



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN  
AGUA ALMACENADA EN TANQUES ELEVADOS  
DOMÉSTICOS MEDIANTE NANOBURBUJAS DE  
AIRE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Alexandra Cueva Díaz

Asesor:

Mg. Blga. Daniela Milagros Landa Acuña

Lima - Perú

2021

## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Daniela Milagros Landa Acuña, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA AMBIENTAL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de la estudiante:

- Cueva Díaz, Alexandra

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN AGUA ALMACENADA EN TANQUES ELEVADOS DOMÉSTICOS MEDIANTE NANOBURBUJAS DE AIRE” para aspirar al título profesional de: *Ingeniera Ambiental* por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

---

Mg. Blga. Daniela Milagros Landa Acuña  
Asesor

## ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de la estudiante: Alexandra Cueva Díaz para aspirar al título profesional de Ingeniera Ambiental con la tesis denominada: Remoción de Coliformes Totales en Agua Almacenada en Tanques Elevados Domésticos mediante Nanoburbujas de Aire.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado  
Presidente

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado

## DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, inteligencia y fuerza de voluntad.

A María Elena Díaz Benites, mi madre, pues ella fue el principal apoyo en los momentos más difíciles para el desarrollo de mi tesis, siendo mi mayor motivo para sobresalir y ser perseverante en la vida.

A Héctor Alfredo Cueva Aponte, mi padre biológico, por iluminarme y protegerme desde el cielo, guiando mi camino.

A Raúl Moisés Vasquez Luis, mi padre, por brindarme un hogar feliz y tranquilo, siendo la cabeza de hogar y hacer que nunca nos falte nada a mi madre y a mí.

A María Marleni Benites Mendoza, mi abuela, por bendecirme y cuidarme desde el cielo, guiando cada paso que doy.

A mi familia, por apoyarme de todas las formas posibles para la realización de mi tesis y a mi Canela Fina, que en vida me brindó su amor, su buena vibra y me acompañó en cada amanecida, y ahora en el cielo me bendice en cada aspecto de mi vida.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, por aceptarme ser parte de su casa de estudio y permitirme ser una gran profesional en lo que me apasiona.

A mis profesores, en especial al Ing. Denis Gabriel Hurtado, por brindarme sus conocimientos y experiencia para mi éxito profesional.

A mis asesores, Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores, Mg. Blga. Daniela Landa y Mg. Carlos Augusto Luy Montejo, por asesorarme en todo momento y corregirme con amor hasta el más mínimo detalle para la excelencia de mi tesis.

A mis amistades, en especial a César Manrique, Igor Sánchez y Kevin Torres, por su apoyo constante y motivación para seguir adelante con esta investigación.

A mis mejores amigas: Lorena Quispe, Raquel Lizama, Fiorella Ramírez y Silvana Gonzales, por su amistad valiosa e incondicional, apoyo emocional y su gran amor en todo el proceso de mi tesis.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....</b>	<b>2</b>
<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. Realidad Problemática .....	13
1.2. Bases Teóricas.....	21
1.3. Formulación del problema .....	24
1.4. Justificación .....	24
1.5. Objetivos .....	25
1.6. Hipótesis.....	25
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
2.1. Tipo de investigación .....	27
2.2. Población y muestra.....	30
2.3. Materiales, instrumentos y métodos.....	30
2.4. Procedimientos.....	32
2.5. Aspectos éticos.....	43
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
3.1. Determinación de coliformes totales del agua pre y post tratamiento con nanoburbujas.....	44
3.2. Determinación del caudal del equipo generador de nanoburbujas .....	47
3.3. Cálculo de la presión interna de las nanoburbujas .....	47
3.4. Cálculo del porcentaje de remoción de coliformes totales.....	48
3.5. Comparación de los resultados post-tratamiento con el LMP del parámetro coliformes totales para agua de consumo humano.....	49
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
4.1. Discusión .....	52
4.2. Conclusiones .....	55
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>
ANEXO N°1. Cronograma de actividades.....	59
ANEXO N°2. Ficha de observación.....	60

ANEXO N°3. Cadena de custodia .....	60
ANEXO N°4. Resultados de los análisis de coliformes totales en el agua inicial y post-tratamiento .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Consistencia .....	28
Tabla 2 Matriz de operacionalización de variables .....	29
Tabla 3 Coordenadas de la urbanización El Rosal de San Diego .....	32
Tabla 4 Coordenadas de puntos de muestreo.....	34
Tabla 5 Índice NMP/100 mL y límites de confianza del 95% para todas las combinaciones de resultado positivo y negativo cuando se utilizan diez porciones de 10 mL.....	40
Tabla 6 Concentración inicial de coliformes totales en el agua pre-tratamiento comparado con el LMP.....	44
Tabla 7 Concentraciones de coliformes totales en el agua post-tratamiento .....	46
Tabla 8 Caudal promedio del agua con nanoburbujas .....	47
Tabla 9 Porcentaje de remoción de coliformes totales en base al N.º de tubos que resultaron positivos .....	48
Tabla 10 Comparación de los resultados post-tratamiento con el LMP .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación del área de la urbanización El Rosal de San Diego .....	33
Figura 2. Puntos de muestreo. ....	35
Figura 3. Camión cisterna abasteciendo de agua al tanque elevado .....	36
Figura 4. Toma de muestra en la zona de estudio .....	37
Figura 5. Diagrama de flujo de la técnica estándar de fermentación de coliformes totales .....	39
Figura 6. Equipo de nanoburbujas de aire .....	41
Figura 7. Toma de muestra de agua post-tratamiento a los 5 minutos .....	41
Figura 8. Diagrama del proceso de tratamiento del agua con nanoburbujas .....	42
Figura 9. Concentración inicial de coliformes totales en el agua pre-tratamiento comparado con el LMP....	45
Figura 10. Concentraciones de coliformes totales en el agua post-tratamiento .....	46
Figura 11. Porcentaje de remoción de coliformes totales en base al N° de tubos que resultaron positivos ....	49
Figura 12. Comparación de los resultados post-tratamiento con el LMP.....	51

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Porcentaje de remoción .....	43
Ecuación 2 Presión interna de las nanoburbujas .....	47

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo remover los coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados domésticos mediante nanoburbujas de aire de la Urb. El Rosal de San Diego, S.M.P., con la finalidad de que las personas que aún en la actualidad consumen aguas provenientes de camiones cisterna podrían optar por esta alternativa que les garantice agua segura y a bajo costo. El tipo de investigación fue cuantitativa y de alcance explicativo, donde se empleó un diseño preexperimental, en el que hubo una preprueba (cálculo de la concentración inicial de coliformes totales en agua) y posprueba (cálculo de la concentración final de coliformes totales luego del tratamiento al agua). Como muestra se extrajo 60 L de agua almacenada en tanques elevados domésticos de 5 viviendas ubicadas en 5 manzanas diferentes (A, B, C, D y E) de la Urb. El Rosal de San Diego. El tratamiento del agua se realizó en 3 tiempos distintos (5, 10 y 15 minutos) y 3 repeticiones, obteniendo la eficiencia promedio del 66,67 % a los 5 minutos, 73,33% a los 10 minutos y 93,33% a los 15 minutos. Al comparar el agua tratada con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano; se obtuvo que a los 15 minutos de la segunda repetición y en los 3 tiempos de la tercera repetición del tratamiento, la concentración de coliformes totales fue  $<1,1$  NMP/100 mL, por lo que cumple con el Límite Máximo Permisible del parámetro Bacterias Coliformes Totales que es  $=<1,8$  NMP/100 mL. Los datos del tratamiento mediante la inyección de nanoburbujas comprueban la efectividad de este método en la depuración de coliformes totales en el agua.

**Palabras clave:** *coliformes totales, nanoburbujas, agua almacenada, tanques elevados.*

## SUMMARY

The objective of this research work was to remove total coliforms in water stored in domestic elevated tanks by means of air nanobubbles from Urb. El Rosal de San Diego, SMP, in order that people who still consume water from tanker trucks could opt for this alternative that guarantees safe and low-cost water. The type of research was quantitative and explanatory in scope, where a pre-experimental design was used, in which there was a pre-test (calculation of the initial concentration of total coliforms in water) and post-test (calculation of the final concentration of total coliforms after treatment the water). As a sample, 60 L of water stored in elevated domestic tanks was extracted from 5 homes located in 5 different blocks (A, B, C, D and E) of the Urb. El Rosal de San Diego. The water treatment was carried out in 3 different times (5, 10 and 15 minutes) and 3 repetitions, obtaining the average efficiency of 66,67% at 5 minutes, 73,33% at 10 minutes and 93,33% at 15 minutes. When comparing the treated water with the “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”; It was obtained that 15 minutes after the second repetition and in the 3 times of the third repetition of the treatment, the concentration of total coliforms was  $<1,1$  MPN/ 100 mL, therefore it complies with the Maximum Permissible Limit of the Bacteria parameter Total Coliforms which is =  $<1,8$  MPN/100 mL. The data of the treatment by the injection of nanobubbles verify the effectiveness of this method in the purification of total coliforms in the water.

**Keywords:** *total coliforms, nanobubbles, stored water, elevated tanks.*

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

A pesar de que en el 2010 se reconoció como derecho humano el acceso al agua potable y el saneamiento (ONU, 2010); a nivel mundial, 3 de cada 10 personas, o 2100 millones de personas, no disponen de agua potable en sus hogares, y 6 de cada 10 personas, o 4500 millones de personas, están desprovistas de un saneamiento seguro (OMS y UNICEF, 2017). Estas cifras nos indican que aún hay un gran número de personas que no tienen acceso a un recurso tan imprescindible para la vida, el agua.

En nuestro país se estimó en el primer semestre del 2016 que el 13,9 % de personas aún consumen agua no potable (INEI, 2016) y San Marín de Porres (S.M.P.) es uno de los distritos que sufre esta problemática. A partir del reportaje del diario Ojo que alertó sobre la contaminación por coliformes fecales y organismos vivos en muestras de agua provenientes de camiones cisterna, el ministro Rodolfo Yáñez Wendorff y la empresa de agua en Lima evitaron hablar sobre la falta de fiscalización a la calidad del agua que estas unidades venden en las zonas más pobres de Lima (Ziegler y Morales, 2020). A esto se añade el problema de las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) en la población por falta de acceso a un agua segura para el consumo humano. Según el MINSA (2021), el año pasado se han reportado 47895 casos de EDAs y 1 defunción a causa de ello.

Según INEI (2013), la urbanización El Rosal de San Diego, distrito de S.M.P., se ubica en el rango crítico de viviendas con abastecimiento de agua por red pública de 0-19%. Esto significa, que muchos de los vecinos que no cuentan con esta red pública tienen que recurrir a otras fuentes de abastecimiento de agua como los camiones cisterna, hirviendo el agua para asegurar su desinfección.

De acuerdo con la problemática presentada se considera necesario actuar de forma inmediata para disminuir los casos de EDAs, a través de investigaciones innovadoras para la depuración del agua de consumo humano, ya que el cloro residual forma sustancias tóxicas. Es allí donde nace la nanotecnología como una alternativa ecológica para remover coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados.

*La presente investigación, se basa en diversas investigaciones donde se plantea la aplicación de las nanoburbujas en el tratamiento de aguas:*

Abdella et al. (2018) estudió las “*Propiedades coloidales de las nanoburbujas de aire, oxígeno y nitrógeno en el agua: efectos de la fuerza iónica, materias orgánicas naturales y tensioactivos*”, donde se realizó investigaciones holísticas de las propiedades coloidales de tres tipos de nanoburbujas (NB) (aire puro, oxígeno y nitrógeno) en presencia de electrolitos, materias orgánicas naturales (MON) y tensioactivos, que no se dan a conocer en ninguna otra parte. Tres tipos diferentes de NB mostraron una distribución de tamaño de burbuja distinta (160–340 nm en agua) y potenciales zeta (aproximadamente  $-27$  a  $-45$  mV a pH neutro) probablemente debido a disimilitudes en su tensión superficial o cargas. Todas las NB probadas presentaron una alta estabilidad contra la coalescencia incluso bajo concentraciones iónicas y tensioactivas altas. El análisis de la teoría extendida de partículas blandas de Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek indicó que las barreras de energía entre dos NB interactuantes eran extraordinariamente altas ( $>5,000$  kB T) en agua pura, lo que puede explicar la alta estabilidad coloidal y la resistencia a la coalescencia.

Benazir (2016) en su investigación “*Reducción de coliformes fecales del agua de mar mediante micronanoburbujas de ozono y aire de la playa Los Pavos, Barranco*”, cuya finalidad fue reducir la concentración más apropiada de coliformes fecales presentes en el agua de mar mediante una tecnología que consistió en realizar una toma de muestra, donde se obtuvo un resultado inicial de 1400 NMP/100 mL. Asimismo, se tomó una muestra de 10 L para analizar los parámetros de campo y las concentraciones de la variable dependiente. Luego de ello se aplicó el tratamiento con una presión de aire de 90 PSI y flujo de agua de 4.67 L/min. Se realizaron tres pruebas en la siguiente proporción: 3 Agua de mar/ 1 agua con MNBs, 1 Agua de mar/ 1 agua con MNBs y por último 1 Agua de mar /3 agua con MNBs, obteniendo las eficiencias de reducción del 96%, 94,36 % y 90,71%, en la prueba 1, 2 y 3 respectivamente, cumpliendo con el ECA (1000 NMP/100 mL).

Bendezu (2017), investigó la “*Reducción de la dureza de aguas subterráneas mediante micro-nano burbujas de aire-ozono en la Urbanización Villa El Pinar – Comas*”, cuyo fin fue reducir la concentración de dureza del agua del subsuelo mediante el tratamiento por micro/nano burbujas de aire-ozono; para ello se tomaron 3 muestras de agua subterránea: M-01 con dureza de 610 ppm, con cloruros de 161 mg/L y con sulfatos de 335 mg/L; M-02

con dureza de 600 ppm, con cloruros de 158 mg/L y con sulfatos de 340 mg/L; y M-03 con dureza 602 ppm, con cloruros de 162 mg/L y con sulfatos de 338 mg/L. El diseño consistió en establecer 3 tratamientos con variación de tiempo de 10, 15 y 20 min. Las micro/nano burbujas lograron remover para M-01 en un 17% la dureza, reducir a 79,6 mg/L los cloruros y reducir a 282 mg/L los sulfatos; para M-02 en un 17% la dureza, reducir a 79 mg/L los cloruros y reducir a 300 mg/L los sulfatos; y para M-03 en un 16% la dureza, reducir a 77,66 mg/L los cloruros y reducir a 317 mg/L los sulfatos. Por lo tanto, las micro/nano burbujas de aire-ozono lograron reducir la concentración de dureza de agua, manteniéndose cerca al límite máximo permisible de 500 ppm.

Hernández (2018) planteó los “*Efectos de micro y nano burbujas en tratamientos de aguas residuales domésticas: El caso de Pasca, Cundinamarca*”, tuvo como objetivo identificar los impactos favorables o desfavorables que tiene la inyección de micro y nano burbujas en la laguna de oxidación de Pasca, sobre la remoción de carga orgánica en sus aguas residuales domiciliarias; el método consistió en aplicar micro y nano burbujas de aire en tres muestras de agua de 25 litros cada una, por dos minutos, (procedimiento con repeticiones cada 4 horas durante 10 días), se obtuvo lo siguiente: DQO de 2074 mg/L O<sub>2</sub> a 440 mg/L O<sub>2</sub>, aunque no cumple con el valor exigido por la Resolución 0631 de 2015 (180 mg/L O<sub>2</sub>); sólidos sedimentables de 51 mL/L a 2.57 mL/L, cumpliendo con la norma que es hasta 5mL/L; sólidos suspendidos de 456 mg/L a 173 mg/L, aunque no cumple con el valor exigido por la norma (90 mg/L); nitratos de 0.48 ppm a 0.13 ppm, lo cual es óptimo porque no sobrepasa el valor de 0.80 ppm; y nitritos de 0.315 ppm a 0.27 ppm, lo que también es lo adecuado porque no sobrepasa el valor de 0.75 ppm. La inyección de micro y nanoburbujas es una opción viable y segura para la mejora en el desempeño de sistemas de tratamiento de aguas residuales siempre y cuando se complementa con otros procesos para lograr resultados más óptimos y que cumplan con la normativa vigente.

Hung (2016), propuso la “*Ozonización mejorada con burbujas ultrafinas para el tratamiento del agua*” con la finalidad de validar el uso de nanoburbujas de ozono para el tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de productos frescos. Se eligió 2 generadores de burbujas finas y ultrafinas: generador de microburbujas ASUPU ASK3M y generador de burbujas ultrafinas Gaia; 3 tipos de gases: ozono, nitrógeno y oxígeno y la cepa K-12 de *E. coli* (organismo indicador para pruebas de tratamiento de agua). Los experimentos siguieron un diseño bifactorial para comparar el grado de desinfección de

ambos equipos de inyección (factor 1) utilizando distintos gases (factor 2), cada tratamiento duró 60 minutos. Se encontró que las burbujas ultrafinas no tenían ningún efecto significativo sobre la concentración de *E. coli* en el agua: -0.08 (generador Gaia) y 0.12 (en el agua de grifo), en el caso del nitrógeno hubo un ligero aumento de remoción de *E. coli*: 0.325 (generador Gaia) y 0.18 (generador ASUPU); sin embargo, las burbujas ultrafinas de ozono tuvieron mejor grado de remoción: 2.93 (generador Gaia) y 1.85 (generador ASUPU). Si bien en este conjunto particular de experimentos la concentración de ozono disuelto en el agua no superó los 2 mg/L, lo que no permitió una rápida desinfección y tratamiento del agua, se presume que con un generador de ozono con mayor potencia se pueden obtener mejores resultados.

Jung, Lee, Jang, Cho, y Sung (2011), estudiaron la “*Recuperación de efluentes de aguas residuales textiles mediante un proceso de flotación de ozono disuelto en micro/nano burbujas*” donde los principales propósitos fueron investigar las características de la solubilidad del ozono debido a la baja solubilidad de los generadores de burbujas-ozono convencionales y evaluar las características del tratamiento de aguas residuales textiles para aguas industriales mediante el proceso de flotación de ozono disuelto en micro/nano burbujas (MNB-DOF). Las muestras provinieron del efluente final de las aguas residuales textiles en una ciudad B, hubo un reactor de 400L que constaba de un sistema de micro/nano burbujas (MNB) y un generador de ozono. Este proceso mejoró la solubilidad del ozono debido a mayores tasas de transferencia de ozono. En consecuencia, el tiempo de ozonización más corto indicó claramente los costos de energía más bajos, lo que comprueba que el proceso MNB-DOF puede ser eficaz y económico. Además, se obtuvo pH 6.5 ~ 8.5, sólidos suspendidos 2.5 mg/L, DBO<sub>5</sub> 2.7 mg/L, turbidez de 9.3 NTU, Coliformes no detectados; lo que cumplió todos los estándares de recuperación como agua industrial: pH 6.5 ~ 8.5, sólidos suspendidos 10 mg/L o menos, DBO<sub>5</sub> 6 mg/L o menos, turbidez de 10 NTU o menos, Coliformes 1000/100 mL o menos. Por tanto, existe la posibilidad de recuperar las aguas residuales textiles como agua industrial.

Kobayashi, Ikeura, Tamaki y Hayata (2010), propusieron la “*Aplicación de micro y nanoburbujas de CO<sub>2</sub> a menor presión y temperatura ambiente para inactivar los microorganismos en Cut Wakegi (Allium Wakegi Araki)*”, con el fin de investigar el efecto de las micro y nanoburbujas de CO<sub>2</sub> sobre la inactivación de microorganismos en cortes wakegi, que son difíciles de inactivar con NaOCl. Previamente se ideó un instrumento con

CO<sub>2</sub> y micro y nano-burbujas bajo presión menos de 2,0 MPa (MNB-CO<sub>2</sub>). El tratamiento con MNB-CO<sub>2</sub> se realizó en cada condición de presión (0,1 ~ 2,0 MPa), temperatura (20 ~ 30 ° C) y pH de la solución (3,0 ~ 6,5) durante 10 ~ 30 min. La cantidad inicial de bacterias totales y coliformes en Wakegi cortadas fueron aproximadamente 10<sup>4</sup> y 10<sup>3</sup> UFC/g, respectivamente. Luego del tratamiento con MNB-CO<sub>2</sub> y NaOCl (para comparación) las bacterias disminuyeron aproximadamente 2.0 y 1.5 logaritmos, respectivamente. El efecto de inactivación del tratamiento con MNB-CO<sub>2</sub> fue cercano que el del NaOCl. Todo ello sugirió que el MNB-CO<sub>2</sub> a una presión inferior a 2,0 MPa y a temperatura ambiente fue muy eficaz para inactivar microorganismos en el corte de Wakegi como alternativa al tratamiento con NaOCl.

Leyva (2017), estudió la *“Reducción del DQO y SST de los efluentes residuales de una industria azucarera en Paramonga, mediante el uso de micro -nanoburbujas de aire”*, cuyo objetivo fue aplicar el tratamiento con micro -nanoburbujas de aire para mejorar los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en aguas residuales.; la técnica consistió en muestrear 60L de agua del efluente industrial azucarera cuya concentración inicial de la DQO fue de 412.15 mg O<sub>2</sub>/L y SST de 620 mg/L. Luego se estableció 3 tratamientos con variación de tiempo de 30, 60 y 120 min, con 3 repeticiones de cada tiempo; donde se obtuvo la reducción de DQO a 66.13 mgO<sub>2</sub>/L y los SST a 131 mg SST/ L, mejorando estas características fisicoquímicas significativamente para una buena calidad del agua con el fin que sea reutilizada para otros fines.

Liu, Kawagoe, Makino y Oshita (2013) investigaron los *“Efectos de las nanoburbujas en las propiedades fisicoquímicas del agua: la base de las propiedades peculiares del agua que contiene nanoburbujas”*, con el fin de dar a conocer cómo influye la inyección de nanoburbujas en las características del agua. El diseño consistió en medir las tasas de germinación de las semillas de cebada sumergidas en agua que contiene NB (burbujas formadas a partir de mezclas gaseosas de nitrógeno y aire puro) que fueron 15–25 puntos porcentuales mayores que las semillas sumergidas en agua destilada con la misma concentración de oxígeno disuelto (OD). Además, se midió el tiempo de relajación de resonancia magnética nuclear (RMN) de protón, T<sub>2</sub>. Los valores de T<sub>2</sub> para el agua que contiene NB fueron estadísticamente más largos que los del agua de control. Después de la desgasificación, los valores de T<sub>2</sub> del agua con NB disminuyeron, lo que indicó que la disminución en la densidad del número de NB acortó T<sub>2</sub>. Entonces, el aumento de T<sub>2</sub> con la

generación de NBs comprobó que la movilidad de las moléculas de agua aumentó; por tanto, se requirió un tiempo más largo para alcanzar el estado de equilibrio. Esto indicó que los NB en el agua podrían influir en las propiedades físicas del agua y que también podría usarse para verificar su estabilidad en el agua.

Pardo (2017), en su tesis *“Nanotecnología con ozono para la reducción de cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima 2017”*, tuvo la finalidad de recuperar el humedal mediante la aplicación de la nanotecnología con ozono para reducir la cantidad de cianobacterias que contamina sus aguas; el procedimiento consistió en recolectar 150 L de muestra de agua de la laguna La Pampa, sin embargo, para el tratamiento fue suficiente 40 L. La muestra pasó por 3 tratamientos con variación de tiempo de 5, 10 y 15 min., con 3 repeticiones. Se obtuvo que la concentración de cianobacterias en el primer tratamiento se redujo de 16000 Org/L a 3167 Org/L, en el segundo tratamiento se redujo de 14500 Org/L a 3317 Org/L, y en el tercer tratamiento se redujo de 17000 Org/L a 3483 Org/L. Además, se mejoró el oxígeno disuelto (OD) de  $\leq 1.50$  ppm a alrededor de 5 ppm, y el DQO de alrededor de 100 ppm a alrededor de 4 ppm, valores que cumplen los estándares de calidad ambiental que indica  $>5$  (valor mínimo) en OD y 5ppm en DQO establecidos por el Ministerio del Ambiente para lagunas y lagos de cuerpos lénticos. Por tanto, la nanotecnología con ozono es una alternativa eficiente para la remoción aproximada del 80% de bacterias contaminantes del agua.

Méndez (2017), en su estudio *“Reducción de DQO y materia orgánica usando micro-nano burbujas de aire en agua contaminada con amoxicilina a nivel laboratorio”*, buscó proponer un método eficaz para el tratamiento de aguas contaminadas con productos farmacéuticos. El método consistió en elaborar 3 muestras con 3 diferentes concentraciones de amoxicilina por litro de agua desionizada: 0.5g/L, 1 g/L y 2.5 g/L; se realizaron 3 tratamientos en los periodos de 15 (T1), 30 (T2) y 45 (T3) minutos. Se obtuvieron reducciones en concentraciones de DQO de 508.6 mg/L a 117.5 mg/L (M1), de 711.8 mg/L a 311.1 mg/L (M2) y de 1582.6 mg/L a 496.9 mg/L (M3); y concentraciones de materia orgánica de 531.7 mg/L O<sub>2</sub> a 181.8 mg/L O<sub>2</sub> (M1), de 703.4 mg/L O<sub>2</sub> (M2) a 311.6 mg/L O<sub>2</sub> y de 752.6 mg/L O<sub>2</sub> a 444.8 mg/L O<sub>2</sub> (M3). La calidad del agua mejoró y cumplió con los Valores Máximos Admisibles (VMA) que para el DQO es 1000 mg/L. Por tanto, se demostró la eficacia de las micro-nano burbujas que lograron reducir la DQO y materia orgánica sin la necesidad de aditivos químicos.

Núñez (2017), investigó sobre el “*Tratamiento de aguas residuales de una embotelladora de bebidas carbonatadas aplicando nanoburbujas de aire*”, con la finalidad de disminuir los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO en un tiempo menor en comparación al tratamiento que aplica la empresa. Se aplicaron las nanoburbujas de aire en las 3 muestras de 20 litros del agua residual, de las cuales se extrajeron 2 tratamientos: una a los 45 y otra a los 90 minutos después de haber comenzado el tratamiento. Se redujo de manera significativa la conductividad en un 8.4% (de 2500 mS/cm a 2290 mS/cm), la turbidez en un 71,97% (de 152 NTU a 42.6 NTU), la DBO<sub>5</sub> en un 99.89% (de 1892.7 mg/L a 1.9 mg/L) y la concentración de DQO en un 99.13% (de 3681 mg/L a 32 mg/L). Añadido a ello, los valores post-tratamiento cumplieron con los VMA (500 mg/L DBO<sub>5</sub> y 1000 mg/L DQO), lo que permite reutilizar las aguas tratadas en sistemas de alcantarillado sanitario. De esta manera se comprobó la eficiencia en un tiempo de 90 minutos de las nanoburbujas de aire en el tratamiento de aguas residuales.

Ventura (2017), en su investigación “*Tratamiento de sanguaza de pescado del mercado de Ancón utilizando micro-nanoburbujas de aire a escala laboratorio*”, tuvo como propósito reducir las concentraciones de los parámetros físicos y químicos de las aguas de sanguaza, provenientes de los puestos de pescado que se encontraron en el mercado de Ancón; la muestra de 20 L fue tomada de 2 puestos del mercado; y los tratamientos se tomaron en tiempos de 30, 45 y 60 min, las micro-nanoburbujas trabajaron con una presión de 90 PSI y un caudal de 6.60 L/min. Se realizaron 5 repeticiones, con diferentes concentraciones de muestras, siendo la más resaltante la muestra inicial 1, donde la Turbidez disminuyó de 467.4 NTU a 78 NTU, la DBO<sub>5</sub> de 474 mg/L a 140 mg/L, la DQO de 503.44 mg/L a 158.66mg/L. También se obtuvo un potencial de Hidrógeno neutro (7); trabajando con una temperatura ambiente de 20.15 °C. Se comprueba, que las micro-nanoburbujas logran reducir de una manera eficaz las concentraciones de los parámetros de las aguas de sanguaza.

Valenzuela (2017) estudió la “*Reducción de plomo y silicio en aguas de lavado de gases de una empresa de servicios usando micronanoburbujas de aire-ozono, Lima 2017*”, tuvo como finalidad reducir los contaminantes metálicos del agua residual del lavador de gases aplicando las micronanoburbujas de aire-ozono. La muestra de 39 L fue tomada de una válvula de purga del lavador de gases, se trató 13 L con pH 6, 13 L con pH 8 y otros 13 L con pH 10; con variación de tiempo de 8, 16 y 24 min. Se obtuvo la mayor reducción de plomo a los 24 min., de 32.23 mg/L (pH 8) a 0.088 mg/L (pH 6) y para el silicio de 70.49

mg/L (pH 8) a 12.97 mg/L (pH 10). Entonces, se determinó que el tratamiento por micronanoburbujas de aire-ozono reduce de manera significativa los contaminantes metálicos del agua residual para evitar la corrosión de las tuberías de los alcantarillados.

Xia y Hu (2018), en su estudio sobre el “*Tratamiento de aguas residuales contaminadas con productos orgánicos mediante micro-nanoburbujas de ozono*”, tuvo como fin investigar los efectos del pH y la salinidad sobre la eficacia del tratamiento de los MNB de ozono, el tratamiento de aguas residuales industriales altamente salinas y de aguas subterráneas contaminadas por compuestos orgánicos persistentes. Para el caso del pH y la salinidad sobre la eficacia del tratamiento de las MNBs de ozono, la mayor eficiencia se observó en condiciones ácidas débiles y un aumento en la salinidad mejoró significativamente la eficiencia del tratamiento. Por otro lado, en el caso de aguas residuales industriales altamente salinas y de aguas subterráneas, el tratamiento tuvo un efecto considerable en las aguas residuales que, de otro modo, serían difíciles de tratar con otros métodos. Por lo tanto, las MNBs de ozono son una tecnología prometedora para el tratamiento de aguas residuales, ya que prolonga la reactividad del ozono en la fase acuosa, acelerando así el tratamiento del contaminante.

Yanmei, Shiwei y Junfeng (2018) en su indagación sobre la “*Evolución de la comunidad microbiana de ríos negros y apestosos durante la remediación in situ a través de la tecnología de micro-nano burbujas y lecho flotante de resina sumergida*”, tuvo como propósito mejorar las propiedades fisicoquímicas de los dos ríos urbanos negros y apestosos mediante las micro-nano burbujas y lecho flotante de resina sumergida. En este estudio, la tecnología compuesta de lecho flotante de resina sumergida y micro-nanoburbujas (MBSR) se utilizó por primera vez para restaurar dos ríos urbanos negros y apestosos. Después de la restauración, los índices de contaminación del agua fueron significativamente mejorados como el oxígeno disuelto (OD), que aumentó de 1.10 a 4.53 mg/L y de 1.5 a 5.47 mg/L para los ríos A y B, respectivamente; el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+ \text{N}^-$ ) y el fósforo total (PT) disminuyó de 7.68 a 4.51 mg/L y de 1.1 a 0.73 mg/L, respectivamente para el río A, la claridad del agua aumentó de 28.1 a 58.4 cm y de 18.1 a 34.1 cm para los ríos A y B, respectivamente; y el número de coliformes fecales disminuyó de 1621 a 810.5 OTU y de 1858 a 929 OTU para los ríos A y B, respectivamente. En resumen, el tratamiento MBSR mejoró las propiedades fisicoquímicas de los dos ríos urbanos negros y apestosos probablemente a través del enriquecimiento de oxígeno de MBSR y la adsorción de lecho

flotante de resina sumergida, lo que estimuló a los microbios funcionales a degradar los contaminantes.

## **1.2. Bases Teóricas**

### **1.2.1. Remoción o depuración**

Purificación de sustancias contaminantes de las aguas; es aplicable únicamente a procesos de tratamiento líquidos (NORMA OS.090, 2006).

### **1.2.2. Eficiencia**

Es la relación entre la concentración o masa eliminada y la concentración o masa inicial en una planta o proceso de tratamiento para un parámetro característico. Se expresa en porcentaje o decimales (NORMA OS.090, 2006).

### **1.2.3. Coliformes totales**

Son bacterias gram negativas, que no forman endosporas, tienen morfología bacilar, oxidasas negativas, aerobias o anaerobias facultativas, además producen ácido y gas en 24-48 horas a 36°C al fermentar la lactosa (García, et al., 2006).

La existencia de coliformes totales en instalaciones de agua es un indicador que podría haber otros patógenos, sin embargo, son menos constantes que protozoos y virus (García, et al., 2006).

### **1.2.4. Equipo de nanoburbujas**

Es un reactor en el cual se inyecta aire para la producción de micronanoburbujas de aire (Praveen, 2012).

### **1.2.5. Nanoburbujas (NBS)**

La existencia de las nanoburbujas ha sido ampliamente discutida por mucho tiempo, considerándose algunas definiciones termodinámicas para su conceptualización. Una de ellas es que son consideradas burbujas de tamaño pequeño con un diámetro aproximado de entre 10 a 50  $\mu\text{m}$ , y se han investigado y aplicado en diversas áreas (Ushida, Hasegawa, Narumi, y Nakajima, 2013).

### **1.2.6. Tipos de nanoburbujas**

Las nanoburbujas pueden ser de cualquier tipo de gas e inyectarse en cualquier líquido (MOLEAER, 2021).

### **1.2.7. Mecanismo de las nanoburbujas**

Estas burbujas en escala nanométrica, es decir, con diámetro menor a 50 micrómetros, ascienden lentamente hacia la superficie; conteniéndose por iones-negativos con la interfaz gas-líquido, lo que aumenta la concentración de estos iones. Llega a tal punto donde el incremento de temperatura y la presión interna es tan alta que conlleva a una protección por iones-negativos en cada una, lo que les permite perdurar mínimo 40 días con reacción de potencia hasta 4 meses conservando las propiedades de purificación. Todo ello crea un impacto positivo en la purificación, ya que permanece por mucho tiempo (HighPyS, 2017).

La inactivación de coliformes se debe principalmente a los radicales OH originados por el colapso de las nanoburbujas y el desarrollo de las ondas de expansión. Además, es muy eficaz la eliminación de *E. coli* (Sumikura, Hidaka, Murakami, Nobutomo, y Murakami, 2007).

### **1.2.8. Caudal**

Carga superficial o masa de un parámetro por unidad de área que es aplicado para dimensionar un proceso del tratamiento (NORMA OS.090, 2006)

### **1.2.9. Método volumétrico**

Consiste en contar el tiempo que tarda en llenarse un depósito de volumen conocido, que se obtiene dividiendo volumen ( $m^3$ ) entre tiempo (s). Este método es utilizado en trabajos experimentales, pequeños caudales o para conocer el caudal de un riachuelo en específico (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017).

### **1.2.10. Enfermedad Diarreica Aguda**

Es la deposición de heces líquidas o sueltas de tres o más veces por día. Puede ser causada por distintos organismos bacterianos, víricos o parásitos y puede ser una señal de infección del tracto digestivo (ESSALUD, 2012).

### **1.2.11. Límite Máximo Permisible**

Determina el grado de concentración de elementos o sustancias, que caracterizan a una emisión o efluente, que al ser superada puede causar o causa daños a la salud y el ambiente (MINAM, 2019).

### **1.2.12. Estándar de Calidad Ambiental**

Determina el grado de concentración de elementos o sustancias en el ambiente que no represente daños a la salud y ambiente. Es un Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) determinado para establecer la calidad del ambiente (MINAM, 2019).

### **1.2.13. Caldo Lauril Sulfato (Caldo Lauril Triptosa – LTB)**

Es un medio para ensayos de confirmación de coliformes en alimentos producto de la fermentación de la lactosa con producción de gas, así como es un medio selectivo sugerido para el conteo de coliformes en productos lácteos y agua (Condalab, 2019).

APHA sugiere este medio para ensayos presuntivos del número más probable de coliformes presentes en aguas. Asimismo, está avalado por la ISO 7251 e ISO 4831 para el conteo y detección de *E.coli* y coliformes totales, respectivamente por la técnica del número más probable (Condalab, 2019).

### **1.2.14. Caldo Bilis Verde Brillante 2% ISO**

APHA avala este medio selectivo para el cultivo de coliformes en aguas residuales, agua potable, alimentos, productos lácteos y otros de interés sanitario. Es utilizado para ensayos confirmatorios, donde las pruebas de presunción de coliformes resultan positivas. Asimismo, este medio es sugerido por la ISO 4832 Y la ISO 4831 para la detección de coliformes (Condalab, 2019).

### **1.2.15. Campana de Durham**

Es un tubo de ensayo que se coloca de manera invertida dentro de otros tubos de ensayo o probetas más grandes para la observación del gas en bacteriología. Es muy utilizado en microbiología para los ensayos de reacción de fermentación (LAB comercial, 2020).

### **1.2.16. Cadena de Custodia**

Es un documento que contiene el procedimiento de la toma, transporte, conservación y entrega de muestras al laboratorio para los distintos análisis que se requieran, realizado por un personal responsable (MINAM, 2016).

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Las nanoburbujas de aire permitirán remover los coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados domésticos?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuánto será el caudal del equipo de nanoburbujas de aire aplicando el método volumétrico?
- ¿Cuál será el porcentaje de remoción de coliformes totales después de la depuración mediante nanoburbujas de aire?
- ¿Cumplirá el agua depurada mediante nanoburbujas de aire con el Límite Máximo Permisible (LMP) del parámetro coliformes totales establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA)?

## **1.4. Justificación**

El parámetro de bacterias coliformes totales en las diversas normas sobre la materia agua (LMP y ECA) es un requisito obligatorio de suma importancia para la evaluación de la calidad del agua, ya que su presencia es un indicador de contaminación que tiene significativas implicancias a nivel ecológico, socioeconómico y de salubridad.

La cloración del agua es el proceso de desinfección más utilizado en el tratamiento del agua; sin embargo, provoca daños ambientales, especialmente a los seres vivos que habitan en el aire y el suelo. Estudios confirman que la exposición repetida al cloro puede afectar el sistema cardiovascular, respiratorio e inmunitario en los animales y personas. Asimismo, provoca daños a la salubridad, específicamente los subproductos que tienen propiedades cancerígenas y mutágenos.

Es por ello, que este estudio propone una tecnología sostenible para la desinfección del agua: las nanoburbujas; porque remueven de manera eficiente muchos contaminantes del agua entre ellos: los coliformes totales, sin dejar subproductos que dañan el ambiente y la salud pública, además que es de bajo costo, en especial para las personas que compran agua de dudosa calidad y pagan 10 veces más por  $m^3$  a diferencia de las personas con acceso a la red de SEDAPAL.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Remover los coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados domésticos mediante nanoburbujas de aire.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Medir el caudal del equipo de nanoburbujas de aire aplicando el método volumétrico.
- Determinar el porcentaje de remoción de coliformes totales después de la depuración mediante nanoburbujas de aire.
- Evaluar si el agua tras la depuración mediante nanoburbujas de aire cumple con el LMP del parámetro coliformes totales establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA).

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis general**

La aplicación de nanoburbujas de aire remueve los coliformes totales presentes en el agua almacenada en tanques elevados domésticos.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

- El caudal del equipo de nanoburbujas de aire, aplicando el método volumétrico, es de  $7 \times 10^{-6} m^3/s$ .
- Se logra remover más del 50% la cantidad de coliformes totales después de la depuración mediante nanoburbujas de aire.
- La aplicación de nanoburbujas de aire permite que la concentración de coliformes totales presente en el agua almacenada en tanques elevados domésticos cumpla con



el LMP del parámetro coliformes totales establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA).

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) la presente investigación es cuantitativa, ya que es secuencial y probatorio, y de alcance explicativo, ya que pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. Finalmente, según Carrasco (2006); el diseño de investigación es preexperimental con un diseño de preprueba (cálculo de la concentración inicial de coliformes totales en agua) y posprueba (cálculo de la concentración final de coliformes totales luego del tratamiento al agua).

A continuación, se presenta la matriz de consistencia y de operacionalización de variables:

Tabla 1

*Matriz de Consistencia*

TÍTULO	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Remoción de coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados domésticos mediante nanoburbujas	General: ¿Las nanoburbujas de aire permitirán remover los coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados domésticos?	General: Remover los coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados domésticos mediante nanoburbujas de aire.	General: La aplicación de nanoburbujas de aire remueve los coliformes totales presentes en el agua almacenada en tanques elevados domésticos.	Cantidad de coliformes totales	Concentración	<b>Tipo de investigación</b> Cuantitativa explicativa <b>Población</b> Toda el agua de las 9 viviendas que se abastecen de agua por camiones cisterna de la Urb. El Rosal de San Diego <b>Muestra</b> 5 viviendas que se abastecen de agua por camiones cisterna (60 L de agua) <b>Técnica</b> Observación <b>Instrumento</b> Ficha de observación Cadena de custodia
	Específicos: - ¿Cuánto será el caudal del equipo de nanoburbujas de aire aplicando el método volumétrico? - ¿Cuál será el porcentaje de remoción de coliformes totales después de la depuración mediante nanoburbujas de aire? - ¿Cumplirá el agua depurada mediante nanoburbujas de aire con el Límite Máximo Permisible (LMP) del parámetro coliformes totales establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA)?	Específicos: - Medir el caudal del equipo de nanoburbujas de aire aplicando el método volumétrico - Determinar el porcentaje de remoción de coliformes totales después de la depuración mediante nanoburbujas de aire. - Evaluar si el agua tras la depuración mediante nanoburbujas de aire cumple con el LMP del parámetro coliformes totales establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA).	Específicas: - El caudal del equipo de nanoburbujas de aire, aplicando el método volumétrico, es de $7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ . - Se logra remover más del 50% la cantidad de coliformes totales después de la depuración mediante nanoburbujas de aire. - La aplicación de nanoburbujas de aire permite que la concentración de coliformes totales presente en el agua almacenada en tanques elevados domésticos cumpla con el LMP del parámetro coliformes totales establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA).	Porcentaje de remoción de coliformes totales	Eficiencia	
				Características físicas de las nanoburbujas de aire	Diámetro promedio de burbuja Presión interna Presión del equipo	
					Caudal de equipo	

Tabla 2

*Matriz de operacionalización de variables*

Remoción de Coliformes Totales en Agua Almacenada en Tanques Elevados Domésticos mediante Nanoburbujas de Aire

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Remoción de coliformes totales	La presencia de estas bacterias en instalaciones de agua puede compararse con la de algunos patógenos acuáticos, sin embargo, son mucho menos persistentes que virus y protozoos (García, et al., 2006).	Prueba en el laboratorio para determinar la concentración de coliformes totales	Cantidad de coliformes totales	Concentración	NMP/100 mL
			Porcentaje de remoción	Eficiencia	%
Nanoburbujas de aire	Las nanoburbujas (NBS) son pequeñas burbujas con un diámetro respectivo de 10 a 50 $\mu\text{m}$ , y se han explorado para diversas aplicaciones (Ushida, et al., 2013)	Las nanoburbujas se medirán de acuerdo con sus características.	Características físicas	Diámetro promedio de burbuja	$\mu\text{m}$
				Presión interna	psi
				Presión del equipo	psi
				Caudal del equipo	$\text{m}^3/\text{s}$

## 2.2. Población y muestra

La población está conformada por el total de agua de las 9 viviendas que se abastecen de agua por camiones cisterna de la Urb. El Rosal de San Diego y que se almacena en tanques elevados. Por otro lado, la muestra consistió en 60 L de agua de 5 de las 9 casas muestreadas.

## 2.3. Materiales, instrumentos y métodos

### 2.3.1. Materiales

#### a) Indumentaria de protección

Tipo	Unidad	Cantidad
Cofia	UND	1
Gafas de laboratorio	UND	1
Mascarilla quirúrgica	UND	2
Guantes de nitrilo	Par	2
Guardapolvo	UND	1
Botas de seguridad	Par	1

#### b) Materiales de laboratorio

Tipo	Unidad	Cantidad
Frasco estéril de plástico (250 mL)	UND	10
Papel Kraft	UND	1
Ice Pack	UND	4

#### c) Materiales de Campo

Tipo	Unidad	Cantidad
Balde de plástico (20 L)	UND	4
Escobilla	UND	1
Cooler	UND	1

#### d) Materiales de escritorio

Tipo	Unidad	Cantidad
Liga	UND	10
Plumón indeleble delgado	UND	1
Lapicero	UND	1
Cinta adhesiva transparente	UND	1

### 2.3.2. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos

#### a) Instrumentos de recolección de datos

Para esta sección se utilizó una ficha de observación que sirvió para describir el entorno de estudio y las personas que lo habitan. Asimismo, se utilizó un formato de cadena de custodia que sirvió para garantizar las condiciones de identidad, registro, seguimiento y control de los resultados de laboratorio ENVIROTEST.

#### b) Instrumentos de análisis de datos

Se utilizó el software Microsoft Excel 2016 para la construcción de gráficos y tablas.

### 2.3.3. Métodos

#### a) Protocolo de Procedimientos para la Toma de Muestras, Preservación, Conservación, Transporte, Almacenamiento y Recepción de Agua para Consumo Humano:

Es un protocolo que ha sido elaborado por la DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental), como una herramienta estandarizada que deberá aplicar el personal de salud que realiza acciones de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en los procedimientos: toma de muestra, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de muestras de agua de consumo humano procedente del sistema de abastecimiento de las zona urbanas y/o rurales (DIGESA, 2015).

#### b) Técnica Estándar de Fermentación de Coliformes Totales:

Esta técnica está avalada por American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF) (2017), la cual nos permite calcular la densidad probable de bacterias coliformes totales presentes en agua, en combinación de tubos. Esta técnica consiste en fases: presuntiva y confirmativa.

## 2.4. Procedimientos

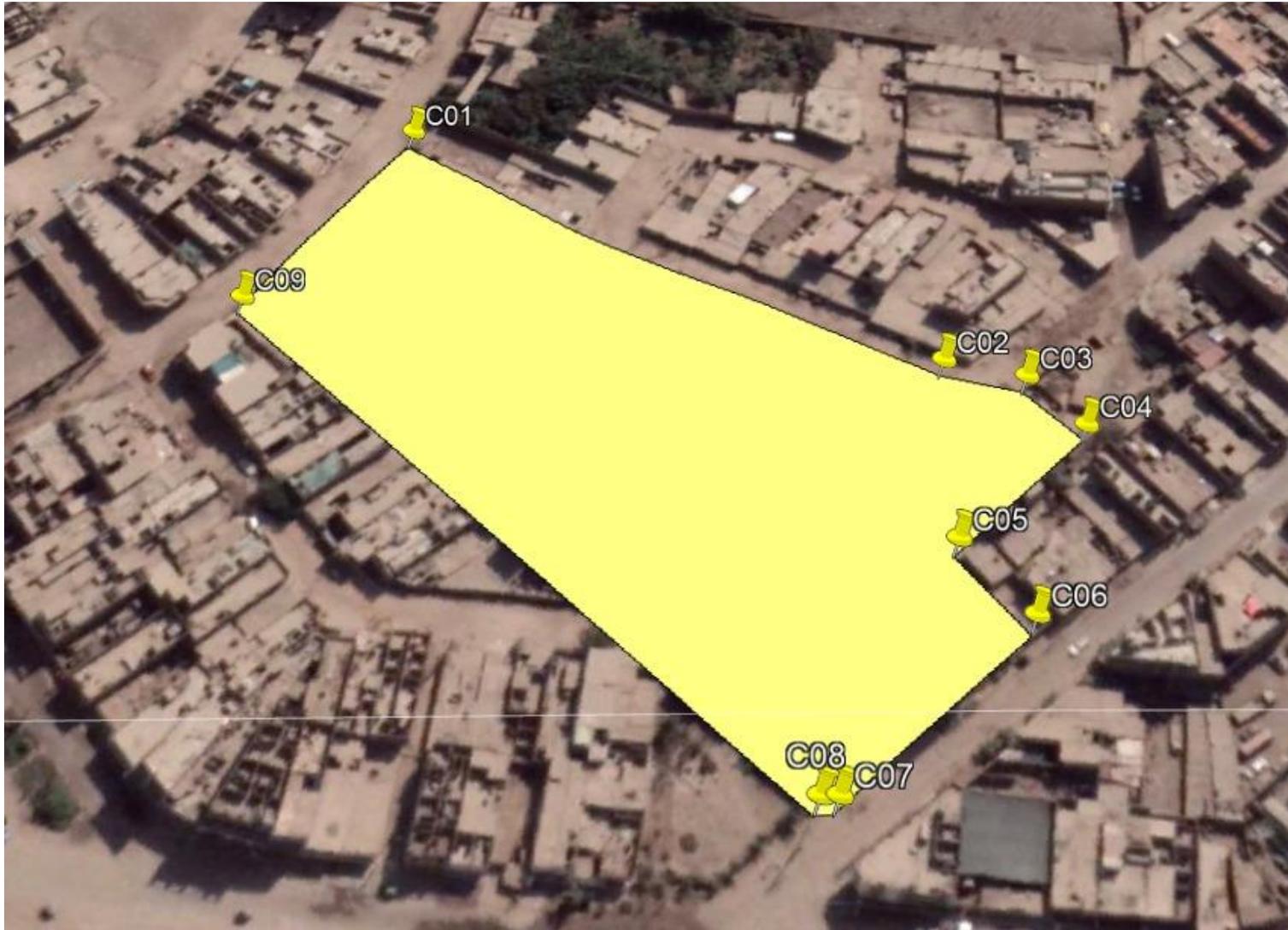
### 2.4.1. Ubicación de los puntos de muestreo

Se delimitó el área que conforma la urbanización determinando las coordenadas con la ayuda de un GPS. Las coordenadas establecidas corresponden según lo que indica la Tabla N°3 y la Figura N°1.

Tabla 3

*Coordenadas de la urbanización El Rosal de San Diego*

Puntos	Este	Norte
C01	272508,4	8677625
C02	272617,3	8677567,1
C03	272633,1	8677563,2
C04	272643,5	8677551,8
C05	272618,3	8677527,1
C06	272631,5	8677511,5
C07	272595,7	8677477,6
C08	272592,4	8677477,6
C09	272478,7	8677581,9



*Figura 1.* Delimitación del área de la urbanización El Rosal de San Diego

Se tomó como referencia las manzanas: A, B, C, D y E de la Urb. El Rosal de San Diego para la ubicación de los puntos de muestreo. Cada coordenada UTM de cada punto muestreado se determinó mediante un GPS. Las coordenadas halladas corresponden según lo que indica la Tabla N°4 y la Figura N°2.

Tabla 4

*Coordenadas de puntos de muestreo*

Puntos	Este	Norte
AC-01	272512.0	8677579.0
AC-02	272579.0	8677537.0
AC-03	272532.0	8677594.0
AC-04	272601.0	8677512.0
AC-05	272597.0	8677487.0

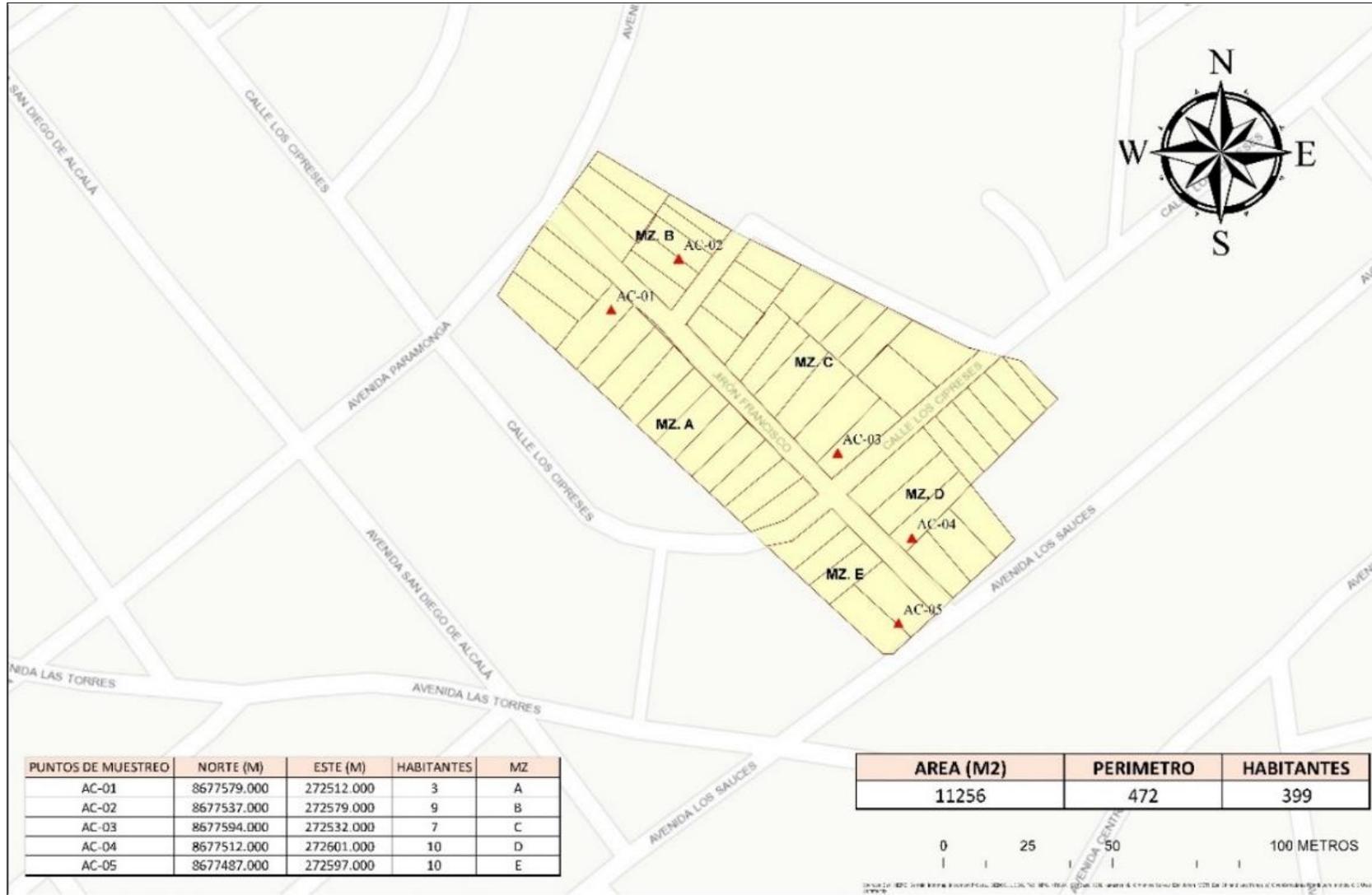


Figura 2. Puntos de muestreo.

#### 2.4.2. Recolección de las muestras de agua

El método para determinar el tamaño de muestra fue aleatorio, ya que de los 55 terrenos de la urbanización El Rosal de San Diego, 31 se encontraron inhabitables, 4 casas tenían conexiones informales de vecinos que tenían agua potable y de los 20 restantes solo 9 casas se abastecían de camiones cisterna, por tal motivo de estas 9, se muestrearon 5 casas, que corresponden a una casa por manzana.



*Figura 3.* Camión cisterna abasteciendo de agua al tanque elevado

Según Leyva (2017), la capacidad aproximada del compartimento más grande del recipiente de acero inoxidable del equipo de nanoburbujas es de 15 L. Por tal motivo, se recolectaron 60 L de muestra, que corresponden a 12 litros por vivienda. A partir de este volumen se obtuvieron 3 submuestras de 20 L cada una. Cada submuestra fue homogenizada en un balde del mismo volumen, el cual corresponde con el volumen del equipo de nanoburbujas (15 Litros). Así mismo, a partir de la muestra de 60 L se extrajo una submuestra de aproximadamente de 250 mL para el análisis de coliformes totales pre-tratamiento y a partir de cada submuestra de 20 L se recolectaron 250 mL por repetición para el análisis de coliformes totales post-tratamiento.

Cabe mencionar, que para la recolección de esta muestra se siguió los lineamientos del Protocolo de Procedimientos para la Toma de Muestra, Preservación, Conservación,

Transporte Almacenamiento y Recepción de Agua para Consumo Humano de la DIGESA (2015); que consistió en remover todo tipo de residuos ubicados alrededor de la tapa del tanque elevado con la ayuda de una escobilla, retirar la tapa con mucho cuidado, evitando que algún residuo caiga al interior del tanque elevado, retirar la liga que ajusta la cubierta protectora de papel Kraft y la cubierta del frasco para la toma de muestra. Se sujetó la tapa del frasco con la mano mientras se realizó el muestreo. Se sumergió el frasco en el tanque, se llenó y dejó un espacio de aire. Se colocó la contratapa y enroscó la tapa fijando la cubierta protectora de papel Kraft en su lugar ajustando con la liga. Luego, se llenó los datos de la etiqueta con plumón indeleble (cliente, código de cliente, lugar/ubicación, muestreado por, tipo de muestra, fecha de muestreo, hora de muestreo, análisis requeridos); la cual se protegió con cinta adhesiva transparente. Finalmente, la muestra recolectada fue conservada en cooler y refrigerada a 4°C con preservantes de temperatura (ice pack). La muestra recolectada y la cadena de custodia fueron transportadas al laboratorio ENVIROTEST antes de las 6 horas de haber muestreado (DIGESA, 2011).



*Figura 4.* Toma de muestra en la zona de estudio

### 2.4.3. Análisis microbiológico pre y post tratamiento

Para la determinación de coliformes totales se utilizó la técnica del Número Más Probable (NMP) que está respaldada por APHA, AWWA y WEF (2017). Así mismo, dicho análisis fue realizado por el laboratorio ENVIROTEST.

Para la fase presuntiva, se utilizaron 10 tubos de Caldo Lauril Triptosa (CLT) con 10 mL de muestra en cada tubo, a concentración doble y siempre como corresponde según la técnica para la determinación de coliformes totales, teniendo en consideración que basado en el reglamento de agua de consumo humano no debería existir presencia de coliformes totales. Estos tubos luego fueron incubados por 48 horas  $\pm$  3 h a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . Se consideraron positivos los tubos que evidenciaron crecimiento microbiano y con producción de gas en la campana de Durham. Posteriormente, se homogenizó cada tubo y con el asa bacteriológica se extrajo 1 gota para llevarlo a otro medio, Caldo Lactosado Bilis Verde Brillante (CLBVB); iniciando la fase confirmatoria del análisis. En esta fase los coliformes totales en la muestra de agua de consumo humano son capaces de tolerar sales biliares. Los tubos fueron incubados a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$  por 48 horas  $\pm$  3h. Del mismo modo, se consideraron positivos o confirmados, aquellos tubos con presencia de gas en la campana de Durham. Finalmente, los resultados obtenidos fueron comparados con la tabla de NMP para obtener la concentración de coliformes totales.

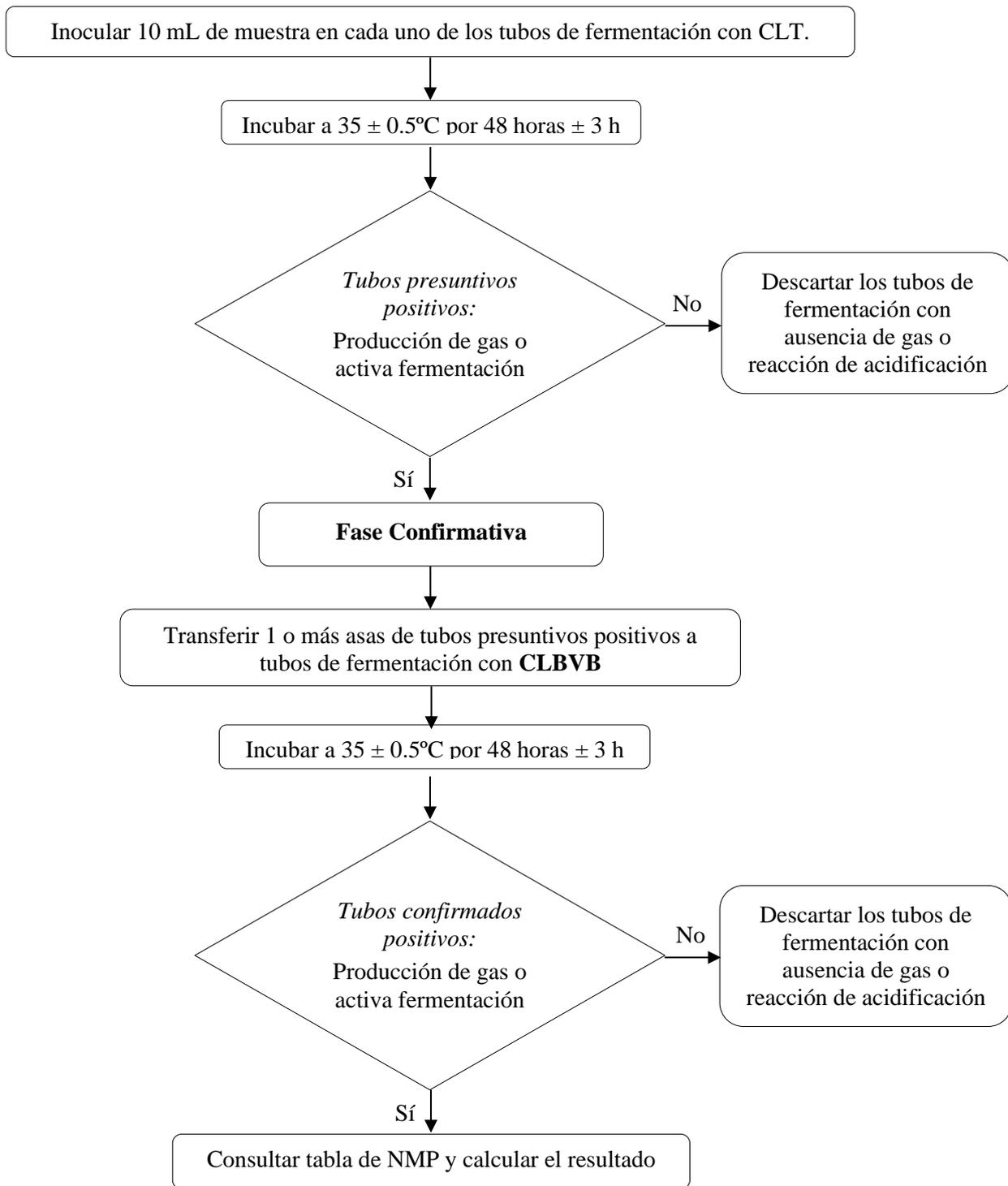


Figura 5. Diagrama de flujo de la técnica estándar de fermentación de coliformes totales

Tabla 5

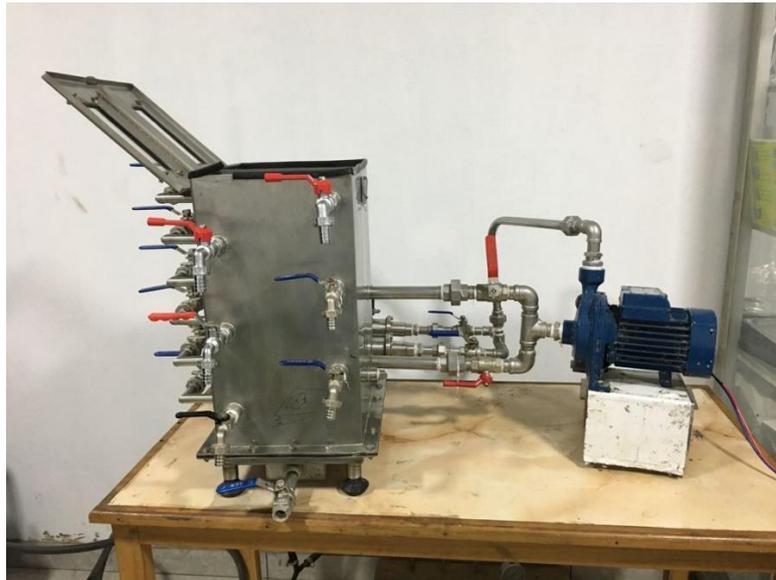
*Índice NMP/100 mL y límites de confianza del 95% para todas las combinaciones de resultado positivo y negativo cuando se utilizan diez porciones de 10 mL*

Número de tubos que dan una reacción positiva de 10 (10 mL cada una)	Índice NMP/100 mL	Límites de confianza del 95%	
		Inferior	Superior
0	<1,1	-	3,4
1	1,1	0,051	5,9
2	2,2	0,37	8,2
3	3,6	0,91	9,7
4	5,1	1,6	13
5	6,9	2,5	15
6	9,2	3,3	19
7	12	4,8	24
8	16	5,8	34
9	23	8,1	53
10	>23	13	-

Fuente: Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23<sup>rd</sup>. Ed. 2017.

#### **2.4.4. Tratamiento del agua por medio de Nanoburbujas**

Para llevar a cabo la reducción de la concentración de coliformes presentes en el agua de cisterna aplicando nanoburbujas, se hizo uso de un equipo generador de nanoburbujas patentado por el Dr. Jhonny Valverde Flores (Investigador RENACYT).



*Figura 6.* Equipo de nanoburbujas de aire

Para llevar a cabo el tratamiento con nanoburbujas de aire, se trabajó a una presión de 85 a 90 psi; con un caudal promedio de  $6,736 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ , con un diámetro promedio de nanoburbuja de  $1,500 \text{ }\mu\text{m}$  y una presión interna de 28,16 psi (ver ecuación 2). El agua fue bombeada y llevada al equipo generador de nanoburbujas, cuya secuencia consiste en un primer paso de 5 minutos, para después extraer una muestra de agua tratada. Luego se repetiría el mismo proceso a los 10 minutos y por último a los 15 minutos. Cabe mencionar que este tratamiento se ejecutó tres veces, obteniendo 3 repeticiones por cada tiempo (5, 10 y 15 min), según las recomendaciones de Leyva (2017).



*Figura 7.* Toma de muestra de agua post-tratamiento a los 5 minutos

Los tratamientos fueron recolectados en envases esterilizados de plástico de 250 mL. Así mismo, se llenaron los datos de la etiqueta con plumón indeleble (cliente, código de cliente, lugar/ubicación, muestreo por, tipo de muestra, fecha de muestreo, hora de muestreo, análisis requeridos); la cual se protegió con cinta adhesiva transparente. Las muestras recolectadas fueron conservadas en coolers y refrigeradas a 4°C con preservantes de temperatura (ice pack) (DIGESA, 2015). Las muestras recolectadas y la cadena de custodia fueron transportadas al laboratorio ENVIROTEST antes de las 6 horas de haber muestreado (DIGESA, 2011).

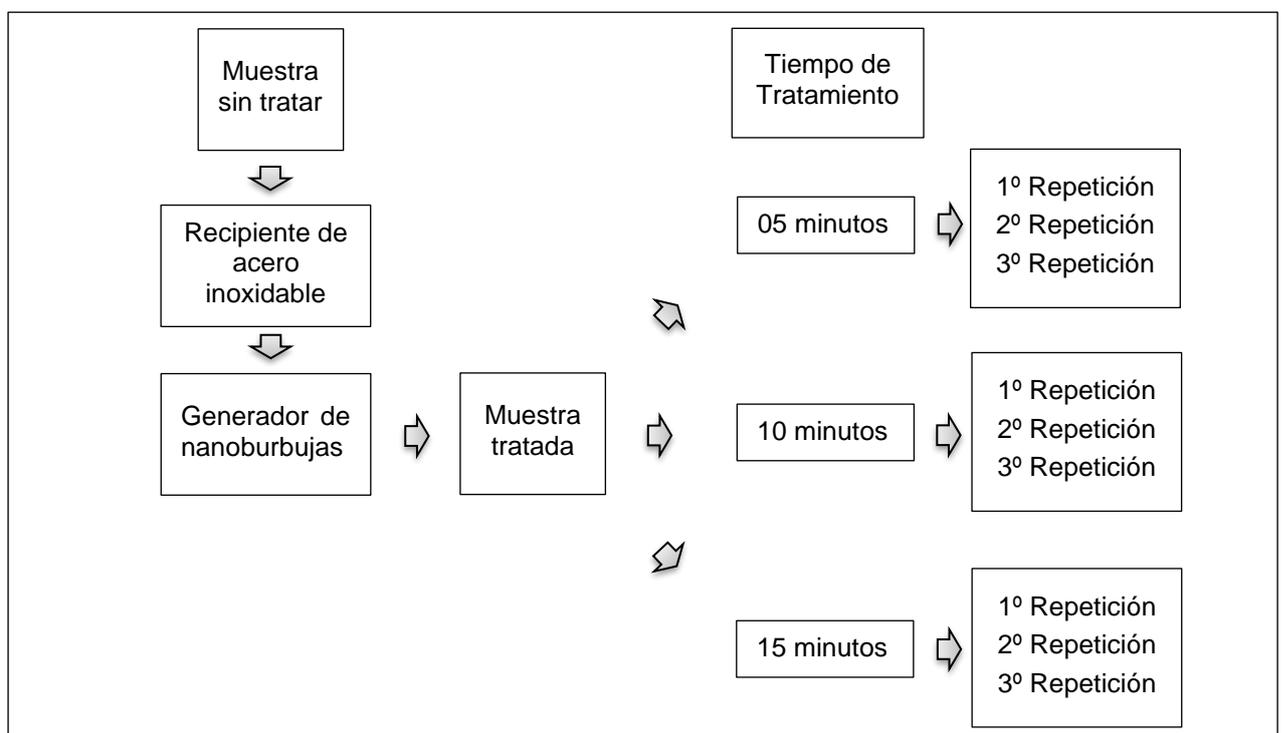


Figura 8. Diagrama del proceso de tratamiento del agua con nanoburbujas.

#### 2.4.5. Cálculo del porcentaje de remoción de coliformes totales

Para la determinación del porcentaje de remoción de coliformes totales se utilizó la fórmula especificada por Palta y Morales (2013), que consiste en realizar el cálculo en base al Valor Parámetro Inicial con respecto al Valor Parámetro Final sobre el Valor Parámetro Inicial multiplicado por cien, que es útil para saber la eficiencia de cualquier tratamiento en valores porcentuales y a partir de ello realizar los análisis si en caso fueron favorables o no, la fórmula matemática que se aplicó en esta investigación fue la siguiente:

$$\%Remoción = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

*Ecuación 1 Porcentaje de remoción*

Dónde:

*VPi*: Valor Parámetro Inicial

*VPf*: Valor Parámetro Final

## **2.5. Aspectos éticos**

En la presente investigación se están considerando los aspectos éticos pertinentes en cuanto a la citación adecuada de fuentes utilizando las normas del manual de redacción UPN. En ese sentido, también se presentarán datos fidedignos, confiables y ajustados a la investigación de campo.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Determinación de coliformes totales del agua pre y post tratamiento con nanoburbujas

#### 3.1.1. Análisis de coliformes totales del agua de cisterna pre-tratamiento

A partir de la tabla N°6 y la figura N°9, se observa que hay presencia de coliformes totales en concentraciones significativas en el agua de consumo humano, ya que da como resultado  $>23$  NMP/100 mL, lo que se interpreta que los 10 tubos analizados dieron positivo a presencia de coliformes totales y presentaron gas en la campana de Durham. Entonces, con estos resultados se puede determinar que el agua que consumen los moradores de la Urb. El Rosal de San Diego presenta coliformes totales y no es apto para el consumo humano, según el LMP del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N°031-2010-SA).

Tabla 6

*Concentración inicial de coliformes totales en el agua pre-tratamiento comparado con el LMP*

Muestra Inicial	Concentración de coliformes totales	Unidad de Medida	LMP
M0	$>23$	NMP/100 mL	$\leq 1,8$

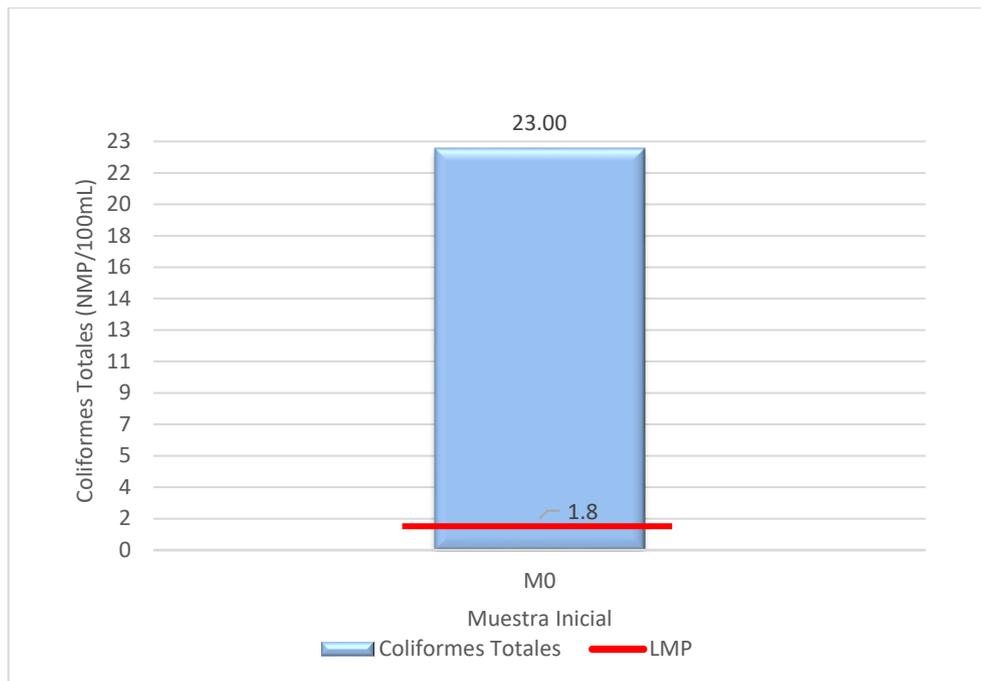


Figura 9. Concentración inicial de coliformes totales en el agua pre-tratamiento comparado con el LMP

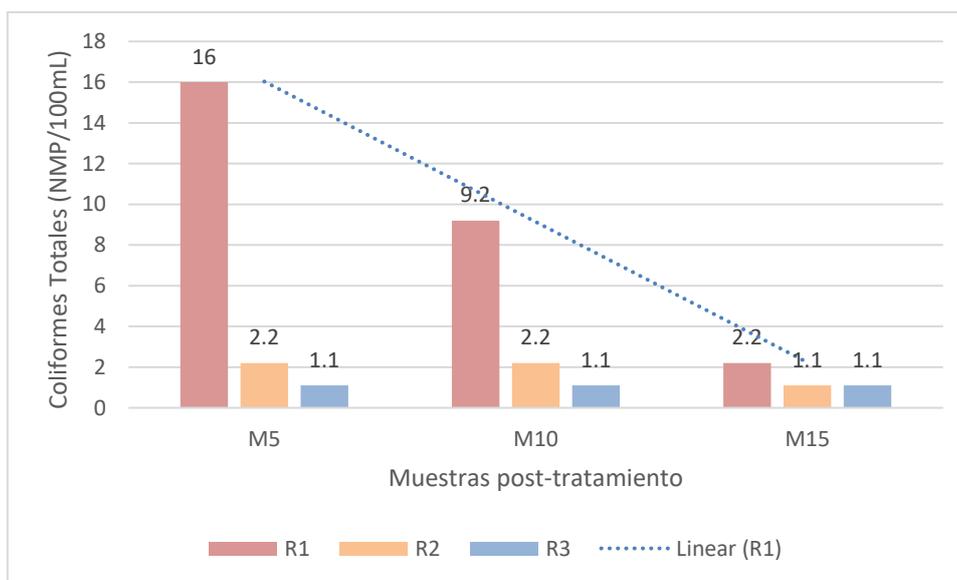
### 3.1.2. Análisis de coliformes totales del agua de cisterna post-tratamiento

A partir de la tabla N°7 y la figura N°10, se observa que hay concentraciones muy bajas y nulas de coliformes totales en el agua. La evaluación se realizó en 3 repeticiones en los tiempos de 5, 10 y 15 minutos por cada repetición respectivamente. Es así como, en la primera repetición, se observa un descenso en la concentración de coliformes que inicia con 16 NMP/100 mL, continúa con 9,2 NMP/100 mL y llega a 2,2 NMP/100 mL. Luego, en la segunda repetición se observa que a los 5 y 10 minutos se mantiene la concentración de coliformes en 2,2 NMP/100 mL y a los 15 minutos disminuye a <1,1 NMP/100 mL. Finalmente, en la tercera repetición se obtiene en los 3 tiempos: 5, 10 y 15 minutos, el resultado de <1,1 NMP/100 mL, lo que se interpreta como ausencia de coliformes totales. Por lo tanto, la secuencia de resultados evidencia que las nanoburbujas remueven los coliformes totales en el agua a medida que el tiempo se incrementa.

Tabla 7

*Concentraciones de coliformes totales en el agua post-tratamiento*

Tiempo (minutos)	Concentración de coliformes totales (NMP/100mL)		
	Repetición		
	1	2	3
5	16	2,2	<1,1
10	9,2	2,2	<1,1
15	2,2	<1,1	<1,1



*Figura 10. Concentraciones de coliformes totales en el agua post-tratamiento*

### 3.2. Determinación del caudal del equipo generador de nanoburbujas

En la tabla N°8 se muestra la obtención del caudal promedio del equipo de nanoburbujas mediante el método volumétrico, que resulta  $6,736 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 8

*Caudal promedio del agua con nanoburbujas*

Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo (segundos)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal promedio
V	T	V/T	(m <sup>3</sup> /s)
0,0001	14,72	$6,793 \times 10^{-6}$	
0,0001	14,69	$6,807 \times 10^{-6}$	$6,736 \times 10^{-6}$
0,0001	15,13	$6,609 \times 10^{-6}$	

### 3.3. Cálculo de la presión interna de las nanoburbujas

Se utilizó la fórmula que Méndez (2017) aplicó en su tesis, que consiste en realizar el cálculo en base a la tensión superficial sobre el diámetro. Esta fórmula es útil para saber la presión interna de las nanoburbujas según su diámetro, la fórmula matemática que se aplicó fue la siguiente:

$$\Delta P = 4\sigma/d$$

Donde:

$\Delta P$ : Presión de la burbuja.

$\sigma$ : Tensión superficial = 0,0728 N/m

$d$ : Diámetro de la burbuja.

$$\Delta P = \frac{4(0,0728 \text{ N/m})}{1,500 \times 10^{-6} \text{ m}}$$

$$\Delta P = 194133,33 \text{ N/m}^2 \cong 28,16 \text{ psi}$$

### 3.4. Cálculo del porcentaje de remoción de coliformes totales

En la tabla N°9 y figura N°11 se muestran los porcentajes de remoción de bacterias coliformes totales en base a la cantidad de tubos que resultaron positivos, es decir, presencia de coliformes totales. A partir de ello, obtenemos en la primera repetición un aumento en el porcentaje de remoción de coliformes totales que empieza con 20%, continúa con 40% y llega al 80%. Luego, en la segunda repetición obtenemos que a los 5 y 10 minutos se mantiene el porcentaje de remoción de coliformes totales en 80% y a los 15 minutos aumenta a 100%. Finalmente, en la tercera repetición obtenemos en los 3 tiempos: 5, 10 y 15 minutos, el porcentaje de remoción de coliformes totales que es de 100%, lo que se interpreta que se removieron todos los coliformes totales en el agua.

Tabla 9

*Porcentaje de remoción de coliformes totales en base al N.º de tubos que resultaron positivos*

Muestra inicial		Muestra post-tratamiento		Porcentaje de remoción
Código	Nº de tubos que resultaron positivos (VPi)	Código	Nº de tubos que resultaron positivos (VPf)	$\%Remoción = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$
M0	10	M5R1	8	20%
M0	10	M10R1	6	40%
M0	10	M15R1	2	80%
M0	10	M5R2	2	80%
M0	10	M10R2	2	80%
M0	10	M15R2	0	100%
M0	10	M5R3	0	100%
M0	10	M10R3	0	100%
M0	10	M15R3	0	100%

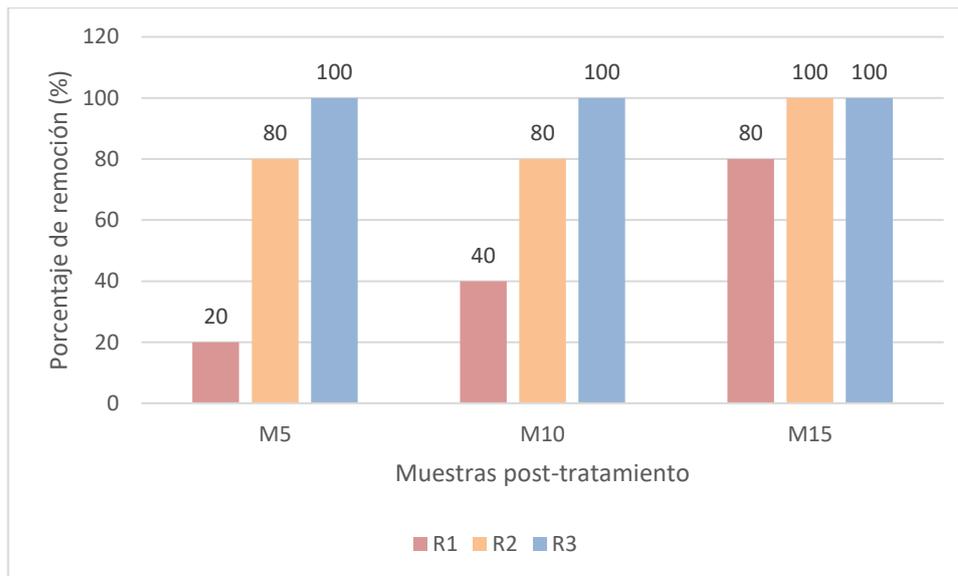


Figura 11. Porcentaje de remoción de coliformes totales en base al N° de tubos que resultaron positivos

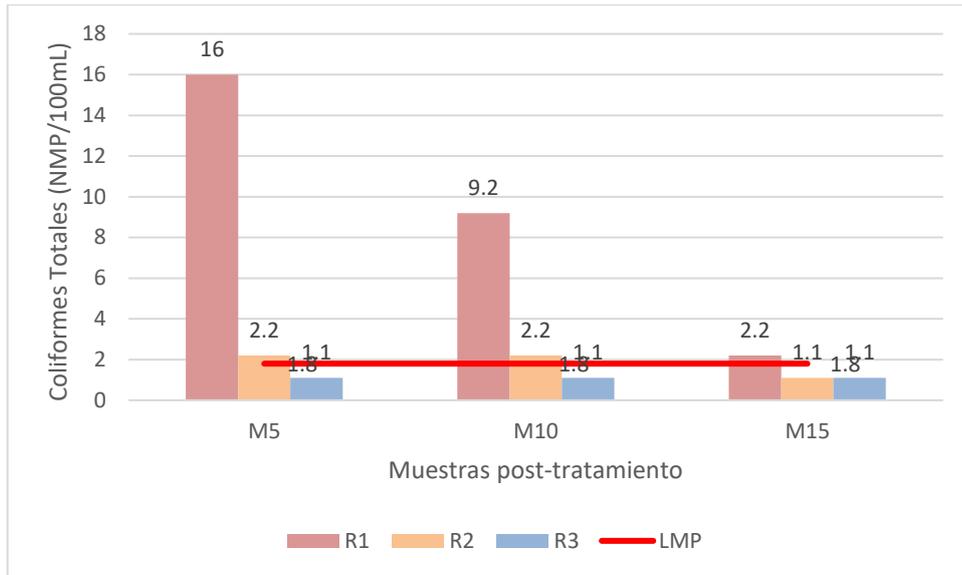
### 3.5. Comparación de los resultados post-tratamiento con el LMP del parámetro coliformes totales para agua de consumo humano

En la tabla N°10 y figura N°12, se muestran los resultados de los análisis post-tratamiento comparados con el LMP del parámetro bacterias coliformes totales para agua de consumo humano. En los 3 tiempos de la primera repetición y a los 5 y 10 minutos de la segunda, observamos que los valores no cumplen con el LMP; sin embargo, a los 15 minutos de la segunda repetición y en los 3 tiempos de la tercera repetición observamos que los valores sí cumplen con el LMP. En base a los datos que no cumplieron con el LMP, analizamos que a pesar de ello hubo una disminución de coliformes luego del tratamiento.

Tabla 10

*Comparación de los resultados post-tratamiento con el LMP*

Muestras analizadas	Código de muestra	Concentración de coliformes totales (NMP/100mL)	LMP de bacterias coliformes totales en agua de consumo humano	Sí/No cumple
Muestras post-tratamiento	M5R1	16	=<1,8	No cumple
	M10R1	9,2	=<1,8	No cumple
	M15R1	2,2	=<1,8	No cumple
	M5R2	2,2	=<1,8	No cumple
	M10R2	2,2	=<1,8	No cumple
	M15R2	<1,1	=<1,8	Sí cumple
	M5R3	<1,1	=<1,8	Sí cumple
	M10R3	<1,1	=<1,8	Sí cumple
	M15R3	<1,1	=<1,8	Sí cumple



*Figura 12.* Comparación de los resultados post-tratamiento con el LMP

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Según Nakashima (2016), es muy importante calcular y determinar las características físicas de las nanoburbujas de aire ya que su efectividad radica en sus propiedades físicas. En esta investigación las nanoburbujas con un diámetro de  $1,5\mu\text{m}$ , obtuvieron las eficiencias de remoción de 66,67 % a los 5 minutos, 73,33% a los 10 minutos y 93,33% a los 15 minutos; así mismo, Benazir (2016) con un diámetro de  $6,74\ \mu\text{m}$  obtuvo la eficiencia de remoción de coliformes totales en un 99.01% y coliformes fecales hasta un 99.58%. Lo que significa que, si incrementamos el tiempo de tratamiento con un diámetro más pequeño, se obtendrían eficiencias mayores.

Los porcentajes de remoción de coliformes totales luego del tratamiento mediante nanoburbujas de aire se encontraron entre 80 y 100% en la mayoría de las repeticiones, y como valores mínimos de remoción entre 20% y 40%, para la presente investigación. Así mismo, Benazir (2016), encontró en su investigación que los porcentajes de remoción de coliformes fecales y totales mediante nanoburbujas de aire y ozono fueron mayor al 90%. También Cruz (2016), obtuvo en su estudio que, el promedio de la eficiencia de reducción para coliformes fecales y totales fue de 99,58% y 99,01 %, respectivamente. Todo ello confirma la eficacia del tratamiento de agua mediante la inyección de nanoburbujas para la remoción de bacterias coliformes, parámetro fundamental en la determinación de la calidad de agua de consumo humano.

Según los Límites Máximos Permisibles (LMP) (MINSA, 2010) para agua potable corresponde a  $\leq 1,8$  NMP/100ml. Lo que se corresponde con los resultados de la segunda repetición a los 15 min ( $< 1,1$  NMP/100mL) y de manera general para la tercera repetición ( $< 1,1$  NMP/100mL). A diferencia de la primera repetición, donde se obtuvo para los tres tiempos 16 NMP/100mL, 9,2 NMP/100mL y 2,2 NMP/100mL, respectivamente, así mismo, para la segunda repetición a los 5 y 10 minutos 2,2 NMP/100mL con el mismo valor. Esto es debido a que el LMP para agua de consumo humano es más ajustado. Sin embargo, en la investigación de Benazir (2016) la totalidad de sus resultados fue una remoción de más del 90% de coliformes fecales y totales presentes en agua de mar los que cumplen con el ECA. Así mismo Cruz (2016), en la totalidad de sus resultados logró

una eficiencia de remoción de coliformes totales de más del 99% en aguas residuales domésticas para reutilizarlas. Para llegar a cumplir el LMP del parámetro coliformes totales para agua de consumo humano, la eficiencia de las nanoburbujas tiene que ser 100% de manera obligatoria, en otras palabras, el agua tiene que estar exenta de coliformes.

A través del análisis por la técnica del NMP por tubos múltiples, se determinó que la concentración de coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados de la Urb. El Rosal de San Diego, S.M.P., fue  $>23$  NMP/100 mL; esto evidencia una carga significativa de bacterias coliformes totales y por ende una contaminación microbiológica. Sin embargo, en la investigación de Araujo & Benito (2017) no hubo tal significancia, ya que en sus resultados solo obtuvo 2 UFC/100 mL en aguas almacenadas en reservorios. Esto podría deberse a 3 causas; la primera, las malas prácticas de asepsia o ausencia de éstas en tanques de almacenamiento de agua como uno de los factores de riesgo asociado a la contaminación del agua por coliformes (Franco, López, & Orozco, 2014); la segunda, agua proveniente de camiones cisterna clandestinos los cuales no poseen ningún tipo de control sanitario, sin tratamiento y desinfección del agua, condiciones higiénico sanitarias deplorables (Marchand, 2002) la tercera, que si bien es cierto que muchos de estos camiones cisterna al comienzo del día su agua lo obtienen de Sedapal, luego lo obtienen de pozos clandestinos que carecen de inspección sanitaria (Rios, 2017).

Mediante la la inyección de nanoburbujas de aire se removió los coliformes totales en agua almacenada en tanques elevados, asimismo, este resultado óptimo es confirmado por resultados similares en la investigación de Benazir (2016), donde al inyectar micro-nanoburbujas de aire y ozono logró remover coliformes fecales presentes en agua de mar. En líneas generales, la inyección de nanoburbujas de aire es un método eficiente para la remoción de coliformes presentes en agua contaminada, debido a las ondas expansivas y OH radicales originadas por el colapso de las nanoburbujas, causa principal para la inactivación de coliformes. Además, la eficacia de eliminación de *E. coli* es alta (Sumikura, Hidaka, Murakami, Nobutomo y Murakami, 2007). En comparación con la cloración, que su desventaja es que forma trihalometanos (THM) que en su mayoría son tóxicos o carcinogénicos; o la ozonización, que su desventaja es su inestabilidad, por lo

que es complicado almacenarla y eso obliga a producirla *in situ* lo cual resulta muy costoso; o la radiación UV, que su desventaja es que no genera residuales por lo que luego de la desinfección se requiere aplicar un compuesto químico para garantizar la calidad del agua libre de patógenos durante su trayecto hasta incluso durante el almacenamiento en las viviendas (Tarazona y Peña, 2011).

En la presente investigación se comprobó que el agua de los camiones cisterna que abastece a la población de la Urb. El Rosal de San Diego del distrito de San Martín de Porres con falta de acceso a la red de SEDAPAL está contaminada microbiológicamente, a causa de la contaminación de los principales ríos que abastecen de agua a Lima Metropolitana: Rímac, Chillón y Lurín (AQUAFONDO, 2015). Además de la diversidad de pozos y surtidores que no cuentan con un debido control sanitario, donde no hay desinfección ni tratamiento del agua y camiones cisterna informales (Marchand, 2002). Esto es reconocido por Rodolfo Yáñez Wendorff, el ex ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, quien señala que no hay controles, ni regulaciones sobre los camiones cisterna; y Miguel Layseca, uno de los gerentes de la SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento), quien afirma que no se sabe qué tipo de agua está recibiendo las personas (Ziegler y Morales, 2020). Según Raúl Loayza-Muro, biólogo y director del Laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, el consumo de agua contaminada microbiológicamente puede desencadenar en las personas vómitos, diarreas, dolores de estómago, hongos en la piel o infecciones más graves (Ziegler y Morales, 2020).

Finalmente, cabe mencionar que la presente investigación tuvo limitaciones en cuanto al acceso a la información sobre el porcentaje de abastecimiento de agua de la zona, acceso a la información sobre personas de la zona que han sufrido EDAs a causa del consumo de agua de la zona en los últimos años, escasos profesionales expertos en nanotecnología para el asesoramiento en la parte metodológica de esta investigación, escasos laboratorios para el análisis de los parámetros físicos de las nanoburbujas (tamaño de burbuja, velocidad de ascenso y presión interna).

#### 4.2. Conclusiones

Se midió el caudal del equipo de nanoburbujas de aire, aplicando el método volumétrico, siendo  $6,736 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s.

Se logró remover más del 50% la cantidad de coliformes totales después de la depuración mediante nanoburbujas de aire; obteniendo un porcentaje de remoción de 66.67 % a los 5 minutos, 73.33% a los 10 minutos y 93.33% a los 15 minutos.

Se evaluó el agua tras la depuración mediante nanoburbujas de aire y se concluyó que a los 15 minutos de la segunda repetición y en los 3 tiempos de la tercera repetición, los resultados cumplen con el LMP del parámetro coliformes totales para agua de consumo humano. En otras palabras, dieron como resultado 0 coliformes totales.

## REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WEF. (2017). *Standard methods for the examination of Water and Wastewater* (23rd ed.).
- Abdella, Sun, Hua, Zhang, Z., Zhang, Y., Marhaba, & Zhang, W. (2018). *Colloidal propertie of air, oxygen, and nitrogen nanobubbles in water: Effects of ionic strength, natural organic matters, and surfactants*. *Environmental Engineering Science*. Obtenido de <http://doi.org/10.1089/ees.2017.0377>
- AQUAFONDO. (2015). *La contaminación de los ríos de Lima*. Lima.
- Araujo, & Benito. (2017). *Nivel de contaminación microbiológica en agua de consumo humano en el sector Sequia Alta, Santa Bárbara, Huancavelica - 2017*. Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Benazir. (2016). *Reducción de coliformes fecales del agua de mar mediante micronanoburbujas de ozono y aire de la playa Los Pavos, Barranco*. Tesis, UCV, Lima.
- Bendezu. (2017). *Reducción de la dureza de aguas subterráneas mediante micro-nano burbujas de aire-ozono en la urbanización Villa El Pinar-Comas*. Tesis, UCV, Lima.
- Carrasco. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima, Lima, Perú: San Marcos.
- Condalab. (2019). Madrid.
- Cruz. (2016). *Reducción de coliformes presentes en aguas residuales domésticas mediante micro-nanoburbujas de aire-ozono en el distrito de Carhuaz, Ancash 2016*. Tesis, UCV, Lima.
- DIGESA. (2011). *Listado de requisitos para recepción de muestras de aguas superficiales, agua de consumo, aguas residuales y agua de mar*. DIGESA, Laboratorio de control ambiental. Obtenido de <http://www.digesa.minsa.gob.pe/LAB/LISTADO%20REQUISITOS%20RECEPCION%20E%20MUESTRAS%20AGUAS%20V02.pdf>
- DIGESA. (2015). *Protocolo de Procedimientos para la Toma de Muestras, Preservación, Conservación, Transporte, Almacenamiento y Recepción de Agua para Consumo Humano*. Resolución Directoral N°160-2015/DIGESA/SA, MINSA, DIGESA, Lima. Obtenido de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/NormasLegales/Normas/RD\\_160\\_2015\\_DIGESA.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/NormasLegales/Normas/RD_160_2015_DIGESA.pdf)
- ESSALUD. (2012). *Boletín epidemiológico N°02-2012*. Lima. Obtenido de [http://www.essalud.gob.pe/noticias/boletinepidem\\_2012\\_2.pdf](http://www.essalud.gob.pe/noticias/boletinepidem_2012_2.pdf)
- Franco, López, & Orozco. (2014). Calidad microbiológica del agua destinada para consumo humano en siete municipios de la región Caribe Colombiana. *Ciencia Actual*, 3. Recuperado el 18 de 09 de 2018
- García, Martínez, Utrilla, Morillo, Ania, Cardeñosa, . . . Azañón. (2006). *Personal laboral de la comunidad autónoma de Extremadura* (Segunda ed., Vol. II). España: MAD.
- Hernández. (2018). *Efectos de micro y nano burbujas en tratamientos de aguas residuales domésticas: El caso de Pasca, Cundinamarca*. Tesis, Universidad de Cundinamarca, Departamento de posgrados, Fusagasugá. Obtenido de <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2334/HernandezCarlos2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, Fernández, & Baptista. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México D.F., México.
- HighPyS. (6 de Junio de 2017). *Nanoburbujas*.
- Hung. (2016). *Ultrafine bubble-enhanced ozonation for water treatment*. Universidad de Arizona, Department of agriculture and biosystems engineering. Arizona: Universidad de Arizona.
- INEI. (2013). *Viviendas con abastecimiento de agua por red pública: Provincia de Lima*. INEI, Lima.
- INEI. (2016). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. Síntesis estadística, INEI, Lima. Recuperado el 16 de Abril de 2019
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2017). *Manual de medición de caudales*. Guatemala.

- Jung, Lee, Jang, Cho, & Sung. (2011). Recuperación de efluentes de aguas residuales textiles mediante un proceso de flotación de ozono disuelto en micro/nano burbujas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 20(3), 291-299. doi:<https://doi.org/10.5322/jes.2011.20.3.291>
- Kobayashi, Ikeura, Tamaki, & Hayata. (2010). *Aplicación de micro y nano burbujas de CO<sub>2</sub> a menor presión y temperatura ambiente para inactivar los microorganismos en Cut Wakegi (Allium Wakegi Araki)*. Bangkok. doi: 10.17660 / ActaHortic.2010.875.54
- LAB comercial. (2020). *Materiales de laboratorio, equipos y envases*. Barcelona.
- Leyva, M. (2017). *Reducción del DQO y SST de los efluentes residuales de una industria azucarera en Paramonga, mediante el uso de micro-nanoburbujas de aire*. Tesis, UCV, Lima. Obtenido de [http://181.224.246.201/bitstream/handle/UCV/14491/Leyva\\_CMM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://181.224.246.201/bitstream/handle/UCV/14491/Leyva_CMM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Liu, S., Kawagoe, Y., Makino, Y., & Oshita, S. (2013). *Effects of nanobubbles on the physicochemical properties of water: The basis for peculiar properties of water containing nanobubbles*. (Elsevier, Ed.) Chemical Engineering Science.
- Marchand. (2002). *Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana*. UNMSM, Lima.
- Méndez. (2017). *Reducción de DQO y materia orgánica usando micro-nano burbujas de aire en agua contaminada con amoxicilina a nivel laboratorio*. Tesis, Universidad César Vallejo, Lima.
- MINAM. (2016). *Glosario de términos. Sitios contaminados*. Lima. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>
- MINAM. (2019). *Informes y publicaciones*. Lima.
- MINAM. (2019). *RM 269-2019-MINAM*. Lima.
- MINSA. (2010). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. MINSA, Lima.
- MINSA. (2021). *Número de episodios de diarreas agudas, Perú 2016 a 2021*. MINSA, Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades.
- MOLEAER. (2021). *Nanoburbujas*. California.
- Nakashima, A. (Febrero de 2016). El enorme poder de las burbujas pequeñas. Japan External Trade Organization. Obtenido de [https://www.jetro.go.jp/en/mjcompany/nac\\_es.html](https://www.jetro.go.jp/en/mjcompany/nac_es.html)
- NORMA OS.090. (2006). Plantas de tratamiento de aguas residuales. *El Peruano*.
- Nuñez. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de una embotelladora de bebidas carbonatadas aplicando nanoburbujas de aire*. Tesis, Universidad César Vallejo, Lima.
- OMS & UNICEF. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y evaluación de los ODS*.
- ONU. (2010). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010: El derecho humano al agua y el saneamiento*. Resolución, ONU. Recuperado el 12 de Abril de 2019
- Palta, & Morales. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domésticas con Poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2).
- Pardo, M. (2017). *Nanotecnología con ozono para la reducción de cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima 2017*. Tesis, UCV, Lima.
- Praveen. (2012). *Micro and nanobubble water*. India.
- Rios, P. (2017). *Lima y su agua que enferma*. PUCP, Lima.
- Sumikura, Hidaka, Murakami, Nobutomo, & Murakami. (1 de Septiembre de 2007). *Water Science & Technology*, LVI(5), 53-61. doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2007.556>
- Tarazona, & Peña. (2011). *Estudio de la remoción de coliformes en aguas naturales utilizando un filtro tipo cartucho empacado con nanocompositos de fibras de fique con nanopartículas de plata*. Bucaramanga.
- Tsuge, H. (2014). *Micro y nanoburbujas: fundamentos y aplicaciones*. Japón: Pan Stanford.
- Ushida, Hasegawa, Narumi, & Nakajima. (2013). *Flow properties of nanobubble mixtures passing through micro-orifices*.

- Valenzuela. (2017). *Reducción de plomo y silicio en aguas de lavado de gases de una empresa de servicios usando micronanoburbujas de aire-ozono, Lima 2017*. Tesis, Universidad César Vallejo, Lima.
- Ventura. (2017). *Tratamiento de sanguaza de pesacado del mercado de Ancón utilizando micro-nanoburbujas de aire a escala laboratorio*. Tesis, Universidad César Vallejo, Lima.
- Xia, & Hu. (2018). Treatment of organics contaminated wastewater by ozone micro-nano-bubbles. *Water*, 11(1), 10.
- Yanmei, Shiwei, & Junfeng. (2018). Microbial community evolution of black and stinking rivers during in situ remediation through micro-nano bubble and submerged resin floating bed technology. *Bioresource Technology*, 258, 187-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.008>
- Ziegler, & Morales. (2020). Lima lucha contra el coronavirus con aguas turbias. *Centro de los objetivos de desarrollo sostenible para América Latina*.
- Ziegler, & Morales. (10 de Abril de 2020). Vivienda y Sedapal desvían atención a denuncia sobre calidad del agua que venden camiones. *Diario Ojo*.

## ANEXOS

### ANEXO N°1. Cronograma de actividades.

<i>Actividades a realizar</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SET</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
<b>1. Recopilación de información del estado de arte</b>	X	X	X	X						
Búsqueda de antecedentes	X	X	X	X						
Consulta a asesores, especialistas, etc.	X	X	X	X						
Redacción del proyecto de tesis	X	X	X	X						
<b>2. Ensayos preliminares/Pregabinete</b>				X						
Recolección y análisis inicial del agua				X						
<b>3. Ejecución de la investigación</b>						X	X			
Tratamiento con nanoburbujas de aire						X	X			
<b>4. Evaluaciones/Registro de resultados</b>								X		
Análisis final del agua								X		
<b>5. Procesos de la información/Análisis de datos</b>									X	
Construcción de gráficos estadísticos y tablas.									X	
<b>6. Elaboración del documento</b>						X	X	X	X	
Redacción de tesis						X	X	X	X	
Revisión y corrección de tesis preliminar por asesor						X	X	X	X	
Tesis preliminar									X	
Redacción del artículo científico									X	
<b>7. Sustentación de tesis</b>										X
Sustentación de tesis y producto en físico										X



N° 021799 (S. DYS 03  
M. S. C. P. 13)

**envirotest**  
RUC 205318358

**CADENA DE CUSTODIA**

Agua  M.S.  C.A.  S.O.  EmL  Otro  L.E. N°: 116128 Pág. 2 de 2

DATOS DEL CLIENTE		ANÁLISIS REQUERIDOS			
<b>ENVIAR INFORME DE EMISIÓN A:</b> RAZÓN SOCIAL: <u>Alexandra Cueva Díaz</u> DIRECCIÓN: <u>Me A Lote 4 Urb. El Rosal de San Diego - S.M.P.</u> TELÉFONO: <u>99721674</u> EMAIL: <u>alexandracueva1981@gmail.com</u> CONTACTO: <u>CONDOMINIO</u> OTROS SERVICIOS O SERVICIOS ADICIONALES: RUC: <u>116128</u> DIRECCIÓN: NOMBRE DEL PROYECTO: PROCEDENCIA:		Número de análisis por punto de muestreo: <u>Coliformes Totales</u> Indicar con una (X) en los recuadros inferiores, los análisis requeridos por cada muestra.			
N° de muestra	Código de Cliente	Muestra		Método a Emplear	Uso del UFR
		Fecha y Hora	Hora		
	M10 R3	4-10-2019	1:33	Coliformes Totales y Coliformes Fecales	1
	M15 R3	4-10-2019	1:38	Coliformes Totales y Coliformes Fecales	1



Muestreo realizado por: Alexandra Cueva Díaz PLANIFICACIÓN DE MUESTREO: 116128 INFORMACIÓN DEL MUESTREO: 116128 OBSERVACIONES:  
 Fecha de muestreo: 4-10-2019 Hora (UTM): 1:33 Hora (UTM): 1:38 Lugar de los recipientes de las muestras: Me A Lote 4 Urb. El Rosal de San Diego - S.M.P.  
 Fecha de entrega: 4-10-2019 Hora (UTM): 1:33 Hora (UTM): 1:38 Nombre de la Muestra: Coliformes Totales  
 Firma: Alexandra Cueva Díaz Firma: Alexandra Cueva Díaz

Envirotest S.A.C. RUC 205318358, Calle B No. 40 Urb. Paraisópolis Lote 31- Prol. Central Telefónica (011) 622 3758 / 333-820, RPC 9891-6648. E-mail: envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe

CLIENTE

## ANEXO N°4. Resultados de los análisis de coliformes totales en el agua inicial y post-tratamiento



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC., - IAS  
CON REGISTRO TL - 659



### INFORME DE ENSAYO N° 196438 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ALEXANDRA CUEVA DIAZ  
Dirección : Mz. A lote 4 Urb. El Rosal de San Diego - SMP  
Solicitado Por : ALEXANDRA CUEVA DIAZ  
Referencia : Colización N° 3627-19  
Proyecto : Reservado por el cliente  
Procedencia : Reservado por el cliente  
Muestreo Realizado Por : EL CLIENTE  
Cantidad de Muestra : 10  
Producto : Agua para uso y consumo humano  
Fecha de Recepción : 04/10/2019  
Fecha de Ensayo : 04/10/2019 al 09/10/2019  
Fecha de Emisión : 09/10/2019

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

#### I. Resultados

Código de Laboratorio	196438-01	196438-02	196438-03	196438-04	196438-05	196438-06
Código de Cliente	M0	M5R1	M10R1	M15R1	M5R2	M10R2
Fecha de Muestreo	04/10/2019	04/10/2019	04/10/2019	04/10/2019	04/10/2019	04/10/2019
Hora de Muestreo (h)	00:30	00:39	00:44	00:49	01:00	01:05
Tipo de Producto	Agua para uso y consumo humano					
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados			
Microbiológicos						
Total Coliform Bacteria	NMP/100 mL	1,1	>23,0E+00	>23,0E+00	>23,0E+00	>23,0E+00

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "-", = No Analizado.

Código de Laboratorio	196438-07	196438-08	196438-09	196438-10
Código de Cliente	M10R3	M5R3	M10R3	M15R3
Fecha de Muestreo	04/10/2019	04/10/2019	04/10/2019	04/10/2019
Hora de Muestreo (h)	01:10	01:28	01:33	01:38
Tipo de Producto	Agua para uso y consumo humano			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados	
Microbiológicos				
Total Coliform Bacteria	NMP/100 mL	1,1	>23,0E+00	>23,0E+00

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "-", = No Analizado.

#### II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Microbiológicos		
Total Coliform Bacteria	SM 9221 B / 9221C, 23rd. Ed. 2017	Enumeration of Total Coliforms by MPN method Stándard Total Coliform fermentation Technique

SIGLAS: "SM": Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017

**INFORME DE ENSAYO N° 196438  
CON VALOR OFICIAL**



**Biga Sissy Alvarez M.**  
Jefe de Microbiología  
C.B.P N° 9928

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.  
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.  
El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.  
El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años.  
El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.  
Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

\*\* FIN DEL INFORME \*\*