

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua destinada al consumo humano es un factor determinante para la salud pública y el bienestar de las comunidades. En la Mancomunidad El Cerro, que abastece a varios municipios, se han identificado problemáticas significativas relacionadas con la presencia de hierro, trihalometanos (THM) y arsénico, superando en algunos casos los valores máximos permitidos por la normativa vigente. Estas condiciones, sumadas a deficiencias operativas como la ausencia de medición en continuo, el control inadecuado de la dosificación de desinfectantes y la falta de limpieza periódica en los depósitos, requieren la implementación de acciones correctivas y preventivas. Este estudio analiza el funcionamiento actual del sistema de abastecimiento, expone las causas y riesgos asociados a los contaminantes presentes, y propone un plan integral de tratamiento, monitoreo y gestión para garantizar un suministro seguro y confiable.

La gestión eficaz de la calidad del agua no solo implica la instalación de tecnologías de tratamiento adecuadas, sino también el fortalecimiento de las capacidades técnicas del personal operador, la implementación de sistemas de control en tiempo real y el cumplimiento riguroso de las normas sanitarias. De esta manera, se busca no solo corregir las fallas existentes, sino también prevenir la reincidencia de las problemáticas, asegurando que el agua distribuida cumpla con los parámetros físicoquímicos y microbiológicos exigidos, y protegiendo así la salud de la población a corto y largo plazo.

En este contexto, la evaluación y selección de sistemas de generación de hipoclorito de sodio in situ surge como una solución estratégica para optimizar la desinfección del agua, reducir los riesgos asociados al transporte y manejo de químicos peligrosos, y garantizar una dosificación precisa y continua del desinfectante. La incorporación de tecnologías modernas ofrecidas por distintos proveedores permitirá comparar su capacidad de producción, consumo de recursos y beneficios operativos, con el fin de implementar la alternativa más eficiente y segura para la Mancomunidad El Cerro.

RESUMEN

El presente estudio empieza por un repaso general del funcionamiento actual del sistema hidráulico en la Mancomunidad El Cerro; se proporciona información relevante acerca de la cantidad de municipios abastecidos actualmente, esquema de tratamiento realizado en la ETAP, volúmenes que se manejan, cantidad de usuarios a abastecer y algunas problemáticas detectadas en el agua asociadas principalmente a la presencia de altos niveles de agentes contaminantes, tales como hierro, trihalometanos (THM) y arsénico. En seguida, se procede a detallar las causas y posibles estrategias de solución para cada una de las problemáticas mencionadas. Al finalizar, recopilando y consolidando toda la información pertinente, se establece un plan de acción como alternativa de solución a las dificultades generadas en torno a la calidad del agua de la Mancomunidad. Dicho plan contiene la siguiente estructura: evaluación inicial, diseño del sistema de tratamiento, monitoreo y control de calidad, capacitación y mantenimiento, educación y concientización, y evaluación y mejora continua.

1. FUNCIONAMIENTO ACTUAL

Actualmente, el abastecimiento de agua en El Llano funciona con dos sistemas: el casco urbano se suministra desde la Mancomunidad El Cerro, recibiendo agua tratada que llega a un depósito de 3.000 m³ y desde allí se bombea a otro de 1.500 m³ para la zona alta, abasteciendo a 11.000 habitantes mediante una red única; sin embargo, presenta deficiencias como la ausencia de caudalímetros, dosificación manual y desorganizada de hipoclorito sódico sin medición en continuo, controles de cloro residuales aleatorios y presencia de trihalometanos por encima de la normativa sin acciones correctivas. Por su parte, la Urbanización El Parral se abastece de una captación subterránea que llena un depósito de 500 m³, solo recibe desinfección con hipoclorito y en época estival se han detectado concentraciones de arsénico entre 12-15 ppm, superando el valor paramétrico, sin tratamientos específicos ni medición de caudal suministrado.

1.1. DATOS DE LA MANCOMUNIDAD EL CERRO

La Mancomunidad El Cerro capta agua superficial desde un embalse, presentando como principal problema los valores elevados de hierro durante los periodos estivales, cuando el nivel del agua embalsada disminuye, situación que ha provocado episodios de incumplimiento en la calidad del agua suministrada.

El tratamiento del agua se realiza en una ETAP con un caudal nominal de 700 m³/h, que incluye procesos de oxidación con hipoclorito sódico, mezcla rápida y lenta con dosificación de sulfato de alúmina y almidón, decantación lamelar, filtración en cuatro filtros de arena abiertos y desinfección final con hipoclorito sódico. El agua tratada se almacena en un depósito conformado por dos vasos de 5.000 m³ de capacidad cada uno. Actualmente, el equipo de medición de caudal diario tratado se encuentra averiado, por lo que no se registran datos precisos de volúmenes tratados.

La distribución en alta se realiza mediante dos redes diferenciadas. La primera abastece a la provincia Norte a través de un depósito de 12.000 m³, desde donde se suministra agua a siete municipios, incluido El Llano, que es el de mayor población con 12.200 habitantes. En total, esta red abastece a 28.000 habitantes. La segunda red suministra agua a la provincia Sur mediante un depósito de 2.000 m³, abasteciendo a cinco municipios que en conjunto cuentan con 4.500 habitantes.

El control de la cloración se lleva a cabo en los depósitos mancomunados, pero la gestión de los depósitos municipales corresponde a cada ayuntamiento, lo que ha generado discrepancias en los valores de desinfectante residual. Además, se han presentado incidencias relacionadas con la presencia de trihalometanos en el agua de algunos municipios. Finalmente, cabe resaltar que los depósitos mancomunados no se han limpiado en los últimos cinco años, y se desconoce si los depósitos municipales han recibido algún tipo de limpieza en ese periodo.



Fuente: Tomado del documento "Reto" dado por la entidad

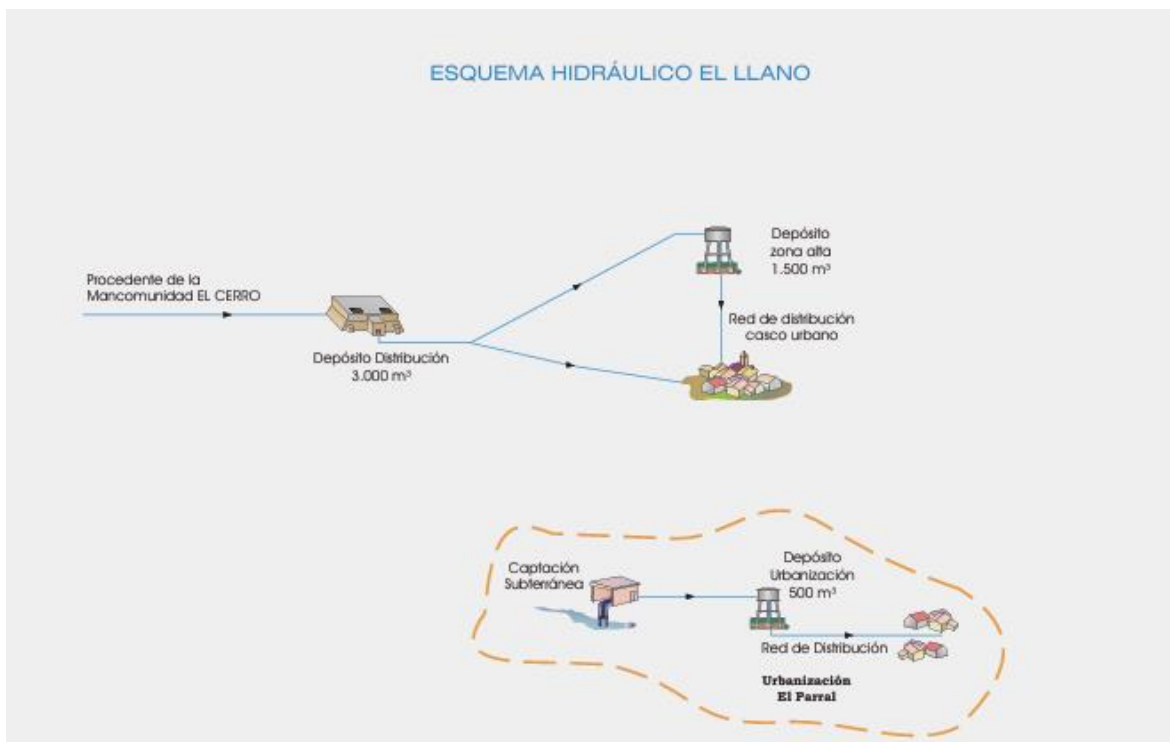
La Mancomunidad El Cerro solicita las siguientes acciones:

Se elabore dentro del Protocolo de Autocontrol y Gestión del abastecimiento mancomunado, el plan de control analítico definiendo las infraestructuras asociadas a cada una de las zonas de abastecimiento. Los planes de muestreo incluyen los controles analíticos de las infraestructuras de la Mancomunidad, cada municipio deberá realizar los controles en sus depósitos municipales y redes de distribución, pero no serán de la competencia de la Mancomunidad El Cerro.

Se desarrolle un plan de acción de cara a paliar la problemática con los valores elevados de Hierro en la captación y los valores de Trihalometanos detectados en las redes de distribución municipales que provocan que se superen los Valores paramétricos establecido en normativa y generan incidencias en el abastecimiento.

1.2.DATOS DEL MUNICIPIO EL LLANO

El municipio se abastece desde la Mancomunidad El Cerro mediante un depósito de 3.000 m³ que bombea parte del caudal a otro de 1.500 m³ para la zona alta, atendiendo a 11.000 habitantes del casco urbano. Se han detectado trihalometanos por encima del valor normativo sin que se hayan tomado medidas correctivas. La Urbanización El Parral se abastece de una captación subterránea que llena un depósito de 500 m³, solo con desinfección por hipoclorito sódico, y en época estival presenta niveles de arsénico entre 12-15 ppb, superiores al límite permitido, lo que requiere soluciones para evitar declarar el agua no apta para consumo humano.



Fuente: Tomado del documento "Reto" dado por la entidad

No se dispone de datos de caudal suministrado en todo el municipio ya que los depósitos municipales no cuentan con caudalímetros de control de llenado ni de salida del depósito por lo que se utiliza la dotación de 200 l/habitante/día indicado en normativa.

El control de la cloración se realiza de forma aleatoria por parte del encargado municipal en la red y no todos los días ya que la dosificación de Hipoclorito sódico se lleva a cabo de forma desorganizada puesto que no existe medición en continuo en los depósitos municipales, se suben o bajan las dosificadoras a medida que se hacen las mediciones. →

El Ayuntamiento de El Llano solicita las siguientes acciones:

- Se elabore el Protocolo de Autocontrol y Gestión del abastecimiento del municipio con el plan de muestreo a llevar a cabo en ambos núcleos (casco urbano y urbanización).
- Se indiquen las medidas operacionales a implementar en el abastecimiento para mejorar el sistema en el suministro al casco urbano de El Llano.
- Se plantee una solución a la problemática con la calidad del agua en la Urbanización del Parral debido al arsénico.

**2. ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN A LAS PROBLEMÁTICAS DEL AGUA
POR PRESENCIA DE ALTOS NIVELES DE HIERRO Y THM EN LA
MANCOMUNIDAD EL CERRO**

2.1. PROBLEMÁTICA DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN EL AGUA

Los metales pesados son elementos de alta densidad que, en concentraciones elevadas, resultan tóxicos y se acumulan en el organismo sin eliminarse fácilmente. Entre los más comunes en el agua de consumo están mercurio, níquel, cobre, plomo, cromo, hierro, arsénico y cadmio. Su presencia puede deberse a causas naturales, cuando el agua atraviesa suelos ricos en metales, o a actividades humanas como la minería, la industria, el vertimiento de aguas residuales, lixiviados y el uso de plaguicidas en zonas agrícolas. (Vigo, 2017)

2.1.1. MEDICIÓN DE LOS NIVELES DE HIERRO EN EL AGUA

Para mitigar el problema de hierro en El Cerro, primero se deben medir sus concentraciones mediante un plan de monitoreo que incluya la toma de muestras en la captación y a la salida de la ETAP. Esto permitirá conocer los niveles antes y después del tratamiento y facilitar la toma de decisiones, como ajustar las dosificaciones o implementar nuevos procesos para cumplir la normativa.

Existen varios métodos para medir hierro en el agua: kits de prueba con reactivos que cambian de color según la concentración, espectrofotometría, que requiere equipos y conocimientos técnicos, y análisis de laboratorio con técnicas como espectrometría de absorción atómica o de masas. También pueden emplearse medidores electrónicos portátiles o realizar un análisis físicoquímico completo, que evalúa parámetros como pH, turbidez y metales pesados. Antes de aplicar cualquier método, es fundamental seguir las instrucciones, evitar interferencias de otros compuestos y cumplir con las normas de seguridad en la manipulación de muestras.

2.1.2. ¿CÓMO REDUCIR LOS NIVELES DE HIERRO EN EL AGUA?

La reducción del hierro en el agua de la ETAP de El Cerro requiere primero medir su concentración para elegir el tratamiento adecuado. Entre las opciones más efectivas están:

- **Oxidación y aireación:** convierten el hierro ferroso en férrico, menos soluble y fácil de eliminar mediante procesos posteriores de sedimentación o filtración. Las torres de aireación son una alternativa eficiente, económica y de bajo mantenimiento.
- **Coagulación y floculación:** tras la oxidación, se agregan coagulantes para formar flóculos que luego se eliminan por sedimentación.
- **Filtración:** mediante filtros de arena, grava o carbón activado, que retienen el hierro residual.

- **Intercambio iónico:** adecuado para concentraciones bajas, utiliza resinas que atrapan los iones de hierro y requieren regeneración periódica.
- **Tratamiento biológico:** emplea bacterias que oxidan el hierro de forma natural, siendo una opción sostenible, aunque más lenta.
- **Desinfección posterior:** evita la proliferación de bacterias relacionadas con el hierro.
- **Monitoreo y control continuo:** necesario para ajustar procesos y garantizar la calidad del agua tratada.

La elección del método o combinación de ellos depende de la concentración de hierro, el pH y otros contaminantes presentes, así como de los recursos disponibles para infraestructura y operación. (Instruments, 2024)

2.1.3. PRECAUCIONES PARA REDUCIR LA EXPOSICIÓN A LOS METALES PESADOS

Para reducir la exposición a metales pesados en el agua, se recomienda dejar correr el grifo antes de beber si no se ha usado en varias horas, evitar consumir agua caliente del grifo, aislar adecuadamente conducciones y manantiales para prevenir contaminación por lixiviados o plaguicidas, sustituir tuberías si contienen metales pesados y asegurar que manantiales o pozos estén lejos de vertederos o aguas residuales. (VIGO, 2017)

2.2. PROBLEMÁTICA DE LA PRESENCIA DE TRIHALOMETANOS EN EL AGUA

Los subproductos de la desinfección (SPD) son compuestos formados al desinfectar el agua, entre ellos los trihalometanos (THM), generados cuando el cloro reacciona con la materia orgánica. Los principales THM en el agua potable son cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo. Aunque la cloración es esencial para prevenir enfermedades, también produce estos compuestos cuya cantidad depende del cloro añadido, la materia orgánica, bromuros, pH y temperatura. Los THM pueden ingresar al cuerpo por ingestión, inhalación o absorción dérmica, y su exposición elevada se asocia con posibles efectos adversos para la salud, como riesgo de cáncer y problemas reproductivos. (Publica, 2024)

2.2.1. FACTORES QUE AFECTAN LA PRESENCIA DE THM

La formación de trihalometanos (THM) en el agua depende de factores como la cantidad de materia orgánica, el desinfectante usado, el tiempo de contacto, la temperatura, el pH, la alcalinidad, la dureza del agua y la concentración de cloro libre. También influye la interacción con otros contaminantes, como compuestos nitrogenados. Un mayor contenido de materia orgánica, cloro y tiempo de contacto favorece la formación de THM, mientras que un pH alto y mayor alcalinidad pueden reducirla. Controlar estos factores mediante estrategias de tratamiento permite minimizar la presencia de THM y proteger la salud pública cumpliendo la normativa.

2.2.2. MÉTODOS PARA LA REDUCCIÓN DE THM EN EL AGUA

Para disminuir la formación de trihalometanos (THM) en el agua potable, es importante reducir la materia orgánica antes de la desinfección mediante coagulación, floculación y filtración. También se pueden emplear desinfectantes alternativos como ozono, dióxido de cloro, cloraminas o peróxido de hidrógeno, que generan menos THM que el cloro. Otras estrategias incluyen optimizar el tiempo de contacto y la dosis de cloro, controlar el pH y la temperatura del agua, y aplicar tratamientos avanzados como oxidación avanzada, biofiltración o intercambio iónico para eliminar precursores de THM. Además, es esencial realizar análisis y mantenimiento regular de los sistemas para ajustar los procesos según los resultados obtenidos. (Reducción de Trihalometanos, 2024)

3. ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN A LAS PROBLEMÁTICAS DEL AGUA POR PRESENCIA DE ALTOS NIVELES DE ARSÉNICO EN EL MUNICIPIO EL LLANO

El arsénico es un elemento natural presente en la corteza terrestre que puede disolverse en el agua al fluir por formaciones rocosas, alcanzando acuíferos, ríos o arroyos usados como fuentes de agua potable. Su consumo en niveles elevados representa un riesgo para la salud, causando problemas en la piel, trastornos digestivos, diabetes, afectaciones en sistemas nervioso, inmunitario y reproductor, y aumentando el riesgo de varios tipos de cáncer. Su presencia en el agua puede deberse a fuentes naturales, como la geología de la zona, o a actividades humanas como la minería, el uso de pesticidas y fertilizantes, y descargas industriales.

3.1. ¿CÓMO REDUCIR LA PRESENCIA DE ARSÉNICO EN EL AGUA?

Para reducir el arsénico en el agua se pueden combinar distintas estrategias. Entre ellas, el tratamiento fisicoquímico mediante coagulación y floculación con sales de hierro o aluminio para precipitarlo y eliminarlo por sedimentación o filtración, así como la adsorción usando materiales como óxido de hierro o carbón activado. También pueden aplicarse tratamientos avanzados como la ósmosis inversa, que retiene contaminantes mediante membranas semipermeables, o el intercambio iónico con resinas específicas. Además, es clave optimizar los procesos ajustando el pH para mejorar la remoción y mantener un monitoreo continuo de los niveles de arsénico para realizar ajustes oportunos en el tratamiento.

PLAN DE ACCIÓN

Para eliminar hierro, trihalometanos (THM) y arsénico en la ETAP de la Mancomunidad El Cerro se requiere un plan integral con varias etapas.

Primero, es necesaria una evaluación inicial que incluya análisis de agua cruda para medir hierro, arsénico, materia orgánica, pH, turbidez y conductividad, así como la identificación de fuentes de contaminación y la revisión de la eficacia de los procesos actuales de la ETAP.

Con base en esta información, se debe diseñar el sistema de tratamiento, incorporando pretratamiento con desinfección inicial, oxidación (por ejemplo, con torres de aireación), coagulación, floculación, sedimentación, filtración con arena y carbón activado y desinfección final con dióxido de cloro para minimizar la formación de THM. También es clave optimizar el pH en cada etapa para mejorar la remoción de contaminantes y cumplir con la normativa de agua potable.

El plan debe incluir monitoreo y control de calidad, con análisis periódicos de hierro, arsénico y THM, y sistemas de alerta para detectar variaciones en los contaminantes. Además, se requiere la capacitación del personal, un programa de mantenimiento preventivo y acciones de educación comunitaria para informar sobre los riesgos y fomentar buenas prácticas en la protección de la fuente. Finalmente, es importante implementar una evaluación continua, revisando la eficacia del tratamiento y actualizando el sistema según los resultados y las nuevas tecnologías disponibles.

REFERENCIAS

Instruments, H. (12 de Febrero de 2024). Medida de hierro, indicador de calidad del agua.

<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/medida-de-hierro-indicador-de-calidad-del-agua>

Publica, A. d. (16 de Octubre de 2024). Los trihalometanos (THM) en el agua de consumo.

https://higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/THM_esp.pdf

Reducción de Trihalometanos. (16 de Octubre de 2024). Oxidine:

[https://oxidine.net/solucion/trihalometanos/#:~:text=Para%20reducir%20los%20Trihalometanos%20\(THMs,con%20los%20est%C3%A1ndares%20de%20calidad.](https://oxidine.net/solucion/trihalometanos/#:~:text=Para%20reducir%20los%20Trihalometanos%20(THMs,con%20los%20est%C3%A1ndares%20de%20calidad.)

Vigo. (22 de Marzo de 2017). Cómo medir y reducir la presencia de metales pesados en el agua. Faro de Vigo:

<https://www.farodevigo.es/dia-mundial-del-agua/2017/03/22/medir-reducir-presencia-metales-pesados-14806000.html>

VIGO. (22 de Marzo de 2017). Cómo medir y reducir la presencia de metales pesados en el agua. Faro de vigo:

<https://www.farodevigo.es/dia-mundial-del-agua/2017/03/22/medir-reducir-presencia-metales-pesados-14806000.html>