

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“REMOCIÓN DE CLORAMINAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA EVITAR RIESGOS AL MEDIO AMBIENTE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Minas

Autoras:

Bach. Luz Angelica Villalobos Ramos

Bach. Raquel Janeth Grau Quiroz

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo, Alvarez León

Cajamarca - Perú

2021



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a una mujer que simplemente me llena de orgullo, te amo y no va haber manera de devolverte tanto que me has ofrecido e incluso antes de haber nacido; tu fuerza y fortaleza de amor me han dirigido por la vida dándome las alas que necesitaba para volar.

Gracias por tu inefable amor, mamá

Luz Angélica

La presente tesis la dedico a la persona más importante de mi vida, mi madre; que, con su amor, dedicación y esfuerzo, me impulsó a desarrollarme de forma profesional y personal.

También la dedico a mi hijo, quien me ha dado la fortaleza de seguir logrando mis metas y con ello ser un buen ejemplo para él.

Raquel

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a ti por tu ayuda, ha sido fundamental tu optimismo, resalto tu inteligencia y certeza; sabías que podía lograrlo, creías en mi futuro viendo en mí lo que ignoraba. Honro tu sabiduría, amor y pasión.

Luz Angélica

Agradezco en primer lugar a Dios, que me brindó la oportunidad de culminar una meta más, a mis padres e hijo, por su amor, apoyo y comprensión; a mis maestros que con dedicación nos impartieron sus conocimientos. A mi Asesor el Ing. Víctor E. Álvarez León que durante la elaboración de la presente tesis nos orientó y asesoró para poder lograr con satisfacción y culminar este proyecto.

Raquel J.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	33
1.3. Objetivos	33
1.4. Hipótesis	34
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	35
2.1. Tipo de investigación	36
2.2. Población y Muestra.....	37
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	38
2.4. Procedimiento	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS	41
3.1. Determinación cualitativa de la cloramina de la poza reguladora y reservorio de agua	42
3.2. Evaluación de la concentración de Amonio NH ₃ -N en la solución barren de la poza reguladora.	43
3.3. Evaluación de la concentración de amonio, cloro libre y cloramina en la descarga del agua de la Planta de tratamiento al reservorio	44
3.4. Remoción de cloraminas con ácido acético y metabisulfito de sodio en la descarga de agua de la Planata de tratamiento al reservorio.	48
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	49
REFERENCIAS	55
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de inspección a poza reguladora	42
Tabla 2. Resultados inspección del reservorio de agua.....	43
Tabla 3. Adición de ácido acético a muestras con contenido de cloramina	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especies de Cloraminas con respecto al pH	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Evolución del Cloro residual en la cloración de un agua natural	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Evolución del cloro residual libre y combinado en el tiempo	15
Figura 4. Esquema del manejo adecuado de efluentes en Minera Yanacocha.....	26
Figura 5. Esquema de la planta de tratamiento de aguas de excesos (EWTP).....	27
Figura 6. Cinética de formación de Cloraminas en los primeros 30 min de contacto cloro-agua tratada	28
Figura 7. Prueba de jarras (jar test)	30
Figura 8. Flowsheet de procesos	37
Figura 9. Amonio en la solución barren de la poza reguladora.....	43
Figura 10. Monitoreo diario de Amonio y cloro libre en la descarga de la Planta DX.....	44
Figura 11. Monitoreo de Amonio y cloro libre por horas en la descarga de la Planta DX	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12. Cloramina y cloro libre en la descarga de la Planta DX.....	47
Figura 13. Amonio y Cloramina en la descarga de la Planta DX	48
Figura 14. Tratamiento de cloramina con dosificación de ácido acético	48
Figura 15. Dosificación de metabisulfito a la primera muestra con contenido de cloraminas	49
Figura 16. Dosificación de metabisulfito a la segunda muestra con contenido de cloraminas	49

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó la remoción de Cloraminas de la planta de tratamiento de aguas mediante el tratamiento con ácido acético y metabisulfito de sodio, para evitar riesgos al Medio Ambiente. La cloramina es un compuesto que se genera a partir de la reacción del cloro disuelto y el amonio. La principal cloramina que se encuentra presente es la monocloramina y los efectos tóxicos se manifiestan causando malestar directo, con olor e impacto directo a los ojos causando irritación y la contaminación directa a otras aguas, generando impacto negativo al medio ambiente. En los resultados obtenidos a nivel laboratorio utilizando como equipo una prueba de jarras, nos muestra que la remoción de la cloramina fue del 100% con una dosis óptima de 2 ml de metabisulfito de sodio/50 ml de agua tratada (equivalente a 40 litros de metabisulfito de sodio /m³ de agua tratada), reduciendo la cloramina desde 9.2 ppm hasta 0.0 ppm. Para lograr este objetivo se debe mantener el pH en la etapa de clorinación sobre 9 y mediante la dosificación de metabisulfito se regularía el pH. Al analizar la remoción de cloramina con ácido acético y ver la influencia sobre su pH, se tuvo una reducción de la cloramina de 10.2 a 8.8 ppm con una dosificación máxima de 0.5 ml de ácido acético/50 ml de agua tratada (equivalente a 10 litros de ácido acético/m³ de agua tratada), por lo consiguiente se redujo un pH de 8.50 a 5.20 presente en las muestras. Se concluye que el ácido acético remueve sólo el 10% de las cloraminas, es decir no reduce significativamente el contenido de cloramina. Por el contrario, el metabisulfito de sodio logró remover el 100 % la cloramina presente en el efluente minero, resultado que es satisfactorio para la empresa en estudio por lo cual el tratamiento será implementado en la Planta DX.

Palabras clave: Cloraminas, Trihalometanos (THMs), Aguas Residuales, Planta DX, metabisulfito, Ácido acético.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Debido a la presencia de compuestos irritantes en las descargas de las plantas de destrucción de cianuro (Planta DX) hacia la poza amortiguadora, en las descargas del agua de la poza amortiguadora hacia Medio Ambiente y en la descarga a la poza de agua que brinda agua a las comunidades, se genera molestias en los ojos, nariz y garganta, tanto en el personal de la empresa como de los moradores de las zonas aledañas.

En el proceso de Lixiviación del mineral en los Pads, se genera el amonio que es transportado hacia las etapas subsiguientes llegando hasta la etapa de tratamiento de agua (barren) que interviene directamente en la formación de cloraminas por reacción del cloro empleado para la detoxificación del cianuro. La solución residual de los procesos de cianuración utilizados en la minería aurífera, aún después de haber sido sometida a un proceso de detoxificación (generalmente una oxidación), suele tener niveles importantes de reactivo, lo que convierte en atractiva para su reutilización; pero una vez que la planta de cianuración ha dejado de funcionar, en la relavera de estériles habrá un volumen muy importante de solución con concentraciones notables tanto de compuestos cianurados como de metales y otros iones (amonio, sulfato, nitrito, nitrato, etc.) que la convierten en un residuo peligroso y delicado de gestionar (Alvarez García, 2005).

Con esta investigación se pretende contribuir a resolver el problema de contaminación ambiental provocado por los compuestos irritantes (cloraminas) en los efluentes minero metalúrgicos, mediante la adición de ácido acético y/o metabisulfito de sodio a las muestras de solución barren con contenido de cloramina, que permitirá integrar una tecnología adecuada que al ejecutar esta investigación permitirá evitar los riesgos al medio ambiente.

Las aguas residuales son aquellas cuyas propiedades originales han sido alteradas por la actividad del hombre y cuya calidad necesita un tratamiento previo para ser reusada o trasvasada a un cuerpo natural de agua. Son una mezcla de sustancias inorgánicas y orgánicas que se encuentran suspendidas o disueltas, donde la mayor parte de la materia orgánica contiene residuos alimenticios, excretas, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. (Oefa, 2014).

El reúso del agua residual tratada es actualmente un recurso valioso y su demanda aumenta en la medida que decrece la disponibilidad. Si bien el reciclado del agua es una práctica ya conocida, todavía no ha sido difundido totalmente en la industria. Los principales reúsos que le dan son: el enfriamiento de calderas y la limpieza dentro de la zona industrial. Las ventajas de utilizar agua tratada son: bajos costos operativos, disminución de costos energéticos, disminución de costos en el tratamiento de agua cruda, reúso del recurso, menor volumen de efluente para disponer (Oefa, 2014).

Las aguas residuales industriales provienen de las descargas de empresas manufactureras o plantas industriales, cuyas aguas pueden tener diversos elementos en su composición según el tipo de actividad económica que ejercen, es decir: minería, textil, avícola, pesquera, bebidas, agrícola, etc. El agua residual de cada industria tiene sus propias características y por ende requiere de un proceso adecuado para el tratamiento de sus efluentes industriales antes de ser eliminadas (Rodríguez, 2017).

En el caso de las aguas residuales provenientes de plantas concentradoras, pads de lixiviación de empresas mineras, estas sustancias provienen de los mismos minerales que formaron parte integral de las aguas abastecidas; en el caso de sustancias orgánicas, le adicionan propiedades indeseables al líquido residual cuando los microorganismos asociados con estas aguas, alimentándose sobre materia orgánica muerta, atacan esos complejos orgánicos destruyéndolos o estabilizándolos parcialmente a través de una serie de descomposiciones, con la aparición de malos olores y apariencia física objetable (Rodríguez, 2017).

Más de 1000 millones de toneladas de aguas residuales son vertidas por año al agua subterránea, a ríos, lagos y océanos del mundo, contaminándolos con metales pesados, disolventes, aceites, grasas, detergentes, ácidos, sustancias radioactivas, fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos. Esta contaminación química al medioambiente se ha convertido en uno de los problemas globales más urgentes de la humanidad (Rodríguez, 2017).

Esta contaminación se manifiesta con mayor intensidad en los países industrializados y con una explotación intensiva de la agricultura. Por ejemplo, la Republica China ha tenido que admitir que más del 80% de sus ríos están tan contaminados, que ya no son aptos para uso de agua potable ni para lavar. En Estados Unidos, dos de cada cinco ríos, incluyendo casi todos los más grandes, están tan contaminados, que las autoridades sanitarias han tenido que advertir a los habitantes que no se bañen ni pesquen en ellos (Rodríguez, 2017).

La esperanza manifiesta en otros tiempos, de que el ciclo del agua actuaría como planta purificadora a nivel global y que los océanos servirían como vertederos universales de basura para la moderna civilización, hace ya tiempo que se ha revelado como un engaño y los sistemas de tratamiento de las aguas y la disposición final de los desperdicios para evitar que contaminen, se han tornado más que costosos, inasequibles hasta para las economías más privilegiadas (Rodríguez, 2017).

El termino tratamiento de aguas en ingeniería ambiental es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, y procesos químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de los contaminantes, así como la eliminación de las características no deseables de las aguas (Chuc, 2008).

Las aguas residuales de los efluentes procedentes de procesos industriales como recubrimientos metálicos, refinado de minerales de oro, plata, limpiezas de gases procedentes de hornos, cementación de aceros, etc., contienen diferentes tipos de cianuros, que por su alta toxicidad han de ser tratados antes de ser vertidos a los ríos. Según los límites legales para las concentraciones máximas admitidas en aguas de vertido, para el caso de los efluentes cianurados, el límite establecido se sitúa entre 0.05 y 0.1 ppm. Se han propuesto diferentes técnicas para reducir la concentración de cianuro en las aguas residuales hasta el límite permitido por los gobiernos. La disminución de la toxicidad de las aguas residuales que contienen cianuro se realiza mediante la oxidación a cianato, compuesto unas mil veces menos tóxico que el cianuro y la posterior oxidación del cianato a gases no tóxicos como el CO_2 y N_2 . Esta oxidación puede realizarse química,

física, biológica y electroquímicamente o en combinación de diferentes técnicas de oxidación (Rupay, 2016)

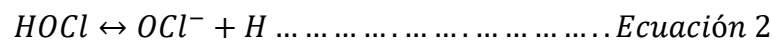
La clorinación alcalina es un proceso químico que consiste en la oxidación y destrucción de las formas de cianuro libre y cianuro WAD en medio alcalino (pH de 10.5 a 11.5), donde el cloro se suministra en forma de gas, líquida o como hipoclorito de sodio o cálcico, llevándolo a la forma de CO_2 y N_2 causando la precipitación de los metales pesados como hidróxidos en aproximadamente 1 a 1.5 horas y 2.75 partes de cloro por parte de cianuro. En la práctica es mucho mayor, lo que depende principalmente de otros compuestos oxidables como el tiocianato, el que se oxida en preferencia al cianuro. Con este método se logra obtener efluentes con concentraciones < 0.5 mg/l. El cloro residual presente como hipoclorito y cloraminas en el agua residual puede ser tóxico para la vida acuática, haciéndose necesario un tratamiento de declorinación, con la adición de SO_2 o sulfito de sodio (Rupay, 2016).

Con respecto al gas cloro, éste tiene un olor penetrante más pesado que el aire y no combustible ni explosivo, su poder desinfectante radica en la capacidad de oxidación, destruyendo la célula tras provocar la rotura de la pared celular; en general, puede decirse que las reacciones redox del cloro con las sustancias inorgánicas son muy rápidas, mientras que la oxidación de la materia orgánica suele ser más lenta, llegando en ocasiones a necesitar varias horas para que se produzca la oxidación total de algunos compuestos (Pérez y Espigarez, 1995).

El cloro es un oxidante fuerte que se suministra en forma gaseosa o como soluciones de hipoclorito de sodio o de calcio y reacciona con el agua para formar Ácido Clorhídrico (HCl) y ácido hipocloroso (HOCl), este último es el principal agente desinfectante como se muestra en la ecuación 1:



La reacción se lleva a cabo en segundos; el ácido hipocloroso se ioniza en forma instantánea en hidrogeno e ion hipoclorito según la ecuación 2:



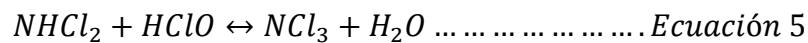
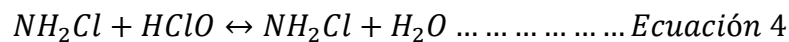
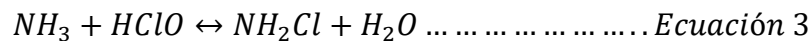
La suma de estas dos formas (HOCl y OCl^-) constituye lo que llamamos cloro libre o residual. El cloro reacciona con numerosos compuestos minerales (hierro, magnesio, nitrógeno amoniacal, nitritos, bromuros, yoduros, sulfuros y cianuros), así como con materia orgánica presente en las aguas (sustancias húmicas) (Rodier J, 1990).

Las dos técnicas de cloración generalmente empleadas son la cloración residual libre y la cloración residual combinada (más se utiliza la primera que la segunda). La técnica de la cloración residual libre supone la aplicación de cloro al agua para conseguir que ya sea directamente, o bien después de la destrucción del amoníaco, quede cloro residual libre, tanto a la salida de la planta como en la red de abastecimiento. La técnica de la cloración residual combinada implica la reacción del cloro con el amoníaco añadido (sin llegar a la destrucción de éste) y el mantenimiento de este cloro residual combinado en la red (Crites y Tchobanoglous, 2000).

La principal desventaja de la cloración es la generación de subproductos tóxicos, fenómeno descubierto y ampliamente investigado desde los años 70, encontrándose

subproductos como las cloraminas, los Trihalometanos, ácidos haloacéticos y halógenos orgánicos disueltos, que han sido identificados como potencialmente cancerígenos en concentraciones menores de 0.1 mg/L. Un problema importante es el impacto que estos efluentes clorados pueden ocasionar en los ecosistemas que los reciben (Gordillo, 2013).

Las cloraminas son derivados de amonio por sustitución de uno, dos o tres átomos de hidrógeno con átomos de cloro (Secretaria Comercio y Fomento Industrial, 2001). La acción del cloro sobre el nitrógeno amoniacal forma en primer lugar monocloramina (Ecuación 3) y en segundo la dicloramina (Ecuación 4) y tricloramina (Ecuación 5) de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Rodier, 1990):

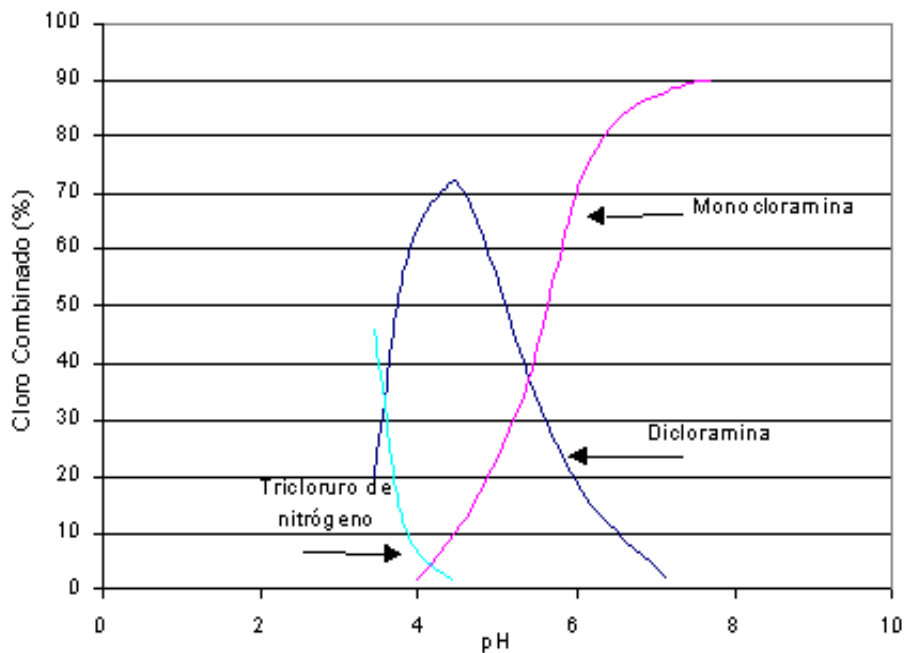


En la Figura 1, se muestra la relación entre las diferentes especies de cloraminas en función del pH. A pH mayor de 7 y una relación molar de cloro/amoníaco igual a 1 o menor, predominará la formación de monocloramina, su tasa de formación es muy rápida (su rapidez será máxima a pH=8.3). La tasa de formación de la dicloramina es más baja, su máximo se alcanza a pH próximos a 4.5, a pH menor de 4, fundamentalmente, sólo habrá tricloruro de nitrógeno, por tanto, a los pH normales del tratamiento, próximos a 7 - 8, la principal cloramina que se encuentra presente es la monocloramina, mientras que la dicloramina no representará un porcentaje significativo en el total, a menos que la

relación molar cloro/amoníaco sea mayor de 1 y menos aún la tricloramina. (Ramírez, 2020).

Figura 1

Especies de Cloraminas con respecto al pH



Nota. La figura muestra las cifras de cloro combinado en las especies de cloraminas con respecto al pH. Fuente: Ramírez (2020).

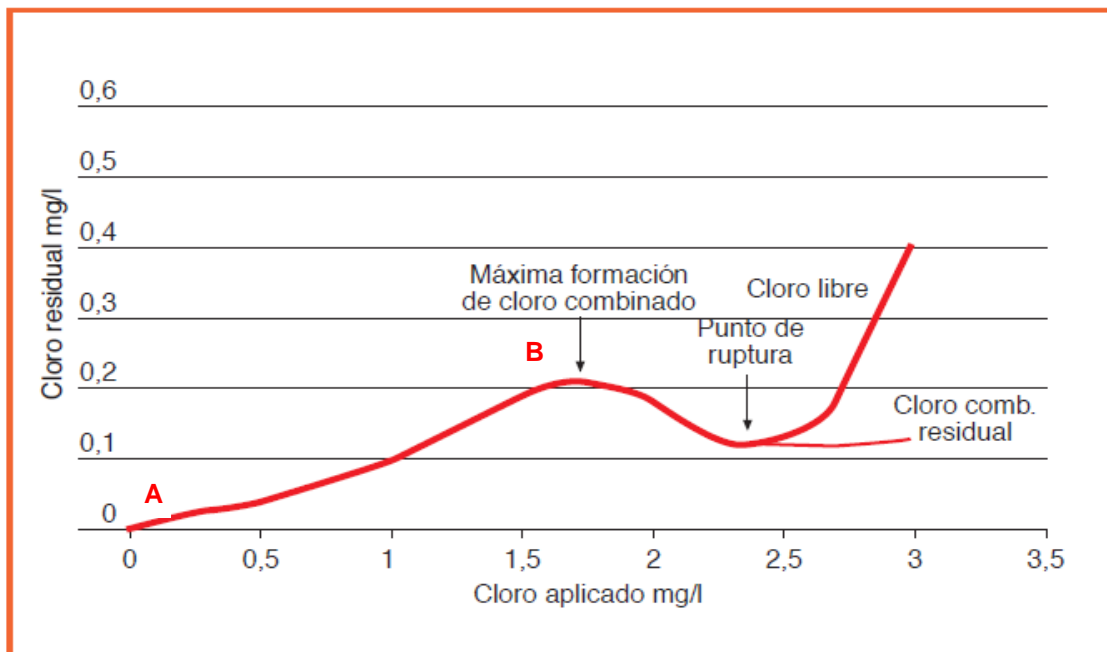
La presencia de tricloramina comunica al agua un mal sabor y usada para piscinas causa irritaciones en los ojos. Recordando lo que hemos expuesto en la cloración por el “punto crítico o punto de ruptura” (Figura 2), podemos trasladarlo al caso hipotético de un agua que sólo contenga amoníaco y por tanto todos los compuestos de adición formados en la cloración serán cloraminas. (Ramírez, 2020).

Las reacciones de óxido-reducción del amoníaco y el cloro existen en el sentido de oxidación del amoníaco y reducción del cloro, cuando la relación molar de cloro a amoníaco es mayor de 1. Cuando esta relación está en proporción de 2:1, el proceso es

prácticamente completo, desapareciendo tanto el amoníaco como el cloro oxidante. Este punto es conocido como punto de inflexión de estas reacciones y se corresponde al punto de breakpoint para la cloración de un agua natural o residual, como ya señalamos. (Ramírez, 2020).

Figura 2

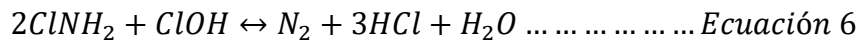
Evolución del Cloro residual en la cloración de un agua natural



Nota. En la Figura se representa la gráfica teórica de óxido-reducción del amoníaco y el cloro y en ella vemos que entre los puntos A y B, la relación molar de cloro a amoníaco es menor de 1 y el cloro que ha reaccionado con el amoníaco pasa a formar casi totalmente monocloramina. Fuente: Ramírez (2020)

Al pasar del punto B, las monocloraminas van pasando a dicloraminas hasta llegar al punto de inflexión, donde las cloraminas habrán sido destruidas (en este punto existirá una pequeña cantidad de cloro residual irreducible, formado por cantidades iguales de mono y dicloraminas con trazas de cloro libre (ClOH), cuando la relación molar cloro/amoníaco es 2:1. A partir del punto de inflexión, el cloro está en forma de cloro

residual libre y la monocloramina ha sido oxidada a nitrógeno gas, según la siguiente reacción:



Para la mayoría de las aguas superficiales, la representación gráfica que nos indica la evolución del cloro residual a medida que se va aplicando cloro, es diferente y menos acusada que la antes expuesta para un agua con solo amoníaco.

Las cloraminas se mantienen activas en el agua durante un largo periodo de tiempo. Al igual que otras moléculas, las cloraminas contribuyen a la cantidad total de sólidos disueltos en agua. Como el cloro, las cloraminas son reactivas de manera selectiva y pueden tener efectos dañinos cuando están en el agua un largo periodo de tiempo. Cuando las cloraminas están presentes, hay generalmente cantidades traza de amonio e hipoclorito también en el agua. Las cloraminas no son apenas iónicas. Como resultado y debido al bajo peso molecular, las cloraminas y principalmente las monocloraminas, son difíciles de eliminar del agua por medio de osmosis inversa o ablandamiento del agua. Tampoco se puede utilizar la destilación y evaporación. Las sustancias para la eliminación del cloro no se pueden utilizar en la eliminación de cloraminas. La luz del sol y aireación puede ayudar a la eliminación de cloraminas (Benedetti, 2019).

Las cloraminas se pueden eliminar mediante la utilización de filtro con carbón activo granular. Estos filtros permiten la disminución de las cloraminas de 1-2ppm a menos de 0.1ppm. Uno debe asegurarse que el carbón activo entra en contacto con las cloraminas

el tiempo necesario. Un filtro de carbón activo también remueve otros compuestos como el cloro (reducción del cloro), sulfuro de hidrogeno, compuestos orgánicos, THMs, pesticidas y radón. Cuando estas sustancias están presentes en el agua, esto influye en la capacidad del filtro. La cantidad de cloraminas presentes en el agua vienen determinada por la medición de cloro total residual. Esto significa medir la cantidad total de cloro o la cantidad de compuestos de cloro (Benedetti, 2019).

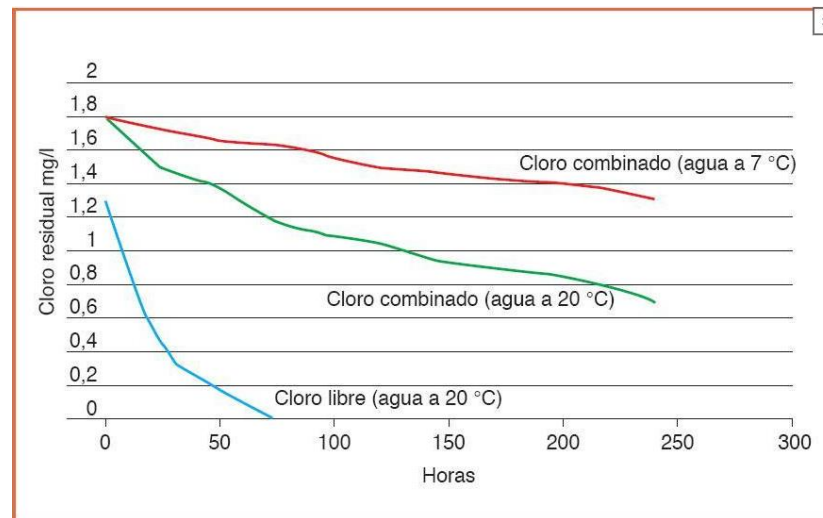
La problemática de la generación de cloraminas se ha abordado desde los años 40's, principalmente en la potabilización del agua, por la toxicidad que estos compuestos representan a la salud humana y a la vida acuática. Para abordar el problema algunos autores han evaluado los mecanismos de reacción de la descomposición de las cloraminas en modelos sintéticos, reportando un orden de reacción de remoción.

Aunque los riesgos para la salud humana de los subproductos de la desinfección son pequeños si se comparan con los riesgos asociados a las enfermedades de transmisión hídrica, no se deben obviar. La exposición a estos contaminantes a través del agua clorada durante largos periodos de tiempo da lugar a efectos adversos para la salud; además hay que tomar en cuenta que la exposición a dichos agentes no ocurre sólo por la ingestión de agua, sino también por la inhalación y la absorción dérmica (Benedetti, 2019).

En la Figura 3, queda reflejado, de acuerdo con una serie de ensayos realizados, la mayor duración en cuanto a tiempo de permanencia de cloro residual cuando se forman las cloraminas, que cuando no se emplea amoníaco y por tanto no hay cloro residual combinado, sino cloro libre.

Figura 3

Evolución del cloro residual libre y combinado en el tiempo



Nota. En la Figura se representa la gráfica realizada con diferentes aguas tratadas, partiendo de una concentración inicial de cloro combinado monocloramina) de 1,8 mg./l. y 0,45 mg./l. de amoníaco y midiendo a lo largo del tiempo los contenidos tanto de cloro combinado como de amoníaco total (libre +combinado). Fuente: Ramírez (2020).

En la figura 3 se puede apreciar que, al cabo de 250 horas, el contenido de cloro combinado (como media de tres ensayos), había decaído hasta quedar en 0,48 mg./l., mientras que el amoníaco total era 0,41mg./l. (es decir prácticamente el inicial). Considerando que aproximadamente los 0,48 mg/l de cloro combinado lo eran con 0,12 mg/l de NH_3 , el resto de amoníaco, es decir $0,41 - 0,12 = 0,29$ mg/l estaría en disposición de volver a formar cloramina. Se añadió entonces 1,20 mg/l de cloro libre (mediante hipoclorito sódico) y al cabo de 30 minutos se determinó el cloro combinado (monocloramina) resultando ser 1,62 mg/l, es decir hemos vuelto a generar monocloramina al añadir el cloro indicado en la relación cloro/amoníaco 4/1, junto a la que aún permanecía (0,48 mg/l); la pequeña cantidad (0,06 mg/l) que en el balance nos falta, sobre los 1,68 mg/l ($0,48 + 1,20$), puede atribuirse a la destrucción de una mínima cantidad de los 0,48 mg/l de la cloramina residual inicial al incorporar los 1,20 mg/l de

cloro libre. Hay que señalar que estos ensayos han sido realizados en laboratorio, donde no existen los posibles efectos de nitrificación que pueden darse en la red (Ramírez, 2020).

El tiempo que transcurre en la degradación de la monocloramina es suficientemente largo por lo que puede mantenerse una concentración aceptable en puntos alejados de la red. En el gráfico de la figura anterior se muestran varias curvas donde se refleja la evolución del cloro residual al pasar el tiempo, en un agua tratada con monocloramina (como desinfectante secundario o postdesinfección) a dos temperaturas distintas y en un agua tratada con cloro libre, en ambos casos, a escala de laboratorio, puede observarse la mayor estabilidad dada por la mayor permanencia del cloro residual combinado respecto del cloro libre (Ramírez, 2020).

La velocidad de disociación de las cloraminas, está influenciada también por el pH, así por ejemplo en el rango de pH de 7 a 9, la monocloramina se disocia en mayor grado en amoníaco al pH más bajo y pueden por tanto aparecer fenómenos de nitrificación más fácilmente. En el siguiente gráfico, se muestra esta evolución al someter dos muestras de agua tratada, a la misma temperatura (17 ° C) y distinto pH, tomadas a la salida de un PTAR (Ramírez, 2020).

En Estados Unidos, dadas las limitaciones para la formación de subproductos de desinfección, son muchas las instalaciones de tratamiento de agua que están volviendo a la desinfección con cloraminas. La propia USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) sugiere el empleo de cloraminas para reducir los Trihalometanos totales,

llegando a medirse reducciones entre el 40% y el 80% (los ácidos haloacéticos no son reducidos tan considerablemente). Ya en 1975 en EEUU se muestrearon 10 abastecimientos que usaban cloraminas y se estudiaron y determinaron las concentraciones de Trihalometanos, estas variaron de 1 a 81 $\mu\text{g/l}$ con una media de 19 $\mu\text{g/l}$, mientras que la concentración de las estaciones de tratamiento que usaban cloro libre (al breakpoint) varió entre 1 y 472 $\mu\text{g/l}$., con una media de 72 $\mu\text{g/l}$ (Ramírez, 2020).

Entre los grandes abastecimientos de Estados Unidos que convirtieron la desinfección secundaria con cloro libre a desinfección con cloraminas, destaca The Metropolitan Water Distric of Southern California que suministra aproximadamente a 15 millones de personas, adoptó la cloraminación en el año 1.985 y cada año y por un período de un mes, suspende la cloraminación y utiliza cloro libre residual (por encima del breakpoint) con objeto de eliminar los posible nitritos, bacterias nitrificantes y recrecimientos biológicos que puedan haber colonizado el sistema de distribución (Ramírez, 2020).

Es en Estados Unidos donde más extendido está el uso de cloraminas. Abastecimientos importantes como Dallas, Denver, St..Louis, Orleans, Indianápolis, Milwaukee, Miami, Portland, Philadelphia y otros muchos, emplean cloraminas desde hace años.

En Europa no está muy extendido su empleo, siendo Madrid uno de los principales sistemas de abastecimiento que las utiliza como desinfectante secundario en la red, desde hace más de 30 años (Ramírez, 2020).

Puede resumirse que las cloraminas sólo deben emplearse como desinfectante secundario y como protección contra recrecimientos microbiológicos en la red, especialmente si no

se tiene conseguido un sistema de abastecimiento biológicamente estable, además es más caro conseguir un abastecimiento estable a base de un tratamiento del agua completo y amplio, incluyendo filtros de carbón, junto a una óptima y eficaz gestión de la red, que emplear cloro o cloramina para controlar el recrecimiento en la red (Ramírez, 2020).

Considerando que la Directiva de la U.E. limita el contenido de amoníaco a un máximo de 0,5 mg/l, y admitiendo que el amoníaco que se encuentra combinado para formar las cloraminas y añadido expresamente con este fin, está sometido a esta limitación, el contenido máximo de cloraminas, (monocloramina) para una relación cloro/amoníaco en peso de 4/1, será de 2 mg/l (Ramírez, 2020).

Los efectos perjudiciales sobre la salud de las cloraminas se deben a su potencial irritante. Según un artículo publicado en la revista *Apunts, Medicina de L'esport*, estos compuestos químicos son agentes oxidantes que afectan a las mucosas de diferentes partes del cuerpo como los ojos, la nariz, la faringe o las vías respiratorias. Las cloraminas puedan además transferirse al ambiente en forma de gas, provocando ese característico olor a cloro en las piscinas (Hold, 2017).

La ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) registró que las consecuencias y los daños que causa el cloro sobre la salud varían según el tiempo de exposición a dicho elemento y a las cantidades. Estos son los efectos más comunes que tiene el permanecer un largo periodo de tiempo en contacto con el cloro: Asma bronquial, dolor de garganta y nariz, malestar general, irritación generalizada especialmente en los ojos (Benedetti, 2019).

El Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH, 2010), colaboró con un departamento de salud pública local en los Estados Unidos, en la investigación de síntomas de irritación ocular y respiratoria en un parque cubierto de entretenimientos acuáticos. Este parque acuático había inaugurado recientemente y, en menos de un mes, el departamento de salud del condado había recibido alrededor de 80 reportes sobre irritación respiratoria y ocular por parte de visitantes y empleados. Los síntomas incluyeron comezón y ardor en los ojos, ojos rojos; comezón en la nariz y moqueo; tos; sibilancias; falta de aliento; opresión en el pecho y dolor de garganta. Los análisis iniciales revelaron una composición química normal del agua, así como concentraciones de cloro por debajo de los límites de exposición ocupacional establecidos por NIOSH y OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional). La administración agregó difusores de suministro al sistema de ventilación para incrementar la circulación del aire a la altura del piso, aumentó la frecuencia de realización de pruebas de composición química del agua y añadió más agua fresca a todo el sistema para reducir los reportes de síntomas. Sin embargo, el departamento de salud del condado continuó recibiendo quejas sobre problemas de salud, por lo que tomó la iniciativa de solicitar la asistencia técnica de NIOSH. Debido a que la misión de NIOSH es promover la seguridad y salud ocupacionales, la investigación se concentró en los empleados.

En la empresa minera Alto Chicama de Minera Barrick Misquichilca, la Planta de Tratamiento de Destrucción de la Solución Pobre o Barren, ha sido diseñada para reducir las concentraciones de cianuro y de metales pesados y cumplir con los criterios de descarga de efluentes. Después del circuito Merrill- Crowe, la solución fluye por gravedad a la planta de destrucción de cianuro, en la que se destruye cianuro utilizando

el bisulfito de amonio y sulfato de cobre. La destrucción del cianuro se realiza en dos tanques reactores con agitación continua, instalados en serie, donde cada tanque permite un tiempo de retención determinado. Se agrega sulfato de cobre al primer tanque. El cianuro se oxida para formar cianato, y el cianato se descompone luego para formar amoníaco y otros compuestos de carbono y nitrógeno. El proceso de destrucción de cianuro no sólo destruye el cianuro libre, sino también oxida los complejos de metales pesados para su precipitación subsiguiente como oxi-hidróxidos metálicos. (Minera Barrick, 2005).

En Minera Barrick al tanque de destrucción del cianuro ingresa:

- Purga de solución barren a razón de 500 m³/h.
- El aire comprimido para que se produzca la reacción de oxidación.
- Cal apagada a razón de 4,18 m³/h para mantener el pH en 9,0. La dosificación de cal como Ca(OH)₂ es de 5 g/g CN_{WAD}. La dosificación de cal como CaO es de 0,23 Kg/m³ de solución.
- Metabisulfito de sodio ingresa al tanque de destrucción del cianuro a razón de 2,0 m³/h. El sulfato de cobre ingresa a razón de 0,11 m³/h.
- El sulfato de cobre es utilizado como catalizador en la reacción de oxidación de destrucción del cianuro como CuSO₄.5H₂O con una dosis de 8 g/m³ de solución y como cobre equivalente a 2.0 g/m³ de solución.

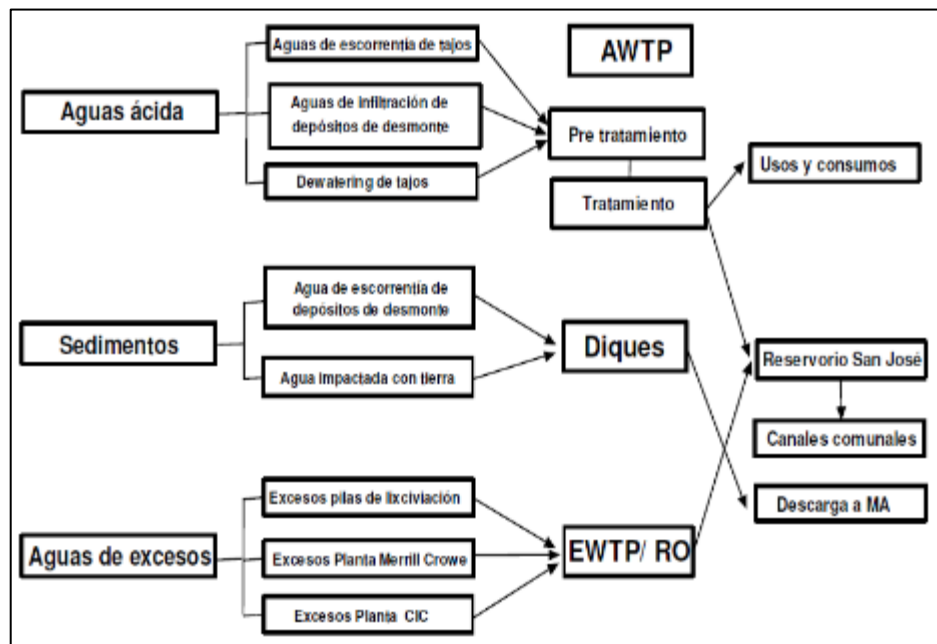
Mego (2016), en la investigación realizada en una prueba piloto de filtración con ósmosis inversa a la solución barren de la planta de procesos, la cual fue previamente tratada por el proceso de oxidación química con peróxido de hidrógeno, se utilizó metabisulfito a una concentración del 23.4%. La adición de este químico es de gran importancia, pues debido

a que al inicio se inyecta hipoclorito de sodio, el cual es un oxidante, el metabisulfito se encargó de neutralizar el cloro residual que hubiera en la solución efluente, antes de ingresar al equipo de ósmosis inversa, pues los agentes oxidantes causan daños irreversibles en las membranas de ósmosis inversa, dejándolas inservibles, es decir valor de cloro a la salida debe ser de 0.00 ppm

En Minera Yanacocha, se utiliza agua industrial en los procesos productivos de las plantas de Merrill Crowe y plantas de adsorción en carbón activado. Las soluciones barren son reutilizadas en el proceso de lixiviación y las aguas de excesos propiamente dicha pasan por un estricto tratamiento en las plantas EWTP/RO. (Excess Water Treatment Plant/ Ósmosis Reversa), que luego de su control ambiental, son descargadas al reservorio San José y posteriormente descargado a los canales comunales para uso agrícola (Del Águila, 2015).

Figura 4

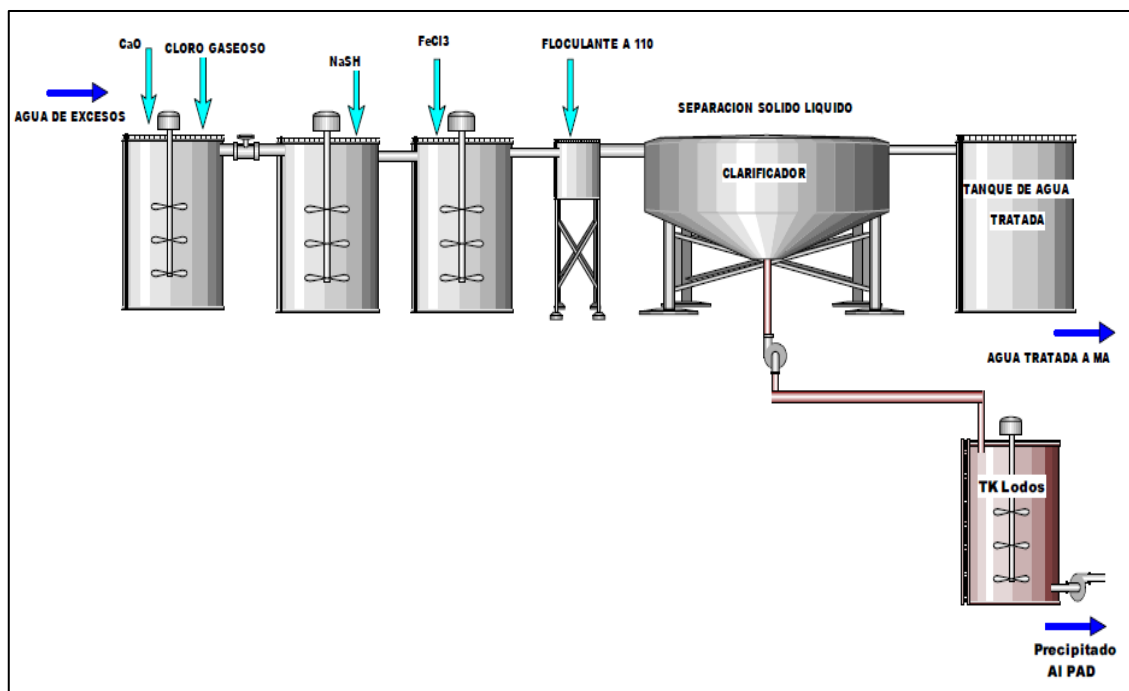
Esquema del manejo adecuado de efluentes en Minera Yanacocha



El tratamiento empleado en las plantas EWTP utiliza cal (CaO) para la regulación de la acidez y se utiliza cloro gaseoso para destruir el cianuro y el bisulfuro de sodio (NaHS) para la precipitación de metales. Además, se utiliza cloruro férrico (FeCl_3) para estabilizar los metales precipitados y mejorar la remoción de arsénico y selenio, en la etapa de clarificación se utiliza floculante aniónico con el fin de separar los sulfuros precipitados del agua tratada. El objetivo de la dosificación de cloro, es oxidar el ión cianuro (CN^-) altamente tóxico y convertirlo a ión cianato (CNO^-) no tóxico. Se utiliza cloro gaseoso como agente oxidante (Del Águila, 2015).

Figura 5

Esquema de la planta de tratamiento de aguas de excesos (EWTP)

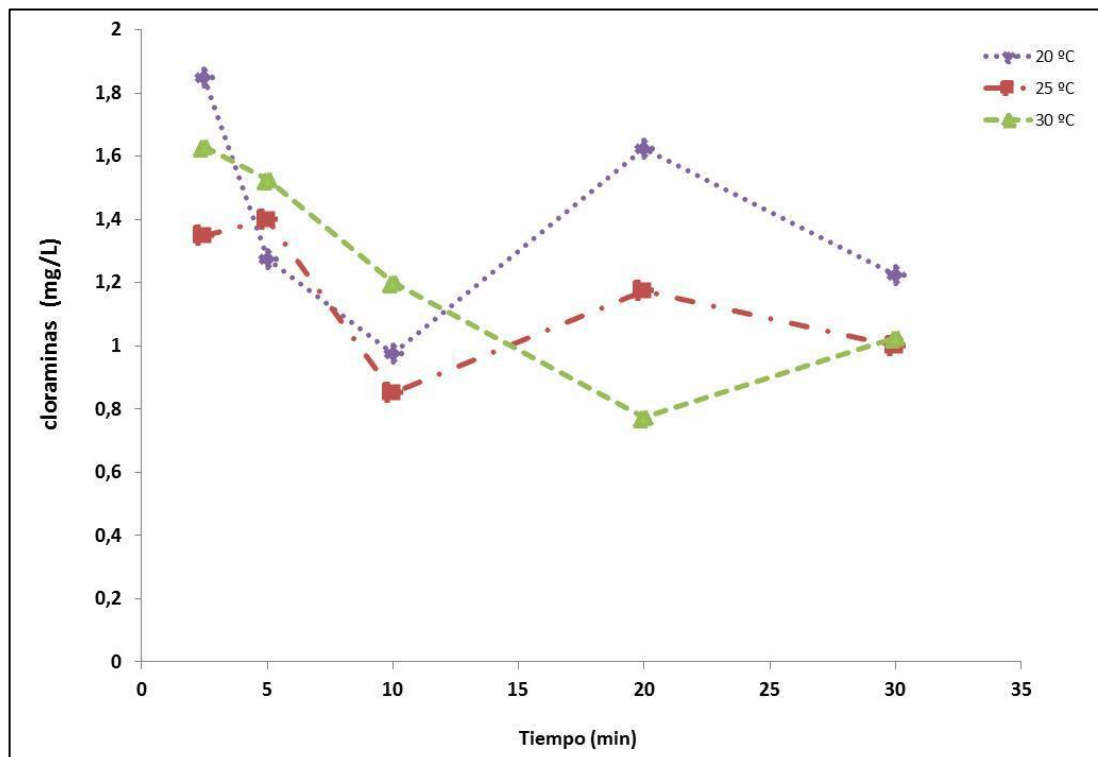


Nota. En la Figura se representa el esquema de la Planta EWTP de Minera Yanacocha que emplea como reactivos químicos la lechada de cal, cloro gaseoso para la remoción de cianuro, sulfhidrato de sodio y floculante A-110 en el proceso). Fuente: Ramírez (2020).

Reyes (2016) indica que, se obtuvieron las cinéticas de formación de Cloraminas en los primeros 30 minutos de contacto agua tratada-cloro a 20, 25 y 30°C y su remoción durante 30 días. La cinética de formación de las Cloraminas a las tres temperaturas fue similar ($F = 1.4$ y $p = 0.26$), ver Figura 6; sólo se presentaron diferencias significativas en los primeros 5 minutos de reacción ($F = 5$ y $p = 0.003$). A partir de los 10 minutos la concentración de Cloraminas se mantuvo en promedio en 1.4 ± 0.3 mg/L a 20°C, 1.2 ± 0.2 mg/L a 25°C y 1.2 ± 0.3 mg/L a 30°C.

Figura 6

Cinética de formación de Cloraminas en los primeros 30 min de contacto cloro-agua tratada.



Nota. La figura muestra que la velocidad de formación de cloramina se incrementa a la temperatura de 20°C a los 2.5 minutos y luego desde los 10 minutos hasta los 20 minutos de contacto cloro-agua. Fuente: Reyes (2016).

Las cinéticas de remoción de las Cloraminas fueron de pseudo-orden cero, además hubo diferencias significativas ($F = 76$ y $p = 0.00001$) entre temperaturas, donde la mejor correlacionada (0.58) fue la de 25°C , con una constante de remoción de $0.0476 \text{ mg/L}\cdot\text{día}$; para las cinéticas de 20°C y 30°C ($F = 4$ y $p = 0.02$), se presentó un incremento de $0.0123 \text{ mg/L}\cdot\text{día}$ cuando la temperatura se incrementó. El NH_2Cl es tóxico en grandes cantidades. Según las normas de la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de Estados Unidos, el límite de concentración de cloramina es de 4 partes por millón (ppm).

El metabisulfito de sodio es un compuesto químico inorgánico con fórmula ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Físicamente es un polvo blanco o ligeramente cristalino. Dentro de las aplicaciones más importantes se encuentran las siguientes: en minería se utiliza para precipitar el oro a partir del ácido áurico, como agente limpiador para potabilizar agua mediante ósmosis inversa en sistemas de desalinización, para remover cloramina para agua potable después del tratamiento (Cárcamo, 2012).

La prueba de jarras (Figura 7), es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinaciones, etc. La prueba de jarras se usa para:

- Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, es decir medir el desempeño de uno o varios productos químicos

dados, coagulante, floculante, etc., y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos.

- Determinar la concentración de la solución de coagulante más apropiada para utilizar en la planta.
- Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya.
- Evaluar y comparar el desempeño de una combinación de productos frente a: forma y secuencia de dosificación óptima de cada uno de ellos, punto o etapa ideal de dosificación, influencia en el proceso de la concentración de los químicos dosificados, determinación del pH óptimo de coagulación.
- En operación, tomar decisiones rápidas sobre la dosificación de químicos a utilizar de acuerdo a las variaciones en la calidad del agua cruda.
- Evaluar los efectos de modificaciones en las condiciones de operación de la planta sobre el proceso de clarificación.

Figura 7

Prueba de jarras (jar test)



Nota. El equipo de prueba de jarras contiene seis paletas de agitación que mezclan el contenido de un volumen constante de uno o dos litros, a una misma velocidad de mezclado para todos los recipientes que es controlada por un medidor de revoluciones en RPM. Por lo general uno de los envases actúa como control, mientras que las dosificaciones de los otros son diferentes. Chemical (2016).

El metabisulfito de sodio cuando es expuesto al aire y a la humedad se oxida lentamente hasta convertirse en sulfato de sodio. Este compuesto tiene una amplia variedad de usos en diferentes industrias, como la alimentaria, textil, agrícola, entre otras. Otro de los usos importantes que tiene el metabisulfito de sodio es para el tratamiento de aguas, uno de ellos es la ósmosis inversa, en este proceso el agua es forzada a pasar a través de una membrana semipermeable de una solución muy concentrada con sales y contaminantes a una de menor concentración, utilizando la presión para ayudar a invertir el flujo osmótico normal (2vSQuimicos,2016).

El metabisulfito de sodio es utilizado como un agente limpiador, para remover el exceso de cloro, y eliminar el oxígeno del agua que alimenta a las calderas. Según el DS N° 002-2008-MINAM (2008) nos indica que, aprobar los ECA's para Agua, contenidos en el Anexo I del Presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

El numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire,

agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Los ECA's establecidos por el MINAM, fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en la descarga a los cuerpos receptores en el ambiente. El propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada. (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

ECA I: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

B1. Contacto primario

B2. Contacto secundario

ECA II: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

ECA III: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

- a) Subcategoría D1: Riego de vegetales
 - a. Agua para riego no restringido
 - b. Agua para riego restringido
- b) Subcategoría D2: Bebida de animales

ECA IV: Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

- a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos
- b) Subcategoría E2: Ríos
 - a. Ríos de la costa y sierra
 - b. Ríos de la selva
- c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos
 - a. Estuarios
 - b. Marinos

El pH es el logaritmo de la recíproca de la concentración de ion hidrogeno en una sustancia o medio. La escala del pH en los sistemas de agua varía de 0 a 14; las soluciones ácidas tienen un pH menor a 7, las soluciones básicas tienen un pH superior a 7 y las neutras uno cercano a 7. La concentración del hidrogeno puede ser medida con un pH metro o papeles tornasol.

El artículo 28 del DS-024-2016-EM, indica que “El titular de actividad minera de la unidad minera amenazada por las labores de comunicación entre minas actuará de manera inmediata cuando exista el riesgo de inundación, contaminación por gases, o aguas ácidas, comunicando a la autoridad competente las acciones tomadas”. Asimismo, en el capítulo IX, artículo 95, inciso b) se indica que: El titular de actividad minera deberá identificar

permanentemente los peligros, evaluar los riesgos e implementar medidas de control, con la participación de todos los trabajadores en los aspectos que a continuación se indica, en las deficiencias de las maquinarias, equipos, materiales e insumos.

El artículo 96 del DS-024-2016-EM, indica que “El titular de actividad minera, para controlar, corregir y eliminar los riesgos deberá seguir la siguiente jerarquía: Eliminación, sustitución, Control de ingeniería, Control Administrativo y uso del EPP.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo se realiza el tratamiento para la remoción de cloraminas de la planta de tratamiento de aguas para evitar riesgos al Medio Ambiente?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Remover las cloraminas de la planta de tratamiento de aguas para evitar riesgos al Medio Ambiente.

1.3.2. Objetivos específicos

- Indicar cualitativamente las cloraminas en la descarga de la poza reguladora y reservorio de agua de la empresa minera en estudio.
- Evaluar la concentración de amonio en la solución barren de la poza reguladora de la empresa minera en estudio.
- Evaluar la concentración de amonio, cloro libre y cloramina, en la descarga de agua de la Planta de tratamiento al reservorio de la empresa minera en estudio.
- Determinar la remoción de cloraminas con ácido acético y metabisulfito de sodio, en la descarga de agua de la Planta de tratamiento al reservorio de la empresa minera en estudio.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

A nivel laboratorio la remoción de la cloramina es alrededor del 95% al 100% con una dosis de metabisulfito de sodio de 50 ml/litro de agua tratada, reduciendo la concentración de cloramina desde 10 ppm hasta 0.0 ppm.

1.4.2. Hipótesis específicas

- De acuerdo a la inspección, se tiene cloraminas en la descarga de la poza reguladora y reservorio de agua de la empresa minera en estudio.
- Al monitorear la solución barren en la poza reguladora de la empresa minera en estudio, se tiene altas concentraciones de amonio, que se generaría en la etapa de lixiviación.
- Al monitorear en la descarga del agua de la Planta de tratamiento al reservorio de agua, se cuantifica que hay una reducción del contenido amonio mientras el contenido de cloro libre se incrementa, asimismo se incrementa la cloramina a medida que el cloro también se incrementa, debido a que, a pH mayores de 7, se tiene mayor formación de cloramina.
- El ácido acético reduce en 10% el contenido de cloramina y el metabisulfito reduce en un 70% en promedio del contenido de Cloramina en el agua tratada.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo aplicada, experimental, que consiste en organizar un plan con el fin de investigar las relaciones causa – efecto a la acción de unas variables experimentales y que se contrastará el resultado. En esta investigación se busca evaluar el grado de remoción de cloramina mediante la aplicación de sustancias químicas como son el ácido acético y metabisulfito.

Jiménez (1998) indica que, “La investigación aplicada surge directamente de la práctica social y genera resultados que pueden aplicarse (son aplicables y tienen aplicación en el ámbito donde se realizan) la investigación se considera aplicada. Es obvio, que la aplicación no tiene forzosamente que ser directa en la producción o en los servicios, pero sus resultados se consideran de utilidad para aplicaciones prácticas”.

Vásquez (2016), indica que, “Los estudios experimentales desean comprobar los efectos de una intervención específica, en este caso el investigador va- a manipular la variable que es el grado de pH, pues lleva a cabo una intervención. En los estudios experimentales el investigador manipula las condiciones de la investigación”.

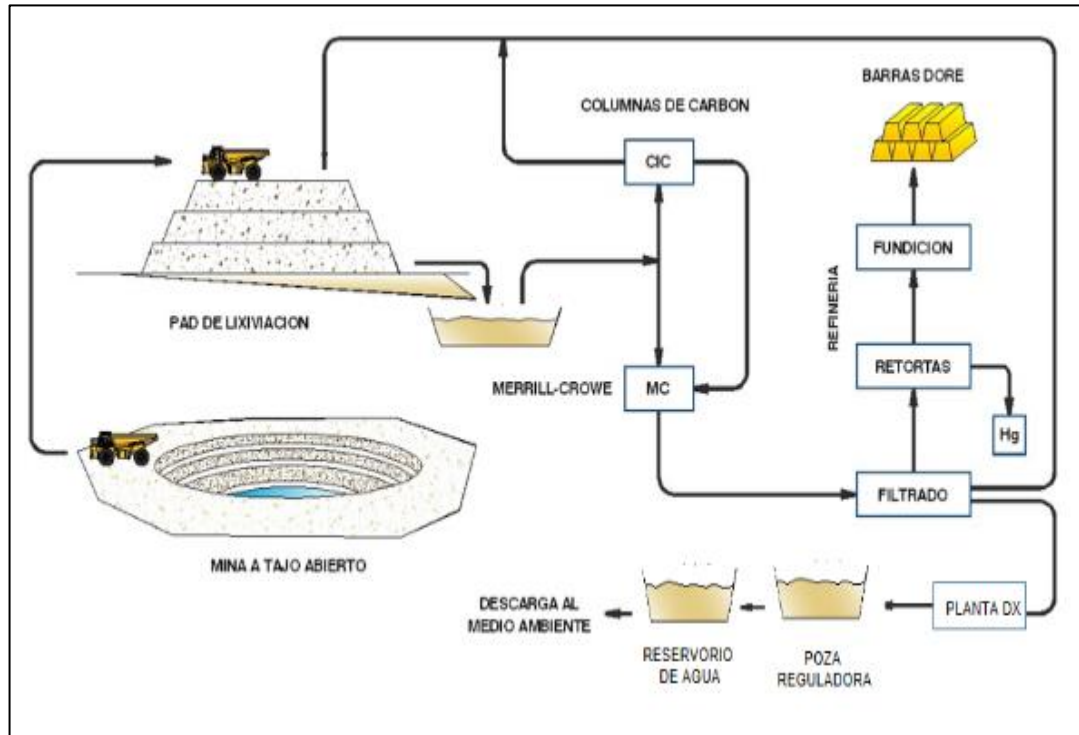
2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población objetivo es el efluente que se descarga en la poza reguladora de la Planta de Tratamiento de aguas (Planta DX) de la empresa minera en estudio de Cajamarca.

Figura 8

Flowsheet de procesos de la Empresa Minera en estudio



2.2.2. Muestra

La muestra consistió en 20 litros de efluente que se descarga en la poza reguladora de la Planta de Tratamiento de aguas (Planta DX) de la empresa minera en estudio de Cajamarca.

Para establecer el método de recolección de las muestras que evidencie cómo se obtuvo y sirva para ser contrastada, se usó como guía el método de investigación para programas de monitoreo de las empresas formales, que consiste en:

- Ubicación de fuentes de contaminación ambiental de origen minero, principalmente las correspondientes a minas abandonadas.
- Determinar los constituyentes relativos a las cargas causadas por las fuentes de contaminación en las aguas superficiales.

- Obtención de muestras para determinar características cualitativas del Impacto Ambiental en las áreas de cultivo.

La Obtención de datos e información de respaldo para el planeamiento de medidas de remediación se fundamentan en la aplicación de algunos criterios para confirmación de ubicación de fuentes de contaminación e impactos. (CESEL S.A., 1998). Estos criterios indican, la realización de un Inventario de efluentes, socavones de minas abandonadas, depósitos de desmonte, canchas de relaves, plantas concentradoras y fundiciones en abandono. Asimismo, la toma de muestras de agua en 32 puntos para análisis en laboratorio, en tres oportunidades. La Toma de 9 muestras de sólidos para evaluación de Potencial de Generación de Drenaje Acido. - Toma de muestras de suelos para evaluación de impactos en su capacidad de uso con fines agrícolas.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron: el análisis documental, la observación directa y la experimentación.

- Con la técnica del análisis documental se realizó la revisión en repositorios de Universidades y revistas especializadas de la información y abarcó los diferentes estudios e informes sobre tratamiento de aguas residuales procedentes de estudios anteriores y registros de los diferentes sectores que implican el uso de cloro (Cl) como compuesto químico regulador de pH en aguas tratadas, en la actualidad la reutilización de aguas residuales en la industria minera se ha convertido en una opción de optimización de costos ya que conlleva al saneamiento de aguas ya usadas por reutilización de estas

mismas en las diferentes etapas a desarrollar asimismo la reducción de costos en operación, optimiza el rendimiento de los diferentes procesos.

- Con la técnica de la observación directa, se realizó la visualización in situ que el efluente con cloramina se descarga en la poza reguladora y reservorio de agua.
- Con la técnica de la experimentación se siguieron los procedimientos para realizar el experimento con el equipo prueba de jarras en el laboratorio. Estas pruebas se realizaron en el mes de agosto del 2020. La prueba consistió en tomar una muestra del barren (Barren con contenido de amonio) y a esta solución se le adicionó hipoclorito en diferentes concentraciones, agitando el sistema por un tiempo determinado en el cual se percibió la formación de gases irritantes que afectan la vista y el sistema respiratorio. Estas muestras se analizaron por pH, amonio, cloro y Cloraminas. Todas estas pruebas se realizaron con estricto cumplimiento al protocolo de monitoreo de una prueba de tratamiento de aguas. Ver anexo 7.

La muestra de agua a la salida de la Planta DX se analizó por espectrofotometría en un equipo HACH DR 1900 (Ver anexo 9). Para esto las muestras líquidas fueron colectadas en frascos Winkler de vidrio previamente lavados con ácido sulfúrico al 10% y enjuagados con agua desionizada. Se empleó el método 10070 (Método DPD: 0 a 5.00 mg/l como Cl_2 , para cloro total) y el Método 10069 (Método DPD: 0 a 5,00 mg/l como Cl_2 , para cloro residual; donde se colocaron 10 ml de la muestra en tubos de vidrio a temperatura ambiente y se añadió un sobre de cloro total y cloro

libre respectivamente; se dejaron durante 3 minutos y posteriormente se midió la absorbancia en un equipo HACH DR 1900 con el programa número 80 para cloro total y 87 para cloro libre (longitud de onda de 530 nm).

Se adjuntan los instrumentos de Recolección de datos:

Instrumento 1: Inspección de poza reguladora.

Instrumento 2: Inspección del reservorio donde se almacena el agua tratada.

2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Se instaló los equipos para realizar el experimento utilizando la prueba de jarras (jar test), vasos de precipitados, el equipo HACH DR 1900, etc. y con los resultados obtenidos se realizaron tablas, gráficos, utilizando el Windows 8 – Excel, para poder interpretar la remoción de las cloraminas con la dosificación de los dos reactivos en forma separada: ácido acético y metabisulfito de sodio. Los certificados de calibración de estos equipos no existen porque son de uso manual y no computarizados, y no son registrados en archivo por la empresa minera en estudio donde se realizaron las pruebas.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Gabinete:

Inicialmente se procedió a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades, así como información de datos obtenidos anteriormente mediante tratamientos de aguas mediante el proceso de reducción de concentración de cloraminas.

2.4.2. Campo

Se hizo reconocimiento de la poza reguladora y reservorio de agua, para la toma de muestras líquidas y asimismo monitorear in situ el agua por amonio, cloro libre, cloraminas con sus respectivos pH.

2.5. Aspectos Éticos

Para la recolección de la información y ejecución del proyecto, se trabajó en todo momento utilizando los protocolos establecidos por la Universidad, haciendo uso de las normas APA 7ma edición, valiéndose de la correcta citación de autores y coautores de las investigaciones antecesoras a esta. El estudio se realizó tomando en cuenta los siguientes aspectos éticos, en base al entorno:

a) Social

No fue afectada las costumbres, tradiciones, salud; por otro lado, tampoco se transgredió los derechos humanos, debido a que se trabajó con los permisos pertinentes para la manipulación de los reactivos para hacer las pruebas de laboratorio. Se tuvo los cuidados adecuados en seguir los procedimientos para no generar un accidente por cualquier condición o acto sub estándar.

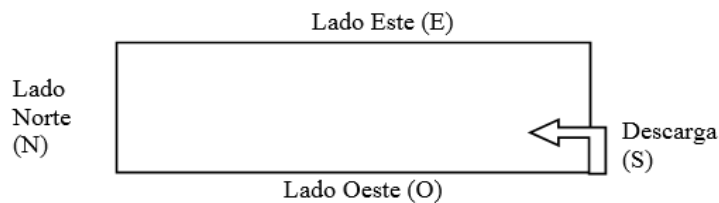
b) Medio Ambiente

No se generó contaminación, por un lado, en las zonas de donde se extrajo las muestras de aguas, ya que solo se recogió el volumen necesario para las pruebas de laboratorio. Tampoco se creó perjuicio dentro del área de la empresa minera en estudio.

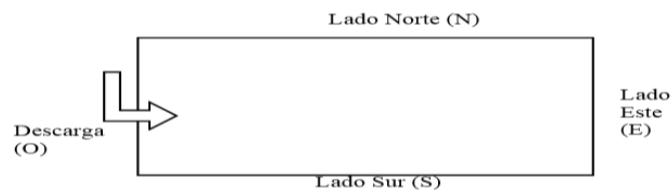
CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Determinación cualitativa de la cloramina en la descarga de la poza reguladora y reservorio de agua

Se inspeccionó la poza reguladora y el reservorio de agua ubicado en la concesión de la empresa Minera en estudio de acuerdo al siguiente esquema:



Esquema 1: Inspección a Poza reguladora.



Esquema 2: Inspección a Reservorio de Agua.

Tabla 1

Resultados de inspección a poza reguladora

Fecha	Hora	Lado Este	Lado Norte	Lado Oeste	Descarga
16/07/2020	02:23 a 02:55 pm.	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	Olor y Fastidio en los ojos
23/07/2020	03:10 a 3:20 pm.	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	Olor y Fastidio en los ojos

Nota: Datos tomados en campo

De acuerdo con estos resultados se tiene presencia de cloramina en el agua residual en la descarga a la poza reguladora, la cual causaba malestar directo con olor e impacto directo a los ojos causando irritación y la contaminación directa a otras aguas, generando impacto en la salud, por ello se llevó a cabo el análisis de una muestra directa lo cual dio como resultados el exceso de concentración de cloramina en las aguas residuales.

Tabla 2

Resultados Inspección del reservorio de agua

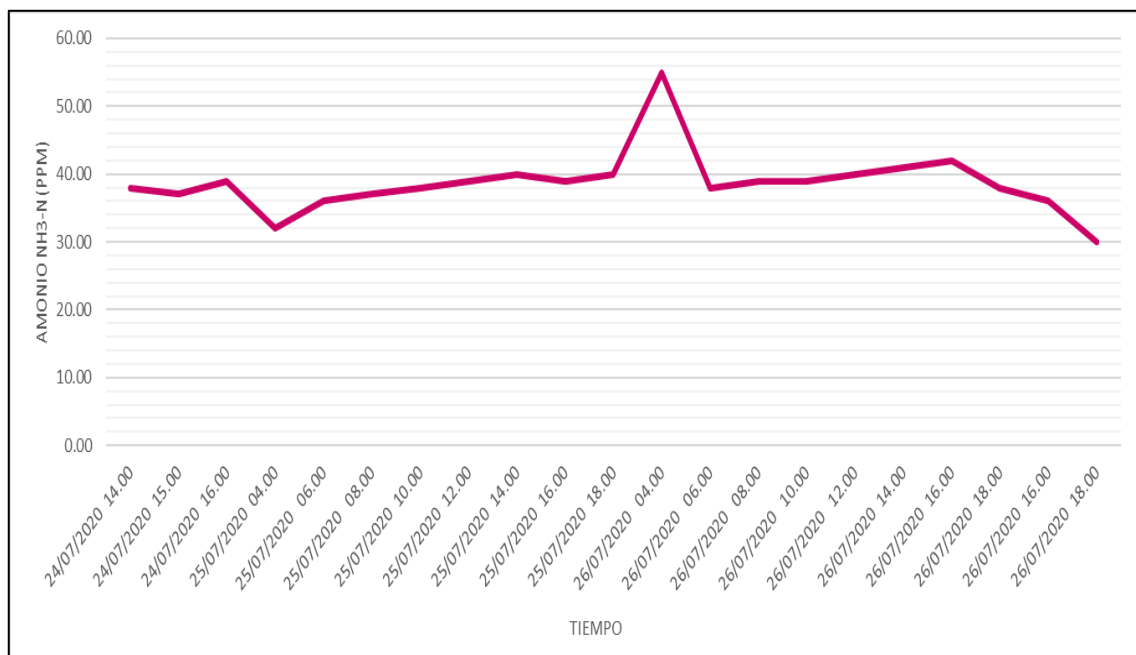
Fecha	Hora	Lado Este	Lado Norte	Lado Sur	Descarga
16/07/2020	3:20 a 3:40 pm	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio
23/07/2020	1:50 a 2:04 pm	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio	No olor ni fastidio

Nota: Datos tomados en campo

3.2 Evaluación de la concentración de Amonio $\text{NH}_3\text{-N}$ en la solución barren de la poza reguladora

Figura 9

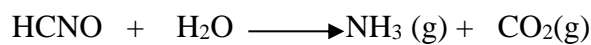
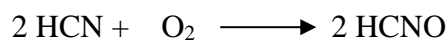
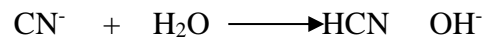
Amonio en la solución Barren de la poza reguladora



Nota: Datos tomados en la poza reguladora desde el 24/07/2020 al 26/07/2020

La Figura 9 muestra un comportamiento estable de concentración amonio en el barren en un rango de 30 a 55 ppm y un valor promedio de 38.71 ppm de amonio. Estos valores superan al valor de 1.5 ppm que es el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para aguas tipo A-1 (DS N° 015-2015-MINAM). La data del monitoreo se localiza en el Anexo 2.

En el proceso de Lixiviación del mineral en los Pads, se genera el amonio que es transportado hacia las etapas subsiguientes llegando hasta la etapa de tratamiento de agua (barren) que interviene directamente en la formación de cloraminas por reacción del cloro empleado para la detoxificación del cianuro. Las reacciones químicas que rigen la formación de amonio son las siguientes:

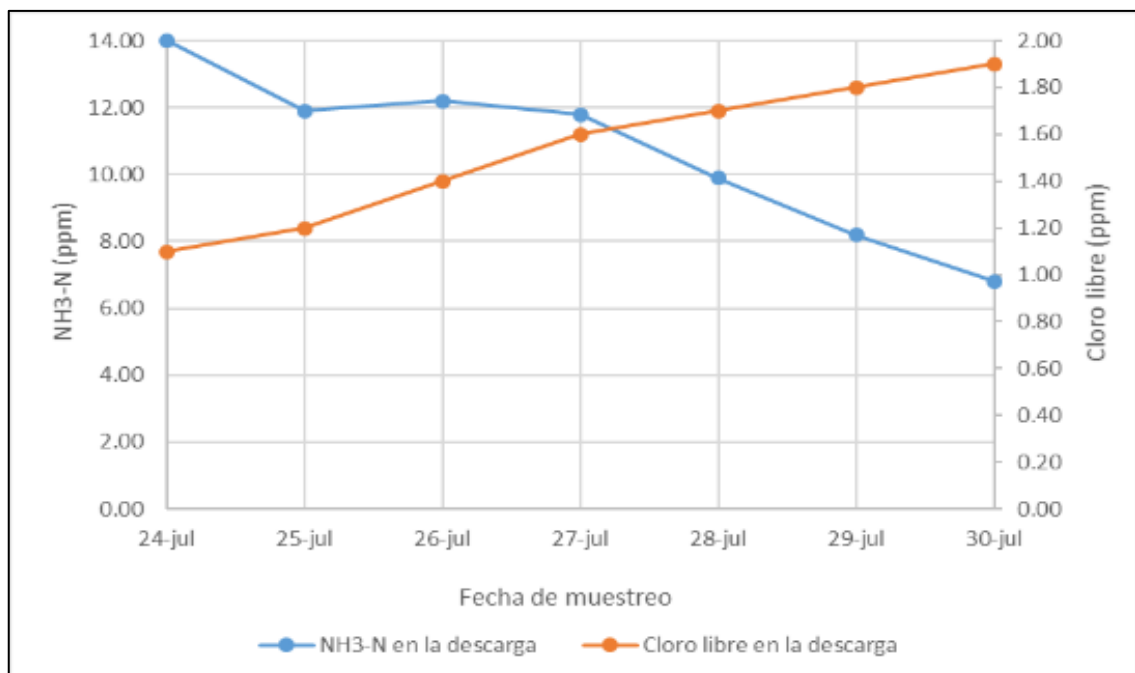


3.3 Evaluación de la concentración de amonio, cloro libre y cloramina en la descarga del agua de la Planta de tratamiento al reservorio.

Se realizaron análisis de amonio y cloro en los monitoreos diarios de la descarga del agua de la Planta DX al reservorio de agua, tal como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Monitoreo diario de Amonio y cloro libre en la descarga de la Planta DX.



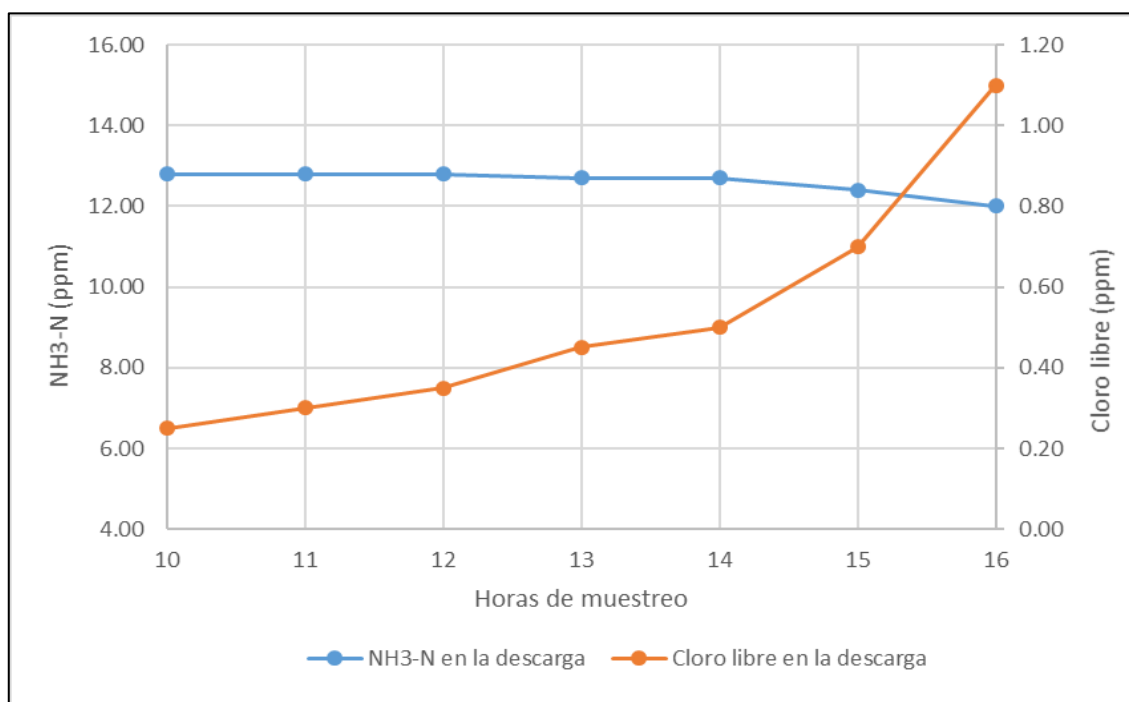
Nota: Datos tomados en la poza reguladora desde el 24/07/2020 al 30/07/2020

En esta Figura se muestra la reducción del amonio de 14 a 6.5 ppm, mientras el contenido de cloro libre, con alta variación de sus resultados se incrementó de 0.25 ppm hasta 1.9 ppm, en la descarga de la Planta DX durante los siete días del monitoreo. La data del monitoreo se localiza en el Anexo 3.

Se realizaron monitoreos de amonio y cloro libre, por horas en la descarga del agua de la Planta DX al reservorio de agua, tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Monitoreo de Amonio y cloro libre por horas en la descarga de la Planta DX.



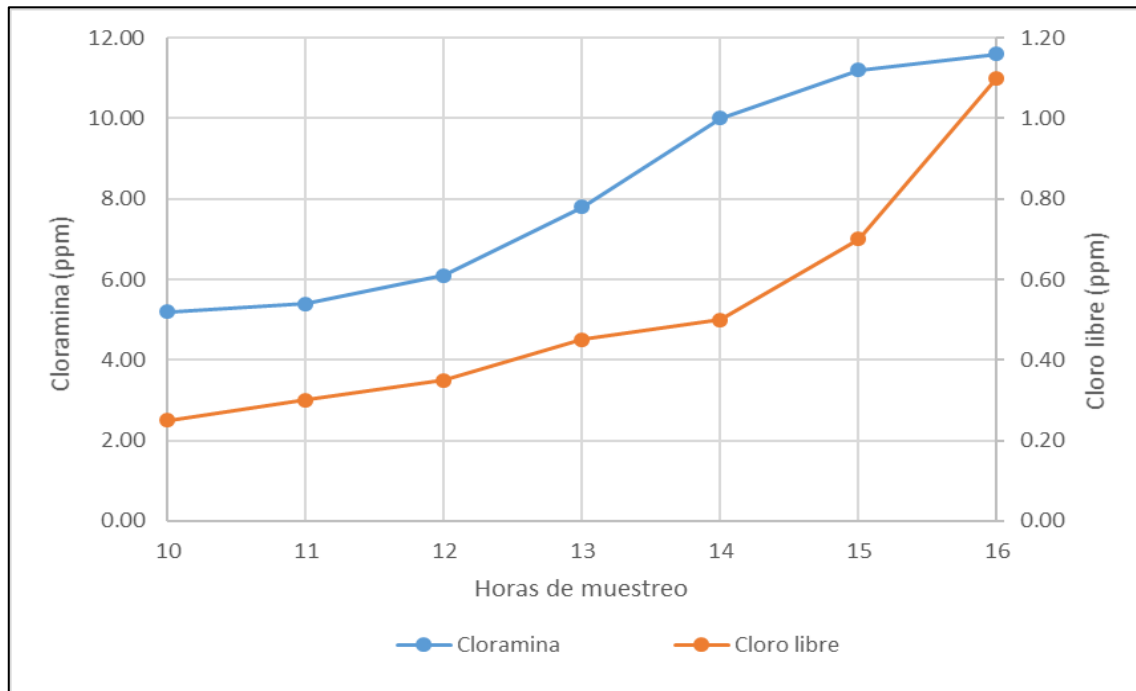
Nota: Datos del monitoreo de Amonio y Cloro libre tomados en la descarga de la Planta DX el 24/07/2020 desde las 10:00 hasta las 16:00 horas

La Figura 11 muestra el mismo comportamiento de reducción del amonio desde un valor de 12.8 ppm hasta 12.0 ppm y el incremento del cloro desde 0.25 ppm hasta 1.10 ppm, en el monitoreo caracterizado por horas. La data del monitoreo se localiza en el Anexo 4.

Se realizaron monitoreos de Cloramina y cloro libre por horas, en la descarga del agua de la Planta DX al reservorio de agua, tal como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Cloramina y cloro libre en la descarga de la Planta DX.



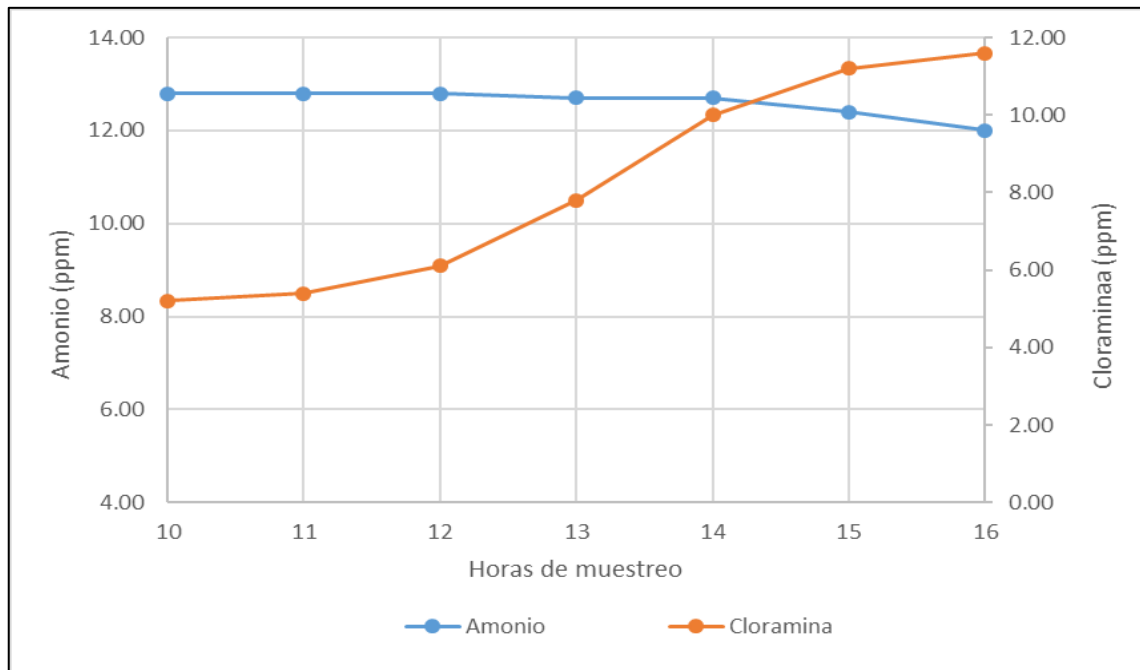
Nota: Datos del monitoreo de Cloramina y Cloro libre tomados en la descarga de la Planta DX, el 24/07/2020 desde las 10:00 hasta las 16:00 horas

La Figura 12, muestra el incremento de la cloramina a medida que el cloro se incrementa. Durante 6 horas, la cloramina se incrementa desde un valor de 5.20 ppm hasta 11.60 ppm y el incremento del cloro libre desde 0.22 ppm hasta 1.10 ppm, en el monitoreo caracterizado por horas. La data del monitoreo se localiza en el Anexo 5.

Se realizaron monitoreos de Amonio y cloramina por horas, en la descarga del agua de la Planta DX al reservorio de agua, tal como se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Amonio y Cloramina en la descarga de la Planta DX.



Nota: Datos del monitoreo de Amonio y Cloramina tomados en la descarga de la Planta DX, el 24/07/2020 desde las 10:00 hasta las 16:00 horas

La Figura 13 muestra la reducción del amonio y el incremento de cloramina en la descarga de la Planta DX. Durante 6 horas, la cloramina se incrementa desde un valor de 5.20 ppm hasta 11.60 ppm y la reducción del amonio desde 12.80 ppm hasta 12 ppm, en el monitoreo caracterizado por horas. La data del monitoreo se localiza en el Anexo 6.

3.4 Remoción de cloraminas con ácido acético y metabisulfito de sodio en la descarga de agua de la Planta de tratamiento al reservorio.

Se realizaron pruebas adicionando ácido acético glaciar a las muestras con contenido de cloramina

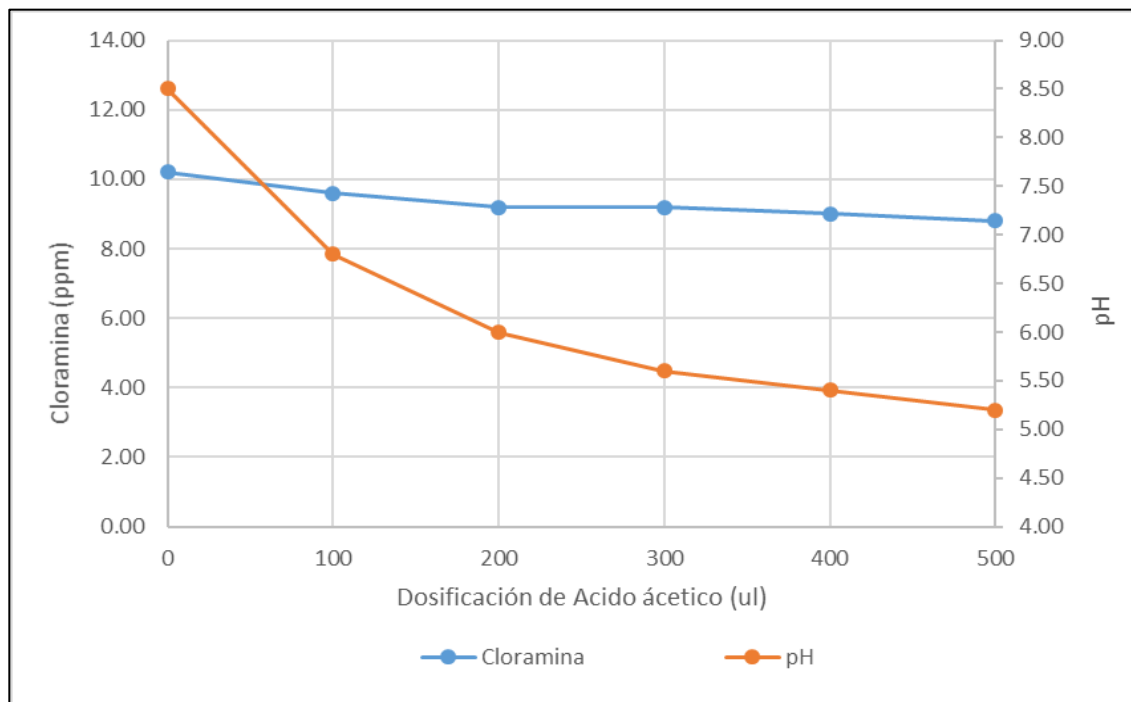
Tabla 3

Adición de ácido acético a muestras de agua con contenido de cloramina

Parámetro	En 50 ml. de muestra					
Ácido acético (ul)	0	100	200	300	400	500
pH	8.64	6.78	6.00	5.44	5.18	5.10
Cloramina (ppm)	14.2	9.5	9.3	9.2	9.0	8.9

Figura 2

Tratamiento de la cloramina con dosificación de ácido acético en función del pH



La Figura 14 muestra la reducción de la cloramina de 10.20 a 8.80 ppm con una adición máxima de 0.5 ml de ácido acético glaciar. Por otro lado, esta dosificación reduce el pH desde 8.50 hasta 5.20

3.5 Se realizaron dos pruebas adicionando metabisulfito de sodio a dos muestras con contenido de cloramina obteniendo los siguientes resultados:

Figura 3

Tratamiento de la cloramina para la primera muestra con dosificación de Metabisulfito en función del pH

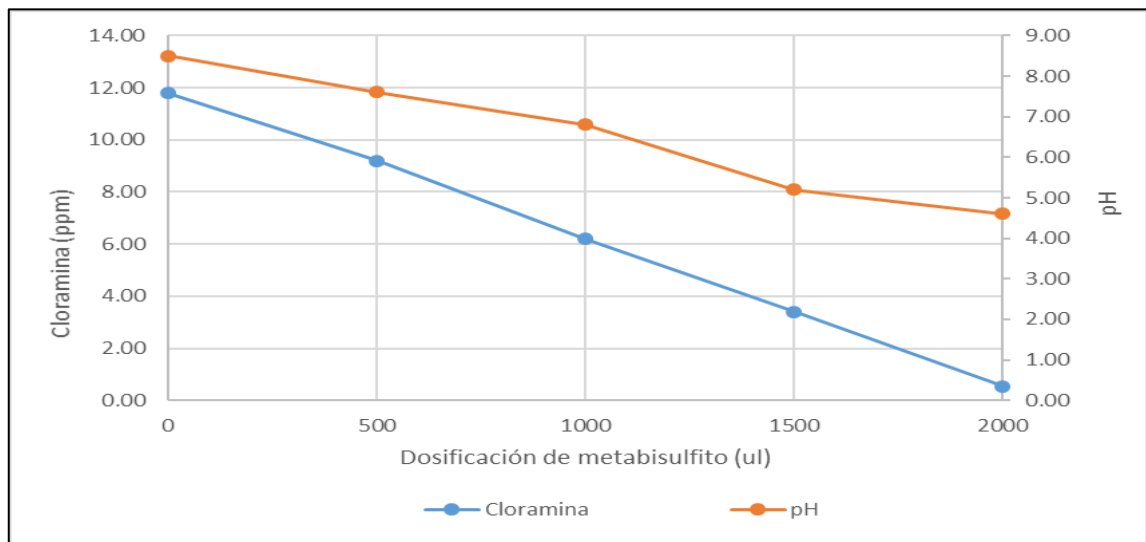
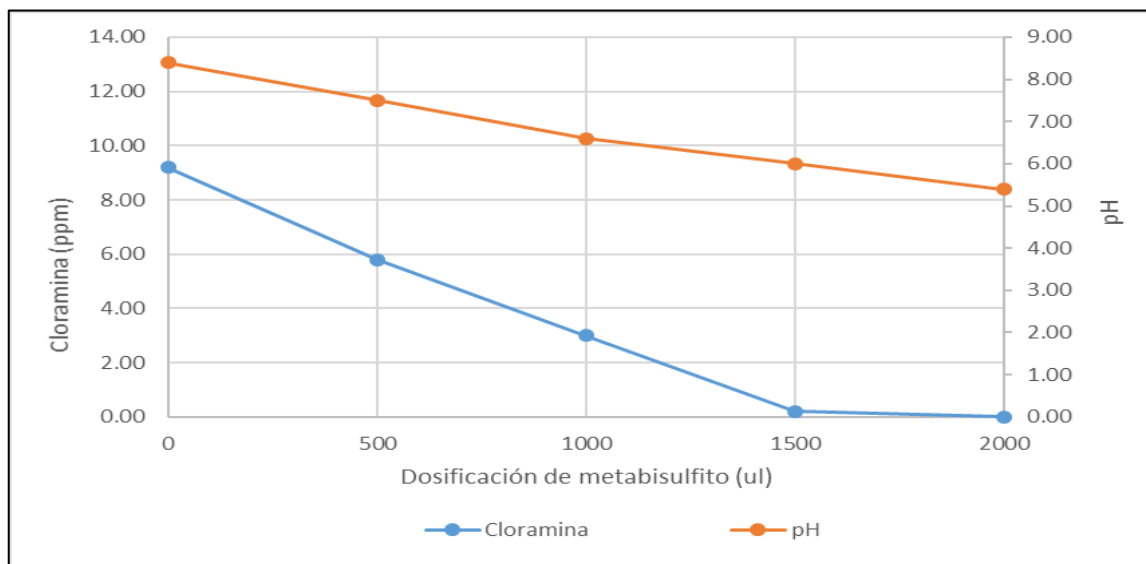


Figura 16

Tratamiento de la cloramina para la segunda muestra con dosificación de Metabisulfito en función del pH



La Figura 16 muestra la reducción de la cloramina desde 11.80 ppm hasta 0.55 ppm adicionando 2 ml de metabisulfito y en la Figura 15 reduce la cloramina desde 9.2 ppm hasta cero. El pH en ambas ilustraciones también baja.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

- De acuerdo con los resultados de inspección a la poza reguladora mostrados en la tabla 1, se tiene presencia de cloramina en el agua, la cual causaba malestar directo con olor e impacto directo a los ojos causando irritación y la contaminación directa a otras aguas, generando impacto negativo en la salud. La Figura 9 muestra la concentración amonio en la solución barren en un rango de 30 a 55 ppm y un valor promedio de 38.71 ppm de amonio. Estos valores superan al valor de 1.5 ppm que es el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para aguas tipo A-1 (DS N° 015-2015-MINAM). El amonio se genera en el proceso de lixiviación del mineral en los Pads, el cual va hacia las etapas subsiguientes llegando hasta la etapa de tratamiento de agua (barren) que interviene directamente en la formación de cloraminas por reacción del cloro empleado para la detoxificación del cianuro. Los resultados confirman en primer lugar el estudio de (Rodríguez, 2017), quién menciona que en el caso de las de las aguas residuales provenientes de plantas concentradoras, pads de lixiviación de empresas mineras, estas sustancias provienen de los mismos minerales que formaron parte integral de las aguas abastecidas. En segundo lugar se confirma la investigación de (Ramírez, 2020), quien refiere que la Directiva de la U.E. limita el contenido de amoníaco a un máximo de 0,5 mg/l, y admitiendo que el amoníaco que se encuentra combinado para formar las cloraminas y añadido expresamente con este fin, está sometido a esta limitación, el contenido máximo de cloraminas, (monocloramina) para una relación cloro/amoníaco en peso de 4/1, será de 2 mg/l. Los resultados de la inspección para determinar cualitativamente las cloraminas en la descarga de la poza reguladora y reservorio de agua, también

confirman la investigación de (Benedetti, 2019), quien indicó que la ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) registró que las consecuencias y los daños que causa el cloro sobre la salud varían según el tiempo de exposición a dicho elemento y a las cantidades. Estos son los efectos más comunes que tiene el permanecer un largo periodo de tiempo en contacto con el cloro: Asma bronquial, dolor de garganta y nariz, malestar general, irritación generalizada especialmente en los ojos.

- El monitoreo de amonio en la solución barren de la poza reguladora de la empresa minera en estudio, muestra una concentración en un rango de 30 a 55 ppm de amonio, (ver Figura 9). Estos valores superan al valor de 1.5 ppm que es el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para aguas tipo A-1 (DS N° 015-2015-MINAM). En el proceso de Lixiviación del mineral en los Pads, se genera el amonio que es transportado hacia las etapas subsiguientes llegando hasta la etapa de tratamiento de agua (barren) que interviene directamente en la formación de cloraminas por reacción del cloro empleado para la detoxificación del cianuro. Estos resultados contradicen el estudio de (Ramírez, 2020), quién menciona que las reacciones de óxido-reducción del amoníaco y el cloro existen en el sentido de oxidación del amoníaco y reducción del cloro, cuando la relación molar de cloro a amoníaco es mayor de 1. Cuando esta relación está en proporción de 2:1, el proceso es prácticamente completo, desapareciendo tanto el amoníaco como el cloro oxidante.
- En el monitoreo de amonio y cloro libre, se muestra la reducción del amonio de 14 a 6.5 ppm, mientras el contenido de cloro libre, se incrementó de 0.25 ppm hasta 1.9 ppm, en la descarga de la Planta DX durante los siete días del monitoreo (ver Figura 11). En el monitoreo de cloramina y cloro libre se muestra el incremento de

la cloramina a medida que el cloro se incrementa. Durante las 6 horas de monitoreo, la cloramina se incrementa desde un valor de 5.20 ppm hasta 11.60 ppm y el incremento del cloro libre desde 0.22 ppm hasta 1.10 ppm (ver Figura 12). En el monitoreo de amonio y cloramina se muestra la reducción del amonio y el incremento de cloramina en la descarga de la Planta DX, durante las 6 horas de monitoreo, la cloramina se incrementa desde un valor de 5.20 ppm hasta 11.60 ppm y la reducción del amonio desde 12.80 ppm hasta 12 ppm (ver Figura 13). Estos resultados confirman la investigación de (Benedetti, 2019), quien indicó que las cloraminas se mantienen activas en el agua durante un largo periodo de tiempo. Al igual que otras moléculas, las cloraminas contribuyen a la cantidad total de sólidos disueltos en agua. Como el cloro, las cloraminas son reactivas de manera selectiva y pueden tener efectos dañinos cuando están en el agua un largo periodo de tiempo. Cuando las cloraminas están presentes, hay generalmente cantidades traza de amonio e hipoclorito también en el agua. Las cloraminas y principalmente las monocloraminas, son difíciles de eliminar del agua por medio de osmosis inversa o ablandamiento del agua.

- El metabisulfito reduce en un 100% el contenido de Cloramina en el agua tratada. Para lograr este objetivo se debe mantener el pH en la etapa de clorinación sobre 9 y mediante la dosificación de metabisulfito se regularía el pH. Según 2vSQuimicos, en su artículo titulado Metabisulfito de sodio en el tratamiento de agua dice que, otro de los usos importantes que tiene el metabisulfito de sodio es para el tratamiento de aguas, uno de ellos es la ósmosis inversa, en este proceso el agua es forzada a pasar a través de una membrana semipermeable de una solución muy

concentrada con sales y contaminantes a una de menor concentración, utilizando la presión para ayudar a invertir el flujo osmótico normal.

4.2 Conclusiones

- Según la investigación se concluye que la remoción del contenido de cloraminas en las plantas de tratamiento de aguas que utilizan exceso de cloro para la destrucción del cianuro, el ácido acético remueve sólo el 10% de las cloraminas. Por el contrario, el metabisulfito de sodio logró remover el 100 % la cloramina presente en el efluente minero.
- De los resultados de la inspección cualitativa en la descarga de agua de la poza reguladora, se concluye que se tiene presencia de cloramina en el agua, la cual causa malestar directo con olor e impacto directo a los ojos causando irritación y la contaminación directa a otras aguas, generando impacto negativo en la salud y al medio ambiente. Se confirma que la cloramina es un compuesto que se genera a partir de la reacción del cloro disuelto y el amonio. El amonio se genera en el proceso de lixiviación del mineral en los Pads, el cual va hacia las etapas subsiguientes llegando hasta la etapa de tratamiento de agua (barren) que interviene directamente en la formación de cloraminas por reacción del cloro empleado para la detoxificación del cianuro.
- Según el análisis de la concentración de amonio presente en la solución barren de la poza reguladora, se concluye que el amonio está en un rango de 30 a 55 ppm y un valor promedio de 38.71 ppm. Estos valores superan al valor de 1.5 ppm que es el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para aguas tipo A-1 (DS N° 015-2015-MINAM).
- Al evaluar la remoción de cloraminas con ácido acético y ver la influencia sobre su pH, se tuvo una reducción de la cloramina de 10.2 a 8.8 ppm con una dosificación máxima de 0.5 ml de ácido acético/50 ml de agua tratada (equivalente a 10 litros de

ácido acético/ m^3 de agua tratada), por lo consiguiente se redujo un pH de 8.50 a 5.20 presente en las muestras. Se concluye que el ácido acético remueve sólo el 10% de las cloraminas, es decir no reduce significativamente el contenido de cloramina.

- Al evaluar la remoción de cloraminas con metabisulfito de sodio y ver la influencia sobre su pH, se tuvo una reducción de la cloramina desde 9.2 ppm hasta 0.0 ppm con una dosis óptima de 2 ml de metabisulfito de sodio/50 ml de agua tratada (equivalente a 40 litros de metabisulfito de sodio / m^3 de agua tratada). Para lograr este objetivo se debe mantener el pH en la etapa de clorinación sobre 9 y mediante la dosificación de metabisulfito se regularía el pH. Se concluye que el metabisulfito de sodio remueve el 100 % de la cloramina presente en el efluente minero, resultado que es satisfactorio para la empresa en estudio por lo cual el tratamiento será implementado en la Planta DX.

REFERENCIAS

- Aguirre C. A. L. (2005). *Tratamiento de agua residual doméstica con lodos activados*. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa, México D.F. Tesis de Licenciatura. 50 pp.
- Aguirre P., García J. y Mujeriego R. (2004). *Desinfección con cloro y luz UV en un proceso convencional de regeneración de agua*. Rev. Ingeniería del Agua. Vol. 11 75-89pp.
- Alvarez García R. (2005). *Aplicación de Sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración en minería del oro*. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo, España.
- Barrenechea A. y De Vargas L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de Filtración rápida. En: Desinfección*. Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú.
- Cárcamo, J. A. (2012). *Utilización del metabisulfito de sodio como preservante en las camaroneras*. Euroinnova formación. Recuperado de: <http://redsocialeducativa.euroinnova.edu.es>
- Castro E. M. L. (1992). *Uso de cloro para la desinfección de agua para consumo humano: efectos en la salud humana*. Hoja de divulgación técnica CEPIS. <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/rapidisc/publica/hdt/hdt049.html> consulta 17-marzo-2016.
- Cesel S.A. y DGAA-MEM (1998): T.II, 185
- Chuc A. N. N. (2008). *Reducción de la carga orgánica en el agua residual en una planta industrial mediante la aplicación de la reacción de Fenton*. Universidad Veracruzana. Coatzacoalcos, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. 84 pp.

Comisión Nacional del Agua CNA (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.*

<ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Desinfecci%F3n%20para%20Sistemas%20de%20Agua%20Potable%20y%20Saneamiento.pdf> consulta: 23-marzo-2016.

Crites R. y Tchobanoglous J. (1998). *Small and Decentrallized Wastewater Management Systems*, In: Land Treatment System. Ed. G. Tchobanoglous, McGraw-Hill, USA: 666-668.

Del Águila N. (2015). *Gestión de efluentes, tratamiento de aguas ácidas y precipitación de aluminio y manganeso en la planta de tratamiento de la empresa Minera Yanacocha*. Tesis para optar el título de Licenciado en Química, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Domínguez G. R. (2012). *Limitaciones del efecto germicida de la radiación solar, como alternativa en la desinfección del agua para consumo humano.*
<https://es.scribd.com/doc/115705292/Limitaciones-Radiacion-Solar-Agua-Consumo-Humano>. Consulta: 10- marzo-2016.

Garcés Giraldo, L.F. (2011). *Uso de dos fotos sensibilizadores para el tratamiento de aguas residuales coloreadas: un análisis desde el modelo factorial*. Ed. Corporación Universitaria Lasallista. Caldas (Colombia).

Gordillo de C. G. E. (2013). *Investigación técnica y económica sobre desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación. E.T.S.I. de Caminos, canales y puertos*. Tesis Doctoral. 99-102 pp.

Hold (2017). *¿Por qué se irritan los ojos en la piscina?* Artículo de empresa HOLD.

<https://www.hold-tech.com/2017/08/06/por-que-se-irritan-los-ojos-en-la-piscina/>

- Martínez G. M. A. y Zúñiga G. G. M. (2012). *Los efectos de la luz ultravioleta*. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana 3 (25) https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol25num3/articulos/neurobiologia/_consulta:1-mayo-2016.
- Mendoza S. M. D. y Vera M. S. M. (2010). *Formación de trihalometanos y la manera más factible de su eliminación en el sistema de agua potable*. Universidad Técnica De Manabí Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas Manabí Ecuador. Tesis de licenciatura. 102 pp.
- Minera Barrick (2005). *Módulo de Aguas y ARD*. Minera Barrick Misquichilca S.A. Alto Chicama.
- Niosh (2010). *Reducción de enfermedades en los parques acuáticos cubiertos*. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) o Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. Publicación N° 2010-138, marzo.
- Nunja G. J. V., Narvasta T. I. y Luna G. G. M. (2014). *Subproductos de la desinfección en el agua potable y sus riesgos en la salud humana*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú. <http://190.116.38.24:8090/xmlui/bitstream/handle/123456789/144/NUNJA-SUBPRODUCTOS%20DE%20LA%20DESINFECCION%20EN%20EL%20AGUA%20PO-TABLE.pdf?sequence=1> consulta: 20-Mayo-2016.
- Oller A. V. y Sanz V. J., (2012). *Cáncer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años: una revisión sistemática*. Universidad Miguel Hernández, Valencia, España. Revista Panamá Salud Pública, 6 (32): 435-443.
- Oefa, O. d. E. y. F. A. (2014). *Fiscalización Ambiental en las Aguas residuales*. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental Lima, Perú.

https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827 Consulta 22- Marzo-2016.

Pérez L. J.A. y Espigares G. M. (1995). *Desinfección del agua, cloración*. Universidad de Granada.

<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/CLORACION.pdf> consulta 1-marzo-2016.

Pérez P. C. (2012). *Diseño y cálculo del tratamiento secundario mediante aireación prolongada de una EDARU*. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior departamento de Ingeniería Química, Madrid, España. Tesis de licenciatura. 93 pp.

Ramírez F. (2005). *Desinfección del agua con cloro y cloraminas*. Tecnología Industrial 260.

<https://www.tecnicaindustrial.es/desinfeccion-del-agua-con-cloro-y-cloraminas/>

Ramírez F. (2020). *El agua potable*. Artículo sobre Soluciones globales para el reciclaje.

<http://www.elaguapotable.com/cloraminas.htm>

Recytrans (2013). *Las aguas residuales*.

<https://www.recytrans.com/blog/aguas-residuales/>

Reyes M. (2016). *Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas: desinfección y formación de subproductos*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental. Instituto Politécnico Nacional, Durango, México.

Rodier J. (1990). *Análisis de las aguas*. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar: química, fisicoquímica, bacteriología, biología. Ediciones Omega. Barcelona: 616 pp.

Rodríguez G. D. P. (2004). *Desinfección y esterilización*. A la Salud Pública: 103 pp.

- Rodríguez H. (2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. Block Aqualia sobre sobre La Gestión del Ciclo Integral del Agua, Republica Dominicana.
- Rupay F. (2016). *Remoción del cianuro con el complejo ($CuSO_4 - H_2O_2$) de los efluentes de cianuración de oro para evitar riesgosa la salud y al ambiente*”. Tesis para obtener el grado de Doctor en Seguridad y Control en Minería. Unidad de Posgrado Facultad de Ingeniería de minas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo- Perú.
- Villanueva C. M., Manolis K. y Grimaltb J. O. (2001). *Cloración del agua potable y efectos sobre la salud: revisión de estudios epidemiológicos*. Barcelona, España. Medicina clínica, 1(117): 27-36 pp.

ANEXOS

Anexo 1

Instrumento 1

Formato de inspección de POZA REGULADORA

Fecha	Hora	Lado Este	Lado Norte	Lado Oeste	Descarga
--------------	-------------	------------------	-------------------	-------------------	-----------------

Instrumento 2

Formato de Inspección del reservorio de agua

Fecha	Hora	Lado Este	Lado Norte	Lado Oeste	Descarga
--------------	-------------	------------------	-------------------	-------------------	-----------------

Anexo 2

DATA DE MONITOREO DE AMONIO NH₃-N EN LA SOLUCION BARREN DE LA POZA REGULADORA

Fecha y hora	Amonio NH ₃ -N (ppm)
24/07/2020 14.00	38.00
24/07/2020 15.00	37.00
24/07/2020 16.00	39.00
25/07/2020 04.00	32.00
25/07/2020 06.00	36.00
25/07/2020 08.00	37.00
25/07/2020 10.00	38.00
25/07/2020 12.00	39.00
25/07/2020 14.00	40.00
25/07/2020 16.00	39.00
25/07/2020 18.00	40.00
26/07/2020 04.00	55.00
26/07/2020 06.00	38.00
26/07/2020 08.00	39.00
26/07/2020 10.00	39.00
26/07/2020 12.00	40.00
26/07/2020 14.00	41.00
26/07/2020 16.00	42.00
26/07/2020 18.00	38.00
26/07/2020 16.00	36.00
26/07/2020 18.00	30.00
Valor mínimo (ppm)	30.00
Valor máximo (ppm)	55.00
Promedio (ppm)	38.71
Desviación Estándar (ppm)	4.64
Coficiente de Variación (%)	11.98

Anexo 3

DATA DIARIA DE MONITOREO DE AMONIO NH₃-N y CLORO EN LA DESCARGA DE LA PLANTA DX

Fecha y hora	Amonio NH ₃ -N (ppm)	Cloro (ppm)
24-jul	14.00	1.10
25-jul	11.90	0.25
26-jul	12.20	0.70
27-jul	11.80	1.60
28-jul	9.90	1.70
29-jul	8.20	1.80
30-jul	6.80	1.90
Valor mínimo	6.80	0.25
Valor máximo	14.00	1.90
Promedio	10.69	1.29
Desv. Est.	2.51	0.63
Coef. Variación	23.52	48.53

Anexo 4

DATA DEL MONITOREO DE AMONIO Y CLORO POR HORAS EN LA DESCARGA DE LA PLANTA DX.

Hora	Amonio NH ₃ -N (ppm)	Cloro (ppm)
10	12.80	0.25
11	12.80	0.30
12	12.80	0.35
13	12.70	0.45
14	12.70	0.50
15	12.40	0.60
16	12.00	1.10
Valor mínimo	12.00	0.25
Valor máximo	12.80	1.10
Promedio	12.60	0.51
Desv. Est.	0.30	0.29
Coef. Variación	2.38	56.76

Anexo 5

DATA DEL MONITOREO DE AMONIO Y CLORO POR HORAS EN LA DESCARGA DE LA PLANTA DX.

Hora	Cloramina (ppm)	Cloro libre (ppm)
10	5.20	0.22
11	5.40	0.28
12	5.60	0.34
13	7.80	0.50
14	10.00	0.68
15	11.20	0.58
16	11.60	1.10
Valor mínimo	5.20	0.22
Valor máximo	11.60	1.10
Promedio	8.11	0.53
Desv. Est.	2.81	0.30
Coef. Variación	34.68	57.04

Anexo 6

DATA DEL MONITOREO DE AMONIO Y CLORAMINA POR HORAS EN LA DESCARGA DE LA PLANTA DX.

Hora	Amonio (ppm)	Cloramina (ppm)
10	12.80	5.20
11	12.80	5.40
12	12.80	5.60
13	12.70	7.80
14	12.70	10.00
15	12.40	11.20
16	12.00	11.60
Valor mínimo	12.00	5.20
Valor máximo	12.80	11.60
Promedio	12.60	8.11
Desv. Est.	0.30	2.81
Coef. Variación	2.38	34.68

Anexo 7

PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE COAGULACION/FLOCULACION

OBJETIVOS:

El propósito de estas pruebas es determinar las características de sedimentación y formación de sólidos por efecto de la adición de coagulantes y/o floculantes. Esto implica la evaluación de:

Efectividad de un coagulante/floculante, dosis óptimas, tiempos de sedimentación, etc.

FUNDAMENTOS:

Pruebas de floculación/coagulación son extensamente usadas en el campo de tratamiento de aguas. Tales pruebas son usadas para simular las etapas de coagulación, floculación y sedimentación de la planta de tratamiento de aguas.

Usar una mezcla rápida para inicialmente mezclar los coagulantes, luego usar un periodo de floculación (mezcla lenta) de apropiada duración e intensidad que simulen las condiciones de planta. Durante el periodo de sedimentación, a intervalos de tiempo de 1, 2, 5 y 10 minutos muestras son tomadas y la turbidez de la misma medida. En base a la turbidez y la velocidad de sedimentación se construyen las gráficas requeridas y se hace el análisis respectivo.

MATERIAL:

- ✓ 01 equipo de Prueba de Jarras de 06 paletas
- ✓ 01 micropipeta
- ✓ 01 papel filtro
- ✓ 06 Vasos pyrex de 1 litro
- ✓ Papel adsorbente

EPP REQUERIDO:

- ✓ Guantes de nitrilo
- ✓ Anteojos de seguridad
- ✓ Mandil antiácido

PROCEDIMIENTO:

1. Preparar los coagulantes y floculantes a las concentraciones requeridas para la prueba.

2. Revisar el correcto funcionamiento y estado del equipo de coagulación/floculación, celdas cuadradas, balanza, pHmetro, micropipeta y demás material de laboratorio antes de arrancar las pruebas
3. Homogenizar las soluciones que van a ser tratadas y extraer muestras para determinación de pH, turbidez, TSS y análisis químico de cabeza.
4. Llenar cada jarra cuadrada de floculación hasta la marca de 2 litros con la solución que va a ser tratada. Para mayor exactitud, se prefiere pesar la solución hasta conseguir 2000g.
5. Colocar las jarras llenas de solución en el equipo de floculación/coagulación e insertar las paletas de agitación dentro del líquido. Chequear la correcta ubicación de las jarras y las paletas.
6. Adicionar la dosis de coagulante requerida empleando la micropipeta y proceder a agitar a 300 RPM durante un minuto, esto con el objetivo de distribuir homogéneamente la cantidad de coagulante agregada.
7. Transcurrido el minuto de agitación rápida, pasar a una agitación lenta de 80 RPM por un lapso de 28 minutos (Este tiempo puede variar de acuerdo con las condiciones de planta).
8. Después de 28 minutos de agitación lenta se adiciona la dosis de floculante establecida y se continúa agitando a la misma velocidad durante 5 minutos (Este tiempo puede variar de acuerdo a las condiciones de planta).
9. Dejar en reposo las jarras con la solución tratada, tomar el tiempo inicial de sedimentación como $t=0$.
10. Una vez iniciada la etapa de sedimentación, tomar muestras del punto de salida o descarga ubicado 10 cm debajo del nivel marcado de solución. Los tiempos de muestreo son: 1, 2, 5, y 10 minutos, dichas muestras serán analizadas por turbidez y nos permitirán trazar una gráfica turbidez vs velocidad de sedimentación que servirá para evaluar la performance de clarificación.
11. Transcurridos 20 minutos de sedimentación, se procede a tomar la muestra final para turbidez y adicionalmente muestras para análisis químico (Si es necesario) y mediciones de pH.
12. Una vez tomadas las muestras, se decanta el líquido y el sólido precipitado es filtrado en un filtro de celulosa de 0.45 micras (previamente secado y pesado). El sólido obtenido es secado en estufa por 24 horas y finalmente pesado. Se registra el peso seco.

Anexo 8

Estándares Nacionales de Calidad de Agua físicos - químicos

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				

I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
Hidrocarburos de petróleo emulsionado o disuelto (C10 - C28 y mayores a C28)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(c)	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetradoroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetradoro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**

Anexo 9

Galería de fotos



Foto 1: Bachilleres en la empresa minera en estudio



Foto 2: Toma de muestras después del tratamiento

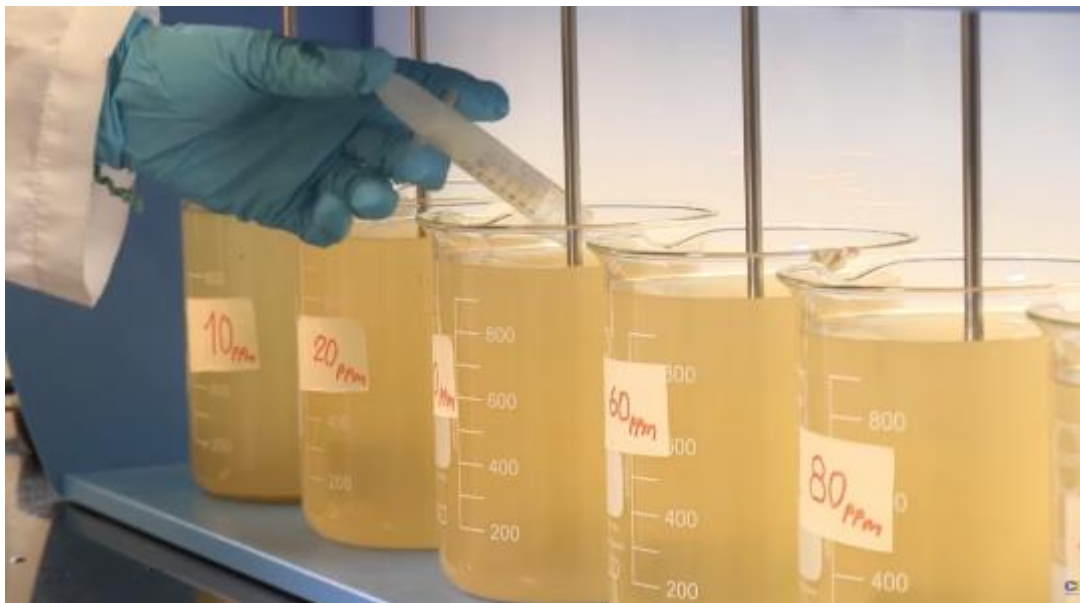


Foto 3: Dosificación de reactivos al agua con cloraminas



Foto 4: Medición de cloro libre y total con el equipo HACH DR 1900



Foto 5: Bachilleres en poza reguladora.

