	35	7,6	265	44	45	20	26,9
	17							
	18	35	7,6	265	44	45	20	26,9
	19							
	20	35	7,6	265	44	45	20	26,9
	21							
	22	40	7,8	290	46	48	20	25,5
	23							
	24	30	7,6	270	46	48	20	26,9
14 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	265	46	48	20	26,9
	3							
	4	30	7,6	265	46	48	20	26,9
	5							
	6	35	7,8	290	47	46	20	25,9
	7							
	8	30	7,6	270	47	46	20	27,0
	9							
	10	35	7,6	275	47	46	20	26,9
	11							
	12	30	7,6	280	47	46	20	26,9
	13							
	14	50	7,8	300	45	49	20	26,7
	15							
	16	30	7,6	280	45	49	20	27,4
	17							
	18	30	7,6	280	45	49	20	27,4
	19							
	20	30	7,6	280	45	49	20	27,2
	21							
	22	40	7,9	300	46	50	20	26,1
	23							

Hoja1

15 de ene de 19	24	35	7,6	280	46	50	20	27,2	
	1								
	2	35	7,6	280	46	58	20		
	3								
	4	30	7,6	285	46	58	20		
	5								
	6	PLANTA PARADA							
	7	PLANTA PARADA							
	8	PLANTA PARADA							
	9								
	10	30	7,6	285	49	59	20		
	11								
	12	30	7,6	290	49	59	20		
	13								
	14	40	7,9	310	47	49	20		
	15								
	16	30	7,6	290	47	49	20		
	17								
	18	30	7,6	290	47	49	20		
	19								
	20	30	7,6	290	47	49	20		
	21								
	22	30	7,9	315	47	55	20		
	23								
24	35	7,6	290	47	55	20			
16 de ene de 19	1								
	2	35	7,6	290	47	55	20	27,0	
	3								
	4	35	7,6	280	47	55	20	27,0	
	5								
	6	40	7,9	305	48	57	20	25,7	
	7								
	8	35	7,6	270	48	57	20	27,0	
	9								
	10	35	7,6	270	48	57	20	27,0	
	11								
	12	35	7,6	270	48	57	20	27,2	
	13								
	14	35	7,9	300	48	50	20	25,7	
	15								
	16	35	7,6	270	48	50	20	27,2	
	17								
	18	35	7,6	270	48	50	20	27,4	
	19								
	20	35	7,6	270	48	50	20	27,7	
	21								
	22	30	7,8	290	49	48	20	26,9	
	23								
	24	35	7,6	270	49	48	20	27,9	
17 de ene de 19	1								
	2	35	7,6	270	48	49	20	27,9	
	3								
	4	35	7,6	270	48	49	20	27,9	
	5								
	6	30	7,8	290	50	50	20	26,9	
	7								
	8	30	7,6	275	50	50	20	28,0	
	9								
	10	30	7,6	275	50	50	20	27,7	
	11								
	12	30	7,6	275	50	50	20	27,6	
	13								
	14	29	7,9	310	48	50	20	26,5	
	15								
	16	30	7,6	280	48	50	20	27,7	
	17								
	18	30	7,6	280	48	50	20	27,5	
	19								
	20	30	7,6	280	48	50	20	27,1	

Hoja1

	21							
	22	30	7,9	300	50	47	20	24,3
	23							
	24	40	7,6	280	50	47	20	26,6
18 de ene de 19	1							
	2	45	7,6	270	50	47	20	26,4
	3							
	4	50	7,6	265	50	47	20	26,2
	5							
	6	60	7,8	260	48	39	20	24,1
	7							
	8	50	7,6	260	48	39	20	25,8
	9							
	10	60	7,6	270	48	39	20	25,8
	11							
	12	85	7,6	290	48	39	30	25,7
	13							
	14	80	7,9	300	48	49	30	24,8
	15							
	16	80	7,6	270	48	48	20	25,6
	17							
	18	90	7,6	255	48	49	20	25,6
	19							
	20	90	7,6	250	48	49	20	25,5
	21							
	22	70	90,0	270	50	49	30	24,4
	23							
	24	80	7,6	260	50	49	30	25,2
19 de ene de 19	1							
	2	80	7,6	270	50	49	30	25,2
	3							
	4	75	7,6	280	50	49	30	25,0
	5							
	6	70	7,8	310	55	49	30	25,5
	7							
	8	70	7,6	290	55	49	30	24,7
	9							
	10	70	7,6	285	55	49	30	24,8
	11							
	12	80	7,6	280	55	49	30	25,0
	13							
	14	55	8,1	300	49	48	30	24,5
	15							
	16	55	7,6	275	49	48	30	25,3
	17							
	18	50	7,6	275	49	48	30	25,5
	19							
	20	50	7,6	280	49	48	30	25,7
	21							
	22	40	8,0	300	46	50	30	24,5
	23							
	24	45	7,6	280	46	50	30	25,5
20 de ene de 19	1							
	2	40	7,6	280	46	50	30	25,8
	3							
	4	40	7,6	275	46	50	30	25,4
	5							
	6	36	7,8	300	48	39	30	24,9
	7							
	8	40	7,6	270	48	39	30	25,4
	9							
	10	35	7,6	270	48	39	30	25,4
	11							
	12	30	7,6	270	48	39	30	25,4
	13							
	14	35	7,9	305	48	47	30	25,2
	15							
	16	35	7,6	290	48	47	30	25,9
	17							

Hoja1

	18	35	7,6	290	48	47	30	25,9	
	19								
	20	35	7,6	290	48	47	30	25,3	
	21								
	22	35	7,9	300	49	45	30	26,0	
	23								
	24	30	7,6	280	49	45	30	26,2	
21 de ene de 19	1								
	2	30	7,6	275	49	45	30	26,3	
	3								
	4	30	7,6	280	49	45	30	26,3	
	5								
	6	33	7,7	300	48	39	30	25,2	
	7								
	8	30	7,6	280	48	39	30	26,1	
	9								
	10	PLANTA PARADA							
	11								
	12	30	7,6	280	48	39	30	26,1	
	13								
	14	29	7,8	300	50	47	30	25,0	
	15								
	16	30	7,6	270	50	47	30	26,4	
	17								
	18	30	7,6	270	50	47	30	26,7	
	19								
	20	30	7,6	275	50	47	30	26,8	
	21								
	22	29	7,8	300	48	48	30	25,6	
	23								
	24	30	7,6	280	48	49	30	27,0	
22 de ene de 19	1								
	2	26	7,6	270	48	49	30	27,0	
	3								
	4	30	7,6	270	48	49	30	27,0	
	5								
	6	30	7,7	290	48	49	30	26,1	
	7								
	8	30	7,6	270	48	49	30	27,0	
	9								
	10	30	7,6	270	48	49	30	27,0	
	11								
	12	30	7,6	280	48	49	30	27,0	
	13								
	14	30	7,9	310	47	43	30	26,0	
	15								
	16	30	7,6	285	47	43	30	27,2	
	17								
	18	30	7,6	285	47	43	30	27,4	
	19								
	20	30	7,6	290	47	43	30	27,6	
	21								
	22	30	7,9	310	49	45	30	26,9	
	23								
	24	25	7,6	295	49	45	30	27,9	
23 de ene de 19	1								
	2	25	7,6	280	49	45	30	27,7	
	3								
	4	25	7,6	270	49	45	30	27,8	
	5								
	6	26	7,8	290	45	46	30	26,5	
	7								
	8	24	7,6	275	45	46	30	27,8	
	9								
	10	24	7,6	280	45	46	30	27,7	
	11								
	12	25	7,6	280	45	46	30	27,5	
	13								
	14	25	8,1	280	45	44	30	26,8	

Hoja1

	15							
	16	25	7,6	265	45	44	30	27,4
	17							
	18	25	7,6	265	45	44	30	27,5
	19							
	20	25	7,6	270	45	44	30	27,4
	21							
	22	25	7,9	280	47	45	30	26,7
	23							
	24	25	7,6	270	47	45	30	27,5
24 de ene de 19	1							
	2	25	7,6	270	47	45	30	27,1
	3							
	4	30	7,6	265	47	45	30	27,3
	5							
	6	40	7,8	300	46	48	30	26,3
	7							
	8	50	7,6	290	46	48	30	27,1
	9							
	10	45	7,6	290	46	48	30	27,0
	11							
	12	45	7,6	290	46	48	30	27,1
	13							
	14	40	7,9	265	47	42	30	26,2
	15							
	16	40	7,6	260	47	42	30	27,3
	17							
	18	40	7,6	255	47	42	30	27,6
	19							
	20	40	7,6	265	47	42	30	27,5
	21							
	22	40	7,8	260	45	45	30	26,2
	23							
	24	35	7,6	265	45	45	30	27,8
25 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	260	45	45	30	27,8
	3							
	4	30	7,6	260	45	45	30	27,7
	5							
	6	29	7,8	270	45	46	20	26,7
	7							
	8	29	7,6	250	45	46	20	27,7
	9							
	10	28	7,6	250	45	46	20	27,2
	11							
	12	29	7,6	250	45	46	20	27,8
	13							
	14	28	7,8	270	45	42	20	26,7
	15							
	16	30	7,9	255	45	42	20	27,6
	17							
	18	30	7,9	255	45	42	20	27,4
	19							
	20	40	7,9	260	45	42	20	27,4
	21							
	22	40	7,9	280	46	43	20	26,7
	23							
	24	40	7,9	270	46	43	20	27,5
26 de ene de 19	1							
	2	35	7,8	265	46	43	20	27,5
	3							
	4	40	7,9	265	46	43	20	27,4
	5							
	6	40	7,8	280	45	46	20	25,7
	7							
	8	50	7,8	260	45	46	20	26,9
	9							
	10	55	7,8	260	45	46	20	27,0
	11							

Hoja1

	12	60	7,9	250	45	46	20	26,9
	13							
	14	50	7,8	270	45	42	20	25,9
	15							
	16	55	7,8	255	45	42	20	27,0
	17							
	18	50	7,8	265	45	42	20	27,0
	19							
	20	50	7,8	265	45	42	20	27,0
	21							
	22	50	7,7	280	45	39	20	26,6
	23							
	24	50	7,7	260	45	39	20	26,9
27 de ene de 19	1							
	2	50	7,7	260	45	39	20	26,9
	3							
	4	50	7,7	260	45	39	20	26,9
	5							
	6	40	7,7	270	46	46	20	25,6
	7							
	8	45	7,8	255	46	46	20	26,8
	9							
	10	40	7,8	255	46	46	20	26,9
	11							
	12	40	7,8	255	46	46	20	26,9
	13							
	14	30	7,8	280	47	41	20	26,4
	15							
	16	30	7,8	260	47	41	20	27,4
	17							
	18	30	7,8	260	47	41	20	27,5
	19							
	20	30	7,8	260	47	41	20	27,8
	21							
	22	30	7,7	280	46	44	20	27,5
	23							
	24	30	7,8	260	46	44	20	27,9
28 de ene de 19	1							
	2	30	7,7	260	46	44	20	27,8
	3							
	4	30	7,7	260	46	44	20	28,0
	5							
	6	26	7,7	280	46	50	20	26,1
	7							
	8	25	7,8	260	46	50	20	28,1
	9							
	10	24	7,7	260	46	50	20	27,9
	11							
	12	24	7,7	260	46	50	20	28,1
	13							
	14	25	7,7	280	43	45	20	27,0
	15							
	16	24	7,7	265	43	45	20	28,6
	17							
	18	24	7,8	270	43	45	20	28,9
	19							
	20	24	7,7	270	43	45	20	29,2
	21							
	22	26	7,8	290	51	49	20	28,5
	23							
	24	24	7,8	270	51	49	20	29,3
29 de ene de 19	1							
	2	23	7,8	275	51	49	20	29,3
	3							
	4	22	7,8	280	51	49	20	29,2
	5							
	6	24	7,7	300	50	49	20	27,7
	7							
	8	21	7,7	280	50	49	20	28,8

Hoja1

	9							
	10	23	7,7	280	50	49	20	28,9
	11							
	12	27	7,7	295	50	49	20	29,0
	13							
	14	24	7,8	310	48	49	20	27,7
	15							
	16	23	7,8	290	48	49	20	29,4
	17							
	18	22	7,7	285	48	49	20	29,6
	19							
	20	22	7,7	285	48	49	20	29,6
	21							
	22	24	7,5	310	53	49	20	28,7
	23							
	24	21	7,7	290	53	49	20	29,7
30 de ene de 19	1							
	2	21	7,5	290	53	49	20	29,8
	3							
	4	21	7,6	290	53	49	20	29,9
	5							
	6	22	7,6	315	53	49	20	28,4
	7							
	8	20	7,6	290	53	49	20	29,6
	9							
	10	18	7,6	290	53	49	20	29,6
	11							
	12	20	7,6	290	53	49	20	29,4
	13							
	14	21	7,8	310	49	48	20	28,1
	15							
	16	20	7,7	295	49	48	20	29,3
	17							
	18	20	7,6	295	49	48	20	29,2
	19							
	20	20	7,7	295	49	48	20	29,2
	21							
	22	22	7,7	320	50	49	20	28,3
	23							
	24	19	7,7	290	50	49	20	29,2
31 de ene de 19	1							
	2	19	7,8	290	50	49	20	29,1
	3							
	4	19	7,8	290	50	49	20	29,0
	5							
	6	21	7,8	320	51	54	20	27,6
	7							
	8	20	7,6	300	51	54	20	28,8
	9							
	10	20	7,6	300	51	54	20	28,6
	11							
	12	20	7,6	305	51	54	20	28,9
	13							
	14	21	7,8	325	49	51	20	27,0
	15							
	16	19	7,7	300	49	51	20	29,1
	17							
	18	19	7,7	300	49	51	20	29,3
	19							
	20	18	7,7	300	49	51	20	29,3
	21							
	22	22	7,7	330	52	51	20	27,9
	23							
	24	19	7,7	300	52	51	20	29,2
	PROMEDIO	35	7,9	281	46	48	22	27
	DESV STD	14	4,3	18	3	4	4	2
	MAX	90	90,0	350	55	59	30	30

MIN	16	7,3	250	40	39	15	8
-----	----	-----	-----	----	----	----	---

Limite tol. en agua de natural	*	*	*	*	*	*	*
nro dias	31						
	Turb	pH	Cond	Alc.	Cl-	Color	Temp
Analisis realizados	371	369	369	369	369	369	359
Analisis conformes	371	369	369	369	369	369	359
% CONFORMES REALIZADOS	100	100	100	100	100	100	100

Nro analisis segun ENRESS	372	372	372	372	93	372	372
% CUMPL. REQUER. ENRESS	99,7	99,2	99,2	99,2	397	99,2	96,5

PRODUCCIÓN MONJE - LABORATORIO DE PLANTA

Se adjunta a modo de ejemplo las planillas de calidad de agua cruda del mes de Enero de 2019 registradas en el laboratorio de PPM.
Para el trabajo final se trabajo con los datos volcados en estos registros para el periodo de Enero de 2018 a diciembre de 2019.

**INFORME MENSUAL DE PARAMETROS DE CALIDAD
AGUA CRUDA**

01/19

<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>	<i>Turb</i> (UNT)	<i>pH</i> pH	<i>Cond</i> (uS/cm)	<i>Alc.</i> (uS/cm)	<i>Cl-</i> (mg/l)	<i>Color</i> (mg/l)	<i>Temp</i> °C
1 de ene de 19	1							
	2	40	7,6	300	43	49	15	28,4
	3							
	4	30	7,6	290	43	49	15	28,2
	5							
	6	28	7,3	320	44	50	20	27,0
	7							
	8	26	7,6	280	44	50	20	28,3
	9							
	10	25	7,6	280	44	50	20	28,4
	11							
	12	23	7,6	280	44	50	20	28,6
	13							
	14	23	7,3	310	43	51	20	27,5
	15							
	16	22	7,6	275	43	51	20	29,0
	17							
	18	20	7,6	275	43	51	20	29,1
	19							
	20	20	7,6	275	43	51	20	29,4
	21							
	22	24	7,3	300	42	53	20	28,1
	23							
	24	20	7,6	275	42	53	20	29,5
2 de ene de 19	1							
	2	22	7,6	270	42	53	20	29,3
	3							
	4	19	7,6	270	42	53	20	29,5
	5							
	6	20	7,3	310	45	50	20	27,8
	7							
	8	19	7,6	280	45	50	20	29,3
	9							
	10	17	7,6	285	45	50	20	29,2
	11							
	12	21	7,6	280	45	50	20	29,3
	13							
	14	22	7,4	305	42	47	20	28,1
	15							
	16	23	7,6	280	42	47	20	29,7
	17							
	18	23	7,6	280	42	47	20	30,0
	19							
	20	21	7,6	275	42	47	20	30,0
	21							
	22	30	7,6	290	41	49	20	29,2
	23							
	24	21	7,6	270	41	49	20	30,0
3 de ene de 19	1							
	2	20	7,6	260	41	49	20	30,0
	3							
	4	19	7,6	270	41	49	20	29,8
	5							
	6	25	7,7	300	44	50	20	28,3
	7							
	8	18	7,6	275	44	50	20	29,5
	9							
	10	19	7,6	270	44	50	20	29,4
	11							

Hoja1

	12	16	7,6	270	44	50	20	29,3
	13							
	14	20	7,9	300	40	48	20	27,8
	15							
	16	20	7,6	290	40	48	20	29,4
	17							
	18	24	7,6	280	40	48	20	29,3
	19							
	20	26	7,6	270	40	48	20	29,5
	21							
	22	45	7,7	290	44	53	20	28,5
	23							
	24	40	7,6	270	44	53	20	28,9
4 de ene de 19	1							
	2	40	7,6	260	44	53	20	28,8
	3							
	4	40	7,6	260	44	53	20	28,6
	5							
	6	45	7,8	290	40	48	20	27,7
	7							
	8	40	7,6	280	40	48	20	28,2
	9							
	10	35	7,6	280	40	48	20	27,9
	11							
	12	40	7,6	300	40	48	20	28,1
	13							
	14	55	7,8	315	42	51	20	27,8
	15							
	16	30	7,6	290	42	51	20	28,4
	17							
	18	30	7,6	280	42	50	20	28,4
	19							
	20	25	7,6	280	45	51	20	28,2
	21							
	22	27	7,7	300	43	54	20	27,1
	23							
	24	25	7,6	280	43	54	20	28,3
5 de ene de 19	1							
	2	20	7,6	270	43	54	20	28,2
	3							
	4	20	7,6	270	43	54	20	28,2
	5							
	6	22	7,8	295	42	49	20	26,6
	7							
	8	21	7,6	270	42	49	20	28,0
	9							
	10	22	7,6	270	42	49	20	27,9
	11							
	12	22	7,6	270	42	49	20	27,8
	13							
	14	25	7,8	290	44	50	20	26,7
	15							
	16	22	7,6	270	44	50	20	28,2
	17							
	18	22	7,6	270	44	50	20	28,1
	19							
	20	24	7,6	270	44	50	20	28,4
	21							
	22	37	7,7	285	43	53	20	27,6
	23							
	24	27	7,6	270	43	53	20	28,5
6 de ene de 19	1							
	2	25	7,6	270	43	53	20	28,6
	3							
	4	23	7,6	270	43	53	20	28,6
	5							
	6	32	7,9	295	41	48	20	27,5
	7							
	8	23	7,6	280	41	48	20	28,2

Hoja1

	9							
	10	23	7,6	285	41	48	20	28,0
	11							
	12	23	7,6	275	41	48	20	28,2
	13							
	14	30	7,8	290	42	49	20	27,6
	15							
	16	21	7,6	265	42	49	20	28,6
	17							
	18	21	7,6	265	42	49	20	28,6
	19							
	20	23	7,6	270	42	49	20	28,2
	21							
	22	24	7,7	300	45	49	20	27,0
	23							
	24	21	7,6	270	45	49	20	27,8
7 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	270	45	49	20	27,7
	3							
	4	27	7,6	260	45	49	20	27,7
	5							
	6	32	7,8	280	42	48	20	26,3
	7							
	8	40	7,6	270	42	48	20	27,6
	9							
	10	45	7,6	275	42	48	20	27,5
	11							
	12	45	7,6	270	42	48	20	27,5
	13							
	14	55	7,8	280	43	50	20	26,0
	15							
	16	55	7,6	265	43	50	20	27,6
	17							
	18	55	7,6	265	43	50	20	7,8
	19							
	20	55	7,6	265	43	50	20	20,0
	21							
	22	50	7,7	300	46	50	20	27,2
	23							
	24	50	7,6	280	46	50	20	28,0
8 de ene de 19	1							
	2	50	7,6	265	46	50	20	27,9
	3							
	4	50	7,6	260	46	50	20	27,8
	5							
	6	38	7,9	280	44	45	20	26,1
	7							
	8	40	7,6	255	44	45	20	27,7
	9							
	10	40	7,6	260	44	45	20	27,4
	11							
	12	36	7,6	260	44	45	20	27,5
	13							
	14	35	7,8	280	45	47	20	26,2
	15							
	16	33	7,6	260	45	47	20	27,9
	17							
	18	30	7,6	260	45	47	20	28,0
	19							
	20	30	7,6	260	45	47	20	28,0
	21							
	22	30	7,8	275	40	48	20	26,5
	23							
	24	29	7,6	255	40	48	20	28,0
9 de ene de 19	1							
	2	26	7,6	260	40	48	20	28,1
	3							
	4	26	7,6	265	40	48	20	28,1
	5							

Hoja1

	6	28	7,9	300	43	48	20	27,0
	7							
	8	25	7,6	300	43	48	20	28,1
	9							
	10	25	7,6	305	43	48	20	27,9
	11							
	12	25	7,6	305	43	48	20	27,9
	13							
	14	29	7,8	330	42	48	20	27,0
	15							
	16	30	7,6	300	42	48	20	27,8
	17							
	18	25	7,6	300	42	48	20	27,8
	19							
	20	23	7,6	305	42	48	20	27,9
	21							
	22	25	7,7	340	45	56	20	26,5
	23							
	24	25	7,6	310	45	56	20	27,8
10 de ene de 19	1							
	2	25	7,6	310	45	56	20	27,5
	3							
	4	28	7,6	310	45	56	20	27,5
	5							
	6	35	7,9	340	45	53	20	26,0
	7							
	8	40	7,6	315	45	53	20	27,4
	9							
	10	80	7,6	320	45	53	20	27,3
	11							
	12	75	7,6	315	45	53	20	27,3
	13							
	14	60	7,7	350	45	58	20	26,6
	15							
	16	55	7,6	315	45	58	20	27,1
	17							
	18	50	7,6	315	45	58	20	26,9
	19							
	20	50	7,6	315	45	58	20	26,6
	21							
	22	40	7,9	335	45	56	20	25,3
	23							
	24	45	7,6	305	45	56	20	26,3
11 de ene de 19	1							
	2	45	7,6	310	45	56	20	26,1
	3							
	4	45	7,6	300	45	56	20	25,8
	5							
	6	40	8,0	315	43	52	20	24,8
	7							
	8	45	7,6	285	43	52	20	25,5
	9							
	10	50	7,6	275	43	52	20	25,4
	11							
	12	60	7,6	265	43	52	20	25,6
	13							
	14	50	7,8	280	43	49	20	25,1
	15							
	16	70	7,6	255	42	49	20	25,8
	17							
	18	75	7,6	255	42	49	20	26,0
	19							
	20	80	7,6	250	42	49	20	26,1
	21							
	22	55	7,8	270	44	47	20	24,6
	23							
	24	55	7,6	270	44	47	20	26,0
12 de ene de 19	1							
	2	45	7,6	280	44	47	20	26,1

Hoja1

	3							
	4	50	7,6	280	44	47	20	26,1
	5							
	6	45	7,8	300	46	47	20	24,3
	7							
	8	50	7,6	275	46	47	20	26,0
	9							
	10	60	7,6	275	46	47	20	25,9
	11							
	12	60	7,6	275	46	47	20	25,9
	13							
	14	40	7,8	300	44	44	20	25,5
	15							
	16	40	7,6	270	44	44	20	26,3
	17							
	18	40	7,6	270	44	44	20	26,5
	19							
	20	35	7,6	270	44	44	20	26,7
	21							
	22	35	7,7	290	45	46	20	25,5
	23							
	24	30	7,6	270	45	46	20	27,0
13 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	270	45	46	20	26,9
	3							
	4	30	7,6	265	45	46	20	27,0
	5							
	6	35	7,8	295	44	44	20	26,0
	7							
	8	30	7,6	265	44	44	20	27,1
	9							
	10	27	7,6	265	44	44	20	27,0
	11							
	12	30	7,6	265	44	44	20	26,9
	13							
	14	45	7,7	280	44	45	20	25,9
	15							
	16	35	7,6	265	44	45	20	26,9
	17							
	18	35	7,6	265	44	45	20	26,9
	19							
	20	35	7,6	265	44	45	20	26,9
	21							
	22	40	7,8	290	46	48	20	25,5
	23							
	24	30	7,6	270	46	48	20	26,9
14 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	265	46	48	20	26,9
	3							
	4	30	7,6	265	46	48	20	26,9
	5							
	6	35	7,8	290	47	46	20	25,9
	7							
	8	30	7,6	270	47	46	20	27,0
	9							
	10	35	7,6	275	47	46	20	26,9
	11							
	12	30	7,6	280	47	46	20	26,9
	13							
	14	50	7,8	300	45	49	20	26,7
	15							
	16	30	7,6	280	45	49	20	27,4
	17							
	18	30	7,6	280	45	49	20	27,4
	19							
	20	30	7,6	280	45	49	20	27,2
	21							
	22	40	7,9	300	46	50	20	26,1
	23							

Hoja1

15 de ene de 19	24	35	7,6	280	46	50	20	27,2	
	1								
	2	35	7,6	280	46	58	20		
	3								
	4	30	7,6	285	46	58	20		
	5								
	6	PLANTA PARADA							
	7	PLANTA PARADA							
	8	PLANTA PARADA							
	9								
	10	30	7,6	285	49	59	20		
	11								
	12	30	7,6	290	49	59	20		
	13								
	14	40	7,9	310	47	49	20		
	15								
	16	30	7,6	290	47	49	20		
	17								
	18	30	7,6	290	47	49	20		
	19								
	20	30	7,6	290	47	49	20		
	21								
	22	30	7,9	315	47	55	20		
	23								
24	35	7,6	290	47	55	20			
16 de ene de 19	1								
	2	35	7,6	290	47	55	20	27,0	
	3								
	4	35	7,6	280	47	55	20	27,0	
	5								
	6	40	7,9	305	48	57	20	25,7	
	7								
	8	35	7,6	270	48	57	20	27,0	
	9								
	10	35	7,6	270	48	57	20	27,0	
	11								
	12	35	7,6	270	48	57	20	27,2	
	13								
	14	35	7,9	300	48	50	20	25,7	
	15								
	16	35	7,6	270	48	50	20	27,2	
	17								
	18	35	7,6	270	48	50	20	27,4	
	19								
	20	35	7,6	270	48	50	20	27,7	
	21								
	22	30	7,8	290	49	48	20	26,9	
	23								
	24	35	7,6	270	49	48	20	27,9	
17 de ene de 19	1								
	2	35	7,6	270	48	49	20	27,9	
	3								
	4	35	7,6	270	48	49	20	27,9	
	5								
	6	30	7,8	290	50	50	20	26,9	
	7								
	8	30	7,6	275	50	50	20	28,0	
	9								
	10	30	7,6	275	50	50	20	27,7	
	11								
	12	30	7,6	275	50	50	20	27,6	
	13								
	14	29	7,9	310	48	50	20	26,5	
	15								
	16	30	7,6	280	48	50	20	27,7	
	17								
	18	30	7,6	280	48	50	20	27,5	
	19								
	20	30	7,6	280	48	50	20	27,1	

Hoja1

	21							
	22	30	7,9	300	50	47	20	24,3
	23							
	24	40	7,6	280	50	47	20	26,6
18 de ene de 19	1							
	2	45	7,6	270	50	47	20	26,4
	3							
	4	50	7,6	265	50	47	20	26,2
	5							
	6	60	7,8	260	48	39	20	24,1
	7							
	8	50	7,6	260	48	39	20	25,8
	9							
	10	60	7,6	270	48	39	20	25,8
	11							
	12	85	7,6	290	48	39	30	25,7
	13							
	14	80	7,9	300	48	49	30	24,8
	15							
	16	80	7,6	270	48	48	20	25,6
	17							
	18	90	7,6	255	48	49	20	25,6
	19							
	20	90	7,6	250	48	49	20	25,5
	21							
	22	70	90,0	270	50	49	30	24,4
	23							
	24	80	7,6	260	50	49	30	25,2
19 de ene de 19	1							
	2	80	7,6	270	50	49	30	25,2
	3							
	4	75	7,6	280	50	49	30	25,0
	5							
	6	70	7,8	310	55	49	30	25,5
	7							
	8	70	7,6	290	55	49	30	24,7
	9							
	10	70	7,6	285	55	49	30	24,8
	11							
	12	80	7,6	280	55	49	30	25,0
	13							
	14	55	8,1	300	49	48	30	24,5
	15							
	16	55	7,6	275	49	48	30	25,3
	17							
	18	50	7,6	275	49	48	30	25,5
	19							
	20	50	7,6	280	49	48	30	25,7
	21							
	22	40	8,0	300	46	50	30	24,5
	23							
	24	45	7,6	280	46	50	30	25,5
20 de ene de 19	1							
	2	40	7,6	280	46	50	30	25,8
	3							
	4	40	7,6	275	46	50	30	25,4
	5							
	6	36	7,8	300	48	39	30	24,9
	7							
	8	40	7,6	270	48	39	30	25,4
	9							
	10	35	7,6	270	48	39	30	25,4
	11							
	12	30	7,6	270	48	39	30	25,4
	13							
	14	35	7,9	305	48	47	30	25,2
	15							
	16	35	7,6	290	48	47	30	25,9
	17							

Hoja1

	18	35	7,6	290	48	47	30	25,9
	19							
	20	35	7,6	290	48	47	30	25,3
	21							
	22	35	7,9	300	49	45	30	26,0
	23							
	24	30	7,6	280	49	45	30	26,2
21 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	275	49	45	30	26,3
	3							
	4	30	7,6	280	49	45	30	26,3
	5							
	6	33	7,7	300	48	39	30	25,2
	7							
	8	30	7,6	280	48	39	30	26,1
	9							
	10			PLANTA PARADA				
	11							
	12	30	7,6	280	48	39	30	26,1
	13							
	14	29	7,8	300	50	47	30	25,0
	15							
	16	30	7,6	270	50	47	30	26,4
	17							
	18	30	7,6	270	50	47	30	26,7
	19							
	20	30	7,6	275	50	47	30	26,8
	21							
	22	29	7,8	300	48	48	30	25,6
	23							
	24	30	7,6	280	48	49	30	27,0
22 de ene de 19	1							
	2	26	7,6	270	48	49	30	27,0
	3							
	4	30	7,6	270	48	49	30	27,0
	5							
	6	30	7,7	290	48	49	30	26,1
	7							
	8	30	7,6	270	48	49	30	27,0
	9							
	10	30	7,6	270	48	49	30	27,0
	11							
	12	30	7,6	280	48	49	30	27,0
	13							
	14	30	7,9	310	47	43	30	26,0
	15							
	16	30	7,6	285	47	43	30	27,2
	17							
	18	30	7,6	285	47	43	30	27,4
	19							
	20	30	7,6	290	47	43	30	27,6
	21							
	22	30	7,9	310	49	45	30	26,9
	23							
	24	25	7,6	295	49	45	30	27,9
23 de ene de 19	1							
	2	25	7,6	280	49	45	30	27,7
	3							
	4	25	7,6	270	49	45	30	27,8
	5							
	6	26	7,8	290	45	46	30	26,5
	7							
	8	24	7,6	275	45	46	30	27,8
	9							
	10	24	7,6	280	45	46	30	27,7
	11							
	12	25	7,6	280	45	46	30	27,5
	13							
	14	25	8,1	280	45	44	30	26,8

Hoja1

	15							
	16	25	7,6	265	45	44	30	27,4
	17							
	18	25	7,6	265	45	44	30	27,5
	19							
	20	25	7,6	270	45	44	30	27,4
	21							
	22	25	7,9	280	47	45	30	26,7
	23							
	24	25	7,6	270	47	45	30	27,5
24 de ene de 19	1							
	2	25	7,6	270	47	45	30	27,1
	3							
	4	30	7,6	265	47	45	30	27,3
	5							
	6	40	7,8	300	46	48	30	26,3
	7							
	8	50	7,6	290	46	48	30	27,1
	9							
	10	45	7,6	290	46	48	30	27,0
	11							
	12	45	7,6	290	46	48	30	27,1
	13							
	14	40	7,9	265	47	42	30	26,2
	15							
	16	40	7,6	260	47	42	30	27,3
	17							
	18	40	7,6	255	47	42	30	27,6
	19							
	20	40	7,6	265	47	42	30	27,5
	21							
	22	40	7,8	260	45	45	30	26,2
	23							
	24	35	7,6	265	45	45	30	27,8
25 de ene de 19	1							
	2	30	7,6	260	45	45	30	27,8
	3							
	4	30	7,6	260	45	45	30	27,7
	5							
	6	29	7,8	270	45	46	20	26,7
	7							
	8	29	7,6	250	45	46	20	27,7
	9							
	10	28	7,6	250	45	46	20	27,2
	11							
	12	29	7,6	250	45	46	20	27,8
	13							
	14	28	7,8	270	45	42	20	26,7
	15							
	16	30	7,9	255	45	42	20	27,6
	17							
	18	30	7,9	255	45	42	20	27,4
	19							
	20	40	7,9	260	45	42	20	27,4
	21							
	22	40	7,9	280	46	43	20	26,7
	23							
	24	40	7,9	270	46	43	20	27,5
26 de ene de 19	1							
	2	35	7,8	265	46	43	20	27,5
	3							
	4	40	7,9	265	46	43	20	27,4
	5							
	6	40	7,8	280	45	46	20	25,7
	7							
	8	50	7,8	260	45	46	20	26,9
	9							
	10	55	7,8	260	45	46	20	27,0
	11							

Hoja1

	12	60	7,9	250	45	46	20	26,9
	13							
	14	50	7,8	270	45	42	20	25,9
	15							
	16	55	7,8	255	45	42	20	27,0
	17							
	18	50	7,8	265	45	42	20	27,0
	19							
	20	50	7,8	265	45	42	20	27,0
	21							
	22	50	7,7	280	45	39	20	26,6
	23							
	24	50	7,7	260	45	39	20	26,9
27 de ene de 19	1							
	2	50	7,7	260	45	39	20	26,9
	3							
	4	50	7,7	260	45	39	20	26,9
	5							
	6	40	7,7	270	46	46	20	25,6
	7							
	8	45	7,8	255	46	46	20	26,8
	9							
	10	40	7,8	255	46	46	20	26,9
	11							
	12	40	7,8	255	46	46	20	26,9
	13							
	14	30	7,8	280	47	41	20	26,4
	15							
	16	30	7,8	260	47	41	20	27,4
	17							
	18	30	7,8	260	47	41	20	27,5
	19							
	20	30	7,8	260	47	41	20	27,8
	21							
	22	30	7,7	280	46	44	20	27,5
	23							
	24	30	7,8	260	46	44	20	27,9
28 de ene de 19	1							
	2	30	7,7	260	46	44	20	27,8
	3							
	4	30	7,7	260	46	44	20	28,0
	5							
	6	26	7,7	280	46	50	20	26,1
	7							
	8	25	7,8	260	46	50	20	28,1
	9							
	10	24	7,7	260	46	50	20	27,9
	11							
	12	24	7,7	260	46	50	20	28,1
	13							
	14	25	7,7	280	43	45	20	27,0
	15							
	16	24	7,7	265	43	45	20	28,6
	17							
	18	24	7,8	270	43	45	20	28,9
	19							
	20	24	7,7	270	43	45	20	29,2
	21							
	22	26	7,8	290	51	49	20	28,5
	23							
	24	24	7,8	270	51	49	20	29,3
29 de ene de 19	1							
	2	23	7,8	275	51	49	20	29,3
	3							
	4	22	7,8	280	51	49	20	29,2
	5							
	6	24	7,7	300	50	49	20	27,7
	7							
	8	21	7,7	280	50	49	20	28,8

Hoja1

	9							
	10	23	7,7	280	50	49	20	28,9
	11							
	12	27	7,7	295	50	49	20	29,0
	13							
	14	24	7,8	310	48	49	20	27,7
	15							
	16	23	7,8	290	48	49	20	29,4
	17							
	18	22	7,7	285	48	49	20	29,6
	19							
	20	22	7,7	285	48	49	20	29,6
	21							
	22	24	7,5	310	53	49	20	28,7
	23							
	24	21	7,7	290	53	49	20	29,7
30 de ene de 19	1							
	2	21	7,5	290	53	49	20	29,8
	3							
	4	21	7,6	290	53	49	20	29,9
	5							
	6	22	7,6	315	53	49	20	28,4
	7							
	8	20	7,6	290	53	49	20	29,6
	9							
	10	18	7,6	290	53	49	20	29,6
	11							
	12	20	7,6	290	53	49	20	29,4
	13							
	14	21	7,8	310	49	48	20	28,1
	15							
	16	20	7,7	295	49	48	20	29,3
	17							
	18	20	7,6	295	49	48	20	29,2
	19							
	20	20	7,7	295	49	48	20	29,2
	21							
	22	22	7,7	320	50	49	20	28,3
	23							
	24	19	7,7	290	50	49	20	29,2
31 de ene de 19	1							
	2	19	7,8	290	50	49	20	29,1
	3							
	4	19	7,8	290	50	49	20	29,0
	5							
	6	21	7,8	320	51	54	20	27,6
	7							
	8	20	7,6	300	51	54	20	28,8
	9							
	10	20	7,6	300	51	54	20	28,6
	11							
	12	20	7,6	305	51	54	20	28,9
	13							
	14	21	7,8	325	49	51	20	27,0
	15							
	16	19	7,7	300	49	51	20	29,1
	17							
	18	19	7,7	300	49	51	20	29,3
	19							
	20	18	7,7	300	49	51	20	29,3
	21							
	22	22	7,7	330	52	51	20	27,9
	23							
	24	19	7,7	300	52	51	20	29,2
	PROMEDIO	35	7,9	281	46	48	22	27
	DESV STD	14	4,3	18	3	4	4	2
	MAX	90	90,0	350	55	59	30	30

MIN	16	7,3	250	40	39	15	8
-----	----	-----	-----	----	----	----	---

Limite tol. en agua de natural	*	*	*	*	*	*	*
nro dias	31						
	Turb	pH	Cond	Alc.	Cl-	Color	Temp
Analisis realizados	371	369	369	369	369	369	359
Analisis conformes	371	369	369	369	369	369	359
% CONFORMES REALIZADOS	100	100	100	100	100	100	100

Nro analisis segun ENRESS	372	372	372	372	93	372	372
% CUMPL. REQUER. ENRESS	99,7	99,2	99,2	99,2	397	99,2	96,5

Anexo III

Resultados de análisis fisicoquímicos de agua cruda, decantada y tratada en PPR, año 2020.

26-02-20 Hora 15:00	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,37	7,25	6,37	6,27		6,6		8,81
Turb L (NTU)	416	380	2,21	0,289		0,302		0,345
Cond L (uS/cmm)	209	213	230	231		232		252
Temp. L (C)	26,6	26,2	26,1	26,2		26,4		26,7
Color (PtCo)	62		16	1		ND		ND
Alcalinidad (ppm)	42	42						32
Dioxido de cloro (ppm)		0,095				0,057		0,076
Clorito de Na (ppm)						ND		ND
Materia Orgánica (SUVA)	8,03	7,52				0,73		0,92
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	92	-	1	786	1,4	4,1	1,16	1,2%

Equipo preparación dióxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)	1178
Clorito de Na (ppm)	ND

03-03-20 Hora 15hs	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,38	7,22	6,35	6,38		6,57		8,2
Turb L (NTU)	457	420	1,89	0,191		0,181		0,23
Cond L (uS/cmm)	198	201	217	221		220		242
Temp. L (C)	26	26	26	26		26		26
Color (PtCo)	45		17	4		3		3
Alcalinidad (ppm)	50							36
Dioxido de cloro (ppm)		0,13						0,057
Clorito de Na (ppm)								ND
Materia Orgánica (SUVA)	12,5	9,8				1		1
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	94		1	910	1,2	3,9	1,64	1,2%

16-03-20 Hora 11:30	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,56	7,43	6,6	6,65		6,72		9,1
Turb L (NTU)	319	364	2,34	0,38		0,345		0,266
Cond L (uS/cmm)	196	199	216	217		205		238
Temp. L (C)	24,8	24,7	24,5	24,1		24,4		24,4
Color (PtCo)	30		15	3		3		3
Alcalinidad (ppm)	44	44						36
Dioxido de cloro (ppm)		0,209				0,095		0,057
Clorito de Na (ppm)						ND		ND
COT (mg/l)	5,5		0,4			1,9		2,4
Materia Orgánica (SUVA)	7,97		0,8			0,42		0,63
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	76	-	1	799	1,2	3,5	1,79	1,20%

Equipo preparación dióxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)	1463
Clorito de Na (ppm)	ND

20-04-20 Hora 12	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH EL	8	7,6	6,8					8,6
pH L	7,98	7,71	6,58	6,68		6,82		8,5
Turb EL (NTU)	537		1,4					0,2
Turb L (NTU)	724	718	1,5	0,575		0,34		0,34
Cond EL (uS/cmm)		232						245
Cond L (uS/cmm)	202	204	246	248		248		273
Temp. EL (C)		24	23					26
Temp. L (C)	24	24	24	24		24		24
Color (PtCo)			13	4		4		4
Alcalinidad (ppm)	48							34

Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	98		1,2	750		3,1	1,66	1,20%

Hora 12:30 27-04-20	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,99	7,81	6,6	6,63		6,78		8,93
Turb L (NTU)	496	396	1,73	0,499		0,522		0,338
Cond L (uS/cmm)	200	216	213	220		215		234
Temp. L (C)	24	24	23,7	23,7		23,4		23,7
Color (PtCo)	44		14	3		3		1
Alcalinidad (ppm)	42							38
Dioxido de cloro (ppm)			0,038	0,19				0,038
Clorito de Na (ppm)			ND	ND				ND
Materia Orgánica (SUVA)	10,6		1,12	1,5				0,7

Caudal de agua cruda 1300 m³/h

Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Dioxido de Cloro cabecera (ppm)	Dioxido de Cloro ingreso filtros (ppm)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)
Dosis de químicos	83	-	1,2	761	0,6	0,2	-	3,3

Equipo preparación dióxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)	1900
Clorito de Na (ppm)	ND

Hora 12:00 11-05-20	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,73	7,71	5,28	6,44				8,75
Turb L (NTU)	142	159	1,91	0,695		0,768		0,295
Cond L (uS/cmm)	209	210	229	230		231		227
Temp. L (C)	22,9	22,7	23,7	23,5		23,8		23,9
Color (PtCo)	25		13	3		3		ND
Alcalinidad (ppm)	38							26
Dioxido de cloro (ppm)			-	0,144				0,038
Clorito de Na (ppm)			ND	ND				ND
Materia Orgánica (SUVA)	5,43		1,5	1,1				0,65
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	75	-		200	-	3,3	1,64	1,20%

Equipo preparación dióxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)	1501
Clorito de Na (ppm)	ND

14-05-20 Hora 12:00	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,78	7,76	6,62	6,6		6,87		8,821
Turb L (NTU)	222	176	1,68	0,359		0,361		0,247
Cond L (uS/cmm)	215	217	223	224		225		247
Temp. L (C)	22,4	21,5	21,7	21,7		21,7		22,1
Color (PtCo)	25		10	ND		ND		ND
Alcalinidad (ppm)	36	-						26
Dioxido de cloro (ppm)			-	-				-
Clorito de Na (ppm)			-					-
Materia Orgánica (SUVA)	5,89		1,2	0,85				0,75
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	75	-	-	-	-	2,6	1,56	1,20%

Equipo preparación dióxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)
Clorito de Na (ppm)

18-05-20 Hora 12:00	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,7	7,72	6,5	6,5		6,7		8,5
Turb L (NTU)	159	160	1,55	0,37		0,515		0,321
Cond L (uS/cmm)	205	205	216	219		219		234
Temp. L (C)	24	24	24	24		24		24
Color (PtCo)	24		11	2		2		2
Alcalinidad (ppm)	40							34
Dioxido de cloro (ppm)								
Clorito de Na (ppm)								
Materia Orgánica (SUVA)	5,6		1,19	0,95				0,52
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	85	-		-	-			1,20%

Equipo preparación dióxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)
Clorito de Na (ppm)

21-05-20 Hora 12:00	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,7	7,72	6,5	6,51		6,7		8,64
Turb L (NTU)	156	160	1,44	0,413		0,378		0,343
Cond L (uS/cmm)	217	217	227	228		228		236
Temp. L (C)	22	22	22	22		22		22
Color (PtCo)	25		11	2		2		2
Alcalinidad (ppm)	40							32
Dioxido de cloro (ppm)								
Clorito de Na (ppm)								
Materia Orgánica (SUVA)	6,3		0,96	0,89				0,47
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	85	-		-	-	3,4	1,6	1,20%

Equipo preparación dióxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)
Clorito de Na (ppm)

16-06-20 Hora 12:00	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,32	7,26	6,25	6,45		6,4		8,8
Turb L (NTU)	64	62,6	2,3	0,9		0,5		0,261
Cond L (uS/cmm)	152	153	165	168		168		181
Temp. L (C)	19	19	19	19		19		19
Color (PtCo)	43		16	4		2		1
Alcalinidad (ppm)	32							26
Dioxido de cloro (ppm)				0,076				0,28
Clorito de Na (ppm)								ND
Materia Orgánica (SUVA)	2,75		0,94			0,94		0,34
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	65	-	-	314	-	3,08	1,45	1,20%

(0,3ppm ingreso; 0,2ppm sal sed)

Equipo preparación dioxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)
Clorito de Na (ppm)

22-06-20 Hora 12:00	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH L	7,37	7,29	6,29	6,37		6,5		8,67
Turb L (NTU)	56,6	55	1,43	0,366		0,396		0,291
Cond L (uS/cmm)	162	160	169	170		170		190
Temp. L (C)	21,9	21,7	22,7	22		21,5		21,7
Color (PtCo)	68		10	ND		ND		ND
Alcalinidad (ppm)	32							24
Dioxido de cloro (ppm)				0,076				0,057
Clorito de Na (ppm)								ND
Materia Orgánica (SUVA)	2,05		1,15			0,52		0,54
Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)
Dosis de químicos	70	-	-	319	-	3,08	1,78	1,20%

(0,3ppm ingreso; 0,2ppm sal sed)

Equipo preparación dioxido de cloro

Dioxido de cloro (ppm)
Clorito de Na (ppm)

19-08-20 Hora	CRUDA SIN ClO ₂ (1)	CABECERA (2)	SALIDA SEDIMENTAD (5)	SALIDA DE FILTROS		INGRESO A CISTERNA		EBAP (8)
				Norte (6a)	Sur (6b)	Norte (7a)	Sur (7b)	
pH	7,1		6,4					8,8
Turb (NTU)	35		1,3	0,05				0,10
Cond (uS/cmm)	150							153
Temp (C)	18							
Color (PtCo)	25							<2
Alcalinidad (ppm)	34							28
MO (cm-1)								
Al (ppm)								-
Fe (ppm)								-
Mn (ppm)	<0.03							
ClO ₂		0,10						0,10
ClO ₂ -								<0.05

Condiciones:	Sulfato de Al. (ppm)	PAC (ppm)	Poliamina (ppm)	Dioxido de Cloro (l/h)	Cloro gas (filtros) (kg/h)	Cloro gas (cisterna) (kg/h)	Cloro Libre cisterna (ppm)	Cal (cisterna) (%)	pH cisterna
Dosis de químicos	60	-	-	371	-	2,5	1,8	1,20%	9,06

caudal

1260 m³/h