

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y
AMBIENTAL**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE OXIDACIÓN QUÍMICA PARA
LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO AMONIAICAL DE AGUAS
RESIDUALES”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

ALMONACID MAMANI, MELIZA

Villa El Salvador

2017

DEDICATORIA

A Dios por su amor infinito, porque bendice y guía mis pasos cada día de mi vida, cada proyecto que realizo, por ser mi motivación para seguir adelante con los dones que me brindó, por haberme dado la vida y la familia que tengo.

A mis padres Lopesino Almonacid y Toribia Mamani, por brindarme su amor y apoyo a lo largo de toda mi formación personal y profesional, por sus consejos y paciencia, por representar para mí un ejemplo a seguir, por esforzarse por su familia y por enseñarme a luchar siempre por mis sueños y anhelos. Sin ustedes nada de esto hubiese sido posible.

A mis hermanas Iris y Marines+, y a mis hermanos Luis, Alex, Julinho, Jerson, Jose Luis, por su cariño y apoyo durante mi carrera, por ayudarme en los momentos difíciles y por compartir los momentos de alegrías y risas, por sus enseñanzas y por motivarme a ser siempre mejor y a luchar por lo que quiero.

Al resto de mi familia, abuelita, tías, tíos, primos y primas por su apoyo, por su comprensión, por ser siempre fuente de alegría, amor y apoyo incondicional.

Meliza Almonacid Mamani

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la gracia de lograr esta meta y vivir este momento. Gracias Señor por todo, mi confianza está en ti.

A mis padres por todo su apoyo y esfuerzo. No bastarían las palabras para agradecerles cuanto hicieron y hacen por mí y mis hermanos. Siempre mi admiración, respeto, amor y apoyo incondicional para ustedes.

A la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS), a la Escuela de Ingeniería Ambiental, y a todos mis profesores por brindarme la formación profesional, los conocimientos, experiencias, consejos y por abrirme muchas puertas.

A DASAMI PERÚ, al Ing. Carlos Castillo, por su apoyo en la realización de este trabajo, por brindarme su confianza para desarrollarme como profesional.

Al Edificio Targa y al Sr. Pedro Rodríguez, por permitirme realizar la experimentación de este proyecto en sus instalaciones.

A mi asesor, Mg. Julio César Bracho Pérez, por brindarme su apoyo durante la elaboración de este trabajo, por sus valiosos consejos y enseñanzas.

Al Mg. Edgar Avelino Marcelino Tarmeño, al Mg. Willy Andrés Aduato Medida por su apoyo en este y otros proyectos, por motivarme a investigar desde los primeros ciclos.

A José Guillermo Ruiz, por compartir conmigo esta etapa de mi vida, por tener en común muchas cosas, como esta idea de investigar y ser mejores cada día en todos los aspectos de nuestras vidas, por su apoyo incondicional.

A Max Bellido Segura, por su apoyo en el monitoreo de este proyecto, por ser un excelente amigo y hermano en Cristo.

A Jose Manuel, Jessica, Rosario y a todos mis amigos y compañeros, por todos los momentos inolvidables que compartimos, por sus consejos y ánimos y por las innumerables carcajadas que hemos compartido y todas aquellas que quedan por compartir.

A toda mi familia y a todas a aquellas personas que hicieron posible la realización de este trabajo. Gracias a todos, Dios los bendiga.

Meliza Almonacid Mamani

“Bendito el hombre que confía en el Señor, y pone su confianza en Él. Será como un árbol plantado junto al agua, que extiende sus raíces hacia la corriente; no teme que llegue el calor, y sus hojas están siempre verdes. En época de sequía no se angustia, y nunca deja de dar fruto”. (Jeremías 17:7-8)

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
LISTADO DE FIGURAS	vii
LISTADO DE TABLAS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	7
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	9
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.5. OBJETIVOS	10
1.5.1. Objetivo General	10
1.5.2. Objetivos Específicos.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.2. BASES TEÓRICAS.....	16
2.2.1. Valores Máximos Admisibles.....	16
2.2.2. Aguas residuales.....	20
2.2.3. Caracterización de las aguas residuales.....	20
2.2.4. Constituyentes residuales presentes en el agua residual.....	20
2.2.5. Aguas residuales con nitrógeno amoniacal.....	22
2.2.6. Niveles de tratamiento de aguas residuales	23
2.2.7. Tecnologías empleadas en el tratamiento avanzado de las aguas residuales .	24
2.2.8. Tratamiento de nitrógeno amoniacal	24
2.2.9. Cloración	26
2.2.10. Cloro y compuestos del cloro	27
2.2.11. Hipoclorito de sodio	28
2.2.12. Comportamiento del cloro en el agua.....	29

A. Reacciones del cloro en el agua	29
B. Reacciones del cloro con el amoniaco	30
C. Reacción del cloro con otros componentes del agua.....	31
D. Resumen de las reacciones del cloro en el agua en la cloración	32
2.2.13. Reacciones de oxidación – reducción	32
2.2.14. Reacciones del cloro con el nitrógeno amoniacal.....	34
2.2.15. Reacciones del cloro con la materia orgánica y otros compuestos químicos ...	35
2.2.16. Interferencias en la cloración	36
2.2.17. Algunos aspectos toxicológicos de la cloración	37
A. Los trihalometanos	37
B. Cloraminas y sus derivados	38
2.2.18. Sistema de dosificación	39
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	40
CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	49
3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	49
3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	50
3.2.1. UBICACIÓN	50
3.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS	52
3.2.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	53
3.2.4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	62
3.2.5. METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO	66
3.3. RESULTADOS.....	80
3.3.1. Nitrógeno amoniacal del agua residual sin tratamiento	80
3.3.2. Nitrógeno amoniacal del agua residual tratada.....	80
3.3.3. pH del agua residual sin tratamiento	81
3.3.4. pH del agua residual tratada.....	81
3.3.5. Temperatura del agua tratada	82
3.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	82
3.3.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	83

3.3.8. Aceites y Grasas (AyG)	83
3.3.9. Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	83
3.4. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS	84
3.4.1. Nitrógeno amoniacal agua residual sin tratamiento	84
3.4.2. Nitrógeno amoniacal agua residual tratada.....	85
3.4.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal	87
3.4.4. pH del agua residual sin tratamiento	88
3.4.5. pH del agua residual tratada.....	90
3.4.6. Temperatura del agua tratada	92
3.4.7. Parámetros del anexo 1 de los VMA	92
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	100
ANEXO 1: Registro fotográfico del trabajo realizado.....	100
ANEXO 2: Recibo de alcantarillado del edificio	107
ANEXO 3: Notificación de SEDAPAL.....	108
ANEXO 4: Ficha técnica hipoclorito de sodio	109
ANEXO 5: Acreditaciones INACAL e IAS de AGQ Perú SAC.....	111
ANEXO 6: Resultados de análisis en laboratorio	113

LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Obstrucciones en la red de alcantarillado.....	4
<i>Figura 2.</i> Obstrucciones por residuos sólidos.....	5
<i>Figura 3.</i> Atoros por el mal uso de colectores.	5
<i>Figura 4.</i> Residuos descargados en la red de alcantarillado.....	6
<i>Figura 5.</i> Ubicación del proyecto de investigación.....	9
<i>Figura 6.</i> Representación simplificada del átomo de cloro.....	33
<i>Figura 7.</i> Ubicación del Edificio Targa – San Isidro.....	51
<i>Figura 8.</i> Edificio Targa – San Isidro.....	51
<i>Figura 9.</i> Cálculos para hallar el tiempo de retención	56
<i>Figura 10.</i> Tanque de solución.....	58
<i>Figura 11.</i> Bomba dosificadora.....	59
<i>Figura 12.</i> Mixer, agitador vertical	60
<i>Figura 13.</i> Tablero eléctrico de control.....	62
<i>Figura 14.</i> Esquema del sistema de tratamiento implementado.	65
<i>Figura 15.</i> Plano del sistema de tratamiento implementado.	65
<i>Figura 16.</i> Punto de monitoreo de aguas residuales.	66
<i>Figura 17.</i> Caja de registro de aguas residuales.	67
<i>Figura 18.</i> Toma de muestras.	72
<i>Figura 19.</i> Preservación de muestras	72
<i>Figura 20.</i> Etiqueta de las muestras.....	77
<i>Figura 21.</i> Etiqueta de las muestras.....	77
<i>Figura 22.</i> Traslado de muestras al laboratorio.	78
<i>Figura 23.</i> Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ARC en función al VMA.	84
<i>Figura 24.</i> Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ARC en función al VMA.	85
<i>Figura 25.</i> Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ART.....	86
<i>Figura 26.</i> Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ART en función del VMA.....	87
<i>Figura 27.</i> Comportamiento del pH del ARC.....	89
<i>Figura 28.</i> Comportamiento del pH del ARC en función al VMA.....	89
<i>Figura 29.</i> Comportamiento del pH del ART	90
<i>Figura 30.</i> Comportamiento del pH del ART en función al VMA	91
<i>Figura 31.</i> Comportamiento de la temperatura del agua tratada en función al VMA....	92
<i>Figura 32.</i> Resultados de los parámetros del anexo 1 de los VMA	93

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. <i>Parámetros del Anexo N° 01 de los VMA</i>	18
Tabla 2. <i>Parámetros del Anexo N° 02 de los VMA</i>	19
Tabla 3. <i>Componentes en el agua residual y sus efectos</i>	21
Tabla 4. <i>Operaciones y procesos de eliminación de constituyentes del agua</i>	24
Tabla 5. <i>Efecto de operaciones y procesos de tratamiento sobre NH₃ - NH₄⁺</i>	25
Tabla 6. <i>Rendimientos de los procesos unitarios</i>	26
Tabla 7. <i>Descomposición del cloro con el tiempo</i>	28
Tabla 8. <i>Propiedades del Hipoclorito de Sodio</i>	29
Tabla 9. <i>Aspecto del Hipoclorito de Sodio</i>	29
Tabla 10. <i>Tipos de reacción del cloro en el agua</i>	32
Tabla 11. <i>Caudal descargado al alcantarillado durante 2015</i>	54
Tabla 12. <i>Volúmenes de preparación de solución a dosificar</i>	61
Tabla 13. <i>Puntos de monitoreo seleccionados</i>	66
Tabla 14. <i>Parámetros seleccionados para el monitoreo</i>	67
Tabla 15. <i>Frecuencia de monitoreo de una PTAR</i>	68
Tabla 16. <i>Plan de monitoreo</i>	69
Tabla 17. <i>Preservación y conservación de muestras</i>	73
Tabla 18. <i>Técnicas y equipos para analizar las muestras de agua</i>	79
Tabla 19. <i>Resultados de nitrógeno amoniacal del ARC</i>	80
Tabla 20. <i>Resultados del nitrógeno amoniacal del ART</i>	81
Tabla 21. <i>Resultados de pH del ARC</i>	81
Tabla 22. <i>Resultados de pH del ART</i>	82
Tabla 23. <i>Resultados de temperatura del ART</i>	82
Tabla 24. <i>Resultados de DBO del ART</i>	82
Tabla 25. <i>Resultados de DQO del ART</i>	83
Tabla 26. <i>Resultados de AyG del ART</i>	83
Tabla 27. <i>Resultados de SST del ART</i>	83
Tabla 28. <i>Comparación del nitrógeno amoniacal del ARC con el VMA</i>	84
Tabla 29. <i>Comparación del nitrógeno amoniacal del ART con el VMA</i>	85
Tabla 30. <i>Eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal del sistema</i>	87
Tabla 31. <i>Comparación del pH del ARC con el VMA</i>	88
Tabla 32. <i>Comparación del pH del ART con el VMA</i>	90
Tabla 33. <i>Comparación del valor de temperatura con el VMA</i>	92

INTRODUCCIÓN

Desde la aprobación de los Valores Máximos Admisibles (VMA) mediante el DS-021-2009-VIVIENDA, en nuestro país, los usuarios que descargan aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario (restaurantes, chifas, centros comerciales, edificios corporativos, industrias, etc.) están obligados a cumplir con los VMA establecidos en los anexos N° 1 y 2 que forman parte integrante de la norma mencionada. Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores establecidos en los VMA de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Aceites y Grasas (AyG), deberán pagar una tarifa adicional por el exceso de la concentración de dichos parámetros y en algunos casos se suspenderá el servicio de alcantarillado sanitario. Si el usuario sobrepasa el parámetro nitrógeno amoniacal, temperatura, pH u otros 16 parámetros restantes de los VMA, se suspenderá el servicio de alcantarillado sanitario a menos que el usuario demuestre que ha implementado un sistema de tratamiento de sus efluentes previo a su descarga a la red de alcantarillado.

El Edificio Targa, ubicado en San Isidro-Lima, fue monitoreado y notificado por SEDAPAL indicando que excedía el VMA de nitrógeno amoniacal, por ello el presente proyecto tiene por objetivo diseñar e implementar un sistema de oxidación química para el tratamiento del agua residual generada en el edificio, para su posterior descarga a la red de alcantarillado sanitario. Se evaluaron los parámetros nitrógeno amoniacal, pH, temperatura, Aceites y grasas, DBO_5 , DQO y SST del agua residual tratada.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que actualmente vienen siendo reguladas, controladas y fiscalizadas, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, disminuyendo los costos de su operación y mantenimiento, y evitando el deterioro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales; por otro lado, la presencia de sustancias nocivas en concentraciones elevadas en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado pone en peligro la salud de los seres humanos. Por ello es necesario regular las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, garantizando la sostenibilidad del tratamiento de las aguas residuales. (D.S. 021-2009-VIVIENDA).

En ese sentido, con el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, se aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas

residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Esta norma entró en vigencia desde el 20 de mayo del 2011, desde entonces las EPS o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado en los casos que se regulen en el reglamento y que deriven de la vulneración de los anexos N°1 y N°2 del D.S. N° 0021-2009-VIVIENDA.

En Lima y Callao, la Empresa Prestadora de Servicios de agua y alcantarillado (EPS) es SEDAPAL. Esta EPS realiza la evaluación de la calidad de las aguas residuales que sus clientes o usuarios que descargan a las redes de alcantarillado, con la finalidad de que cumplan con las normas de desagües vigentes. (SEDAPAL, 2013)

SEDAPAL tiene como misión contribuir al desarrollo sostenible de las ciudades de Lima y Callao, brindando un servicio eficiente de alcantarillado, controlando la calidad de las aguas residuales que descargan los clientes con procesos húmedos, que permita el buen funcionamiento de las redes de desagüe que se encuentran bajo la administración de SEDAPAL, ayudando a la prevención de la contaminación ambiental. (SEDAPAL, 2013)

Estas regulaciones tienen por finalidad:

- Evitar la presencia de elementos (sólidos o grasos) que no permiten el flujo normal de los desagües que causan atoros y aniegos.
- Conseguir que los desagües no causen problemas en el flujo normal (no afecten el régimen hidráulico normal de las tuberías).

- Disminuir los costos de operación y mantenimiento.
- Evitar la exposición de desagües en la vía pública que afectan el ambiente.
- Que los líquidos vertidos no constituyan problema en la disposición final.
- Que el cliente, Usuario No Doméstico (UND) adquiera el hábito del cuidado y buen uso de los sistemas de alcantarillado.
- Lograr mantener la frescura de los líquidos durante su recorrido y no deteriorar la infraestructura.
- Conseguir que las aguas recolectadas de las poblaciones no rebasen la capacidad de conducción de las tuberías.
- Que los colectores alcancen el tiempo de vida útil para lo cual fueron instalados.
- Mejorar la eficiencia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
- Evitar afectar el funcionamiento de los colectores, tanto los propios (redes interiores) como los públicos.



*Figura 1.*Obstrucciones en la red de alcantarillado.



Figura 2. Obstrucciones por residuos sólidos.

- Atoros y aniegos provocados por mal uso de los colectores.
- Evitar afectar la salud pública por exposición de desagües.
- Prevenir la contaminación de cursos de agua y cuerpos receptores.



Figura 3. Atoros por el mal uso de colectores.

Está terminantemente prohibido descargar en el alcantarillado público residuos sólidos o grasos, ya que afectan su normal funcionamiento. (SEDAPAL, 2013). Como ejemplo podemos mencionar, que está prohibido descargar:

- a) Basura
- b) Gasolina o solventes industriales.
- c) Barros y arenas.
- d) Alquitranes, materiales bituminosos y viscosos.
- e) Pegamentos y cementos
- f) Plumas huesos, trapos e hilachas.
- g) Trozos de metal, vidrio, madera, cerámica y materiales similares capaces, de producir atoros.
- h) Gases peligrosos para la vida y la salud.
- i) Productos residuales del petróleo
- j) Aquellos que pueden ser tóxicos.
- k) Aquellos que sean corrosivos o incrustantes
- l) Aquellos que contengan en elevada concentración sulfatos y sulfitos.
- m) Aquellos que sean radioactivos en condiciones y concentraciones superiores a los establecidos por los Reglamentos Internacionales.
- n) Aquellos que contengan iones de metales pesados.



Figura 4. Residuos descargados en la red de alcantarillado.

Como parte de las fiscalizaciones, SEDAPAL envió al Edificio Targa una “Notificación preventiva de suspensión temporal de servicio de alcantarillado sanitario”, indicando que en un monitoreo inopinado a la descarga del establecimiento al alcantarillado con un laboratorio acreditado obtuvieron como resultado del análisis de dichas descargas el exceso de concentración del parámetro nitrógeno amoniacal.

En ese sentido, se diseñó e implementó un sistema de tratamiento para el agua residual de dicho establecimiento, que consiste en un sistema de oxidación química para la remoción de nitrógeno amoniacal, orientado al cumplimiento de los requerimientos técnico-normativos establecidos en la normativa vigente de los Valores Máximos Admisibles (DS 021-2009-VIVIENDA).

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

La justificación del presente proyecto es brindar una alternativa de solución para el tratamiento de las aguas residuales con alto contenido de nitrógeno amoniacal, implementando un sistema de oxidación química eficiente en la remoción de nitrógeno amoniacal; además de brindar una solución que pueda ser implementada por un usuario no doméstico que no tiene espacio en sus instalaciones para implementar un sistema de tratamiento convencional, minimizando el requerimiento de espacio y obras civiles. Además no se requiere de operadores altamente calificados para realizar labores de operación, puesto que el sistema propuesto es de fácil operación y mantenimiento.

La implementación del sistema de oxidación química es importante puesto que mejora la calidad del agua residual del usuario no doméstico, permite conocer el nivel de remoción de nitrógeno amoniacal del sistema, evaluando la concentración de nitrógeno amoniacal del agua cruda y tratada, lo cual nos permite establecer como este parámetro puede ser transformado gracias al proceso de oxidación química.

El sistema propuesto cumplirá los requerimientos para los que fue diseñado y permitirá el cumplimiento del VMA de nitrógeno amoniacal y no afectará a otros parámetros normados como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Aceites y Grasas (AyG), Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH y temperatura; y finalmente, el agua tratada podrá ser descargado al sistema de alcantarillado sanitario.

El presente sistema cumple lo establecido en la Legislación Nacional Peruana, para ello se tuvo en cuenta el siguiente marco normativo:

- “Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario” (D.S. 021-2009-VIVIENDA), publicada el 21 de noviembre del 2009.
- “Reglamento de Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario” (D.S. 003-2011-VIVIENDA), publicada el 22 de mayo del 2011.
- “Metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de parámetros” (Resolución de Consejo Directivo N° 025-2011-SUNASS-CD), publicada el 20 de junio del 2011.

- “Modificación al Reglamento” (Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA), publicado el 04 de marzo del 2012.
- “Parámetros según la CIU” (Resolución Ministerial N° 116-2012-VIVIENDA), publicada el 19 de junio del 2012.
- “Directiva sobre VMA” (Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD)), publicada el 10 de enero del 2013.
- “Modificación de la Ley y Reglamento de los VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario” (D.S. 001-2015-VIVIENDA), publicado el 10 de enero del 2015.

1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación fue desarrollada en el Edificio Targa ubicado en la Calle Amador Merino Reyna 285, el distrito de San Isidro - Lima. Se diseñó e implementó un sistema de oxidación química para la remoción de nitrógeno amoniacal del agua residual generada en dicho establecimiento.



Figura 5. Ubicación del proyecto de investigación.

El presente proyecto está dentro del área de Ingeniería Ambiental y corresponde al tipo de investigación aplicada y tecnológica. Proporciona información sobre la remoción de nitrógeno amoniacal de aguas residuales contribuyendo a una solución que podría ser óptima mediante la implementación de un sistema de oxidación química para su tratamiento.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué medida el sistema de oxidación química permite la remoción de nitrógeno amoniacal de las aguas residuales del Edificio Targa para el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles (VMA)?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Implementar un sistema de oxidación química para la remoción de la concentración de nitrógeno amoniacal de aguas residuales que permita el cumplimiento de los VMA.

1.5.2. Objetivos Específicos

Diseñar e implementar el sistema de oxidación química para remover nitrógeno amoniacal.

Determinar la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal del sistema de oxidación química.

Evaluar el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles de los parámetros Nitrógeno amoniacal, DBO₅, DQO, SST, Aceites y grasas, pH y temperatura del agua residual tratada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El tratamiento de aguas servidas surgió inicialmente como respuesta a los problemas de salud pública y las condiciones adversas causadas por las descargas de éstas aguas al medio ambiente. Los procesos de tratamiento estuvieron originalmente dirigidos a: La remoción de sólidos suspendidos y material flotante; estabilización de la materia orgánica biodegradable, y a la eliminación de microorganismos patógenos. Aunque los objetivos primarios del tratamiento se mantienen válidos todavía, el grado de tratamiento requerido se ha incrementado significativamente, añadiéndose nuevas metas y objetivos como: La remoción de nitrógeno, fósforo y compuestos orgánicos tóxicos, así como, compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos. (Noriega, 1999).

Noriega (1999) afirma que el principal objetivo del tratamiento de desagüe es la disposición apropiada de los afluentes de origen doméstico e industrial sin poner en riesgo la salud humana o dañar permanentemente al medio ambiente natural. Existen numerosos métodos de tratamiento desarrollados en los últimos 80 años que proveen de diferentes niveles de calidad de efluentes

(preliminar, primario, secundario, terciario, etc.) y de diferentes grados de complejidad en su operación.

Los contaminantes en el desagüe pueden ser removidos por medios físicos, químicos y biológicos. Estos métodos usualmente se clasifican como operaciones unitarias físicas, procesos unitarios químicos y procesos unitarios biológicos. Los procesos unitarios químicos son métodos de tratamiento en los cuales la remoción o conversión de contaminantes, se logran por la adición de químicos o por otras reacciones químicas (Noriega, 1999).

Con la aprobación del DS 021-2009-VIVIENDA, se aprueban los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. En ese sentido se da la facultad a las Empresas Prestadoras de Servicios de agua y alcantarillado, en el caso de Lima a la EPS SEDAPAL, para que realicen la evaluación de la calidad de las aguas residuales que los usuarios descargan a las redes de alcantarillado, con la finalidad que cumplan con las normas de desagües vigentes. (SEDAPAL, 2013).

El nitrógeno amoniacal es considerado un constituyente normal de las aguas superficiales y está íntimamente relacionado con las descargas de desagües. Cuando su concentración es mayor de 0.1 mg/L (Como N), podría tomarse como un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales. El amoniaco en las aguas residuales es producido en su mayor parte por la eliminación de compuestos que tienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea. (CEPIS, 2016)

El nitrógeno amoniacal es uno de los parámetros de la calidad de aguas residuales que no deben sobrepasar los VMA, dado que SEDAPAL puede suspender el servicio de alcantarillado al usuario que lo exceda, a menos que el usuario demuestre que implementará un sistema de tratamiento para adecuar sus descargas de aguas residuales. (DS-021-2009-VIVIENDA).

SEDAPAL (2013) indica los sistemas de tratamiento se deben diseñar para tratar una calidad y cantidad determinada de aguas residuales para cumplir con los VMA de las aguas generadas por un usuario previo a su descarga al sistema de alcantarillado.

La eliminación del amoniaco a concentraciones altas se realiza mediante la oxidación con cloro. (CEPIS, 2016).

Para reducir o bloquear la toxicidad de los compuestos nitrogenados se recomienda aplicar la oxidación química con cloro, en ocasiones muy particulares como altas concentraciones de amonio o nitrato en aguas residuales de pequeño caudal. (Cárdenas y Sánchez, 2013).

Uno de los procesos químicos de eliminación del nitrógeno es mediante la cloración al breakpoint, mediante el control adecuado, se puede oxidar todo el amoniaco. El proceso se puede emplear a continuación de otros procesos de eliminación de nitrógeno para refinar la eliminación de dicho constituyente. Simultáneamente, se consigue la desinfección del efluente. Una de las ventajas es que se requiere una limitada necesidad de espacio, es de bajo coste de inversión y es adaptable a instalaciones existentes. Como desventajas, se tienen que se puede producir elevado contenido de cloro residual que es tóxico

para la vida acuática, el agua residual podría contener sustancias que ejercen demanda de cloro que aumentan el coste de tratamiento, es un proceso sensible a las variaciones de pH, la generación de trihalometano puede causar impactos en la calidad de las aguas de suministro, y precisa el minucioso control del pH para evitar la formación de tricloruro de nitrógeno gaseoso. (Metcalf y Eddy, 1996).

La cloración al breakpoint se puede emplear para eliminar el nitrógeno amoniacal de los efluentes de las plantas de tratamiento, tanto de forma independiente como en combinación con otros procesos. Para evitar las grandes dosis de cloro necesarias cuando se utiliza como tratamiento independiente, y para conseguir niveles bajos de amoníaco de la nitrificación biológica. (Metcalf y Eddy, 1996).

El cloro, que es el elemento número 17 de la tabla periódica, es un poderoso oxidante. Fue descubierto por Scheele en 1774 y empleado por primera vez en América como desinfectante del agua en 1908 por Johnson y Leal en Nueva Jersey. En condiciones normales de presión (1.033 Kg/cm²) y temperatura (0°C), el cloro es un gas verde (“Cloros” en griego significa verde), dos y media veces más pesado que el aire por lo cual se deposita en las partes bajas de las habitaciones. (Arboleda, 2000).

Ramalho (1996) indica que cuando el cloro, en forma gaseosa o como sal de hipoclorito, es agregado al agua residual que contiene amonio, se forman cloraminas, que son también desinfectantes pero con menor efectividad. Se forman monocloraminas, dicloraminas y tricloruro de nitrógeno. Además indica que cuando existen concentraciones elevadas de amonio en el agua se

requiere la adición de elevadas concentraciones de cloro, para obtener cloro libre disponible.

Jimeno (1998) refiere que el cloro se utiliza en la forma de cloro libre o como hipocloritos y que en cualquiera de sus formas actúa como un potente agente oxidante. Así mismo, indica que la cantidad de iones OCl y $HOCl$ en la solución dependen del pH, el cloro tiende a decrecer el pH, mientras que los hipocloritos tienden a incrementarlo.

El cloro puede aplicarse utilizando algunas de sus sales. Las más conocidas de estas son el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio que se expenden en polvo o en solución con concentraciones entre 12 y 70 %. El cloro y los hipocloritos producen reacciones similares en el agua y su eficiencia bactericida es idéntica. La única diferencia es que el cloro baja el pH y el hipoclorito lo sube ligeramente. El cloro se emplea principalmente en plantas medianas y grandes. El hipoclorito en plantas pequeñas, piscinas y pozos, pues los hipocloradores son más sencillos de manejar (Arboleda, 2000).

El amoníaco reacciona con el cloro o ácido hipocloroso para formar monocloraminas, dicloraminas y tricloraminas, dependiendo de las cantidades relativas de cada uno y en alguna extensión en el pH (Jimeno, 1998).

Arboleda (2000) afirma que la química de la cloración es bastante compleja y aún no bien comprendida. Al agregar cloro al agua, lo primero que ocurre es que este se hidroliza reaccionando con el H_2O , luego se combina con el amoníaco presente y con la materia orgánica, así como con ciertas sustancias

químicas para producir una gran diversidad de compuestos, algunos de los cuales tienen propiedades desinfectantes y otros no.

El cloro en el agua produce reacciones de dos tipos: Reacciones de hidrólisis, en las que el cloro interacciona con la molécula de agua para producir ácido hipocloroso (HOCl) e ion hipoclorito (OCl). A estos compuestos se les llama cloro libre; y reacciones de oxido-reducción, en las que el cloro se combina con el nitrógeno amoniacal para producir cloraminas (monocloramina NH_2Cl y dicloramina NHCl_2 , a las cuales se les llama cloro combinado utilizable). También se puede producir tricloruro de nitrógeno, NCl_3 . (Arboleda, 2000).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Valores Máximos Admisibles

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aquellos valores de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA).

El DS 021-2009-VIVIENDA regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones,

infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

Los VMA son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces. (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA).

Los Usuarios No Domésticos (UND) cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en el Anexo N° 1 (ver tabla 1), deberán efectuar el pago adicional por exceso de concentración, conforme a lo establecido por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, pudiéndose llegar incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA).

Los parámetros contenidos en el Anexo N° 2 (ver tabla 2), del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA no pueden ser sobrepasados, si el UND excede alguno estos parámetros debe implementar las medidas necesarias para cumplir con los VMA, puesto que la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) SEDAPAL se encuentra facultada para suspender el servicio de alcantarillado sanitario en los casos que el usuario no doméstico exceda los VMA de algún parámetro establecido dicho anexo (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA).

La EPS SEDAPAL cobrará a los usuarios no domésticos el pago adicional por exceso de concentración, de acuerdo a la normatividad vigente, respecto de los siguientes parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), medidos en la caja de registro o en su defecto en un punto de muestreo antes de la red de alcantarillado sanitario adecuado para este procedimiento (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA).

De acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, los usuarios no domésticos que descargan aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario están obligados a:

- Presentar anualmente la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, a SEDAPAL.
- Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales, cuando sus descargas excedan los VMA establecidos en el Decreto Supremo N° 021-2009 VIVIENDA y sus modificatorias.
- Efectuar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 01 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

Tabla 1. Parámetros del Anexo N° 01 de los VMA

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	STT	500
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	100

Fuente: DS-021-2009-VIVIENDA

Tabla 2. *Parámetros del Anexo N° 02 de los VMA*

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: DS-001-2015-VIVIENDA

En el artículo 7° del DS 021-2009-VIVIENDA, se menciona respecto al control de las aguas residuales no domésticas: El monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS o las entidades que hagan sus veces, contando para ello con la participación de laboratorios debidamente acreditados ante INDECOPI (hoy INACAL). La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el reglamento de la presente norma. (DS-021-2009-VIVIENDA).

2.2.2. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

2.2.3. Caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales contienen en solución una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos. Los estudios de caracterización de las aguas residuales están generalmente orientados para proveer al ingeniero de proyecto entre otras de la información base para: Solucionar y diseñar los procesos de tratamiento, definir la necesidad de neutralizar las aguas residuales industriales antes de su descarga a la red y/o las posibilidades de recuperación de materiales, necesidad de tratamientos previos para contrarrestar los efectos de toxicidad, y determinar el grado de tratamiento necesario para satisfacer las normas de calidad para aguas receptoras. (Noriega, 1999).

2.2.4. Constituyentes residuales presentes en el agua residual

En la tabla 3, se puede observar algunas de las sustancias presentes en el agua residual cuyo vertido puede originar problemas ambientales.

Tabla 3. Componentes en el agua residual y sus efectos

Componentes	Efecto	Concentración crítica, mg/l
Sólidos suspendidos	Pueden provocar deposiciones de sólidos o empeorar la transparencia de la aguas receptoras	Variable
Materia orgánica biodegradable	Pueden agotar las reservas de oxígeno disponible	Variable
Contaminantes prioritarios	Tóxicos para el hombre, carcinógenos Tóxicos para el entorno acuático	Varía en función del constituyente Varía en función de la presencia en la columna de agua, masa biológica o sedimento
Compuestos orgánicos volátiles	Tóxicos para el hombre; carcinógenos; forman oxidantes fotoquímicos (smog)	Varía en función del constituyente
Nutrientes Amoniacó	Aumenta la demanda de cloro; puede convertirse a nitratos y agotar los recursos de oxígeno; con el fósforo puede llevar al desarrollo de crecimientos de algas. Tóxico para los peces	Cualquier cantidad Variable ^a
Nitrato	Estimula el crecimiento acuático y de las algas; puede causar metagemoglobinemia en los niños (niños azules)	0.3 ^b 45 ^c
Fosfato	Estimula el crecimiento acuático y de las algas	0.015 ^b
Otros compuestos inorgánicos		
Calcio y magnesio	Aumenta la dureza y los sólidos totales disueltos	
Cloruro	Imparte sabor salado	250
Sulfato	Acción catártica	600 – 1000
Otros compuestos orgánicos		
Agentes tensoactivos	Provocan espumas y pueden interferir con la coagulación	1.0 – 3.0

^a Depende del pH y la temperatura. ^b Para lagos con aguas tranquilas. ^c Para NO₃ por la U.S. Environmental Protection Agency, Primary Drinking Water Standards
Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

2.2.5. Aguas residuales con nitrógeno amoniacal

Se considera que el amoníaco es un constituyente normal de las aguas superficiales y está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües. Cuando su concentración es mayor de 0.1 mg/L (como N), podría constituirse en un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales. (CEPIS, 2016).

El amoníaco en las aguas residuales es producido en su mayor parte por la eliminación de compuestos que tienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea. En casos menos frecuentes, se puede producir por reducción de nitratos en condiciones anaeróbicas. (CEPIS, 2016).

En el agua residual bruta, el nitrógeno suele estar presente en forma de amoníaco o de nitrógeno orgánico, formas ambas solubles y particuladas. El nitrógeno orgánico soluble se presenta principalmente en forma de urea y de aminoácidos. Con sistemas de tratamiento secundario convencionales se elimina menos del 30% del nitrógeno total. (Metcalf y Eddy, 1996).

El amoníaco es un micronutriente para microorganismos y algas en los sistemas de distribución. Su presencia en el agua favorece la multiplicación de estos. (CEPIS, 2016).

Las elevadas concentraciones de nitrógeno en efluentes también pueden tener otros efectos negativos, como son la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas receptoras, toxicidad para la vida acuática, efectos negativos sobre la efectividad de la desinfección con cloro, peligro para

la salud pública, y efectos sobre el potencial de un agua residual para ser reutilizada. (Metcalf y Eddy, 1996).

Existen diversos tipos de industrias que generan aguas residuales que contienen una elevada carga de nitrógeno amoniacal, tales como: petroquímicas, farmacéuticas, de fertilizantes o alimentarias. El vertido incontrolado de efluentes nitrogenados puede causar serios problemas al medio acuático que los recibe, niveles por encima de 0,2 mg/l de amoníaco libre disuelto en agua son extremadamente tóxicos para la vida acuática y producen una acusada disminución del oxígeno disuelto en el agua. Por esta razón, la eliminación de nitrógeno de las aguas residuales no es sólo deseable, sino que está explícitamente exigida por el DS 021-2009-VIVIENDA, el cual aprueba los “Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario”.

2.2.6. Niveles de tratamiento de aguas residuales

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogeneización. El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales. En cuanto al tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales. (Ramalho, 1996).

2.2.7. Tecnologías empleadas en el tratamiento avanzado de las aguas residuales

Los métodos de tratamiento avanzado de las aguas residuales se pueden clasificar en función del tipo de operación o proceso unitario, o por el objetivo principal de eliminación que se quiere conseguir. Para facilitar la comprensión general de las diversas operaciones y procesos de tratamientos avanzados, en la tabla 4 se explica acerca de los tipos de operaciones y procesos aplicables para la eliminación de constituyentes del agua residual. (Metcalf y Eddy, 1996).

Tabla 4. Operaciones y procesos de eliminación de constituyentes del agua

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o del proceso
Eliminación de sólidos suspendidos	Filtración Microtamices
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica en etapas separadas
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico
Eliminación de sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración Osmosis inversa Electrodiálisis

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

2.2.8. Tratamiento de nitrógeno amoniacal

Metcalf y Eddy (1996) indican que los procesos biológicos, como fangos activados tienen una eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal de 1 a 5 %, si se combina el proceso de fangos activados y filtración con medio granular se

tendría una eficiencia de entre 15 – 25 %. Lo cual indica que los tratamientos biológicos tienen una baja eficiencia en cuanto a la remoción de nitrógeno amoniacal, estos podrían combinarse con otros procesos u operaciones y obtener mayor rendimiento en la remoción este parámetro.

En la tabla 5 y 6, se observan las eficiencias de diversas operaciones y procesos de tratamiento sobre los compuestos de nitrógeno.

Tabla 5. Efecto de operaciones y procesos de tratamiento sobre $NH_3 - NH_4^+$

Operaciones y procesos de tratamiento	Efecto sobre compuestos de nitrógeno $NH_3 - NH_4^+$
<i>Tratamiento convencional</i>	
Primario	Ningún efecto
Secundario	< 10% eliminado
<i>Procesos biológicos</i>	
Asimilación bacteriana	40-70% eliminado
Desnitrificación	Ningún efecto
Cultivo de algas	→Células
Nitrificación	→ NO_3^-
Estanque de estabilización	Eliminación parcial por arrastre
<i>Procesos químicos</i>	
Cloración al breakpoint	90 - 100 % eliminado
Coagulación química	Ligero
Adsorción sobre carbono	Ligero
Intercambio iónico selectivo para el nitrato	80-97% eliminado
<i>Operaciones físicas</i>	
Filtración	Ningún efecto
Arrastre con aire (striping)	60 - 95% eliminado
Electrodialisis	30 - 50% eliminado
Osmosis inversa	60 - 90% eliminado

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

Tabla 6. *Rendimientos de los procesos unitarios*

Unidades de tratamiento	Rendimiento de eliminación del constituyente, %					
	DBO	DQO	SS	P	N- Org	NH ₃ - N
Lodos Activados	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Filtros Percoladores (material pétreo)	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Biodiscos	80-85	80-85	80-85	10-25	15-50	8-15

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

Es así que en la tabla 4 se muestra como se puede eliminar el nitrógeno mediante procesos físicos o químicos como de intercambio iónico, arrastre por aire y por cloración al breakpoint. Se observa que el proceso de cloración tiene un 90-100% de eficiencia de eliminación de nitrógeno amoniacal.

Por lo general, la eliminación del amoniaco a concentraciones altas se realiza mediante la oxidación con cloro. (CEPIS, 2016).

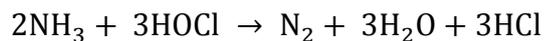
Ramalho (1996) indica que cuando el cloro, en forma gaseosa o como sal de hipoclorito, es agregado al agua residual que contiene amonio, se forman cloraminas, que son también desinfectantes pero con menor efectividad. Se forman monocloraminas, dicloraminas y tricloruro de nitrógeno. Además indica que cuando existen concentraciones elevadas de amonio en el agua se requiere la adición de elevadas concentraciones de cloro, para obtener cloro libre disponible.

2.2.9. Cloración

La cloración al breakpoint consiste en la adición de cloro al agua residual para oxidar el nitrógeno amoniacal de la solución a nitrógeno gas y otros

compuestos estables. La cloración al breakpoint también constituye un método alternativo para el control del nitrógeno. Posiblemente, la ventaja más importante de este proceso es el hecho de que, con un control adecuado, se puede oxidar todo el nitrógeno amoniacal presente en el agua residual. Este proceso también presenta desventajas que han limitado su aplicación. Debido a su efectividad en la eliminación del nitrógeno se ha recomendado estudiar más a fondo la cloración al breakpoint para determinar si se pueden solucionar los problemas de explotación asociados a este proceso. (Metcalf y Eddy, 1996).

Se puede emplear como ecuación representativa útil para describir la reacción global, la siguiente expresión.



La relación estequiométrica de masas entre el cloro (como Cl_2) y, el amoníaco (como N) es 7.6:1. En la práctica se ha constatado que esta relación varía entre 10:1 y 8:1. (Metcalf y Eddy, 1996).

2.2.10. Cloro y compuestos del cloro

El cloro, oxidante poderoso, es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente. El cloro, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas verde, dos y media veces más pesado que el aire (CEPIS, 2016).

Algunas de sus sales también tienen poder desinfectante. Las más usadas son el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio, cuya eficiencia bactericida

es idéntica a la del cloro y que producen reacciones similares en el agua. Sin embargo, el cloro es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo, razón por la cual se utiliza extensamente a nivel mundial. (CEPIS, 2016).

En el proceso de cloración, si no se tiene un control adecuado no todo el cloro reacciona con el amoníaco, quedando un residual, sin embargo, a medida que pasan las horas el cloro se descompone, ello se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Descomposición del cloro con el tiempo

Tiempo	0 h	3 h	5 h	1 d	2 d	4 d
Cloro residual (mg/l)	0.6	0.5	0.45	0.3	0.2	0.005

Fuente: CEPIS (2016)

2.2.11. Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio es un líquido de color amarillento, con un promedio de 15 % de cloro activo. En el Perú el hipoclorito de sodio contiene de 1 a 10%. Se comercializa en depósitos de plásticos o botellones de vidrio (CEPIS, 2016).

Su estabilidad depende de las condiciones de almacenamiento, en especial, de su contacto con la luz. Por ser una solución, la estabilidad es menor y puede llegar a los tres meses (CEPIS, 2016).

Por lo general, se produce clorando el hidróxido de sodio (soda cáustica) de acuerdo con la siguiente reacción:



En las tablas 8 y 9 se muestran las características y propiedades del hipoclorito de sodio:

Tabla 8. *Propiedades del Hipoclorito de Sodio*

Propiedad	Descripción
Nombre químico	Hipoclorito de sodio
Fórmula química	NaOCl
Peso molecular	74,5 g/mol
Sinónimos	Ácido hipocloroso, sal sódica
Punto de ebullición	110 °C
Presión de vapor	17,5 mm Hg a 20°C
Densidad relativa 20°C	1,118 (12 %)
Solubilidad en agua 20°C	Completa
pH solución 1,0%	≥ 11,0
Concentración (cloro activo)	≥ 8%

Fuente: QUIMEXA, Ficha técnica de hipoclorito de sodio

Tabla 9. *Aspecto del Hipoclorito de Sodio*

Característica	Descripción
Apariencia	Solución acuosa
Color	Ligeramente amarilla
Olor	Irritante

Fuente: QUIMEXA, Ficha técnica hipoclorito de sodio

2.2.12. Comportamiento del cloro en el agua

A. Reacciones del cloro en el agua

El cloro, al entrar en contacto con el agua, reacciona formando el ácido hipocloroso (HOCl) y el ácido clorhídrico (HCl) según la siguiente reacción:



Esta es una reacción reversible de hidrólisis que se produce en fracciones de segundo.

El ácido hipocloroso se disocia en iones de hidrógeno, iones de hipoclorito (OCI-):

$$\text{HOCl} \leftrightarrow \text{OCI}^- + \text{H}^+$$

El ácido hipocloroso (HOCl) y el ion hipoclorito (OCI-) forman el denominado cloro activo libre.

A pH mayores de 4, las especies predominantes son el HOCl (ácido hipocloroso) y OCI- (ión hipoclorito). El porcentaje de cloro presente como HOCl depende fuertemente del pH, ya que este es un ácido débil (CEPIS, 2016).

B. Reacciones del cloro con el amoniaco

Uno de los componentes frecuentes del agua es el amoniaco. Cuando se agrega cloro al agua que lo contiene, se producen las siguientes reacciones:

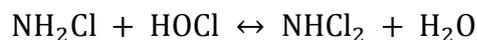


a) Formación de monocloraminas (NH₂Cl):

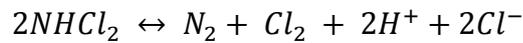


Cuando se agrega más cloro que el requerido para convertir completamente el amoniaco en monocloraminas, se produce la segunda reacción.

b) Formación de dicloraminas (NHCl₂):



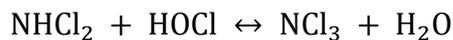
c) Las dicloraminas formadas no son estables y se descomponen de acuerdo con la siguiente reacción:



Esto significa que el ión NH_4^+ es oxidado por el cloro a N_2 .

A la ecuación completa resultante de la suma de estas ecuaciones parciales se la conoce como reacción al punto de quiebre.

Cuando se agrega cloro en exceso, se forma la tricloramina, de sabor amargo y, por tanto, no deseable en el agua:



Las cloraminas, monocloraminas (NH_2Cl), dicloraminas (NHCl_2) y, en ciertas circunstancias, el tricloruro de nitrógeno (NCl_3), forman el denominado cloro combinado utilizable (CEPIS, 2016).

C. Reacción del cloro con otros componentes del agua

El cloro también reacciona con otros componentes del agua como sustancias orgánicas protéicas, aminoácidos, etc. También lo hace con otras sustancias químicas (Fe, Mn, NO_2 , H_2S). Con cada una de ellas genera distintos compuestos que no tienen ninguna relación con la desinfección. Por esta razón, al cloro “gastado” en estas reacciones se le conoce con el nombre de demanda de cloro (CEPIS, 2016).

D. Resumen de las reacciones del cloro en el agua en la cloración

En la tabla 10 se resumen los tipos de reacciones del cloro en el agua y su efecto en el proceso de la desinfección.

Tabla 10. *Tipos de reacción del cloro en el agua*

Reaccionantes	Productos	Nombre	Efecto desinfectante
Agua	HOCl, OCl ⁻	Cloro libre	Potente
Nitrógeno amoniacal	Cloraminas	Cloro combinado	Pobre
Materia orgánica, Fe, Mn, SO ₂ , H ₂ S, etc.		Demanda Cloro consumido	Nulo

Fuente: CEPIS (2016)

2.2.13. Reacciones de oxidación – reducción

Siendo el cloro un fuerte oxidante puede reaccionar con muchas de las sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua y en especial con los compuestos nitrogenados.

En esta serie de reacciones, el cloro puede perder o ganar electrones, y según suceda una cosa u otra, los productos que se forman son utilizables como desinfectantes o no.

El átomo de cloro está compuesto por un núcleo de 17 protones y 18 neutrones (peso atómico 35.46), rodeado de 17 electrones, distribuidos en tres niveles de energía, como lo muestra la figura 6.

Por tanto el átomo de cloro puede:

a. Ceder uno o varios de los siete electrones periféricos para formar cloraminas ($N^{-3} H_2^{2+} Cl^{+1}$, $N^{-3} H^{+1} Cl_2^{2+}$, $N^{-3} Cl_3^{3+}$). Obsérvese que en este caso trabaja con valencias positivas +1, +2 y +3.

b. Aceptar un electrón para completar los ocho periféricos, como cuando forma cloruros ($Na^{+1} Cl^{-1}$, $H^{+1} Cl^{-1}$). En este caso actúa con valencia negativa -1.

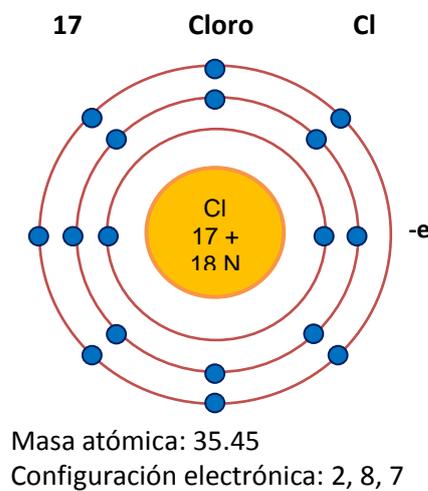


Figura 6. Representación simplificada del átomo de cloro.

En el primer tipo de reacciones, en que el cloro actúa con valencia positiva, se forman productos (cloraminas) que tienen propiedades desinfectantes bien definidas y un poder de oxidación suficiente para combinarse con indicadores de cloro y producir con ellos una cloración que permita conocer la concentración de cloro remanente en el agua. (Arboleda, 2000).

En el segundo tipo de reacciones, en que el cloro actúa con valencia negativa, se forman compuestos que no tienen propiedades desinfectantes y que no reaccionan con los indicadores del cloro y por lo tanto no aparecen como cloro residual cuando se hacen las determinaciones correspondientes.

Esta proporción de cloro que aparentemente se ha “consumido”, pues no es detectable como cloro residual ni utilizable como desinfectante, recibe el nombre de “demanda”, y se define como “la diferencia entre el cloro aplicado y el cloro medido después de un determinado tiempo de contacto”. (Arboleda, 2000).

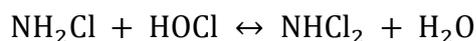
2.2.14. Reacciones del cloro con el nitrógeno amoniacal

El cloro reacciona con el nitrógeno amoniacal para formar cloraminas. Las que más frecuentemente aparecen son la monocloramina NH_2Cl y la dicloramina NHCl_2 . Ambas tienen un poder bactericida varias veces menor que el del ácido hipocloroso, pero en cambio son mucho más estables y por consiguiente su efecto dura por más tiempo en el agua. En ciertas condiciones puede aparecer tricloruro de nitrógeno o tricloramina. Las cloraminas son tóxicas para los peces y son perjudiciales para los pacientes de diálisis. En Estados Unidos se ha fijado por eso una concentración máxima de 2.5 mg/L. El amoníaco no reacciona, según se cree, directamente con el cloro sino con el ácido hipocloroso, formado por hidrólisis del cloro, tal como se explicó previamente. (Arboleda, 2000).

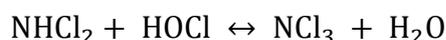
Las reacciones serían las siguientes:



A partir de la monocloramina se forma la dicloramina así:



Y a partir de la dicloramina se forma la tricloramina sí:



La distribución en el agua entre uno y otro tipo de cloramina depende del pH, de la temperatura y de la proporción que existe entre el cloro y el amoníaco expresado como nitrógeno.

Esta relación, que tiene gran importancia, se expresa así:

$$\frac{\text{Peso molécula de cloro}}{\text{Peso molécula de nitrógeno}} = \frac{2 * 35.46}{14.008} \quad (\text{Cl}) = 5(\text{N})$$

Esto quiere decir que la proporción teórica que debe existir para que todo el cloro reaccione con el amoníaco debe ser de 5 a 1 en peso o sea que una parte de cloro reacciona con 5 partes de nitrógeno. (Arboleda, 2000).

Para una relación Cl₂/N de 5 a 1 y pH superior a 9, prácticamente todo el residual está formado de monocloramina; entre pH=5 y pH=9 hay proporciones variables de mono y dicloramina; entre pH=5 y pH=4 todo el residual es dicloramina; y por debajo de 4.4 empieza a aparecer el tricloruro de nitrógeno.

2.2.15. Reacciones del cloro con la materia orgánica y otros compuestos químicos

El cloro reacciona con el nitrógeno orgánico y con ciertas sustancias químicas perdiendo su poder oxidante para producir cloruros, ácido clorhídrico óxidos de nitrógeno, cloro-orgánicos y una variedad de compuestos más, aún no bien identificados, lo que constituye la demanda. (Arboleda, 2000).

El nitrógeno orgánico que está formado básicamente por proteínas, peptonas, aminoácidos y materia orgánica en general, reacciona muy lentamente durante días y aún semanas con el cloro. El nitrógeno amoniacal,

en cambio y las sustancias químicas tales como los fenoles el hierro, el ácido sulfhídrico el manganeso la alcalinidad reaccionan con relativa rapidez en menos de una hora. (Arboleda, 2000).

Por tanto la demanda, en presencia de materia orgánica se va aumentando con el tiempo en forma progresiva, y a medida que la turbiedad es mayor, la demanda se ejerce en forma más rápida, probablemente debido a un incremento en el contenido de amoníaco, en el agua. (Arboleda, 2000).

Arboleda (2000) menciona que en la experimentación el cloro reaccionó con los distintos compuestos de nitrógeno, el nitrógeno amoniacal desapareció antes de una hora; en cambio el nitrógeno albuminoideo, que puede considerarse como la indicación de la concentración de proteínas y el nitrógeno total, apenas disminuyó durante las 72 horas. Por su parte la demanda de cloro hizo bajar el cloro residual de 9 mg/L que fue la dosis aplicada, a 3.35 mg/L al cabo de una hora, y necesitó 71 horas más para consumir el resto de cloro. (Arboleda, 2000).

2.2.16. Interferencias en la cloración

Los valores elevados de pH del agua ($\text{pH} > 9$) no sólo desaceleran las reacciones químicas entre el cloro y el amoníaco, sino que además inducen la formación de compuestos clorados de baja efectividad. Debe por eso alcalinizarse el agua después de la cloración y no antes de ella. (CEPIS, 2016).

2.2.17. Algunos aspectos toxicológicos de la cloración

A. Los trihalometanos

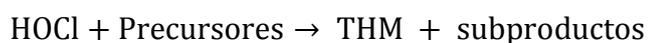
Los trihalometanos (THM) son los productos más conocidos que se derivan de la cloración. Los trihalometanos comunes en aguas potables son: el cloroformo, el bromoformo, el bromodiclorometano, el dibromoclorometano. (CEPIS, 2016). En la práctica los THM se producen por la reacción del cloro con los siguientes elementos orgánicos:

Plantas: Ácidos fulvicos y húmicos productores del color, productos de degradación de la materia orgánica (resorcinol ácido vanílico, ácido siríngico), pigmentos de plantas (clorofila floroacetofenona, etc.)

Algas: Biomasa de algas, aminoácidos y pirimidinas (trptófanos).

Hombre: Desechos industriales (fenoles).

A los anteriores compuestos se les llaman precursores, de forma que la reacción se establece de la siguiente manera:



Obsérvese que es el cloro libre el que reacciona con los precursores. De manera que cuando en el agua existe suficiente amoniaco para reaccionar con el cloro y lo que se producen son cloraminas, la concentración de THM generados es muy baja o inexistente. (Metcalf y Eddy, 1996).

Estos compuestos, últimamente, están siendo asociados a la aparición de cáncer en animales de experimentación. (CEPIS, 2016).

Debe tenerse en cuenta que: La velocidad de la reacción OHCl con los precursores es lenta y por lo general demora varias horas. De aquí que la concentración de THM aumenta con el tiempo; El incremento de la temperatura acelera la reacción, y por lo tanto la producción de THM; En condiciones como pH ácido la formación de THM se hace más rápidamente y es más alta; Entre más grande sea la concentración de ácidos húmicos mayor es la producción de THM. (Metcalf y Eddy, 1996).

B. Cloraminas y sus derivados

Las cloraminas son formadas por la reacción del cloro con el amonio o aminas orgánicas. Se pueden formar monocloraminas, dicloraminas y tricloraminas. Sin embargo, las dicloraminas y, principalmente, las tricloraminas son compuestos olorosos y, por lo tanto, su formación en el agua potable no es deseada. (CEPIS, 2016).

Las cloraminas no reaccionan significativamente con la materia orgánica para formar trihalometanos y, por esta razón, se ha incrementado su uso. El principal producto formado por el uso de la cloramina es el cloruro cianógeno (CNCl). El CNCl es rápidamente metabolizado en el cuerpo humano como cianuro; de allí que el valor guía para monocloraminas en el agua establecido por la OMS en 1993 sea 3 mg/L, sobre la base de los efectos tóxicos del cianuro. (CEPIS, 2016).

2.2.18. Sistema de dosificación

Los compuestos clorados – ya sean líquidos o sólidos – son disueltos en agua y pueden ser dosificados y aplicados utilizando bombas dosificadoras, hidroeyectores, así como sistemas de fabricación local. (CEPIS, 2016).

Bombas dosificadoras

Un buen número de fabricantes posee las bombas dosificadoras. Por tal motivo, se encuentran fácilmente en el mercado. El rango de trabajo de las bombas de línea normal de fabricación es muy amplio, y está comprendido entre un mínimo de 1 L/h y un máximo de 195 L/h de aplicación de la solución desinfectante, lo que corresponde a la desinfección de caudales de 3 hasta 540 L/s, con una solución de 1% de cloro activo y una dosificación de 1 mg/L. (CEPIS, 2016).

Para bombear la solución de hipoclorito de sodio, se recomienda no sobrepasar el 10 % de concentración de cloro activo. (CEPIS, 2016).

No es recomendable su uso, debido a su elevado costo, requerimientos de energía eléctrica o hidráulica y, sobre todo, a la dificultad de encontrar mano de obra y mantenimiento adecuados. (CEPIS, 2016).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Como parte del marco conceptual a continuación, se presenta un glosario de términos que se emplean en el presente proyecto:

- ***Aceites y grasas (AyG)***

La presencia de AyG en el agua puede alterar su calidad estética (olor, sabor y apariencia). El contenido de AyG en el agua se determina en el laboratorio mediante la extracción de todo el material soluble en un solvente orgánico tal como el hexano. Los resultados se reportan como mg/L de MEH (material extraíble en hexano). (CEPIS, 2016).

- ***Afluente***

Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento. (Norma OS.020, 2006)

- ***Agua residual***

Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión. (Norma OS.090, 2006).

- ***Agua residual doméstica***

Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana. (Norma OS.090, 2006).

- ***Aguas residuales no domésticas***

Son aquellas descargas de líquidos producidos por alguna actividad económica comercial e industrial, distintos a los generados por los usuarios domésticos, quienes descargan aguas residuales producto de la preparación

de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos. (DS N° 021-2009-VIVIENDA).

- **Análisis**

El examen de una sustancia para identificar sus componentes. (Norma OS.090, 2006).

- **Bases de diseño**

Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes. (Norma OS.090, 2006).

- **Cadena de custodia**

Documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación, transporte, esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados. Es la evidencia de la trazabilidad del muestreo. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- **Caudal**

Es la cantidad de agua residual que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- **Caudal pico**

Caudal máximo en un intervalo dado. (Norma OS.090, 2006).

- ***Caudal medio***

Promedio de los caudales diarios en un periodo determinado. (Norma OS.090, 2006).

- ***Cloración***

Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química o control de olores. (Norma OS.090, 2006).

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)***

Una medida de la cantidad de oxígeno consumida en los procesos biológicos que descomponen materia orgánica en agua. A mayor cantidad de BOD, mayor grado de contaminación. (EPA, 2016).

- ***Demanda Química de Oxígeno (DQO)***

Medida de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar todos los compuestos que se encuentran en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos. (EPA, 2016).

- ***Eficiencia del tratamiento o porcentaje de reducción***

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje. (Norma OS.090, 2006).

- ***Efluente***

Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento. (Norma OS.020, 2006).

- ***Filtros percoladores***

Sistema en el que se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual. (Norma OS.090, 2006).

- ***Frecuencia de monitoreo***

Es la periodicidad del monitoreo de calidad del agua residual, el cual está determinado por el caudal de operación de la PTAR. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- ***Grado de tratamiento***

Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor o las normas de reuso. (Norma OS.090, 2006).

- ***Impacto ambiental***

Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica. (Norma OS.090, 2006).

- ***Lodo activado***

Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados. (Norma OS.090, 2006).

- ***Monitoreo de la calidad del agua residual***

Es el proceso que permite obtener como resultado la medición de la calidad del agua residual, con el objeto de realizar el seguimiento sobre la exposición de contaminantes a los usos de agua y el control de las fuentes de contaminación. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- ***Muestra de agua***

Parte representativa del material a estudiar (para este caso agua residual cruda y tratada) en la cual se analizan los parámetros de interés. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- ***Muestra simple o puntual***

Es la que se toma en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual. Representa la composición del agua residual para un lugar, tiempo y circunstancia en la que fue recolectada la muestra. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- ***Muestreo***

Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar. (Norma OS.090, 2006).

- ***Oxidación***

La adición química de oxígeno para destrozarse contaminantes o desperdicios orgánicos. Por ejemplo: la destrucción de sustancias químicas tales como cianuros, fenoles y compuestos orgánicos de azufre en alcantarillas usando métodos bacteriales y químicos. (EPA, 2016).

- ***Periodo de retención nominal***

Relación entre el volumen y el caudal efluente. (Norma OS.090, 2006).

- ***pH***

Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro. (Norma OS.090, 2006). El pH de las aguas crudas y tratadas debe estar entre 5.0 y 9.0, para controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. (CEPIS, 2016).

- ***Planta de tratamiento***

Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales. (Norma OS.090, 2006).

- ***Preservante químico***

Es una solución química que inhibe y/o estabiliza la muestra para conservar las características de la muestra de agua residual hasta el momento del análisis. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- ***Proceso de lodos activados***

Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aeración una mezcla licor mezclado) de lodo activado y agua residual. El licor mezclado es sometido a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado. (Norma OS.090, 2006).

- ***Protocolo***

Es un documento guía que contiene pautas, instrucciones, directivas y procedimientos establecidos para desarrollar una actividad específica. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- ***Punto de monitoreo o punto de control***

Es la ubicación geográfica de un punto, donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad (en este caso del agua residual cruda y tratada) en forma periódica. (RM-273-2013-VIVIENDA).

- ***Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL)***

Es una empresa estatal de derecho privado íntegramente de propiedad del Estado, constituida como Sociedad Anónima. Tiene por objetivo la prestación de los servicios de saneamiento como agua potable y alcantarillado sanitario. (SEDAPAL, 2013).

- ***Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)***

Es la institución encargada de la regulación y supervisión del suministro y distribución de agua potable. Garantiza a los proveedores la provisión de los servicios de saneamiento, que incluyen agua potable y alcantarillado, entre otros, en las mejores condiciones de calidad. (SEDAPAL, 2013).

- ***Temperatura***

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. (CEPIS, 2016).

- ***Tratamiento del agua***

Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua. (Norma OS.020, 2006).

- ***Tratamiento avanzado de aguas residuales***

Cualquier tratamiento de aguas residuales que va más allá de la etapa de tratamiento secundaria o biológica e incluye la eliminación de nutrientes como fósforo y nitrógeno y un alto porcentaje de sólidos suspendidos. (EPA, 2016).

Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como: remoción de sólidos en suspensión, remoción de complejos orgánicos disueltos, remoción de compuestos inorgánicos disueltos y remoción de nutrientes. (Norma OS.090).

- ***Tratamiento biológico***

Una tecnología de tratamiento que usa bacterias para consumir desperdicios orgánicos. (EPA, 2016).

Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. (Norma OS.090).

- ***Tratamiento químico***

Aplicación de compuestos químicos en las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc. (Norma OS.090).

- ***Tratamiento primario***

Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta. (Norma OS.090).

- ***Tratamiento secundario***

Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión. (Norma OS.090).

- ***Tratamiento terciario***

Limpieza avanzada de aguas negras que ocurre después de la etapa secundaria o biológica y elimina nutrientes tales como fósforo, nitrógeno y la mayoría de la demanda biológica de oxígeno y sólidos suspendidos. (EPA, 2016).

- ***Trihalometano (THM)***

Un miembro de una familia de compuestos orgánicos nombrados como derivados de metano. Los THMs generalmente son biproductos de la cloración de agua potable que contiene materiales orgánicos. (EPA, 2016).

- ***Usuario No Doméstico (UND)***

Es aquella persona natural o jurídica que realiza descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario. (DS N° 021-2009-VIVIENDA).

- ***Valore Máximo Admisibile (VMA)***

Aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales. (DS N° 021-2009-VIVIENDA).

CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA

El presente estudio fue realizado en el “Edificio Targa”, puesto que aquí se generan aguas residuales con un contenido de nitrógeno amoniacal superior al VMA y por ello se diseñó e implementó un sistema de tratamiento para remover dicho parámetro elevado. El proyecto se divide en cinco etapas que a continuación se detallan:

- **Etapa I:** Durante la primera etapa se realizó la recopilación de la bibliografía, revisión, análisis de la información, formulándose los objetivos del proyecto. También se realizaron trámites, permisos y solicitudes previas al proyecto.
- **Etapa II:** En la segunda etapa se diseñó el sistema de tratamiento, teniendo en cuenta el objetivo principal que era la remoción de nitrógeno amoniacal de las aguas residuales provenientes del Edificio Targa.
- **Etapa III:** En la tercera etapa se habilitó el espacio disponible dentro de las instalaciones del edificio para implementar el sistema de tratamiento; se adquirieron los materiales y equipos para el sistema de tratamiento. Posteriormente se realizó la construcción e implementación del sistema de tratamiento.

- **Etapa IV:** En la cuarta etapa se realizó la operación y la puesta en marcha del sistema de tratamiento. Se coordinó con el laboratorio acreditado para realizar el monitoreo y análisis de las muestras; se adquirieron los materiales y equipos e indumentaria necesarios para el monitoreo. Se realizó el monitoreo de los parámetros: DBO₅, DQO, AyG, SST, nitrógeno amoniacal, pH y temperatura del agua residual tratada; adicionalmente se midió Nitrógeno amoniacal en el agua cruda sin tratamiento para verificar la eficiencia de remoción de este parámetro del sistema de tratamiento. Luego se realizaron los análisis de las muestras en un laboratorio acreditado.
- **Etapa V:** En la quinta etapa se interpretaron los resultados de los análisis, se realizó la evaluación de la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal, y se verificó el cumplimiento de los VMA de los efluentes del edificio.

3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

3.2.1. UBICACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Edificio Targa, ubicado en la Calle Amador Merino Reyna N° 285, en el distrito de San Isidro, de la provincia y departamento de Lima. Debido a que este edificio se ubica en una zona exclusiva comercial en San Isidro y no cuenta con espacio disponible para instalar un sistema de tratamiento convencional se optó por implementar el sistema de tratamiento de nitrógeno amoniacal en el primer sótano, en un ambiente de 3.24 m² (1.8 m de ancho y 1.8 m de largo).

Así mismo, los análisis de las muestras tomadas para el presente estudio se realizaron en el laboratorio acreditado AGQ PERÚ S.A.C., ubicado en Av. Santa Rosa N° 511, La Perla – Callao.



Figura 7. Ubicación del Edificio Targa – San Isidro.



Figura 8. Edificio Targa – San Isidro.

3.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS

El costo de inversión para la implementación del sistema de tratamiento es de \$ 2,000 aproximadamente, este costo es inferior al costo de otros sistemas de tratamiento como los de tipo biológico que sería un estimado de \$ 6,000.

A continuación se presentan los materiales, equipos, insumos y reactivos empleados para el sistema de tratamiento:

3.2.2.1. Materiales

- Manguera y válvula de succión
- Manguera y válvula de inyección
- Tubería de PVC
- Libreta de campo
- Cooler
- Ice pack/hielo
- Balde
- Cuerda
- Frascos de plástico
- Cinta embalaje
- Etiquetas
- Plumón indeleble, lapiceros
- Fichas de registro de campo
- Cadenas de custodia
- Mascarillas, guantes y equipos de protección personal

3.2.2.2. Equipos

- Bomba dosificadora
- Sensor de nivel
- Agitador vertical
- Tanque de disolución
- Tablero eléctrico
- Colorímetro para medición de cloro residual
- Equipo para medición de pH
- GPS y cronómetro

3.2.2.3. Reactivos e insumos químicos

- Hipoclorito de sodio
- Ácido sulfúrico
- DPD
- Phenol red
- Agua desionizada

3.2.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

3.2.3.1. Descripción del sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento del agua residual del Edificio Targa consta de un sistema de oxidación química para la remoción de nitrógeno amoniacal basado en la dosificación de hipoclorito de sodio al 3% de Cl como agente oxidante. El hipoclorito de sodio será inyectado a la tubería de aguas residuales a través de una bomba dosificadora la cual se alimenta del tanque en el que previamente se ha preparado la solución de hipoclorito de sodio a la concentración deseada de Cl.

El punto de dosificación dispone de una válvula de inyección ubicada en una tubería de desagüe de PVC de 4" de diámetro, ubicada a 7.8 m del trayecto del colector principal de desagüe el cual tiene un diámetro de 4" que luego es ampliado a 6" con un recorrido total desde el punto de inyección hasta la caja de registro de 31.8 m.

La capacidad útil del tanque es de 435 litros y contendrá la solución diluida de hipoclorito de sodio a una concentración del 3% de Cl en peso. El nitrógeno amoniacal reaccionará con el cloro produciendo monocloramias y dicloraminas, logrando así reducir la concentración de nitrógeno amoniacal hasta valores acordes a los establecidos en el DS 021-2009-VIVIENDA.

3.2.3.2. Establecimiento del caudal de diseño de sistema

Para hallar el caudal de diseño se tomó como referencia el caudal histórico descargado al alcantarillado, tomando como referencia los recibos de SEDAPAL de todo un año completo.

Tabla 11. Caudal descargado al alcantarillado durante 2015

Meses 2015	Caudal (m ³ /d)
Enero	28.87
Febrero	33.03
Marzo	28.87
Abril	33.25
Mayo	28.57
Junio	29.82
Julio	28.57
Agosto	35.22
Setiembre	35.22
Octubre	33.74
Noviembre	35.22
Diciembre	33.74

Fuente: Recibos de SEDAPAL del edificio del 2015.

Caudal histórico mínimo	:	28.57 m ³ /día
Caudal histórico promedio	:	32.01 m ³ /día
Caudal histórico máximo	:	35.22 m ³ /día

Así mismo, de acuerdo al levantamiento de información de campo se ha determinado que este caudal es generado en un lapso estimado de 16 horas al día de las cuales 9 horas (comprendidas entre las 08:00 y las 17:00 hrs) son las consideradas críticas debido a que la generación de nitrógeno amoniacal está en relación directa a la orina proveniente de los empleados que laboran en este horario que es considerado el de mayor población de usuarios.

Se determinó un caudal de diseño promedio de 32.01 m³/d y un caudal pico de diseño de 83.23 m³/d (con un factor K2 para caudal máximo horario de 2.6).

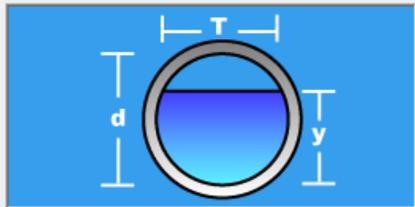
3.2.3.3. Tiempo de retención en la tubería hasta la descarga

La tubería tiene una longitud de 31.8 m, es de 6" de diámetro, de material PVC con una rugosidad de 0.0015, y una pendiente de 0.008 hasta su descarga. Se empleó el software Hcanales para hallar el tirante de agua y la velocidad del agua en la tubería.

Con el caudal promedio se obtuvo un tirante de 0.0074 m y una velocidad del agua de 1.7020 m/s con estos datos se calculó un tiempo de retención de 0.31 minutos.

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.000556"/>	m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.1524"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0015"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.008"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0074"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.0677"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0003"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0048"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.0655"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.7020"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="7.6963"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1551"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

Calcular

Limpiar Pantalla

Imprimir

Menú Principal

Calculadora

Figura 9. Cálculos para hallar el tiempo de retención

3.2.3.4. Agente químico oxidante

El agente químico empleado para el sistema de tratamiento es el hipoclorito de sodio, a continuación se muestran sus características:

Agente oxidante	: Hipoclorito de sodio
Fórmula química	: NaOCl
Presentación	: Líquido
Color	: Ligeramente amarillo
Concentración comercial de NaOCl	: 7.5%
Proporción teórica de reacción Cl:N	: 4:1 (en peso)
Nitrógeno amoniacal NH ₃ -N	: 101 mg/L
NH ₃ -N requerido	: ≤ 80 mg/L
Cloro Requerido	: 84 mg/L

Peso total de agente oxidante de acuerdo a su concentración:

Cloro requerido para oxidar el nitrógeno	: 84.00 mg/L
Cloro residual requerido	: 0.00 mg/L
Dosificación total de cloro	: 84.00 mg/L
Caudal promedio del sistema	: 32.01 m ³ /d
Horas de uso de agua durante el día	: 16.00 h/d
Caudal promedio del sistema	: 0.56 L/s
Caudal máximo horario (factor K2 =2.60)	: 1.44 L/s
Caudal másico de Cl con caudal promedio	: 0.168 Kg Cl/h
Caudal másico de Cl con caudal máximo	: 0.437 Kg Cl/h
Concentración de Cl de diseño	: 3.0%
Caudal másico de solución de Cl a concentración de diseño	: 5.6 Kg sol/h
Caudal de solución de Cl a concentración de diseño	: 5.35 L sol/h
Concentración de cloro en Hipoclorito de Sodio comercial	: 7.16%
Caudal másico Hipoclorito de Sodio comercial	: 2.35 Kg NaOCl/h

Con estos cálculos se estableció la dosificación adecuada de 5.35 L/h de solución.

3.2.3.5. Tanque de preparación de la solución

Para la preparación de la solución química a dosificar se utiliza un tanque de 500 L de capacidad, y un volumen de operación de 435 L que puede abastecer al sistema por un periodo de 9 a 10 días si el caudal de inyección es de acuerdo al diseño 5.35 L/h de solución al 3% de Cl.

El tanque es de polietileno de alta densidad (HPDE), este es un material resistente a la corrosión del hipoclorito de sodio y es resistente a los rayos ultravioleta.

El tanque tiene un volumen de seguridad de 25 litros, cuando la solución sea dosificada y se consuma hasta llegar a los 25 litros el sensor de nivel que previamente fue programado en el tablero de control apagará el sistema de dosificación puesto que si la bomba sigue funcionando sin solución a dosificar puede dañarse.



Figura 10. Tanque de solución.

3.2.3.6. Bomba dosificadora

La bomba dosificadora es de tipo diafragma o pulsos, con una presión de 1-16 bar, y con un caudal mínimo de dosificación de 7 L/h y un caudal medio de dosificación de 12.5 L/h. El caudal es ajustable manualmente mediante el potenciómetro que posee en la parte frontal (0 – 100%). Posee dos frecuencias de dosificación o impulsos, 0.5 y 1.

Como el caudal de dosificación es teórico, antes de la instalación de la bomba dosificadora, se realizaron pruebas en laboratorio, con una elevación

de válvula de inyección a 0 m, y posteriormente en el periodo de arranque del sistema se verificó el caudal de dosificación con la válvula de inyección a 2.60 m de altura aproximadamente. Es por ello que se consideró un % de regulación de caudal de 54 %, y un impulso de dosificación de 0-20% en el selector 0.5 de la bomba.

La bomba dosificará la solución durante el tiempo crítico de generación de nitrógeno amoniacal que es en horario de oficina donde hay mayor afluencia de personas en el edificio, es decir desde las 8:00 hasta las 17:00 horas, siendo un total de 9 h/d. Para este sistema se consideró un caudal de dosificación de 5.35 L/h.



Figura 11. Bomba dosificadora.

3.2.3.7. Agitador vertical

Los agitadores son equipos que permiten la preparación de reactivos, mezcla, homogenización etc. Para el presente proyecto, sirve para la homogenización o mezcla del hipoclorito de sodio con el agua, para lograr una solución al 3%.

Cada vez que se prepare la solución de agua con hipoclorito de sodio se hará uso de un agitador por un tiempo de 20 minutos el mismo que es controlado a través de un selector ubicado en el tablero de control con el objetivo de obtener una mezcla homogénea para un adecuado proceso de oxidación conforme a los parámetros diseñados.

Funcionamiento	:	Mecánico
Eje	:	Vertical
Material eje	:	AISI 316
Material hélice	:	PVC
Potencia de Motor	:	0.13 kW
Alimentación	:	Trifásica



Figura 12. Mixer, agitador vertical

3.2.3.8. Preparación de la solución de hipoclorito de sodio

Se consideró un volumen de solución a preparar de 435 litros, considerando que el hipoclorito de sodio comercial que se adquirió para el

sistema tiene una concentración de cloro de 7.5 %, se incorporará al tanque 180 Kg de hipoclorito de sodio y se añadirá 249.30 L de agua para preparar la solución de dosificación al 3% de cloro (W/W).

El hipoclorito de sodio a incorporar viene en envases de 30 Kg, por ello para facilidades de preparación de la solución de cloro, se consideró calcular con volúmenes menores de solución para casos en los que no se pueda adquirir la totalidad del hipoclorito necesario. Se hicieron 4 marcas en el tanque, una para el volumen mínimo que es el nivel de parada del sistema ello funciona con el sensor de nivel que se encuentra en el tanque, las tres otras marcas son de la siguiente manera:

Tabla 12. Volúmenes de preparación de solución a dosificar

NaOCl 7.5% (Kg)	Agua (L)	Vsolución (L)	Altura en el tanque (m)	Marca en el tanque
60.0	83.10	161.80	0.50	Marca 1
120.0	166.20	298.60	0.85	Marca 2
180.0	249.30	435.34	1.13	Marca 3

3.2.3.9. Tablero eléctrico

El tablero eléctrico está diseñado para controlar el funcionamiento del agitador vertical y de la bomba dosificadora. Está programado para dosificar automáticamente la solución en el tiempo en el cual es crítica la concentración de nitrógeno amoniacal, que es de lunes a viernes de 8:00 a 17:00 horas, los sábados de 9:00 a 15 horas, y los domingos no trabaja dado que no hay labores en el edificio.

El sistema está equipado con una sonda de nivel, que dará la señal de alerta para que la bomba dosificadora deje funcionar y se active una luz roja

piloto en el tablero que indica que la solución en el tanque ha llegado al nivel mínimo de trabajo (25 L de solución) para que los operadores procedan a realizar la preparación de una nueva carga de solución.

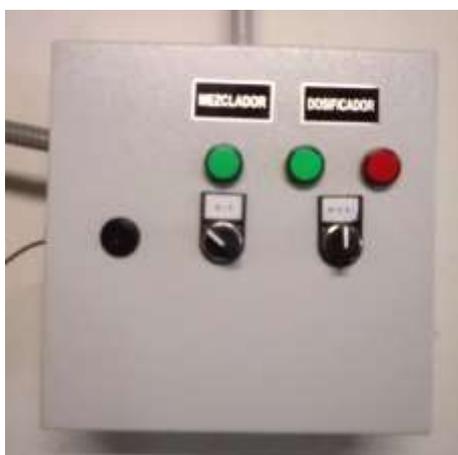


Figura 13. Tablero eléctrico de control.

3.2.4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

3.2.4.1. Bomba dosificadora

La bomba está compuesta por una parte de mando que aloja la electrónica y una parte hidráulica siempre en contacto con el fluido a dosificar.

El punto de inyección se colocó más arriba de la bomba dosificadora y del tanque. La válvula de succión se colocó a 5 o 10 cm sobre la base del tanque. La válvula de inyección se colocó al final de la línea de envío de flujo de dosificación.

Cuando se inició el periodo de arranque del sistema, primero se realizó el cebado o activación de la bomba, esto quiere decir que se puso en marcha la bomba, abriendo el racor de activación girándolo y esperando a que salga líquido. Una vez que se verificó que la bomba estaba perfectamente llena del líquido se cerró el racor y la bomba pudo empezar a dosificar.

Luego de cebar la bomba se hizo un ajuste del caudal, en nuestro caso de acuerdo a los cálculos realizados el sistema fue diseñado para un caudal de 5.35 l/h, es por ello que de acuerdo a las pruebas realizadas se determinó que el porcentaje de caudal es de 54% y el impulso es de 5.

3.2.4.2. Hipoclorito de sodio

Se utilizó hipoclorito de sodio para preparar la solución para la oxidación química. El producto comercial se adquirió y almacenó en áreas ventiladas, pisos impermeables. Los envases que los contienen son resistentes a la corrosión.

Para su manipulación se utilizaron EPP para evitar el contacto con los ojos, inhalación de vapores, y el contacto con la piel.

La solución de Hipoclorito de sodio a dosificar debe tener 3% de cloro. Para lo cual, el volumen de diseño fue 435.3 litros, entonces utilizando la tapa auxiliar elíptica del tanque se agregaron 180 Kg de Hipoclorito de sodio (NaOCl) y se agregó agua hasta llegar a la marca 3 en el tanque (que son 249.3 litros de agua).

Luego de agregar las cantidades indicadas se agitó durante 20 minutos para garantizar que esta solución sea homogénea.

Una vez que se consume la solución contenida en el tanque hasta un nivel en el cual el sensor de nivel se activa paralizando todo el sistema (25 litros como seguridad), es cuando debe prepararse nuevamente la solución, esto debe ser cada 9-10 días.

3.2.4.3. Agitador vertical

El agitador es un equipo que permite la homogenización o mezcla del hipoclorito de sodio con el agua, para lograr una solución al 3%.

La forma de proceder a agitar es:

- Introducir el producto a agitar en el tanque de preparación.
- Iniciar el proceso de agitación accionando el tablero de control.
- Proceso de agitación por 20 minutos.
- Detener el proceso de agitación.
- Iniciar dosificación.

El agitador nunca debe trabajar sin producto a agitar. Siempre debe estar sumergido. Debe comprobarse que esté girando en el sentido que se indica en el motor del agitador, si fuera contrario se pierde la eficacia de agitación.

3.2.4.4. Tablero de control

El tablero eléctrico cumple la función de controlar todo el sistema de dosificación, está programado para trabajar automáticamente en el tiempo en el cual es crítica la concentración de nitrógeno amoniacal, que es de lunes a viernes de 8:00 a 17:00 horas, los sábados de 9:00 a 15 horas, y los domingos no trabajar dado que no hay labores en el edificio.

Para arrancar la operación debemos:

- Verificar que el tablero general esté encendido.
- Abrir el tablero con la llave, encender la llave monofásica y trifásica. Cerrar el tablero.

- Encender la bomba de modo Manual o Automático de acuerdo al tipo de operación que quiera trabajarse.

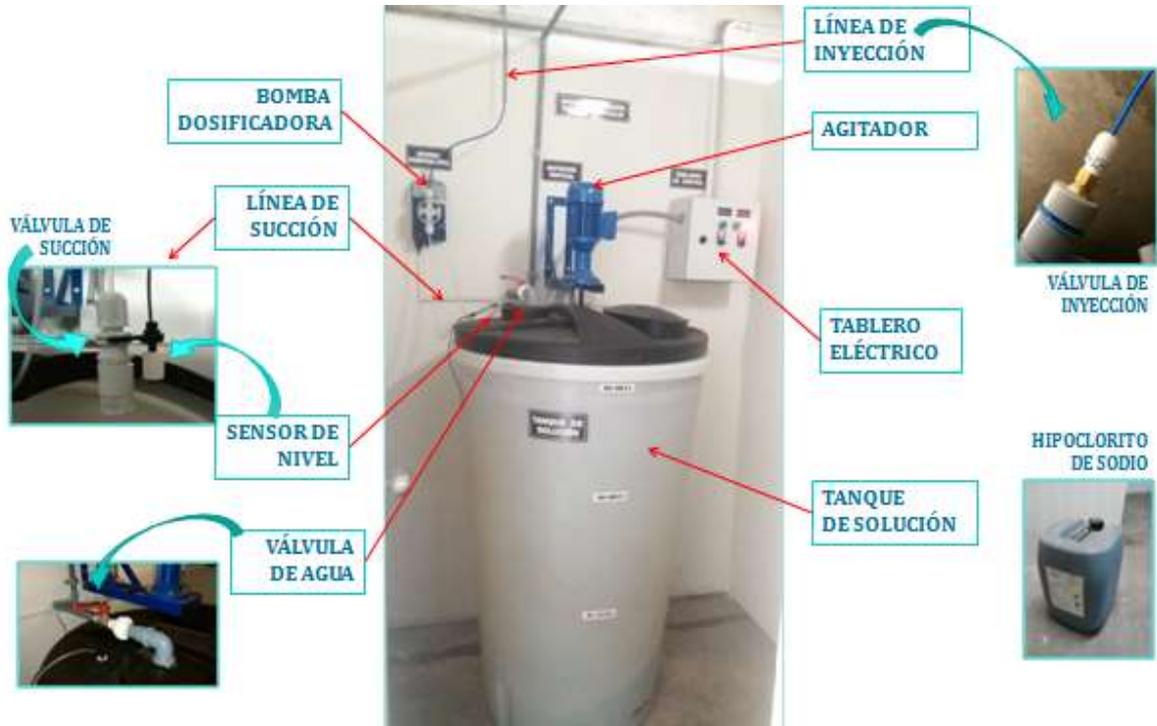


Figura 14. Esquema del sistema de tratamiento implementado.

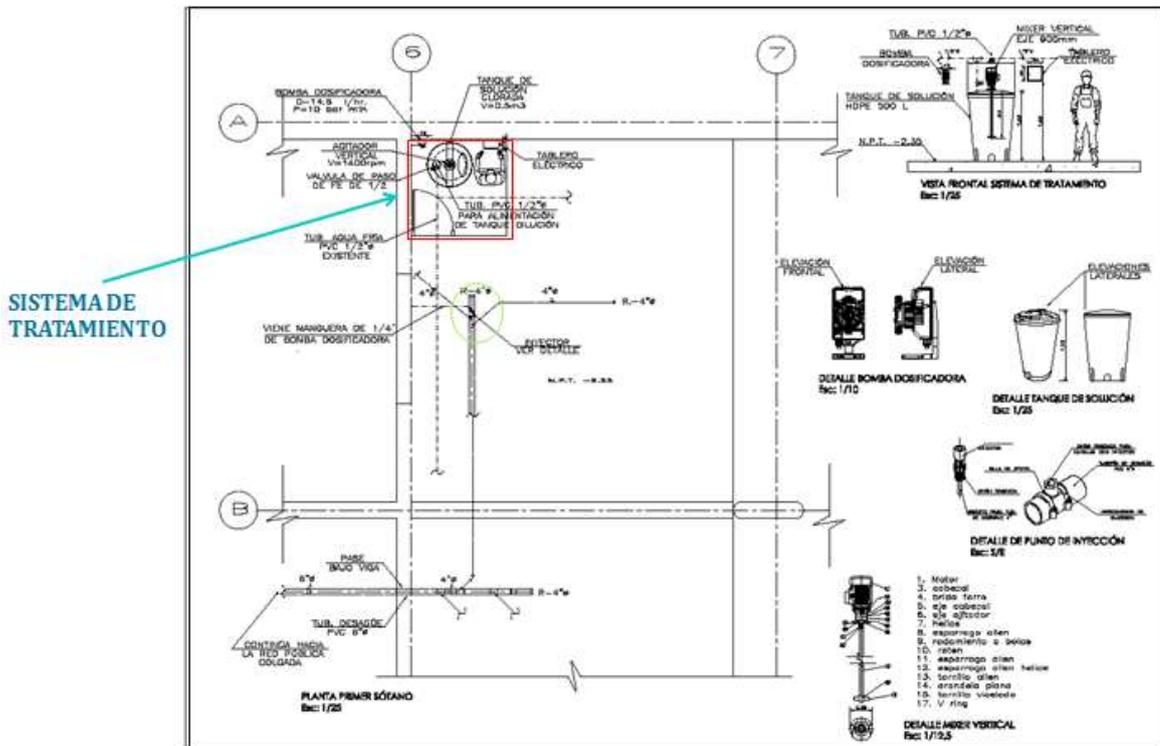


Figura 15. Plano del sistema de tratamiento implementado.

3.2.5. METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO

3.2.5.1. Número de puntos de monitoreo

Para el desarrollo del monitoreo del presente estudio, se contemplaron dos puntos de monitoreo: uno en la caja de registro de agua residual cruda (denominado AR-I-01), y otro en la caja de registro de agua residual tratada (denominado AR-S-01).

Tabla 13 Puntos de monitoreo seleccionados

Punto	Descripción
AR-I-01	Agua residual cruda (afluente)
AR-S-01	Agua residual tratada (efluente)

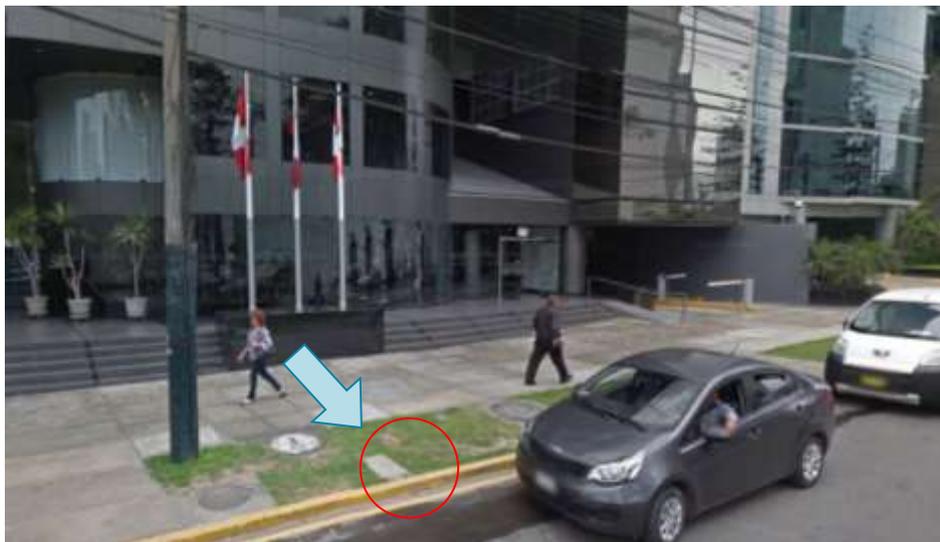


Figura 16. Punto de monitoreo de aguas residuales.



Figura 17. Caja de registro de aguas residuales.

3.2.5.2. Selección de parámetros a monitorear

Para seleccionar los parámetros a evaluar en el monitoreo, se consideraron los objetivos del proyecto, teniendo en cuenta el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles de los parámetros establecidos en los anexos 1 y 2 del DS-021-2009-VIVIENDA .

A partir de ello, se seleccionaron los parámetros a evaluar, estos se mencionan en la tabla 14.

Tabla 14. *Parámetros seleccionados para el monitoreo*

Parámetros	Unidades
Nitrógeno amoniacal	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
Aceites y grasas	mg/L
pH (in situ)	Unidades de pH
Temperatura	°C

3.2.5.3. Determinación de la frecuencia de monitoreo

Para determinar la frecuencia de monitoreo del sistema de tratamiento se tomó como referencia el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (RM N° 273-2013-VIVIENDA), el cual establece la frecuencia de monitoreo de acuerdo al caudal promedio anual del sistema.

Tabla 15. *Frecuencia de monitoreo de una PTAR*

Rango de caudal promedio anual de la PTAR	Frecuencia de monitoreo	Frecuencia mínima de medición de caudal
> 300 L/s	Mensual	Lecturas horarias, 365 días
> 100 a 300 L/s	Trimestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por mes
> 10 a 100 L/s	Semestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por trimestre
< 10 L/s	Anual	Lecturas horarias, por 24 horas, una vez por semestre

Fuente: R.M. 273-2013-VIVIENDA

$$\text{Caudal promedio} = 32.01 \frac{m^3}{d} = 0.3705 \frac{L}{s}$$

De acuerdo con la tabla 15, la frecuencia de monitoreo del sistema de tratamiento debería ser anual, es decir para cumplir este reglamento debería monitorear como mínimo una vez al año, pues el caudal del sistema de tratamiento es menor a 10 L/s. Sin embargo, para el presente estudio, se determinó una frecuencia de monitoreo mayor, puesto que se buscaba determinar la eficiencia del sistema, así como verificar la remoción de los parámetros en estudio.

Tabla 16. *Plan de monitoreo*

N° de monitoreo	AR-I-01		AR-S-01						
	Nitrógeno amoniacal mg/L	pH	Nitrógeno amoniacal mg/L	pH	Temp °C	DBO mg/L	DQO mg/L	AyG mg/L	SST mg/L
1°	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2°	X	X	X	X		X	X	X	X
3°	X	X	X	X					
4°	X	X	X	X					
5°		X	X	X					
6°		X	X	X					
7°			X						

En la tabla 16, se muestra el plan de monitoreo empleado para el presente estudio. Se monitoreó y evaluó la remoción de nitrógeno amoniacal del sistema de tratamiento durante 7 monitoreos en diferentes días, realizados de lunes a viernes considerando que estos días son laborables y por lo tanto hay mayor afluencia de personas en el edificio y considerando que hay un comportamiento rutinario en el edificio durante estos días. Adicionalmente, se monitorearon los parámetros DBO₅, DQO, AyG, SST, pH y temperatura.

El monitoreo se desarrolló conforme a lo establecido en el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” (RM N° 273-2013-VIVIENDA), el trabajo de campo se inició con la preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección.

3.2.5.4. Procedimiento para la toma de muestra

A. Actividades de Pre-Muestreo:

Estas actividades se desarrollan cumpliendo las Buenas Prácticas de Laboratorio y los procedimientos acreditados que aseguren la calidad de los resultados. Previo a la recolección de muestras se ha de definir:

- Equipos e Instrumentos: De medición *in situ* deben estar limpios y calibrados antes de ir al campo, dejándolos en el mismo estado al finalizar el muestreo.
- Limpieza y Calibración de los equipos e instrumentos: Para garantizar la calidad del análisis se debe limpiar y calibrar el equipo como parte de los preparativos del trabajo de campo. También debe limpiarse el equipo al finalizar el trabajo de campo y mantenerse en óptimo estado de limpieza y buenas condiciones de funcionamiento. Los equipos e instrumentos deben contar con un plan de mantenimiento preventivo, llevar un registro de calibración y se debe verificar que cada instrumento cumpla con los estándares de calibración antes de ir al campo.
- Recipiente de muestreo: Se puede utilizar botellas de polietileno, vidrio o de material especial, según el parámetro que se vaya a determinar. El personal de muestreo y de laboratorio deberá tomar las precauciones para evitar la contaminación de muestras, seleccionando los recipientes apropiados, lavándolos y manipulándolos adecuadamente.
- Blanco viajero: Se deben seleccionar el 10% de cada tipo de botella para ser seleccionado como “blanco viajero”, y determinar si existe contaminación dentro de las botellas.

- Lista de requerimientos: Se recomienda preparar una lista de equipos, materiales, reactivos, hojas de datos de campo, formularios, etc., los que serán llevados al campo. En dicha lista se pueden incluir: Envases para las muestras, para el blanco y envases adicionales en caso de rupturas; preservantes; etiquetas, cinta adhesiva y plumones indelebles; formato de registro de muestreo; muestreadores; cooler; potenciómetro; cronometro; Sistema de Posición Geográfica (GPS); accesorios como: papel absorbente, soga, bolsas de plástico, baterías, linterna, etc; EPP como: mandiles, guantes, botas, mascarillas, cascos, etc.; cronograma de muestreo; bitácora; cadena de custodia; balde, jarras, agua desionizada.

B. Procedimiento de toma de muestra:

En el caso del agua de efluentes, la colección y preservación de muestras es de suma importancia en el monitoreo, a fin de garantizar resultados satisfactorios de los análisis correspondientes. Con el fin de obtener muestras representativas, el muestreo de efluentes, deberá efectuarse después de la última etapa del sistema de tratamiento.

Los dos primeros monitoreos deberán ser para tomar muestras de los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Aceites y Grasas, Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH y Temperatura ($^{\circ}C$).

Para la verificación del cumplimiento de VMA, se tomará una muestra simple cada día en la caja de registro a la salida del sistema de tratamiento. La muestra se homogenizará en un balde plástico de 4L de capacidad,

inmediatamente después se deberán llenar los frascos para los análisis mencionados, debidamente rotulados con la fecha y hora de la colecta. Los frascos serán inmediatamente mantenidos en refrigeración hasta su análisis.



Figura 18. Toma de muestras.

C. Preservación y conservación de muestras:



Figura 19. Preservación de muestras

Se tomaron en cuenta los siguientes requerimientos para el monitoreo:

Tabla 17. *Preservación y conservación de muestras*

Parámetro	Tipo de envase	Volumen requerido de muestra	Preservación y conservación	Tiempo máximo de conservación
DBO ₅	Frascos de vidrio o plástico	500 mL	Refrigerar a 4 °C	24 h
DQO	Frascos de plástico o vidrio	500 mL	Agregar 2 mL de H ₂ SO ₄ /L; refrigerar a 4 °C	24 h
Grasas y Aceites	Frascos de vidrio	1000 mL	Agregar 2 mL de H ₂ SO ₄ /L ; refrigerar a 4 °C	72 h
Sólidos Suspendidos Totales	Frascos de vidrio	1000 mL	Refrigerar a 4 °C	72 h
Nitrógeno amoniacal	Frascos de plástico o vidrio	500 mL	Agregar 2 mL de H ₂ SO ₄ hasta pH <2; refrigerar a 4 °C	7 d
pH	-	In situ	Determinar in situ	Análisis in situ
Temperatura	-	In situ	Determinar in situ	Análisis in situ

Fuente: Romero, Jairo (2004).

- ***Nitrógeno amoniacal***

Para analizar nitrógeno amoniacal, se tomó una muestra por día del agua residual cruda y del agua residual tratada.

El agua fue colectada en un recipiente libre de impurezas, y luego se distribuyó en frascos de plástico de 500 mL, las muestras se preservaron con ácido sulfúrico (se agregaron 22 gotas de H₂SO₄ para obtener un pH ≤ 2), se homogenizaron, se etiquetaron y rotularon con los datos respectivos de las muestras con letra clara y legible utilizando plumón indeleble y se cubrieron con cinta de embalaje. Luego se conservaron a 4°C en un cooler con ice pack y

posteriormente fueron trasladadas al laboratorio acreditado en un lapso de 2 horas con sus respectivas cadenas de custodia.

- **pH**

El pH fue medido in situ, tanto del agua residual sin tratamiento como del agua residual tratada. Se empleó el método colorimétrico. Se realizó una determinación económica, rápida y aproximada utilizando el indicador Phenol red (pH 6.8 – 8.2, que va desde el color amarillo a rojo).

La medición del pH debe realizarse in situ, ya que puede sufrir variación importante en el transcurso del tiempo, debido a diversas causas, entre las cuales se encuentran la sobresaturación de CO₂, reacciones químicas, temperatura, etc. La variación del pH entre las mediciones en campo y las realizadas en el laboratorio puede llegar hasta la unidad, a pesar de haberse efectuado el mismo día. (CEPIS, 2016).

- **Temperatura**

El parámetro temperatura se monitoreo en el agua residual tratada. Se midió in situ, tomando una muestra simple en un recipiente apropiado, se empleó un equipo Hanna HI 9829 medidor de temperatura con un rango de medición de 4.0 – 50.0 °C. Se empleó la técnica de electrometría.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO₅**

Para analizar la DBO₅, se tomaron muestras del agua residual tratada. El agua fue colectada en un recipiente libre de impurezas, y luego se distribuyó en frascos de plástico de 1 L teniendo en cuenta q debe llenarse el frasco por

completo sin dejar aire en el frasco porque alteraría la muestra, se cerró herméticamente, se etiquetó y rotuló con los datos respectivos de las muestras con letra clara y legible utilizando plumón indeleble y se cubrieren con cinta de embalaje. Luego se conservaron a 4°C en un cooler con ice pack y posteriormente fueron trasladadas al laboratorio acreditado en un lapso de 2 horas con sus respectivas cadenas de custodia.

- **DQO**

Para analizar la DQO, se tomaron muestras del agua residual tratada. El agua fue colectada en un recipiente libre de impurezas, y luego se distribuyó en frascos de plástico de 1 L, las muestras se preservaron con ácido sulfúrico (se agregaron 2 mL de H₂SO₄ para obtener un pH ≤ 2), se homogenizaron, se etiquetaron y rotularon con los datos respectivos de las muestras con letra clara y legible utilizando plumón indeleble y se cubrieren con cinta de embalaje. Luego se conservaron a 4°C en un cooler con ice pack y posteriormente fueron trasladadas al laboratorio acreditado en un lapso de 2 horas con sus respectivas cadenas de custodia.

- **Aceites y Grasas**

Para analizar la AyG, se tomaron muestras del agua residual tratada. El agua fue colectada en un recipiente libre de impurezas, y luego se distribuyó en frascos de plástico de 1 L, las muestras se preservaron con ácido sulfúrico (se agregaron 2 mL de H₂SO₄ para obtener un pH ≤ 2), se homogenizaron, se etiquetaron y rotularon con los datos respectivos de las muestras con letra clara y legible utilizando plumón indeleble y se cubrieren con cinta de embalaje.

Posteriormente, se conservaron a 4°C en un cooler con ice pack y fueron trasladadas al laboratorio acreditado en un lapso de 2 horas con sus respectivas cadenas de custodia.

- *Sólidos Suspendidos Totales – SST*

Para analizar SST, se tomaron muestras del agua residual tratada. Se empleó la técnica de Gravimetría. Para ello, se utilizó un aparato de filtración, desecador y balanza analítica.

El agua fue colectada en un recipiente libre de impurezas, y luego se distribuyó en frascos de plástico de 1 L, las muestras se homogenizaron, se etiquetaron y rotularon con los datos respectivos de las muestras con letra clara y legible utilizando plumón indeleble y se cubrieren con cinta de embalaje. Luego se conservaron a 4°C en un cooler con ice pack y posteriormente fueron trasladadas al laboratorio acreditado en un lapso de 2 horas con sus respectivas cadenas de custodia.

D. Etiquetado de la muestra:

Es importante que cada muestra llegue al laboratorio con una identificación o etiqueta numerada. Los frascos y contenedores deberán ser rotulados correctamente, deberá rotularse el frasco y no la tapa. Rotular cada muestra con los siguientes datos: Nombre del Cliente, Parámetro a analizar, Código de la Muestra, Tipo de Muestra, Fecha y hora de muestreo, preservante adicionado al frasco y nombre del técnico muestreador.

		CÓDIGO DE LA MUESTRA	NÚMERO ENVASES	/
CLIENTE		CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA		
ANÁLISIS		Sin Conservante <input type="checkbox"/>		
		Ácido Sulfúrico <input type="checkbox"/>		
FECHA / HORA		Ácido Nítrico <input type="checkbox"/>		
MATRIZ		Ac. Clorhídrico <input type="checkbox"/>		
OBSERV.		Otros: <input type="checkbox"/>		
AV. Santa Rosa 511 La Perla Callao				

Figura 20. Etiqueta de las muestras.

E. Llenado de la cadena de custodia:

Al número o código de la muestra debe corresponder un registro (Cadena de custodia) que contenga los siguientes datos: Nombre del cliente, Dirección de la toma de muestra, Nombre del técnico de muestreo, coordenadas UTM del punto de muestreo, Código y descripción de los puntos de muestreo, Parámetros que serán analizados para cada punto de muestreo, Datos de medición in situ (pH, T, caudal), Fecha y hora del muestreo, Conservante agregado a la muestra si la tuviera, Fecha y hora de envío de la muestra, Fecha de recepción de la muestra por parte del laboratorio.

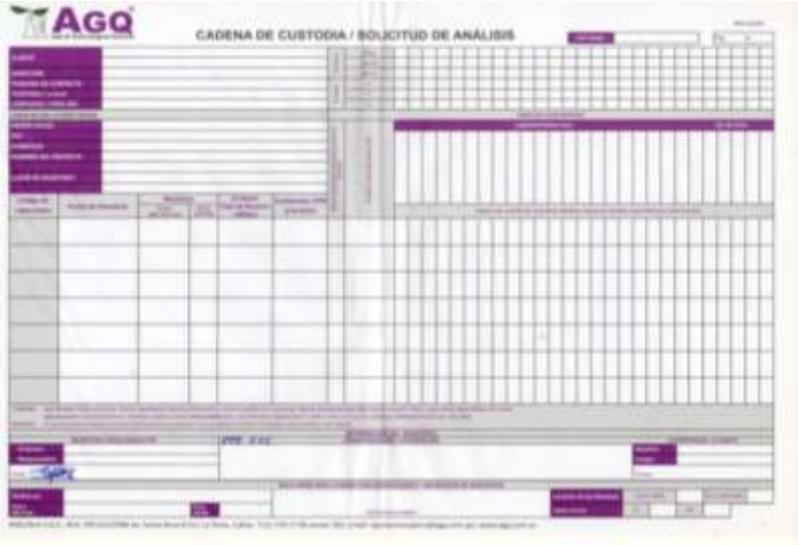


Figura 21. Etiqueta de las muestras.

F. Transporte y traslado de muestras al laboratorio:

El transporte de las muestras se debe hacer en cajas térmicas aislantes, conteniendo hielo o material refrigerante y durante el traslado de muestras, estas deberán estar acompañadas por una cadena de custodia, y el envío de parámetros perecibles se debe notificar al laboratorio, comunicando con un día de anticipación la fecha y hora de llegada de las muestras y el tipo de análisis solicitados.



Figura 22. Traslado de muestras al laboratorio.

G. Técnicas y equipos para el análisis de las muestras:

En la tabla 18 se muestran las técnicas empleadas para el análisis de las muestras, así como los equipos utilizados y sus respectivos rangos de medición.

Tabla 18. *Técnicas y equipos para analizar las muestras de agua*

Parámetro	PNT*	Equipo utilizado	Técnica	Rango
DBO ₅	SM 5210 B Ed 22. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	Oxímetro	Electrometría	1.07 – 10000 mg/L
DQO	SM 5220 D Ed 22. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.	Mantilla Electrica	Espect UV-VIS	8.00 - 5000 mg/L
Aceites y Grasas	SM 5520 B Partition- Gravimetric Method	Aparato de extracción Soxthtlet	Gravimetría	2.2 – 1000 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	SM 2540 D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103- 105°C	Aparato de filtración, desecador y balanza analítica	Gravimetría	2.00 – 80000 mg/L
pH (in situ)	SM 4500-H+ B Ed 22		Electrometría	2.01 – 12.0
Temperatura (in situ)	SM 2550 B Ed 22		Electrometría	4.0 – 50.0 °C
Nitrógeno amoniaco	SM 4500-NH3 D		Electrometría	0.020 – 100 mg/L

* PNT: Procedimiento Normalizado de Trabajo

SM: Standar Method

Fuente: Informes de laboratorio AGQ.

3.3. RESULTADOS

Los datos obtenidos en campo y los datos del análisis en laboratorio fueron colocados en una hoja de cálculo, para su procesamiento.

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el estudio realizado en un sistema de oxidación química empleado para la remoción de nitrógeno amoniacal. Los resultados fueron comparados con los Valores Máximos Admisibles.

3.3.1. Nitrógeno amoniacal del agua residual sin tratamiento

Los resultados obtenidos de los 4 monitoreos del parámetro nitrógeno amoniacal del Agua Residual Cruda (ARC), se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados de nitrógeno amoniacal del ARC

N° de monitoreo	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	Incert.
1°	101.00	±9%
2°	71.50	±9%
3°	86.30	±9%
4°	82.50	±9%
Promedio	85.30	

Fuente: Informes de monitoreo Envirolab, AGQ

3.3.2. Nitrógeno amoniacal del agua residual tratada

En la tabla 20 se presentan los resultados obtenidos los 7 monitoreos del parámetro nitrógeno amoniacal del Agua Residual Tratada (ART).

Tabla 20. Resultados del nitrógeno amoniacal del ART

N° de monitoreo	Nitrógeno amoniacal, (mg/L)	Incert.
1°	20.70	±11%
2°	7.66	±7%
3°	40.50	±9%
4°	20.30	±9%
5°	22.50	±9%
6	12.60	±9%
7°	29.60	±9%
Promedio	21.98	

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.3.3. pH del agua residual sin tratamiento

Los resultados obtenidos en los 6 monitoreos de pH del agua residual cruda, sin tratamiento, se presentan en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados de pH del ARC

N° de monitoreo	pH (mg/L)	Incert.
1°	7.80	±1%
2°	7.40	±1%
3°	7.60	±1%
4°	7.80	±1%
5°	7.80	±1%
6°	7.60	±1%
Promedio	7.64	

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.3.4. pH del agua residual tratada

Los resultados obtenidos en los 6 monitoreos de pH del agua residual tratada, se presentan en la tabla 22.

Tabla 22. Resultados de pH del ART

N° de Monitoreo	pH (mg/L)	Incert.
1°	8.09	±1%
2°	8.20	±1%
3°	8.00	±1%
4°	8.10	±1%
5°	8.20	±1%
6°	8.20	±1%
Promedio	8.13	

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.3.5. Temperatura del agua tratada

En la tabla 23 que se presenta a continuación, se muestra el valor medido de temperatura del agua tratada.

Tabla 23. Resultados de temperatura del ART

N° Monitoreo	Temperatura, (°C)	Incert.
1°	23.9	±4%

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Los resultados obtenidos en los 2 monitoreos de DBO₅ del agua residual tratada, se presentan en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados de DBO del ART

N° de Monitoreo	DBO (mg/L)	Incert.
1°	162.00	±12%
2°	5.80	±12%
Promedio	83.90	

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.3.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la tabla 25 que se presenta a continuación, se muestran los valores de DQO obtenidos del agua tratada.

Tabla 25. Resultados de DQO del ART

N° de Monitoreo	DQO (mg/L)	Incert.
1°	367.00	±11%
2°	26.10	±4%
Promedio	196.55	

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.3.8. Aceites y Grasas (AyG)

Los resultados obtenidos en los 2 monitoreos de aceites y grasas del agua residual tratada, se presentan en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados de AyG del ART

N° de Monitoreo	AyG (mg/L)	Incert.
1°	14.00	±12%
2°	15.40	±13%
Promedio	14.70	

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.3.9. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

En la tabla 27 que se presenta a continuación, se muestran los valores de SST obtenidos del agua tratada.

Tabla 27. Resultados de SST del ART

N° de Monitoreo	SST (mg/L)	Incert.
1°	77.00	±13%
2°	56.50	±11%
Promedio	66.75	

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

3.4. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

3.4.1. Nitrógeno amoniacal agua residual sin tratamiento

Los resultados de los análisis realizados a las muestras, presentados en la tabla 28 y en la figura 23, muestran que el nitrógeno amoniacal del agua residual del edificio tiene un valor promedio de 85.30 mg/L, y un valor máximo de 101.00 mg/L. Los valores en su mayoría sobrepasan el VMA de nitrógeno amoniacal, establecido en el DS-021-2009-VIVIENDA, cuyo valor es 80.0 mg/L.

Tabla 28. Comparación del nitrógeno amoniacal del ARC con el VMA

N° de monitoreo	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	VMA Nitrógeno amoniacal (mg/L)	Observación
1°	101.00	80.00	No cumple
2°	71.50	80.00	Cumple
3°	86.30	80.00	No cumple
4°	82.50	80.00	No cumple
Promedio	85.30	80.00	No cumple

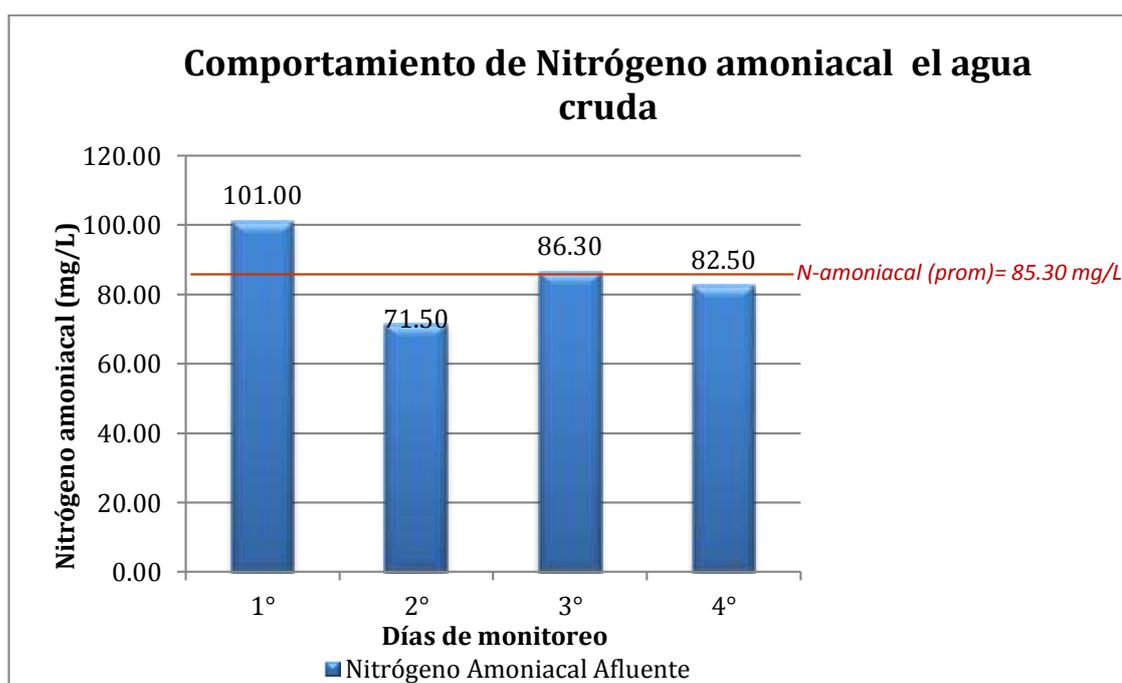


Figura 23. Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ARC en función al VMA.

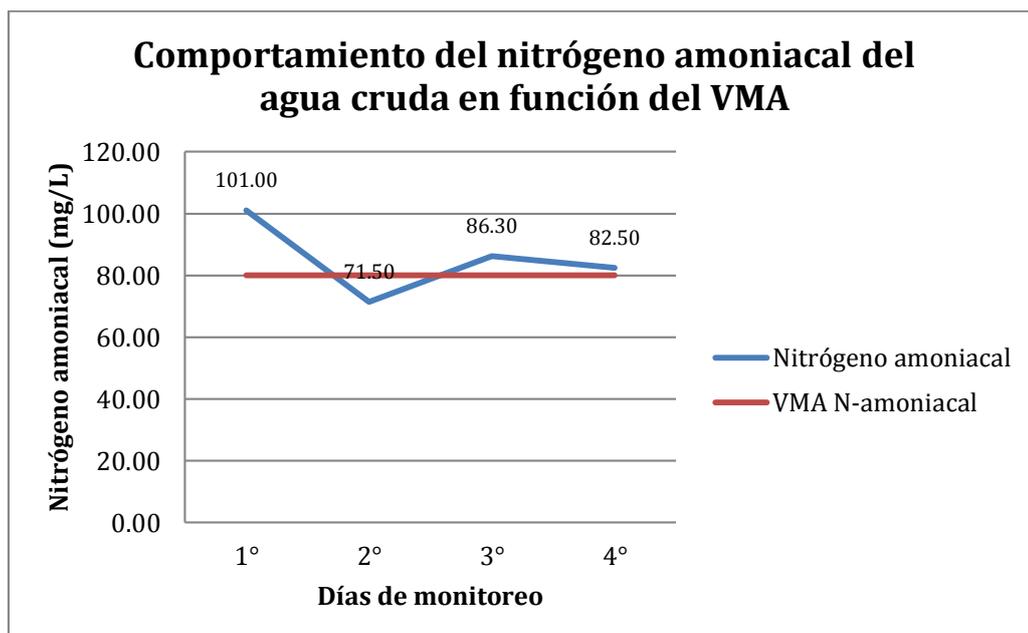


Figura 24. Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ARC en función al VMA.

3.4.2. Nitrógeno amoniacal agua residual tratada

En la tabla 29 se muestran los resultados obtenidos del monitoreo del agua residual tratada. La concentración de nitrógeno amoniacal osciló entre 7.66 mg/L 40.5 mg/L. El valor promedio de nitrógeno amoniacal fue 21.98 mg/L.

Tabla 29. Comparación del nitrógeno amoniacal del ART con el VMA

N° de monitoreo	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	VMA Nitrógeno amoniacal (mg/L)	Observación
1°	20.70	80.00	Cumple
2°	7.66	80.00	Cumple
3°	40.50	80.00	Cumple
4°	20.30	80.00	Cumple
5°	22.50	80.00	Cumple
6°	12.60	80.00	Cumple
7°	29.60	80.00	Cumple
Promedio	21.98	80.00	Cumple

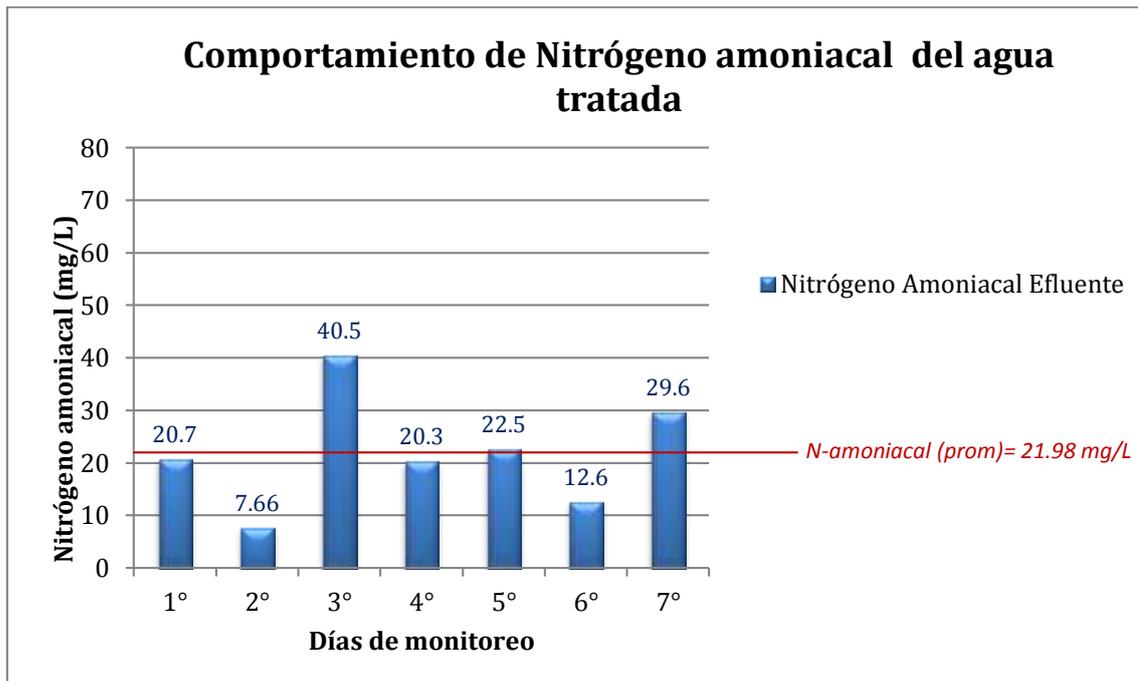


Figura 25. Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ART.

Los resultados obtenidos se compararon con los Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado, correspondientes al DS-021-2009-VIVIENDA. Los valores de nitrógeno amoniacal se encontraron por debajo del límite exigido por esta norma de 80 mg/L (ver figura 26), indicando de esta manera que el efluente puede ser descargado al sistema de alcantarillado sin problemas que SEDAPAL pueda restringirle el servicio de alcantarillado al edificio.

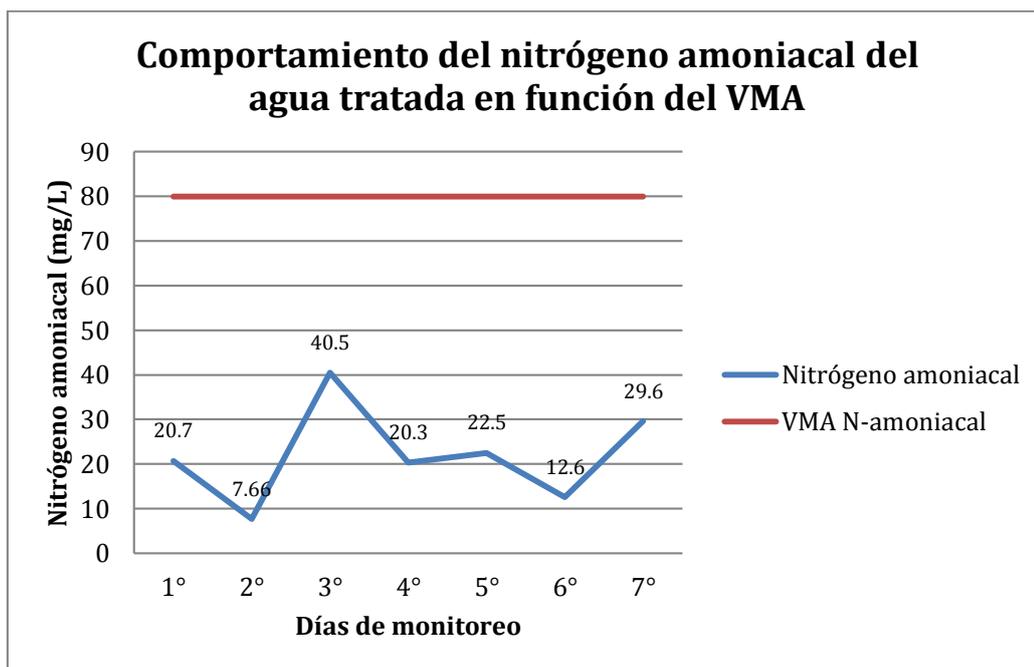


Figura 26. Comportamiento del nitrógeno amoniacal del ART en función del VMA

3.4.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal

La evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento se realizó por comparación de la calidad del agua residual cruda y tratada, calculando los porcentajes de remoción y determinando así la consistencia de los valores del efluente del sistema de tratamiento, tomando en consideración el proceso de tratamiento existente.

Tabla 30. *Eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal del sistema*

Evaluación	Nitrógeno amoniacal		
	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Remoción (%)
1°	101.00	20.70	80
2°	71.50	7.66	89
3°	86.30	40.50	53
4°	82.50	20.30	75
Promedio	85.30	22.90	74

En la tabla 30 se muestran las eficiencias obtenidas durante el periodo de estudio. La eficiencia promedio de remoción del nitrógeno amoniacal del sistema de tratamiento durante el periodo de monitoreo fue de 74.0 %, se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 89.0%. Con la eficiencia obtenida, el agua residual tratada cumple el VMA de nitrógeno amoniacal establecido en el DS-021-2009.

3.4.4. pH del agua residual sin tratamiento

Los niveles de pH del agua cruda registrados en el monitoreo del sistema de tratamiento presentan un comportamiento similar como se puede apreciar en la tabla 31. Los valores de pH fluctúan entre 7.40 y 7.80, obteniéndose un valor promedio de 7.64, ver figura 27.

Tabla 31. Comparación del pH del ARC con el VMA

N° de Monitoreo	pH (mg/L)	VMA pH	Observación
1°	7.80	6 – 9	Cumple
2°	7.40	6 – 9	Cumple
3°	7.60	6 – 9	Cumple
4°	7.80	6 – 9	Cumple
5°	7.80	6 – 9	Cumple
6°	7.60	6 – 9	Cumple
Promedio	7.64	6 – 9	Cumple

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

Para la evaluación de la calidad del agua residual cruda, en términos de pH, para su descarga a la red de alcantarillado, En la tabla 31 se ha comparado los valores de pH del agua residual sin tratamiento con los VMA.

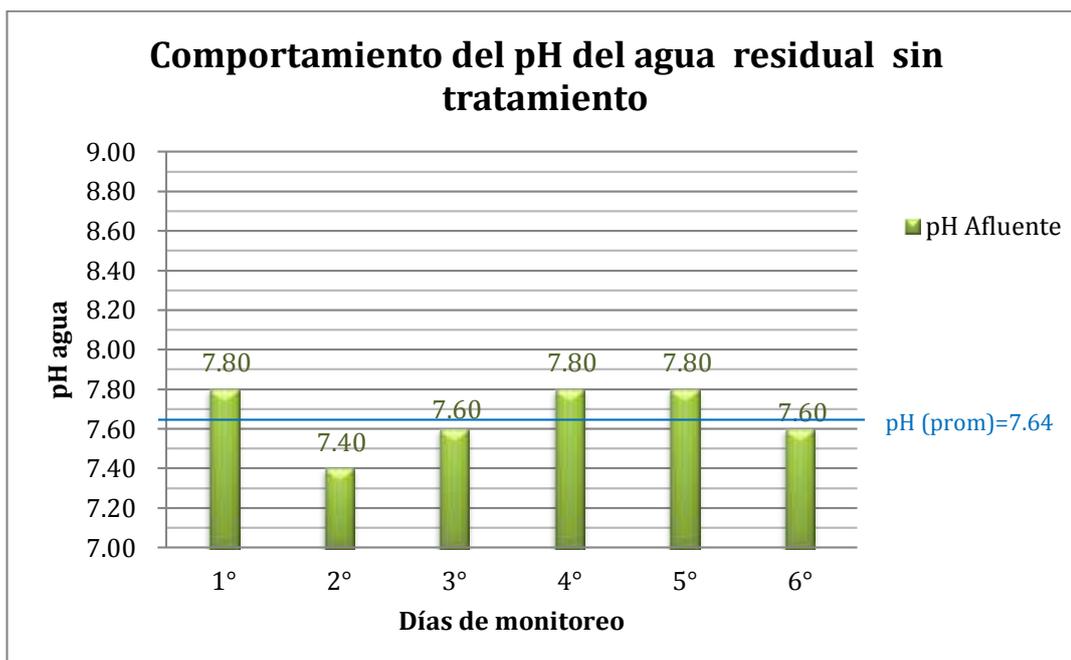


Figura 27. Comportamiento del pH del ARC

En ese sentido, en la figura 28 se aprecia que los valores de pH registrados del efluente se encuentran dentro del rango establecido por los VMA (6,0 – 9.0).

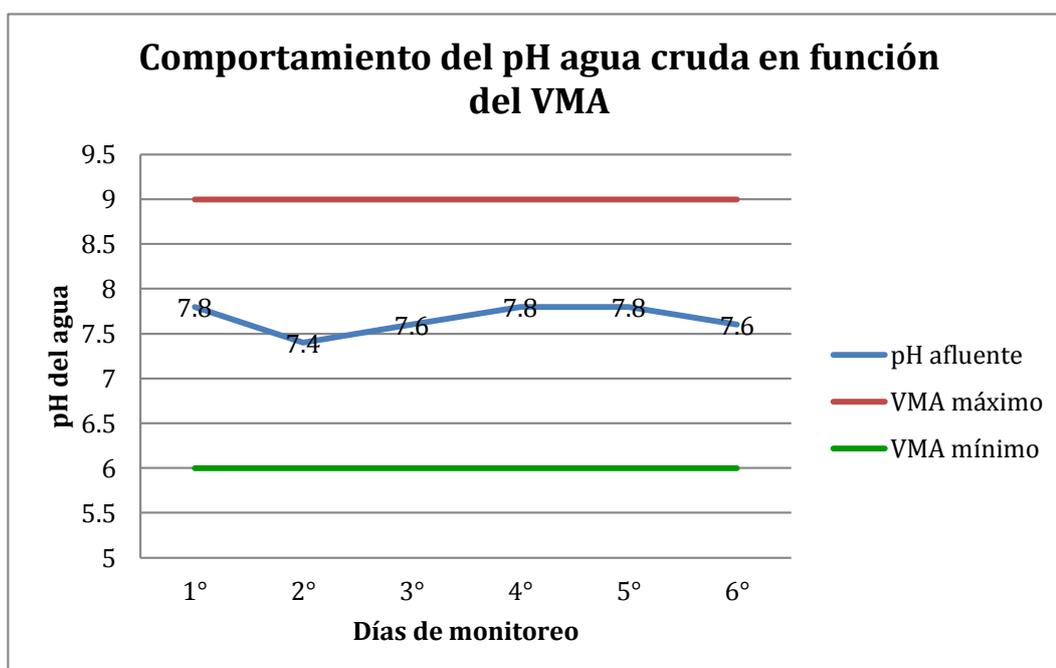


Figura 28. Comportamiento del pH del ARC en función al VMA

3.4.5. pH del agua residual tratada

Los niveles de pH del agua residual tratada registrados en el monitoreo del sistema de tratamiento presentan un comportamiento similar como se puede apreciar en la tabla 32. Los valores de pH fluctúan entre 8.00 y 8.20, obteniéndose un valor promedio de 8.13.

Tabla 32. Comparación del pH del ART con el VMA

N° de Monitoreo	pH (mg/L)	VMA pH	Observación
1°	8.09	6 – 9	Cumple
2°	8.20	6 – 9	Cumple
3°	8.00	6 – 9	Cumple
4°	8.10	6 – 9	Cumple
5°	8.20	6 – 9	Cumple
6°	8.20	6 – 9	Cumple
Promedio	8.13	6 – 9	Cumple

Fuente: Informes de monitoreo AGQ

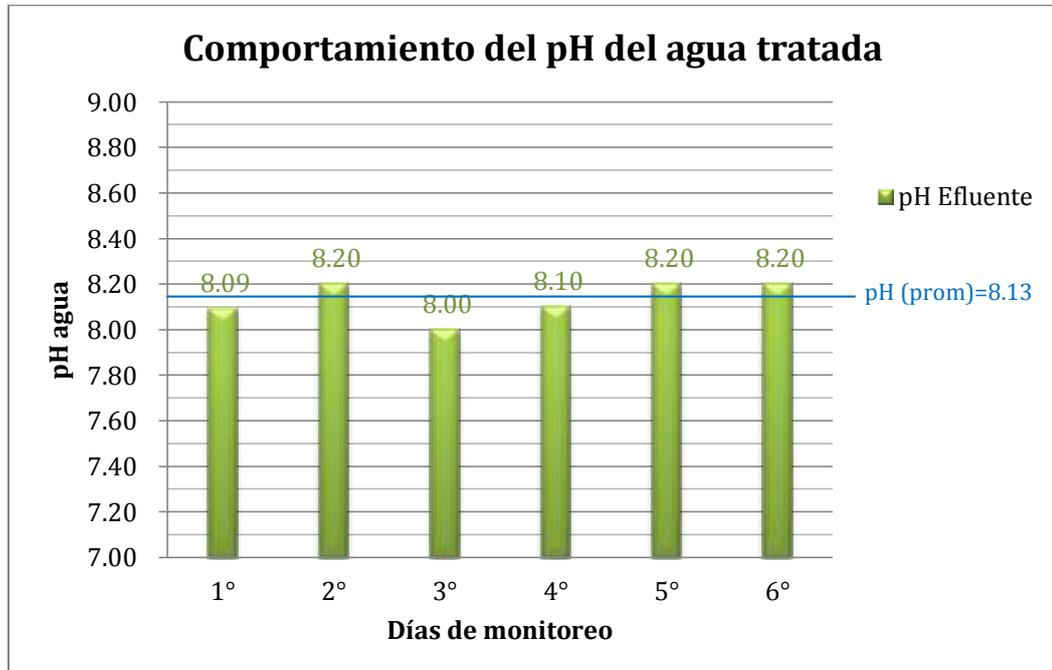


Figura 29. Comportamiento del pH del ART

Por otro lado, para la evaluación de la calidad del efluente en términos de pH para su descarga a la red de alcantarillado, se ha comparado los valores de pH del efluente con los VMA.

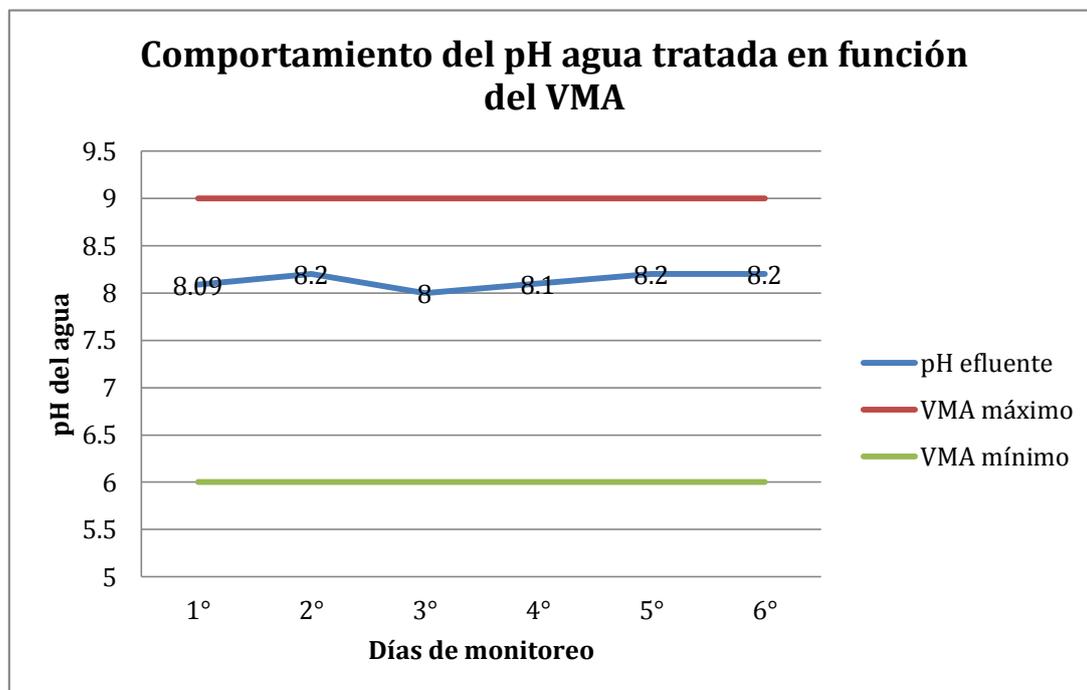


Figura 30. Comportamiento del pH del ART en función al VMA

En ese sentido, en la figura 30 se aprecia que los valores de pH registrados del efluente se encuentran dentro del rango establecido por los VMA (6,0 – 9.0), lo que nos indica que de manera referencial, en términos de pH este efluente es apto para su descarga a la red de alcantarillado.

Se puede apreciar que en comparación con los valores de pH de agua residual cruda, los valores de pH del agua residual tratada son mayores, pues, como indica Jimeno (1998) y Arboleda (2000) los hipocloritos tienden a incrementar ligeramente el valor del pH.

3.4.6. Temperatura del agua tratada

En la tabla 33 se presenta el valor medido de temperatura del agua tratada. Se obtuvo una temperatura de 23,9 °C.

El VMA para temperatura es <35°C, lo que nos indica que de manera referencial, en términos de temperatura este efluente es apto para su descarga a la red de alcantarillado (ver figura 31).

Tabla 33. Comparación del valor de temperatura con el VMA

Monitoreo	Temperatura (°C)	VMA	Observación
Día 1	23.9	<35	Cumple

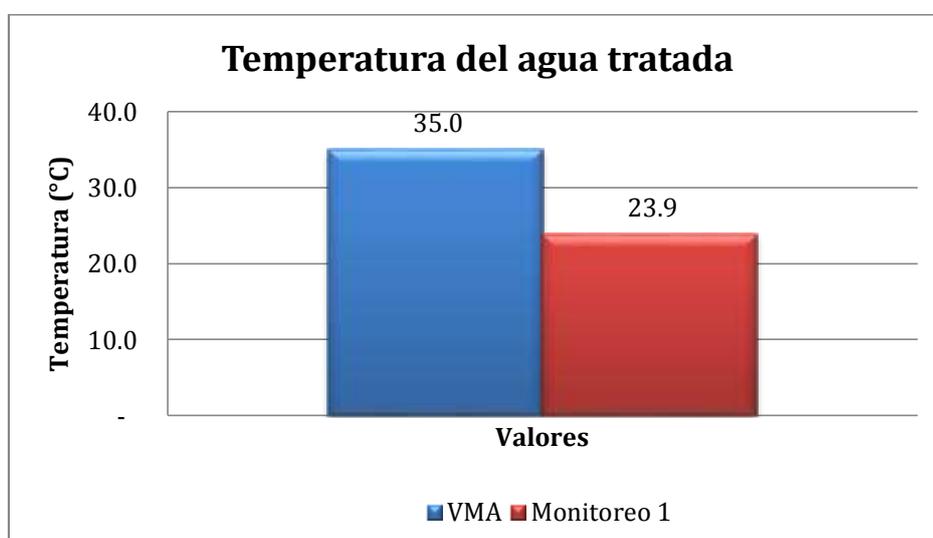


Figura 31. Comportamiento de la temperatura del agua tratada en función al VMA

3.4.7. Parámetros del anexo 1 de los VMA

Los parámetros del Anexo 1 del DS-021-2009-VIVIENDA: DBO₅, DQO, Aceites y grasas, y SST, se encontraron por debajo de los Valores Máximos Admisibles, como se puede apreciar en la figura 32.

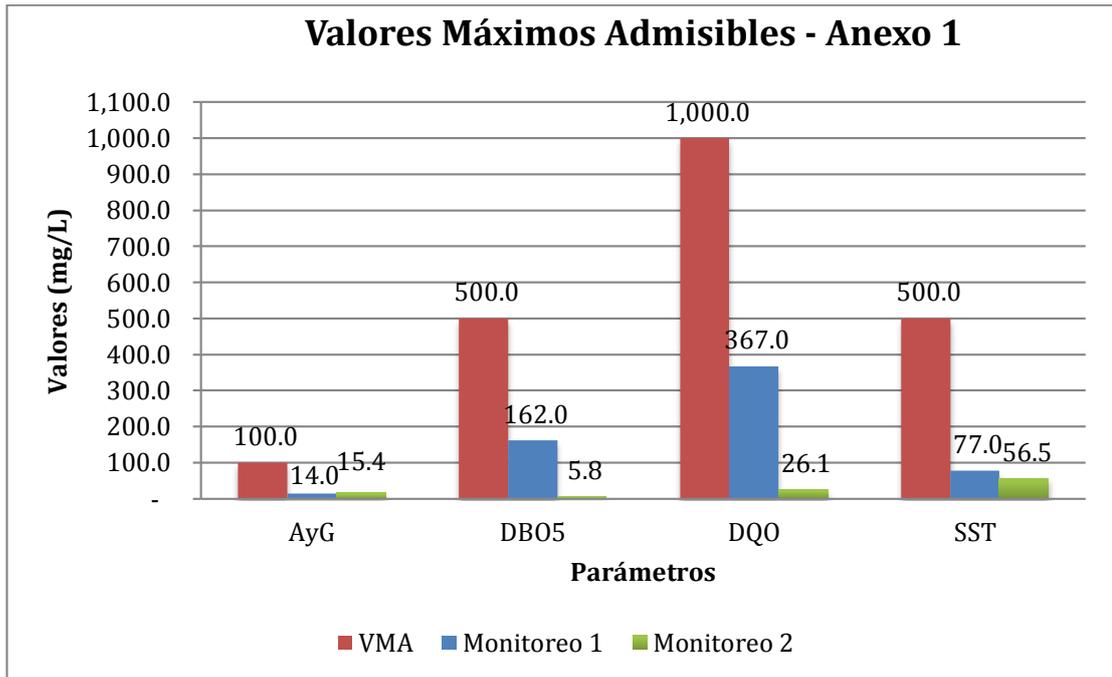


Figura 32. Resultados de los parámetros del anexo 1 de los VMA

CONCLUSIONES

- El sistema de oxidación química implementado es una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de nitrógeno amoniacal y permite el cumplimiento de los VMA, requiere una limitada necesidad de espacio, es de bajo coste de inversión en comparación a otros sistemas y es adaptable a instalaciones existentes, como lo indica Metcalf y Eddy (1996). Además, la oxidación química con cloro es más sencilla de manejar, como lo indica Arboleda (2000), y no requiere de operadores altamente calificados para la operación y mantenimiento del sistema.
- El sistema de oxidación química diseñado e implementado permitió la remoción de nitrógeno amoniacal, como lo indica CEPIS (2016), y Cárdenas y Sánchez (2013), del agua residual del Edificio Targa, obteniéndose valores en el rango de 7.66 – 40.50 mg/L, con lo cual se cumplió el VMA de este parámetro establecido en el DS-021-2009-VIVIENDA y el agua puede ser descargada al sistema de alcantarillado. Este proceso de remoción se dio porque el cloro en el agua produce reacciones de óxido-reducción, en las que el cloro se combina con el nitrógeno amoniacal para producir monocloraminas y dicloraminas, como lo indica Arboleda (2000).
- El sistema de oxidación química tuvo una eficiencia de remoción máxima de 89.0% de remoción de nitrógeno amoniacal, una eficiencia de remoción promedio de 74.0%. Esta eficiencia es menor a la que indican Metcalf y Eddy (1996) de 90-100% para el proceso de eliminación de

nitrógeno por cloración; sin embargo, la eficiencia obtenida es superior a la de sistemas de tratamiento biológicos convencionales. Con la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal obtenida se logra cumplir el VMA de este parámetro.

- El agua residual tratada del Edificio Targa no excede los VMA de los parámetros DBO₅, DQO, SST, Aceites y grasas, pH y temperatura del agua residual tratada no sobrepasan los VMA, por lo tanto, el usuario no debe efectuar un pago adicional por el exceso de concentración de dichos parámetros como lo establece el DS-021-2009-VIVIENDA.

RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos en esta investigación sirven de base para la implementación de otros proyectos y futuras investigaciones relacionadas con el tratamiento de nitrógeno amoniacal.
- Realizar estudios para la optimización de la dosificación de cloro como agente oxidante, cuantificando el cloro residual.
- Instalar un tanque de almacenamiento de aguas residuales donde se dosifique la solución de hipoclorito de sodio, previo a su descarga a la red de alcantarillado, para proporcionar un mayor tiempo de contacto y de esta manera se verifique que todo el cloro reaccione con el nitrógeno amoniacal evitando los excesos de su concentración.

BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association - APHA, American Water Works Association - AWWA, Water Environment Federation - WEF. (2012). *Standard Methods for examination of water and wastewater 22nd Ed.* Washington D.C., USA. 1360 pp.
- Arboleda, V. J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tercera edición. Tomo II. Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A. 453 pp.
- Cárdenas, G. L. y Sánchez I. A. (2013). *Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. Rev. Univ salud. 2013;15(1) 72 – 88
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS (2016). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría, Tomo I y Tomo II*. Lima, Perú.
- Environmental Protection Agency – EPA (2016). *Glosario ambiental bilingüe*. Washington DC, USA.
- Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. *Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 20 de noviembre de 2009.
- Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA. *Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 22 de mayo del 2011.

Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA. *Modificación de diversos artículos del Decreto Supremo N° 021-2009 VIVIENDA, así como de su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2011 VIVIENDA y modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA.* Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 10 de enero del 2015.

Hammeken A. A. y Romero, G. E. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula.* Tesis Licenciatura. Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Puebla, México.

Jimeno, B. E. (1998). *Análisis de aguas y desagües.* Universidad Nacional de Ingeniería. Segunda edición. Lima, Perú. 251 pp.

Metcalf y Eddy (1996). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización.* Volúmenes 1 y 2. Editorial McGraw-Hill. Tercera edición, 752 páginas. México, D.F.

Norma IS.010. *Instalaciones sanitarias para edificaciones.* Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 11 de junio del 2006.

Norma OS.020. *Planta de tratamiento de agua para consumo humano.* Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 8 de junio del 2006.

Norma OS.090. *Plantas de tratamiento de aguas residuales.* Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 8 de junio del 2006.

- Noriega, P. R. (1999). *Manual de tratamiento de aguas residuales*. Tomo I, 283 pp. Lima, Perú.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Recuperado de: http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec, Canadá. Reverté S.A.
- Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA. *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales – PTAR*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 30 de octubre del 2013.
- Romero, R. J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Tercera Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. 1248 pp.
- SEDAPAL (2013). *Tratamiento de aguas residuales: Requisito obligatorio para usuarios no domésticos que solicitan acceder a los servicios de saneamiento*. II Encuentro Internacional Pro-VMA, 15 de marzo del 2013.
- Valencia, B. M. (2015). *Relación entre los valores de parámetros de las descargas de efluentes en la clínica odontológica de la U.C.S.M. y los Valores Máximos Admisibles (VMA), Arequipa 2015*. Universidad Católica Santa María - UCSM. Tesis Doctor en Ciencias Ambientales. Arequipa, Perú.

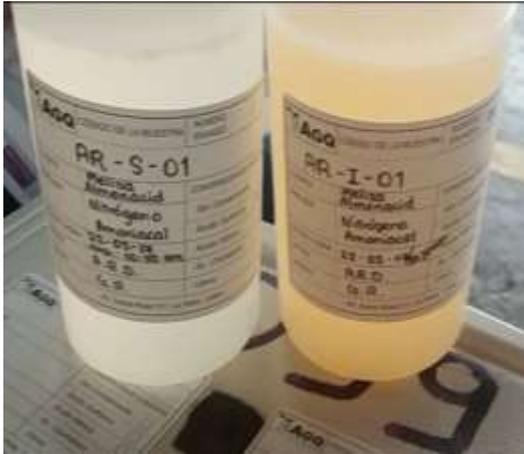
ANEXOS

ANEXO 1: Registro fotográfico del trabajo realizado

Implementación del sistema de tratamiento	Capacitación sobre la operación y mantenimiento del sistema
	
Sistema de tratamiento	Punto de inyección de solución de cloro
	
Bomba dosificadora	Agitador vertical
	

<p>Válvula de succión y sensor de nivel</p>	<p>Tablero de control</p>
	
<p>Hipoclorito de sodio comercial</p>	<p>Punto de monitoreo de agua residual</p>
	
<p>1° Monitoreo</p>	
<p>Toma de muestras</p>	<p>Medición de pH</p>
	

2° Monitoreo	
Toma de muestras	Medición de pH
	
Agua residual cruda	Agua residual tratada
	
3° Monitoreo	
Muestreo	Muestras
	

Medición de pH	Muestras
	
4° Monitoreo	
Recolección de muestras	Muestras
	
Medición de pH con phenol red	Phenol red, DPD
	

5° Monitoreo	
Recolección de muestra	Determinación de pH
	
Muestras	Almacenamiento
	
6° Monitoreo	
Recolección de muestras	Distribución en frascos
	

<p>Preservante H₂SO₄</p>	<p>Homogenización</p>
	
<p>Homogenización</p>	<p>Etiquetado de muestras</p>
	
<p>Embalado de envases</p>	<p>Muestras</p>
	

Determinación de pH	Traslado al laboratorio
	
7° Monitoreo	
Recolección de muestras	Mediciones in situ
	
Determinación de pH	Muestras
	

ANEXO 2: Recibo de alcantarillado del edificio



www.sedapal.com.pe
Servicio de Agua Potable y Alcantarillado
de Lima
Autopista Ramón Proña 210
El Agustino - Lima
RUC: 2018132388

INMOBILIARIA TARGA SA
CA MERINO REYNA, AMADOR 281
URB JARDIN
SAN ISIDRO

RUC.: 20346748258

Sector: 052
OC.: AV ANGAMOS ESTE 1450 SURQUILLO LIMA

TARGA 7

Suministro N°
5023809-6



INFORMACIÓN GENERAL

Titular de la conexión:
Dirección del suministro:
CA MERINO REYNA, AMADOR 281 I - URB JAR

Distrito:
SAN ISIDRO

Tipo de facturación:
PROMEDIO

Frecuencia de facturación:
Mensual

Tarifa:
COMERCIAL

Categoría:
NO RESIDENCIAL

Unidad de Uso:
1

Tipo de descarga:
NO DOMESTICO

Actividad:
ACTIVIDADES DIVERSAS

INFORMACIÓN DE PAGO

Fecha de emisión:
13/01/2016

Periodo de consumo:
05/12/2015 - 06/01/2016

Ref. de cobro:
50238092022

N° de recibo:
01113544-1411201601

Mes facturado:
Enero 2016

Fecha de vencimiento:
28/01/2016

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Estructura Tarifaria (38/06/2015)

Tarifa	Rango	Agua Alcant.
COMERCIAL	0 a 1999	4.950 2.399
	1999 a mas	5.212 2.352

Horario de abastecimiento
Código : 523881
Frecuencia: 20/15/20
De : 06:00
Hasta : 04:00
Cilindro Conex: 25

LECTURA DE MEDIDOR

Medidor:	Anterior:	Actual:	Consumo (m3):

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Concepto:	Importe:
Volumen de Agua Potable 803.00 m3	3.900.97
Servicio de Alcantarillado	1.780.98
Cargo Fijo	4.89
Regularización Cargo fijo	0.16
Cargo Interes Comercial	0.01
Abono de regularización de consumos	-102.00
Abono regularización servicio alcantarillado	-76.61
Abono intereses mes Julio-2015	-11.01
Total	5.477.39 x 18%
	Consumo del mes
	6.463.32

CONTABILIDAD CP PROYECTOS

LIBRO	N° DE REGISTRO
11	010019

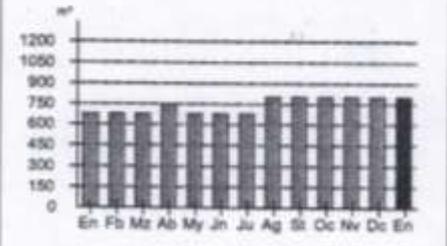
MENSAJES

Estimado usuario: En el presente recibo se está regularizando la facturación en exceso y el interés por aplicación de la RCD N° 022-2015-SUNASS-CD.

¡El rifa ya está aquí!

Está en nuestras manos cuidar el agua para Lima y Callao. Toma duchas de 5 minutos y cierra la llave mientras te enjabonas. **ASÍ AHORRARÁS 40 LITROS.**
"Sin demucha, no hay roche"

EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO DE AGUA





50238092022000000009463328

Para tus consultas y requerimientos llámanos al
317 8000 de Aquafono

Impreso por factrisa S.A. - RUC: 2018011728



ANEXO 3: Notificación de SEDAPAL



sedapal

Equipo de Evaluación de Calidad de Aguas Residuales

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE
 "Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
 "Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"



Carta N° 8306 -2015-EEC-AR/G-RAUND

Lima, 24 de Noviembre de 2015

Señores:
 INMOBILIARIA TARGA S.A.
 Ca. Amador Merino Reyna N° 281 I, Urb. Jardín
 San Isidro.-

Asunto : Notificación Preventiva de Suspensión Temporal de Servicio de Alcantarillado Sanitario.
 NIS: 5023809 – NIA: 20976768

Referencia : (a) Carta N° 2061-2015-EEC-AR/RUND
 (b) Informe de Ensayo N° J-00185270 de fecha 06.10.2015
 Acta de Muestreo N° 1549 de fecha 06.10.2015

Nos dirigimos a usted, para hacer de su conocimiento que mediante la carta de la referencia a) se procedió a registrarlo como usuario no doméstico de acuerdo al D.S. N°021-2009-VIVIENDA que aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Con fecha 06.10.2015, nuestro Equipo efectuó el monitoreo inopinado¹ a la descarga de su establecimiento con número de identificación de alcantarillado señalado en el asunto, muestreo que realizó el laboratorio ENVIROLAB acreditado ante el INDECOPI y contratado por SEDAPAL², obteniéndose el Informe de Ensayo N° J-00185270 de la referencia b), cuyo resultado muestra el exceso de concentración del Anexo 2 del D.S. N°021-2009-VIVIENDA, como sigue:

Parámetros	Nitrógeno Amoniacal
Unidad	mg/L
Valor Normado	80
Valor Obtenido	101

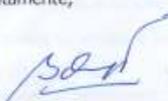
En concordancia con el artículo 20.4° del D.S. N°001-2015-VIVIENDA, se le otorga el plazo máximo de sesenta (60) días calendario, contados desde el día siguiente de la notificación de la presente carta, para que implemente las medidas necesarias para cumplir con los VMA o solicite el otorgamiento de un plazo adicional para dicho fin, siguiendo el procedimiento establecido en los literales del a) a la f)³ teniendo presente también los literales g) y h) del referido artículo.

Vencido el plazo otorgado, se procederá a la suspensión temporal del servicio de alcantarillado sanitario cuando:

- No haya presentado el informe de ensayo realizado por un laboratorio acreditado ante el INACAL de los parámetros del Anexo 1 (DBO₅, DQO, SST, AyG) y del Anexo 2 del D.S.021-2009-VIVIENDA señalado en el cuadro anterior, que demuestre que se ha adecuado a la norma VMA, acompañado de una descripción del tipo de tratamiento que hubiere implementado para haber obtenido los resultados de análisis del referido informe de ensayo.
- No haya solicitado oportunamente por escrito un plazo adicional a fin de implementar medidas para cumplir los VMA de acuerdo al procedimiento establecido en la norma.

La documentación requerida, deberá ser dirigida al Equipo Evaluación de Calidad de Aguas Residuales, y presentada en la Oficina de Mesa de Partes de SEDAPAL, Puerta N° 1 La Atarjea, ubicada en Autopista Ramiro Prialé N° 210 El Agustino. Cualquier información y/o consulta, sírvase comunicarse a los teléfonos 3173204 o 3173491. Ver notas referenciales de la Norma en el reverso.

Atentamente,




Perla Betty Chung Tong
 Jefe Equipo Evaluación de Calidad de Aguas Residuales.

Cc Expediente
 scc/cam

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEA
 Autopista Ramiro Prialé 210 - El Agustino - Central Telefónica 317-300
 Consultas e Informes : Aguafono 317 800

www.sedapal.com.pe

CENTROS DE SERVICIO
 Cercas: Av. Victor Andrés Bello s/n. Cuadra 2 - Urb. El Bosque
 Callao: Av. Guardia Chibcha N° 113
 Breña: Av. Targa María N° 000 - Central
 San Juan de Lurigancho: Av. Proceso de la Independencia N° 3195 - Centro Grand
 Alto Vitarte: Av. Nicolás Ayllón N° 230
 Surquillo: Av. Argemiro Este N° 145
 Villa el Salvador: Av. Sotomayor Industrial N° 300 1er. Sect.



OFICINAS Y PLANTA
Calle El Engranaje N° 116 - Urb. La Mila
San Martín de Porres - Lima
Telefax: (01) 534-2888 / (01) 534-2523
(01) 534-2889 / (01) 719-1872
RPC: 9837-43980 / 9837-43180
Nextel Ventas: 99631*5004 / 99400*2373
E-mail: ventas@quimexsa.com
E-mail: quimex@quimexsa.com
Web: www.quimexsa.com

PRODUCTOS QUIMICOS INDUSTRIALES

CERTIFICADO DE CALIDAD

LEJIA QX

Cliente : DASAMI PERU SAC
Guía N° : 001-389580
Factura N° : 001-365499
Cantidad : 30 KG
Procedencia : Nacional
Presentación : PVC

Lote: LT3120416L
Fecha de Producción: 12.04.2016
**Fecha de duración mínima: 03.05.2016

Parametro	Unid.	Resultado	Especificación Min - Max.	Método de Referencia
Hipoclorito de Sodio (como NaOCl)	% w/w	7,67	7.50 - 8.00	NTP 311.602
Cloro Disponible (como Cl ₂)	% w/w	8,17	8.00 - 8.60	NTP 311.602
Hidróxido de Sodio (como NaOH)	%w/w	0,85	0.84 - 0.90	NTP 311.602
Temperatura	°C	23	-----	-----
Densidad	g/ml	1,118	1.118 - 1.125	-----
Apariencia		Cumple	Líquido transparente de color amarillo verdoso.	Visual

(**) Mantener el producto en un lugar fresco, ventilado, bajo sombra, alejado de fuentes de calor y en envases donde no trasluce la luz natural o artificial
Después de la fecha de duración mínima el producto aun mantiene su poder desinfectante y blanqueador, aunque podría estar fuera de especificación.

Fabricante: QUIMEX S.A.

Lima, 13 de Abril del 2016

Soledad Barrientos
Control de Calidad

ANEXO 5: Acreditaciones INACAL e IAS de AGQ Perú SAC.

Certificado

 **INACAL**
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE, **OTORGA** la presente Renovación de la Acreditación a:

AGQ Perú S.A.C.

En su calidad de **Laboratorio de Ensayo**

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

Sede Acreditada: Av. Santa Rosa N° 511, La Perla, provincia constitucional del Callao y departamento de Lima.

Fecha de Renovación: 12 de julio de 2016
Fecha de Vencimiento: 12 de julio de 2020

Registro N° LE - 072
Fecha de emisión: 29 de diciembre de 2016
DA-acr-01P-02M Ver. 00


Augusto Mello Romero
Director - Dirección de Acreditación



International Accreditation Service
CERTIFICATE OF ACCREDITATION

This is to signify that

AGQ PERÚ SAC

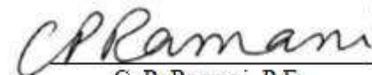
AV SANTA ROSA 511
LA PERLA
CALLAO
PERU

Testing Laboratory TL-502

has met the requirements of the IAS Accreditation Criteria for Testing Laboratories (AC89), has demonstrated compliance with ISO/IEC Standard 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, and has been accredited, commencing August 22, 2015, for the test methods listed in the approved scope of accreditation.



Patrick V. McCullen
Vice President, Chief Technical Officer



C. P. Ramani, P.E.
President



Print Date: 8/27/2015

(see attached scope of accreditation for fields of testing and accredited test methods)

Page 1 of 15

This accreditation certificate supersedes any IAS accreditation certificate bearing an earlier date. The certificate becomes invalid upon suspension, cancellation or revocation of accreditation.
See the IAS Accreditation Listings on the web at www.iasonline.org for current accreditation information, or contact IAS directly at (562) 364-8201.

ANEXO 6: Resultados de análisis en laboratorio

- MONITOREO N° 1: Informe de ensayo – Nitrógeno amoniacal agua tratada

		INFORME DE ENSAYO		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072			
N° de Referencia: A-16/16831 Análisis: A-0735-PE		Registrada en: AGQ Perú Centro Análisis: AGQ Perú		Cliente: DASAMI PERU S.A.C. Domicilio: AV. GRAL. EUGENIO GARZON NRO. 1950URB. FUNDO OYAGUE JESUS MARIA		Registro N° LE-072	
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica Fecha Inicio: 19/04/2016 Descripción: AR-01		Fecha Recepción: 13/04/2016 Fecha Fin: 21/04/2016		Contrato: PE16-0928-AMB Cliente SP: ---			
Fecha/Hora Muestreo: 13/04/2016 16:50 Lugar de Muestreo: CALLE AMADOR MERINO REYNA 285 SAN ISIDRO-LIMA Punto de Muestreo: AR-01		Muestreado por: Cliente					
<p>A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.</p>							
<p>Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.</p>							
							
Yoel Iñigo COP 826 Resp. Lab. Inorgánico							
FECHA EMISIÓN: 21/04/2016							
OBSERVACIONES:							
AGQ PERU, S.A.C. Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao, Lima, PERU T: (511) 710 27 00 F: (511) 716 30 94 operacionesperu@agq.com.pe www.agqlabs.com							



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: A-16/16831

Descripción: AR-01

Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica

Fecha Fin: 21/04/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Formas Nitrogenadas y Fosforadas				
Nitrógeno Amoniacal	20,7	± 11 %	mg/L	

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres están recogidas en el anexo técnico adjunto. Si aparece marca de acreditación, los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él. N/L: No Legislado.



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: A-16/16831
Descripción: AR-01

Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica
Fecha Fin: 21/04/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Formas Nitrogenadas y Fosforadas				
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500-NH3 D	Electrometría		0,020 - 100 mg/L

(1) El rango relativo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.com

3/3

- MONITOREO N° 2: Informe de ensayo – Nitrógeno amoniacal agua tratada

	INFORME DE ENSAYO		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072	
	Registro N° LE-072			
N° de Referencia: A-16/38745 Análisis: A-0735-PE Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica Fecha Inicio: 12/08/2016 Descripción: CP-01	Registrada en: AGQ Perú Centro Análisis: AGQ Perú Fecha Recepción: 09/08/2016 Fecha Fin: 12/08/2016	Cliente: CP PROYECTOS SAC Domicilio: CALLAS TIENDAS NRO. 237 URB. LIMATAMBO LIMA - SURQUILLO Contrato: PE16-2125-MYA Cliente SP: ---		
Fecha/Hora: 09/08/2016 13:00 Muestreo: SAN ISIDRO - LIMA Lugar de Muestreo: SAN ISIDRO - LIMA Punto de Muestreo: CP-01	Muestreado por: Personal AGQ PNT Muestreo: PPI-212			

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.



Yoel Iñigo CQP 826
 Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 15/08/2016

OBSERVACIONES:
 E-0279206 / N-8662389

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.
 Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, PERU T: (511) 710 27 00 F: (511) 716 30 94 operacionesperu@agq.com.pe www.agqlabs.com



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: A-16/38745
Descripción: CP-01

Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica
Fecha Fin: 12/08/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Formas Nitrogenadas y Fosforadas				
Nitrógeno Amoniacal	7,664	± 7 %	mg/L	

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres están recogidas en el anexo técnico adjunto. Si aparece marca de acreditación, los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él. A: Ensayo subcontratado y acreditado. NA: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqabs.com

2/3



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: A-16/38745
Descripción: CP-01

Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica
Fecha Fin: 12/08/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Formas Nitrogenadas y Fosforadas				
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500-NH3 D	Electrometría		0,020 - 100 mg/L

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

(1) El rango mínimo se corresponde con el límite de Deteminación, a partir del cual cuantificamos

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.com

3/3

- MONITOREO N° 3, 4, 5, 6, 7: Informe ensayo – Nitrógeno amoniacal agua tratada

		INFORME DE ENSAYO		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072			
				<small>Registro N° LE - 072</small>			
Tipo Muestra:	Agua Residual Doméstica	Registrada en:	AGQ Perú	Cliente:	MELIZA ALMONACID MAMANI		
Estudio:	MIT-17/00069	Centro Análisis:	AGQ Perú	Domicilio:	CALLE AMADOR MERINO REYNA 285 SAN ISIDRO - LIMA LIMA		
PNT Muestreo	PPI-212			Cod Cliente:	124135		
Cliente 3º:	----			Contrato:	PE17-0904		

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.



Yoel Ifigo CQP 826
Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 06/03/2017

OBSERVACIONES:

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.
 Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU T: (511) 710 27 00 F: (511) 718 30 94 operacionesperu@agq.com.pe www.agqabs.pe



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N.º LE - 072

Estudio MIT-17/00069

Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica

RESULTADOS ANALITICOS

Nº de Referencia	A-17/010401	A-17/010416	A-17/011145	A-17/011403	A-17/011579
Descripción	AR-S-01	AR-S-01	AR-S-01	AR-S-01	AR-S-01

Parámetro	Incert	Unidades					
-----------	--------	----------	--	--	--	--	--

Formas Nitrogenadas/Fosforadas

Nitrógeno Amoniacal	± 9 %	mg/L	40,5	20,3	22,5	12,6	29,6
---------------------	-------	------	------	------	------	------	------

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres están recogidas en el anexo técnico adjunto. Si aparece marca de acreditación, los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, PERU

T: (511) 710 77 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.pe

2/4



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE-072

Estudio	MIT-17/00069	Tipo Muestra:	Agua Residual Doméstica
---------	--------------	---------------	-------------------------

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Formas Nitrogenadas/Fosforadas				
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500-NH3 D Ed. 22	Electrometría		0,020 - 1 000 mg/L

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres están recogidas en el anexo técnico adjunto. Si aparece marca de acreditación, los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado

(1) El rango mínimo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Calleo Uma Uma PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.pe

3/4



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

Estudio	MIT-17/00069	Tipo Muestra:	Agua Residual Doméstica
---------	--------------	---------------	-------------------------

MUESTRAS

	Punto de Muestra	Fecha/Hora Muestra	Lugar de Muestra	Coordenadas UTM	Fecha Inicio	Fecha Recepción	Análisis	Muestreado por
A-17/010401	AR-S-01	22/02/2017 10:50	CALLE AMADOR MERINO REYNA 285-SAN ISIDRO-LIMA	279201 8662371	22/02/2017	22/02/2017	A-0735-PE	Personal AGQ
A-17/010836	AR-S-01	23/02/2017 10:10	CALLE AMADOR MERINO REYNA 285 - SAN ISIDRO - LIMA	279201 8662371	26/02/2017	23/02/2017	A-0735-PE	Personal AGQ
A-17/011185	AR-S-01	24/02/2017 10:10	CALLE AMADOR MERINO REYNA 285-SAN ISIDRO-LIMA	279201 8662371	26/02/2017	24/02/2017	A-0735-PE	Personal AGQ
A-17/011488	AR-S-01	27/02/2017 10:10	CALLE AMADOR MERINO REYNA 285-SAN ISIDRO-LIMA	279201 8662371	26/02/2017	27/02/2017	A-0735-PE	Personal AGQ
A-17/011576	AR-S-01	28/02/2017 10:10	CALLE AMADOR MERINO REYNA 285-SAN ISIDRO-LIMA	279201 8662371	06/03/2017	28/02/2017	A-0735-PE	Personal AGQ

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 311 La Perla - Callao - Lima - PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agq.com.pe

4/4

- MONITOREO N° 1: Informe ensayo – DBO5, DQO, AyG, SST agua tratada

	INFORME DE ENSAYO		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072	
	<small>Registro N° LE - 072</small>			
Nº de Referencia: A-16/16832 Análisis: A-0095-PE	Registrada en: AGQ Perú Centro Análisis: AGQ Perú	Cliente: DASAMI PERU S.A.C. Domicilio: AV. GRAL. EUGENIO GARZON NRO. 1960 URB. FUNDO OYAGUE JESUS MARIA	Contrato: PE16-0928-AMB Cliente 3º: ---	
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica Fecha Inicio: 13/04/2016 Descripción: AR-01	Fecha Recepción: 13/04/2016 Fecha Fin: 20/04/2016			
Fecha/Hora Muestreo: 13/04/2016 16:50 Lugar de Muestreo: CALLE AMADOR MERINO REYNA 285 SAN ISIDRO-LIMA Punto de Muestreo: AR-01	Muestreado por: Cliente			
A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.				
Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.				
				
Yoel Ifigo CQP 826 Resp. Lab. Inorgánico				
FECHA EMISIÓN: 20/04/2016				
OBSERVACIONES:				
AGQ PERU, S.A.C. Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU T: (511) 710 27 00 F: (511) 718 30 94 operacionesperu@agq.com.pe www.agqlabs.com				



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE-072

N° de Referencia: A-16/16832
Descripción: AR-01

Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica
Fecha Fin: 20/04/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Otros Parámetros Físico-Químicos				
Aceltes y Grasas	14,0	± 12 %	mg/L	
DBO5	162	± 12 %	mg/L	
DQO	367	± 4 %	mg/L	
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	77,0	± 13 %	mg/L	

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres están recogidas en el anexo técnico adjunto. Si aparece marca de acreditación, los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él. N/L: No Legislado.

N° de Referencia: A-16/16832
Descripción: AR-01

Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica
Fecha Fin: 20/04/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Otros Parámetros Físico-Químicos				
Aceites y Grasas	SM 5520 B.	Gravimetría		2,2 - 1 000 mg/L
DBOS	SM 5210B Ed 22	Electrometría		1,07 - 10 000 mg/L
DQO	SM 5220D Ed 22	Espect UV-VIS		8,00 - 5 000 mg/L
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SM 2540 D	Gravimetría		2,00 - 80 000 mg/L

(1) El rango mínimo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos.

- MONITOREO N° 2: Informe ensayo – DBO5, DQO, AyG, SST agua tratada.
- MONITOREO N° 1: Informe de ensayo – pH y Temperatura

		INFORME DE ENSAYO		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-072			
Nº de Referencia: A-16/16832 Análisis: A-0095-PE		Registrada en: AGQ Perú Centro Análisis: AGQ Perú		Cliente: DASAMI PERU S.A.C. Domicilio: AV.GRAL.EUGENIO GARZON NRO.196DURB. FUNDO OYAGUE JESUS MARIA Contrato: PE16-0928-AMB Cliente 3º: ---			
Tipo Muestra: Agua Residual Doméstica Fecha Inicio: 13/04/2016 Descripción: AR-01		Fecha Recepción: 13/04/2016 Fecha Fin: 20/04/2016		Registro N° LE - 072			
Fecha/hora Muestreo: 13/04/2016 16:50 Lugar de Muestreo: CALLE AMADOR MERINO REYNA 285 SAN ISIDRO-LIMA Punto de Muestreo: AR-01		Muestreado por: Cliente					

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.



Yoel Iñigo CQP 826
 Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 20/04/2016

OBSERVACIONES:

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.com

1/3



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE-072

INFORME DE ENSAYO

N° de Referencia: A-16/63029
Descripción:

Tipo Muestra: Agua Residual Industrial
Fecha Fin: 16/12/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Mediciones In Situ				
2 pH In Situ Medido MA	8,09	± 1 %		
2 Temperatura In Situ Medido MA	23,9	± 4 %	°C	
Parámetros Físico-Químicos				
3 Aceites y Grasas	15,4	± 13 %	mg/L	
3 DBOS	5,80	± 12 %	mg/L	
3 DQO	26,1	± 11 %	mg/L	
3 Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	56,5	± 11 %	mg/L	

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres están recogidas en el anexo técnico adjunto. Si aparece marca de acreditación, los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado.

[2] Parámetro Acreditado por IAS

[3] Parámetro Acreditado por INACAL

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.com

2/3



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

INFORME DE ENSAYO

N° de Referencia: A-16/63029
Descripción:

Tipo Muestra: Agua Residual Industrial
Fecha Fin: 16/12/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Mediciones In Situ				
2 pH In Situ Medido MA	SM 4500-H+ B Ed 22	Electrometría		2,01 - 12,0
2 Temperatura In Situ Medido MA	SM 2550 B Ed 22	Electrometría		4,0 - 50,0 °C
Parámetros Físico-Químicos				
3 Aceites y Grasas	SM 5520 B	Gravimetría		2,2 - 1 000 mg/L
3 DBO5	SM 5210B Ed 22	Electrometría		1,07 - 10 000 mg/L
3 DQO	SM 5220D Ed 22	Espect UV-VIS		8,00 - 5 000 mg/L
3 Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SM 2540 D	Gravimetría		2,00 - 80 000 mg/L

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacioneperu@agq.com.pe

www.agqlabs.com

3/3

(1) El rango mínimo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos.