

# **Informe final proyecto de investigación 2021**

Dirección General de Investigación –DIGI-

**Alimentación y Nutrición - PRUNIAN -**

**Uso de nanoburbujas para potabilizar agua para las comunidades a orillas del Lago de  
Amatitlán**

**AP12 - 2021**

**Dirección de Investigación Facultad de Ciencias Médicas**

**Evelyn Rodas Pernillo de Soto  
Mónica María Martínez Fausto  
Pedro Guillermo Jayes Reyes**

Guatemala, 28/02/2022

## **Informe final proyecto de investigación 2021**

Dirección General de Investigación –DIGI-

### **Autoridades**

Dr. Hugo René Pérez Noriega

Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Pérez

Coordinador General de Programas

Inga. Liuba María Cabrera Ovalle

Coordinadora del Programa Universitario de Investigación Alimentación y Nutrición - PRUNIAN -

### **Autores**

Evelyn Rodas Pernillo de Soto Ph.D. Coordinadora

Licda. Mónica María Martínez Fausto Investigadora

Lic. Pedro Guillermo Jayes Reyes Investigador

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la DIGI de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de del código AP12-2021 en el Programa Universitario de Investigación Alimentación y Nutrición - PRUNIAN -.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

## INFORME FINAL

### 1. Índice general

1. Índice general.....	3
2. Resumen y palabras claves .....	6
3. Introducción .....	8
4. Planteamiento del problema .....	9
5. Delimitación en tiempo y espacio .....	10
6. Marco teórico.....	10
7. Estado del arte .....	13
8. Objetivos .....	14
9. Hipótesis.....	14
10. Materiales y Métodos .....	14
11. Resultados y discusión .....	23
12. Referencias.....	41
13. Apéndice .....	44
14. Vinculación.....	71
15. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual .....	72
16. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS .....	86
17. Orden de pago final.....	86
18. Declaración del coordinador(a) del proyecto de investigación .....	86
19. Aval del director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario.....	87
20. Visado de la Dirección General de Investigación .....	87

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

## Índice de Tablas

Tabla 1. Cambio de los parámetros in situ de una muestra del agua del Lago de Amatitlán, conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.....	23
Tabla 2. Cambio de los parámetros fisicoquímicos de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.....	27
Tabla 3. Cambio de los parámetros fisicoquímicos y análisis microbiológicos de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.....	31
Tabla 4. Cambio de las concentraciones de los metales pesados de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.....	34
Tabla 5. Cambio de las microcistinas de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.....	37
Tabla 6. Cambio del fitoplancton del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.....	38

## Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación espacial de la toma de muestra y la ubicación de la piscina donde fue realizada la parte experimental. Fuente: IBAGUA, ONG 2021.....	17
Figura 2. Esquema de generación de nanoburbujas (Fuente: Kran).....	20
Figura 3. Equipo de generación de nanoburbujas K200 Fuente: IBAGUA, 2021 .....	21
Figura 4. Equipo concentrador de oxígeno y generador de ozono. Fuente: IBAGUA, 2021.....	22

## Índice de Gráficas Índice de Fotografías

Fotografía 1. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA.....	44
Fotografía 2. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA en proceso de llenado. Fecha: 27 de febrero de 2021 .....	45
Fotografía 3. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA llena, pero presentando fuga Fecha: 27 de febrero de 2021.....	46
Fotografía 4. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA, principiando a colocarle recubrimiento para evitar fuga .....	47
Fotografía 5. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA, colocándole recubrimiento para evitar fuga .....	48
Fotografía 6. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA, con recubrimiento para evitar fuga y empezando a llenarla.....	49

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Fotografía 7. Pileta llena lista para iniciar el tratamiento con nanoburbuja de oxígeno Fecha: 31 de mayo de 2021 .....	50
Fotografía 8. Iniciando tratamiento con nanoburbuja de oxígeno. Fecha: 31 de mayo de 2021 Hora: 9:00am .....	51
Fotografía 9. Pileta con agua del Lago de Amatitlán durante el tratamiento de Nanoburbuja de oxígeno. Fecha : 02 de junio de 2021 .....	52
Fotografía 10. Pileta con agua del Lago de Amatitlán después de 2 horas con el tratamiento de Nanoburbuja de oxígeno.....	53
Fotografía 11. Pileta con agua del Lago de Amatitlán donde se observa espuma por el tratamiento de Nanoburbuja de oxígeno después de 6 horas de tratamiento .....	54
Fotografía 12. Pileta con agua del Lago de Amatitlán donde se observa abundante espuma después de 10 horas de tratamiento con Nanoburbuja de oxígeno.....	55
Fotografía 13. Toma de muestra de parte del personal de Laboratorio de AMSA para análisis de la calidad de agua 2 horas posterior al tratamiento de nanoburbujas Fecha: 31 de mayo de 2021.....	56
Fotografía 14. Toma de muestra para análisis microscópico Mónica Martínez 8 horas posterior al tratamiento con nanoburbujas de oxígeno .....	57
Fotografía 15. Apariencia de la pileta en la última etapa de tratamiento con nanoburbujas de oxígeno. Fecha: 11 de junio de 2021 con 15 horas de tratamiento con nanoburbujas de oxígeno .....	58
Fotografía 16. Apariencia de la pileta al finalizar el tratamiento con nanoburbujas de oxígeno Fecha: 11 de junio de 2021 después de 15 horas de tratamiento de nanoburbuja, y 2 horas después de apagar el sistema. ....	59
Fotografía 17. Apariencia del agua de la pileta, proveniente del Lago de Amatitlán después de 6 horas de tratamiento. Fecha: 2 de junio de 2021 Primer día de tratamiento. Fecha mayo.....	60
Fotografía 18. Apariencia del agua proveniente de la pileta, del Lago de Amatitlán con 8 horas de tratamiento con nanoburbuja de oxígeno .....	61
Fotografía 19. Apariencia del agua proveniente de la pileta, del Lago de Amatitlán con 8 horas de tratamiento con nanoburbuja de oxígeno al dejar reposar por dos horas.....	62
Fotografía 20. Secuencia de la apariencia del agua provenientes de la pileta con agua del Lago de Amatitlán con 15 horas de tratamiento Fecha: 11 de junio de 2021 .....	63
Fotografía 21. Secuencia de la apariencia del agua de la pileta con agua proveniente del Lago de Amatitlán durante el tratamiento con vista de las etiquetas con fecha (Del 31 de mayo al 11 de junio de 2021.....	64
Fotografía 22. Fotos comparativas de agua de la pileta antes y después del tratamiento donde se observa recuperación del espejo de agua. ....	65
Fotografía 23. Toma de pH in situ con sonda de oxígeno prestada por IBAGUA ONG. Fecha: 11 de junio de 2021 .....	66
Fotografía 24. Toma de concentración de oxígeno con sonda prestada por IBAGUA ONG. Fecha: 11 de junio de 2021 .....	67
Fotografía 25. Toma de pH con papel pH proporcionado por IBAGUA ONG. Fecha: 11 de junio de 2021.....	68
Fotografía 26. Vista microscópica del agua de la pileta con 40X como un aporte adicional para el proyecto.. Fecha : 02/06/2021.....	69

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Fotografía 27. Vista microscópica 10X del agua de la pileta. como un aporte adicional para el proyecto..	
Fecha : 02/06/2021.....	70
Fotografía 28. Imagen de publicación de Curso Taller Exclusivo para AMSA .....	73
Fotografía 29.. Imagen de publicación de Curso Taller Exclusivo para AMSA con las conferencistas nacionales e internacionales.....	74
Fotografía 30. Recorrido al lago de investigadores del proyecto AP-12 DIGI 2021 y equipo de IBAGUA ONG	75
Fotografía 31. Muestra del agua del Lago de Amatitlán.....	76
Fotografía 32. Investigadora Evelyn Rodas, proyecto DIGI AP-12- 2021 y colaboradores de IBAGUA ONG ....	77
Fotografía 33. Investigadoras del proyecto DIGI AP-12-2021 Evelyn Rodas Pernillo y Mónica Hernández y grupo de colaboradores de IBAGUA ONG.....	78
Fotografía 34. Investigadora Evelyn Rodas y colaboradores de IBAGUA ONG.....	79
Fotografía 35. Ingeniero Ambiental Sebastián Escobar y disertante de la parte presencial del Taller Exclusivo para AMSA. FECHA: Del 8 al 11 de junio de 2021 .....	80
Fotografía 36. Investigadoras Evelyn Rodas Pernillo y Mónica Martínez con el Ingeniero Sebastian Escobar conferencista colaborador de IBAGUA ONG previo al curso taller. Fecha: 02/06/2021 .....	81
Fotografía 37. Participantes del Curso con el Ingeniero Escobar. Fecha: 8 de junio de 2021 .....	82
Fotografía 38. Participante del Curso con el Ingeniero Escobar .....	83
Fotografía 39. Participantes del Curso Taller con el Ingeniero Escobar.....	84

### 2. Resumen y palabras claves

Debido a la contaminación de la mayoría de los cuerpos de agua en Guatemala, hay muy pocas fuentes hídricas con calidad apta para consumo humano. El acceso al recurso hídrico para las comunidades a orillas del lago de Amatitlán es limitado a pesar de la cercanía. El lago recibe aguas residuales domiciliarias e industriales sin ningún tipo de tratamiento para su descarga. Estas aguas contienen agentes patógenos que causan enfermedades gastrointestinales en la población, siendo un problema relevante, ya que es la segunda causa de enfermedad en el municipio de Amatitlán. El objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible es el de agua limpia y saneamiento, por lo que con este proyecto se busca cumplir con este objetivo de una manera sostenible y eficaz utilizando tecnologías limpias e innovadoras que han demostrado mayor eficiencia en la descontaminación en el tratamiento de aguas para obtener agua apta para consumo humano. Se propone la aplicación de del uso de nanoburbujas en un sistema de potabilización en el cual se determine la eficiencia en la remoción de contaminantes después del tratamiento de una muestra de agua del lago de Amatitlán.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

El objetivo del presente proyecto fue obtener agua potable para las comunidades de las orillas del lago de Amatitlán utilizando un sistema de tratamiento de agua aplicando nanoburbujas de oxígeno y de ozono principalmente. Se determinó el efecto de la nanoburbuja primero con oxígeno comprimido en tanques y luego del aire, no fue posible hacer la medición usando ozono. Para evaluar el efecto se tomó una muestra de 33,000 L (m<sup>3</sup>) de agua del lago del 31 de mayo al 11 de junio de 2021, se bombeó a una pileta ubicada en la estación acuática en Asociación de Amigos del Lago (AMSA), se corrió el panel de análisis de la calidad de agua que el Laboratorio de AMSA ya tiene establecido, solamente fue posible realizar 8 tomas de muestras durante dos semanas, tomando las muestras los días lunes, miércoles y viernes. Para esta prueba se utilizó un sistema generador de Nanoburbuja prestado y se le denominó “Prueba de calibración”.

Los resultados obtenidos con el equipo generador de nanoburbuja con inyección de oxígeno puro como tratamiento de la muestra del agua del Lago de Amatitlán fueron alentadores ya que se observó mejora de la calidad del agua, porque se obtuvo disminución de los parámetros fisicoquímicos *in situ* como pH en un 11.50%, conductividad eléctrica en un 3.94 % y TDS en un 3.94% y de laboratorio como Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO5) en un 40%, Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO en un 66.28%, Fósforo Total en un 54.82%, Nitrógeno Total en un 68.70%, los microbiológicos se encontraron debajo del límite máximo permisible de la norma 236-2006, sin embargo, aún están por sobre el límite de lo permitido por la norma COGUANOR NTG 29,001 para agua potable.

Estos resultados de las pruebas preliminares muestran que el uso de la nanoburbuja, provee una tecnología limpia y sostenible que debe evaluarse como una alternativa para mejorar la calidad del agua, inclusive su potabilización. Otras de las posibles aplicaciones de la nanoburbuja, de acuerdo con la bibliografía, es que puede ser utilizada para el tratamiento de aguas residuales generadas en áreas o viviendas sin acceso a una red de saneamiento centralizada y para tratar cuerpos de agua eutrofizados ya que también disminuyó la concentración de los nutrientes que favorecen el florecimiento de las cianobacterias (nitrógeno y fósforo) (Wetzel, 2001 y Roldán & Ramírez, 2008), en este caso de la cianobacteria *Microcystis* en el lago de Amatitlán.

- *Nanotecnología, agua residual, eutrofización, DBO5, DQO*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–

### 3. Introducción

No es de sorprenderse que la contaminación sea uno de los principales problemas que preocupan a la sociedad, en términos de salud, ambiente y economía (Abdel-Raouf, Al-Homaidan & Ibraheem, 2012). Con el aumento en la preocupación de la eutrofización en lagos y ríos, los estándares de regulación de aguas residuales más estrictos, ha aumentado la búsqueda de alternativas para el tratamiento de aguas residuales por parte de ingenieros e investigadores (Ge y Champagne, 2016).

El lago de Amatitlán se encuentra en el departamento de Guatemala, a 28 kilómetros de la ciudad capital. Recibe las aguas residuales domiciliarias e industriales (23% de la ciudad) sin ningún tipo de tratamiento para su descarga, los que se convierten en nutrientes para algas y un reservorio de patógenos que causan enfermedades gastrointestinales. Esta alta cantidad de nutrientes que ingresa al lago ha causado un aumento desmedido en la productividad primaria, causando eutrofización y florecimientos de la cianobacteria *Microcystis* durante la mayor parte del año (División de Control y Calidad Ambiental y Manejo de Lagos [AMSA], 2015).

Se han utilizado diferentes técnicas para la degradación de los contaminantes orgánicos en las aguas residuales como procesos físicos, biológicos, químicos, pero estas tecnologías son limitadas según condiciones externas o toman mucho tiempo para lograrse. La oxidación química es más eficiente que los métodos biológicos, utilizando el ozono, oxígeno y hasta el aire para poder degradar la materia orgánica a dióxido de carbono y agua. Sin embargo, tienen una deficiencia al mantenerse disueltos en el agua (Xia y Hu, 2019).

Existen algunas evidencias sobre el uso de nanoburbujas como tratamiento de aguas residuales. Las propiedades principales de las nanoburbujas son su alta estabilidad, longevidad y una rápida adhesión a superficies hidrofóbicas. Estas particularidades abren el potencial de sus aplicaciones en áreas como limpieza de superficies, remoción de contaminantes, mejoramiento de los sistemas de energía, medicina, fluidos y aceleración del metabolismo en especies vegetales y animales en la agricultura (Azevedo et al, 2016). En el ámbito de la nanotecnología ambiental, la cual es una disciplina que estudia las propiedades de materiales naturales y hechos por el hombre a escala nano, sus aplicaciones y técnicas para su caracterización, procesos de integración y su transformación para los ecosistemas. Las nanoburbujas tienen la capacidad de cambiar las

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

características normales del agua y han llamado la atención por su estabilidad y que pueden durar desde algunos minutos hasta algunos meses en soluciones acuosas (Cruz y Valverde, 2017). La aplicación de un sistema potabilizador de agua utilizando las nanoburbujas, puede ser una tecnología innovadora y complementaria para la purificación del agua del lago de Amatitlán y que pueda ser consumida por las poblaciones alrededor del mismo.

#### 4. Planteamiento del problema

La contaminación del lago de Amatitlán proviene de los municipios que forman la cuenca del lago: Guatemala, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, parte de Santa Catarina Pinula y Amatitlán, con una población de aproximadamente 2.2 millones de habitantes. Recibe desfogues de los ríos Villalobos, Malena, Mico y Barretal, transportando sedimentos, desechos domiciliarios y grandes cantidades de basura. La extracción de materiales, áreas agroindustriales, deforestación y el uso de productos agroquímicos, aumenta la carga de contaminantes en el agua del lago. Para el manejo de los desechos líquidos, se han construido 24 plantas de tratamiento, de las cuales ninguna funciona adecuadamente según evaluaciones que ha realizado la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán -AMSA-. De las industrias que descargan sus desechos al lago, solamente el 1% utiliza sistemas de pre-tratamiento de aguas, lo que hace insostenible el uso del lago como fuente de agua para los poblados que lo rodean (Consejo Municipal de Desarrollo y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2011).

La falta de sistemas de tratamiento de agua eficientes para remover contaminantes y patógenos de las descargas al lago, conllevan a una calidad de agua que no es apta para consumo. Las principales causas de enfermedad de la población de Amatitlán son las respiratorias y las gastrointestinales, estas últimas relacionadas con la calidad del agua para consumo humano, las enfermedades dérmicas son frecuentes en menores de un año (Consejo Municipal de Desarrollo y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2011).

La contaminación constante del lago de Amatitlán ha producido daños diversos como la pérdida del manto acuático y el riesgo a futuro de la imposibilidad de recuperar la salud del lago de Amatitlán. Los contaminantes vertidos producen el crecimiento de cianobacteria por la alta carga

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

de nutrientes, esto se ha medido en nutrientes como fósforo, nitrógeno y materia orgánica. La presencia de patógenos como las coliformes, principalmente *E. coli*, son indicadoras de que el agua ha tenido contacto con heces fecales, por lo que el agua no es apta para consumo. Es importante el implementar un sistema de tratamiento del agua que sea eficaz para remover estos contaminantes, pero que no requiere altos costos de operación. Se pueden hacer intervenciones locales con tecnología de nanoburbujas que, con un sistema añadido de desinfección, ayudaría a reconvertir el agua del agua en agua potable (según la norma COGUANOR NTG 29001). Será necesario medir el aporte de oxígeno que se puede lograr al introducir las nanoburbujas de aire y la reducción de materia orgánica y patógenos para contar en un plazo menor a 5 días con mejoras en la calidad del agua de las orillas del lago de Amatitlán. Las nanoburbujas se han usado eficientemente para mejorar la calidad del agua con propósitos diferentes a los que se plantean en este proyecto, por lo que se valoró lo que esta tecnología puede aportar a la mejoría de la calidad del agua de una muestra de agua del lago de Amatitlán.

### 5. Delimitación en tiempo y espacio

#### 5.1 Delimitación en tiempo

Se colectó el agua del lago de Amatitlán el día 31 de mayo. Se aplicó la nanoburbuja de oxígeno desde ese día hasta el 11 de junio.

#### 5.2 Delimitación espacial

Se llevó a cabo en una pileta que se llenó con una muestra de agua del Lago de Amatitlán ubicada a orillas del lago de Amatitlán, en la estación Acuática de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán - AMSA – durante el período del 31 de mayo al 11 de junio de 2021, presentando probabilidad de lluvia del 30%, sensación térmica 29°C, humedad de 50% mayormente soleado.

### 6. Marco teórico

Nutrientes:

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

El carbono, hidrógeno, nitrógeno, y fósforo son los elementos principales que constituyen los organismos. El nitrógeno y el fósforo son los dos elementos principales para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos. El fósforo proviene de la disolución de las rocas y la mineralización de la materia orgánica que retorna al medio por la descomposición microbiana. El nitrógeno tiene como fuente principal el nitrógeno atmosférico, que también regresa al medio por la descomposición de la materia orgánica. El nitrógeno es mucho más abundante en el agua que el fósforo y es de disponibilidad más inmediata. Es por esto que se considera al fósforo un factor más limitante que el nitrógeno. La contaminación orgánica, industrial y agrícola es hoy día una de las fuentes más importantes de nitrógeno y fósforo en el agua, siendo los principales responsables de la eutrofización en el agua (Roldán & Ramírez, 2008).

### Eutrofización:

La eutrofización es el proceso de un aumento de la productividad en los cuerpos de agua (Wetzel, 2001). La eutrofización es causada principalmente por el nitrógeno y fósforo que ingresan al cuerpo de agua (Roldán & Ramírez, 2008). La eutrofización natural ocurre normalmente pero se ve acelerado por medio de algún tipo de actividad humana como las actividades agrícolas, manejo de la cobertura vegetal, vertimientos industriales y domésticos en los ecosistemas acuáticos (Roldán & Ramírez, 2008).

Este problema es más agudo en los trópicos donde, las condiciones de medianas a altas temperaturas prevalecen a lo largo del año, por lo que los nutrientes son utilizados por las algas y plantas acuáticas de forma permanente (Roldán & Ramírez, 2008). Ocasiona el aumento de la producción en términos de biomasa, disminución de diversidad de especies, fuertes fluctuaciones de oxígeno disuelto, dióxido de carbono y pH en el ciclo día-noche, alta demanda bioquímica de oxígeno en el fondo y aparición de densas masas de algas y vegetación acuática que impiden el paso de la luz y exceden la capacidad de herbívora. Cuando la vegetación muere, aumenta la materia orgánica en descomposición y podría llevar al lago a una distrofia o su desaparición (Roldán & Ramírez, 2008).

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

### Aguas residuales:

La contaminación del agua ocurre cuando se le añaden sustancias alóctonas (ajenas al sistema) que deterioran su calidad. Esto incluye elementos en el agua, ya sea compuestos o microorganismos que pueden afectar la salud del hombre o animales que la beben. Las principales fuentes de contaminación son las generadas como desechos de las industrias, la agricultura y los desechos domésticos (Roldán & Ramírez, 2008). La falta de tratamiento de sus aguas residuales industriales y domésticas ha causado la contaminación de los ecosistemas acuáticos al ser los sitios de descarte.

El tratamiento de las aguas residuales ocurre en diferentes fases: el tratamiento primario es un proceso mecánico en donde se remueven partículas de hasta 0.2mm. El tratamiento secundario es de carácter biológico y para eso se utilizan lodos activados. Esto es una masa de microorganismos que degradan la materia orgánica y la consume en un proceso aeróbico. El tratamiento terciario consiste en la remoción de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) que puede realizarse utilizando vegetación acuática o microalgas, ya que estas tienen la capacidad de asimilar y retener los nutrientes y contaminantes (Roldán & Ramírez, 2008).

### Nanoburbujas:

Se suele nombrar nanoburbujas a las burbujas que miden menos de 50  $\mu\text{m}$ . Por otro lado, las microburbujas son las que miden entre 10-50  $\mu\text{m}$  de diámetro. Algunos investigadores prefieren utilizar el término micro-nanoburbujas para evitar confusión, ya que no hay una definición general (Tekile, Kim y Lee, 2018). Debido a su tamaño, presentan altas presiones internas y tasas de transferencia de masa rápidas, las cuales pueden mejorar significativamente la solubilidad del gas. Comparadas con las burbujas normales, las micro-nano burbujas tienen una velocidad de flotación menor en fase líquida y permanecen por períodos largos (Argawal, Jern y Liu, 2011; Hu y Xia, 2018). Debido a esta permanencia prolongada en el agua, pueden desplazarse con las corrientes y proveer un suministro continuo de gas para la fase de disolución. Otra característica es el área superficial específica le otorga una capacidad considerable de adsorción de contaminantes. Las características especiales del gran área de superficie con una carga negativa y alta eficiencia de transferencia de masa, las hacen una técnica con muchas ventajas en la descontaminación

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

ambiental (Hu y Xia, 2018). Pueden remover tintes industriales y pesticidas (Khuntia, Kumar y Ghosh, 2012). El ozono es el más utilizado para las nanoburbujas, debido a que es uno de los desinfectantes más efectivos para inactivar patógenos en agua. Como un fuerte oxidante, es muy efectivo para eliminación de bacterias como *E. coli*, virus y especialmente parásitos protozoarios que forman esporas como *Giardia* y *Cryptosporidium*, que son típicamente resistentes a la mayoría de desinfectantes (Tekile, Kim y Lee, 2018). Otra ventaja del tratamiento de agua residual con nanoburbuja es que produce menos lodos a comparación de otras tecnologías de las plantas de tratamiento (Ahmadi *et al*, 2018).

### 7. Estado del arte

Debido al potencial de las nanoburbujas en aplicaciones en diversas áreas, como la bioactividad, eficiencia en la transferencia de masa, la creación de radicales libres sin el uso de químicos tóxicos, puede tenerse un gran abanico de aplicaciones para medios biológicos. Dentro de estas se encuentra el equipo médico, limpieza de membranas, regeneración de filtros. Es una tecnología limpia, poco costosa y amigable al ambiente que tiene mucho potencial que aún debe ser evaluado (Agarwal, Jern y Liu, 2011).

Dentro de las aplicaciones de las nanoburbujas se encuentra que el agua con nanoburbujas de nitrógeno y aire promueven la actividad fisiológica en semillas, mejorando el porcentaje de germinación (Liu *et al*, 2013) y también promueve el crecimiento de plantas, peces y ratones (Ebina *et al*, 2013; Senthilkumar *et al*, 2018). En el área de la medicina se utilizan para encapsular y transportar drogas anticáncer (Senthilkumar *et al*, 2018).

En años recientes, el potencial de aplicación de las micro-nanoburbujas en la ingeniería ambiental, se ha convertido en un foco para investigación (Hu y Xia, 2017). Las nanoburbujas también pueden ser utilizadas para el tratamiento y limpieza de agua de pantanos *in situ*, removiendo materia orgánica, nutrientes y olores (Rameshkumar *et al*, 2019). El agua subterránea también puede ser tratada con nanoburbujas, ya que las nanoburbujas permanecen en las gotas de agua que son infiltradas por el suelo, oxigenando las aguas subterráneas para la degradación de los contaminantes (Li *et al*, 2014).

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

### 8. Objetivos

#### General:

Obtener agua potable para las comunidades de las orillas del lago de Amatitlán utilizando un sistema de tratamiento de agua con nanoburbujas.

#### Específicos:

1. Evaluar la calidad del agua tratada con un sistema de tratamiento de agua con nanoburbujas.
2. Calcular el porcentaje de eficiencia del tratamiento de nanoburbujas.

### 9. Hipótesis

La calidad del agua obtenida del lago de Amatitlán cumple con las normas COGUANOR en la categoría de agua apta para consumo humano después de ser tratada con el sistema de tratamiento de agua con nanoburbujas de oxígeno y ozono.

### 10. Materiales y Métodos

#### 10.1. Enfoque de la investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo.

#### 10.2. Método

Para obtener agua potable para las comunidades de las orillas del lago de Amatitlán se propuso utilizar un sistema de tratamiento de agua aplicando nanoburbujas de oxígeno y de ozono principalmente. Durante el período de realización del proyecto no fue posible que se adjudicara la compra del equipo solicitado por lo que se realizaron pruebas preliminares. El Generador de Nanoburbuja K-RAN200 que se utilizó para éstas pruebas cumplió con las características especificadas para la realización del proyecto de investigación, éste se obtuvo a través del apoyo de la Organización No Gubernamental “Asociación para la Investigación e Innovación Biotecnológica

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

por el Agua, IBAGUA ONG y la colaboración del Laboratorio de Control de la Calidad Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán AMSA. Se determinó el efecto de la nanoburbuja primero con oxígeno comprimido en tanques y luego con oxígeno del aire. No fue posible hacer la medición usando ozono. Para evaluar el efecto se tomó una muestra de 33,000 L (m<sup>3</sup>) de agua del lago del 31 de mayo al 11 de junio de 2021, que se bombeó a una pileta ubicada en la estación acuática. Personal del laboratorio de AMSA tomó muestras y se efectuó el panel de análisis de la calidad de agua que AMSA ya tiene establecido, solamente fue posible realizar 8 tomas de muestras durante dos semanas, tomando las muestras los días lunes, miércoles y viernes durante las fechas anteriormente indicadas. A éstas pruebas preliminares se le denominó “Prueba de calibración”.

También se logró durante la prueba preliminar dar el Curso taller “Experiencias con nanotecnología y sus aplicaciones en la actualidad” dirigido exclusivamente al personal de AMSA, que consistía en una actividad virtual con expertos nacionales e internacionales en nanotecnología y un módulo presencial donde el equipo de investigación participó dando a conocer el equipo generador de nanoburbujas y su funcionamiento con una muestra de agua en la pileta de la Estación Acuática de AMSA.

En la “prueba de calibración” se llenó la pileta con 33,000 L (m<sup>3</sup>) de agua del lago de Amatitlán y probaron varias bombas determinándose que la mejor era una bomba sumergible tipo bala de 2 HP. Se utilizó un generador mecánico (no utiliza energía eléctrica) de nanoburbujas de 200L/ min KRAN200 con conexión a un cilindro de 100L de oxígeno (se utilizaron tres cilindros durante la prueba), luego del tratamiento con nanoburbuja de oxígeno puro se esperaba un posterior tratamiento de ozono pero no pudo realizarse ya que no se obtuvo préstamo de un equipo generador de ozono.

Los resultados obtenidos con el equipo generador de nanoburbuja con inyección de oxígeno puro como tratamiento de la muestra del agua del Lago de Amatitlán fueron alentadores ya que es capaz de mejorar la calidad del agua, porque se obtuvo disminución de los parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica y TDS y así como los microbiológicos, se obtuvieron valores finales menores del reglamento 236-2006 y la norma COGUANOR NTG 29,001.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

Con estos resultados favorables se había hecho una gran inversión en tanques de oxígeno por parte de los colaboradores de IBAGUA ONG, y se propuso repetir las “pruebas de calibración” con aire del medio ambiente para disminuir los costos, ya que el aire es una mezcla de gases, lamentablemente no se lograron los cambios esperados, concluyendo que la concentración de oxígeno puro y el tiempo de tratamiento influye directamente en los resultados por lo que se propone considerar utilizar un concentrador de oxígeno y ozono industrial de bajo consumo energético para inyectar de una manera continua (24/7) al generador de nanoburbujas oxígeno puro y ozono puro para lograr mejores resultados.

### **FASES DEL TRATAMIENTO DEL SISTEMA “Prueba de Calibración”:**

#### **FASE I**

##### **Llenado de pileta:**

Se bombearon 33 m<sup>3</sup> de agua de la orilla del lago de Amatitlán de dos lugares frente a la Estación de Acuática de AMSA, con dos metros de distancia entre ellos. La profundidad de extracción con la bomba sumergible fue de 50 cm, se buscó agua superficial para coleccionar la mayor cantidad de cianobacteria que se encuentra flotando. El agua se colocó en una pileta o piscina ubicada dentro de las instalaciones de la Estación Acuática de AMSA, con una capacidad de 43 m<sup>3</sup> (3.56 m de ancho, 6.74 m de largo y una altura promedio de 1.15 m). Se presentaron inconvenientes de fuga por lo que se intentó varios días el mismo procedimiento hasta que se optó por solicitar el apoyo de IBAGUA ONG para que adquiriera una lona impermeable que se colocó en todo el fondo y contorno de la pileta para evitar fugas.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Figura 1. Ubicación espacial de la toma de muestra y la ubicación de la piscina donde fue realizada la parte experimental. Fuente: IBAGUA, ONG 2021.*

**Pruebas con el equipo prestado KRAN200 con tanques de oxígeno:** Se hicieron todas las conexiones del equipo generador de Nanoburbujas marca KRAN200 a una bomba sumergible para lograr recirculación del agua y se le conectó un tanque de 100L de oxígeno donado por miembros de IBAGUA ONG, en total se utilizaron 3 recargas de oxígeno. Se solicitó que se tomara una muestra inicial por parte del personal de AMSA, luego se tomaron las muestras todos los días y luego un día sí y un día no, por dos semanas. Cabe mencionar que AMSA solo autorizó encender el sistema en días y horas hábiles por lo que se apagaba el sistema a las 5:00pm todos los días y no se encendía sábado ni domingo. Se tomaron en total ocho muestras, así mismo se procedió a tomar muestra para observar cambios macroscópicos y microscópicos, obteniendo resultados sorprendentes.

## FASE II

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

**Pruebas con el equipo prestado KRAN200 con aire del medio ambiente:** Luego de las dos semanas de pruebas se vació la pileta y se volvió a llenar. Ya que ya no se obtuvo donación para más recargas de oxígeno en tanque debido al costo elevado del mismo, resultó ser poco rentable, por lo que el equipo KRAN200 se procedió a utilizar con aire del ambiente, nuevamente por dos semanas más, respetando los horarios autorizados por AMSA. Durante la aplicación del sistema se observó que no se logró la presión oxígeno obtenida por los tanques y no hubo mayor cambio macroscópico por lo que se procedió a descartar utilizar solo el aire del ambiente para el generador de nanoburbujas y se procedió a proponer la necesidad de un concentrador de oxígeno y ozono para potabilizar.

### Recolección de información

Al momento de extraer el agua del lago de Amatitlán, se midieron los siguientes parámetros: pH (potencial de hidrógeno), temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, TDS (mg/l), oxígeno disuelto (mg/l) y el porcentaje de saturación de oxígeno (%). Se midieron también en las fechas: 1 de junio, 2 de junio, 3 de junio, 4 junio, 7 de junio, 9 de junio y 11 de junio para tener un historial del avance del tratamiento.

Se tomó una muestra de dos litros de agua en recipientes adecuados y serán transportados en una hielera con hielo al Laboratorio de la División de Control Ambiental de AMSA, donde fueron procesadas con las metodologías ya establecidas para sus objetivos institucionales.

Las muestras de registro y las muestras que fueron enviadas al laboratorio fueron tomadas con recipientes esterilizados, los parámetros que fueron medidos fueron fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados.

### 10.1 Técnicas e instrumentos

Para analizar la calidad de agua de la muestra se solicitó la colaboración del Laboratorio de Control de la Calidad Ambiental de AMSA. Los parámetros evaluados fueron: Temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto con la sonda WTW Oxi 1970i, pH con el potenciómetro HQ 30d Marca HACH Flexi, turbidez con el turbidímetro HACH 20100Q. Por otra parte, el nitrógeno total se midió siguiendo la metodología de Müller & Weideman

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

(1965), fósforo total, ortofosfatos, sólidos totales suspendidos y disueltos, coliformes totales y coliformes fecales fueron analizados siguiendo el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Eaton, et al. 2005). La demanda química de oxígeno (Noguero-Arias, et al. 2012), tensoactivos (Spectroquant, Test en cubetas tensoactivos aniónicos), clorofila *a*, silicatos (Spectroquant, Test de Silicatos, Ácido Salicílico) y arsénico por medio de espectrofotometría de absorción atómica-horno de grafito (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 31113B-As 2017). El Índice de Estado Trófico (IETP) se determinó a partir de la concentración de clorofila *a* y fósforo total a 0 m, cuya relación con la transparencia se calculó previamente, siguiendo la metodología propuesta por Carlson (Carlson, 1996). Para identificar los géneros de fitoplancton presentes en la muestra, se utilizó un microscopio invertido (Labomed TCM400) a un aumento total de 40x y 100x, utilizándose las claves de Bellinger & Sigee (2015), Komárková, Montoya & Komárek (2016) y Cronberg & Annadotter (2006). Para determinar el análisis cuantitativo de fitoplancton se efectuó utilizando la cámara Sedgwick-Rafter y un microscopio invertido (Labomed TCM400) a un aumento total de 40x, contando un total de 100 unidades naturales (colonias, filamentos o células) por muestra, con el objetivo de llegar a un valor estadísticamente significativo (error del  $\pm 20\%$ , con límites de confianza de 95%). Se escogió este valor, ya que, para reducir dicho error a la mitad, habría que cuadruplicar los recursos para llevar a cabo esta cuantificación (Clesceri *et al.*, 2005). La matriz para el análisis se expresó en abundancias relativas, es decir, el porcentaje de células/mL de cada género reportado, por punto de muestreo.

### 10.4.2. El equipo generador de nanoburbujas marca Kran, modelo KR200

Funciona debido a un diferencial de presión que genera efectos hidrodinámicos formando cavidades de gas dentro de un fluido. El tamaño de las burbujas ultra finas, BUF, generadas es de 10nm - 1000nm (moda: 100 – 180nm y media: 120 - 200nm) y en cada ciclo se generan 300 millones aproximadamente. La nanoburbuja permite una disminución de tensión superficial y mayor capacidad de saturación. Así mismo poseen carga negativa y alta presión interior y movimiento browniano. Las nanoburbujas interactúan con las moléculas individuales del fluido acuoso a tratar, permaneciendo en el medio de forma prolongada, lo que permite el incremento de

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

la movilidad de las moléculas así como una mayor degradación de materia orgánica por las bacterias aeróbicas. También hay generación de radicales libres que provoca un efecto sanitizador (Ver Fig. 2).

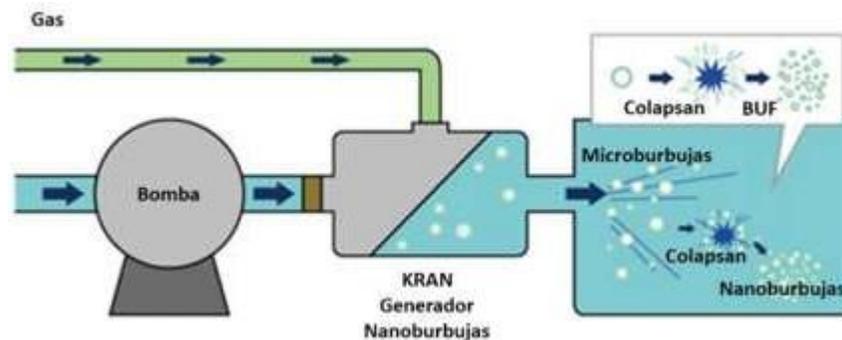


Figura 2. Esquema de generación de nanoburbujas (Fuente: Kran)

El equipo puede llegar a generar las BUF para 200 litros por minuto de caudal. (Ver Fig. No.3). El equipo generador de nanoburbuja utilizado se denomina K200, porque el numeral 200 se refiere al caudal nominal de la máquina (200 L/min), el equipo de manera general es de sencilla manipulación: posee dos manómetros, que indican la entrada y la salida de presión que posee, esto medido en “bares”, posee un caudalímetro que nos indica los litros por minuto de oxígeno y ozono, y un conector para un tubin.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

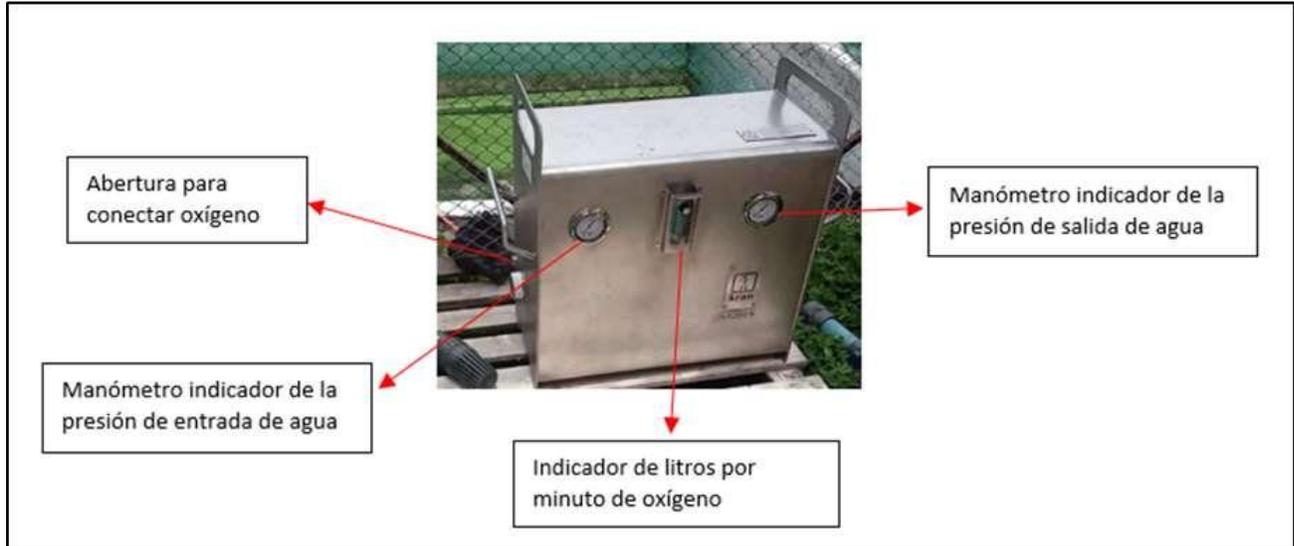


Figura 3. Equipo de generación de nanoburbujas K200 Fuente: IBAGUA, 2021

- Equipo concentrador de oxígeno y generador de ozono

El propósito de este dispositivo es suministrar oxígeno para aplicaciones que requieren altas concentraciones del mismo. Produce un gas al concentrar el oxígeno contenido en el aire del ambiente. El funcionamiento del dispositivo comienza con el aire aspirado hacia el filtro de entrada externo. Este aire filtrado ingresa al compresor a través de un resonador de succión y un filtro fino. El aire presurizado sale del compresor y entra en un sistema de válvula electrónica que dirige el aire a uno de los dos contenedores que tienen un tamiz molecular (lechos de tamices). El tamiz molecular adsorbe (atrae físicamente) el nitrógeno del aire cuando es forzado a través de los lechos del tamiz. Esto permite que el oxígeno pase antes de su entrega al regulador de presión. A medida que un recipiente genera el gas oxígeno, el otro purga el nitrógeno adsorbido, el nombre de este proceso es adsorción por cambio de presión (PSA). Después de pasar por el regulador, la válvula de ajuste del medidor de flujo establece la tasa de gas producto. Finalmente, a través de una válvula unidireccional y luego sale del dispositivo a través de una salida resistente al fuego. El propósito de la válvula unidireccional es evitar que el agua o el material ingresen al concentrador de oxígeno cuando la contrapresión es más alta que la presión que suministra el concentrador de oxígeno (Acniti, Japón, 2021).

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

La parte de generación de ozono de este dispositivo es una estructura que genera ozono en gas de la materia prima que es oxígeno con descargas finas (descargas silenciosas) generadas en el espacio del tubo triple de vidrio de cuarzo. La molécula de oxígeno ( $O_2$ ) que pasa a través de la descarga silenciosa se descompone en átomos de oxígeno ( $O$ ) por la descarga. Los átomos de oxígeno descompuestos intentan combinarse nuevamente para regresar a la molécula. En este momento el oxígeno atómico ( $O$ ) y el molecular ( $O_2$ ) se combinan y se genera una molécula de ozono ( $O_3$ ).

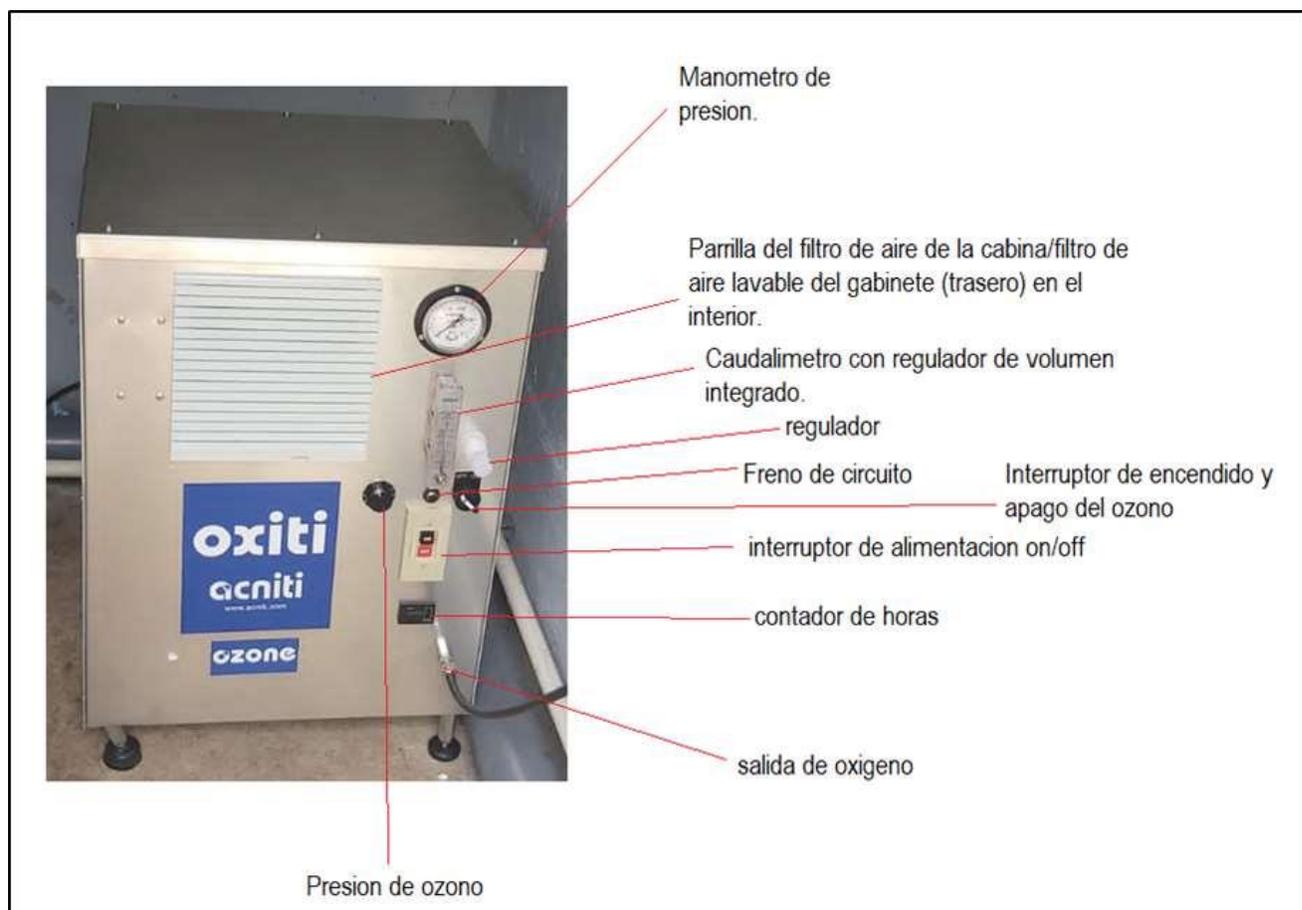


Figura 4. Equipo concentrador de oxígeno y generador de ozono. Fuente: IBAGUA, 2021

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

### 10.2 Procesamiento y análisis de la información

Se determinó la calidad del agua colectada para ser tratada y el agua tratada según los parámetros de: turbiedad, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos, cloro, dureza total, coliformes totales, *E. coli*, DBO<sub>5</sub>, DQO, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno.

Se calculó el porcentaje de eficiencia de estos parámetros y se calificó el agua tratada por el generador de nanoburbujas como potable o no potable según los límites permitidos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 para agua potable.

## 11. Resultados y discusión

### 11.1 Resultados:

En relación al cambio de los parámetros in situ del agua del Lago de Amatitlán, se observa la tendencia a la disminución del pH, la conductividad eléctrica y los TDS (Tabla No. 01).

*Tabla 1. Cambio de los parámetros in situ de una muestra del agua del Lago de Amatitlán, conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

Día	Fecha	Hora	pH	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Salinidad	TDS (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Porcentaje de saturación de oxígeno (%)
1	31/05/21	12:50	9.48	27.5	710	0.3	355	20.4	297
2	1/06/21	14:18	9.81	27	709	0.3	355	27.2	398
3	2/06/21	12:28	9.75	26.8	712	0.3	356	23.5	342
4	3/06/21	12:28	9.62	26.2	716	0.3	273	27.3	394
5	4/06/21	10:58	9.33	26.9	724	0.3	362	17.14	245
6	7/06/21	13:45	9.57	25.5	693	0.3	346	13.74	194.3
7	9/06/21	13:45	9.14	25.2	666	0.3	333	16.1	223
8	11/06/21	09:40	8.39	9.15	682	0.3	341	12.46	172.3

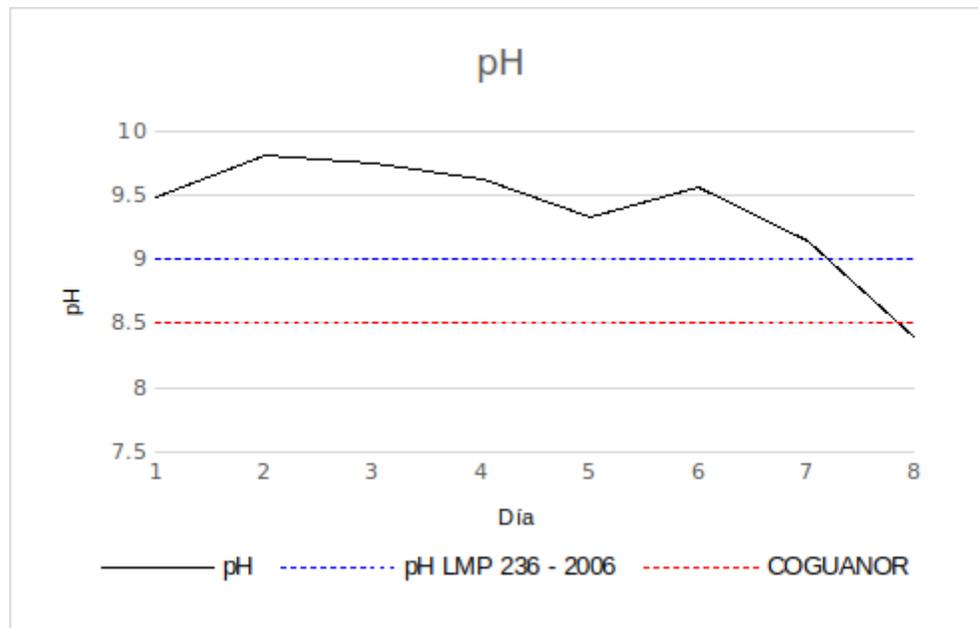
Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y manejo de lagos, 2021.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

En relación al cambio de los parámetros in situ del agua del Lago de Amatitlán, se observa la tendencia a la disminución del pH, la conductividad eléctrica y los TDS (Tabla No. 01).

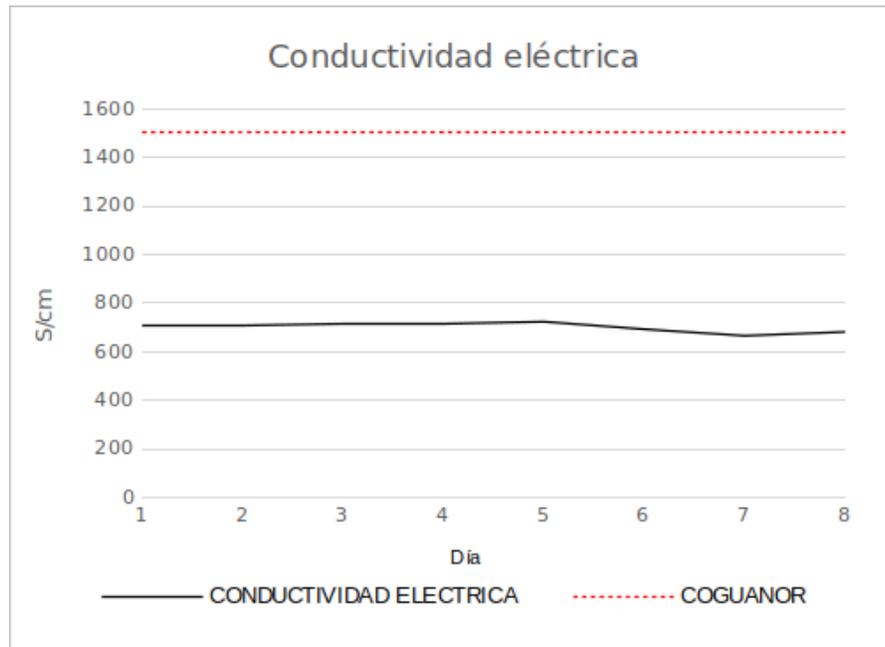
La gráfica No. 01 muestra la disminución del pH. En el último día alcanza un valor aceptable según la norma COGUANOR para el agua potable, acercándose a un pH neutro (valor 7).



*Gráfica 1. Cambio de pH de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

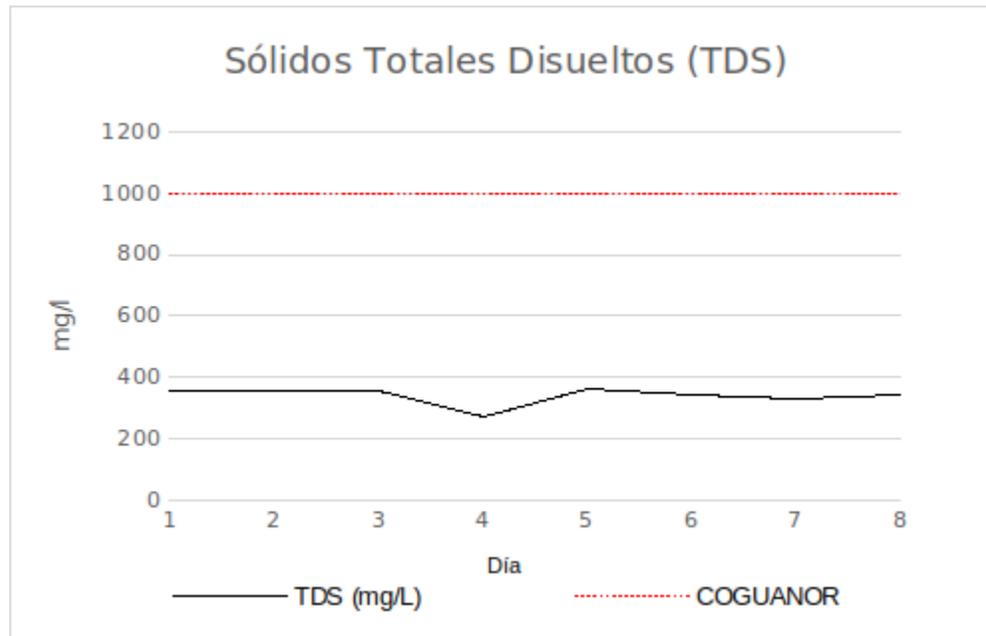


*Gráfica 2. Cambio de la conductividad eléctrica de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

Los valores de la conductividad eléctrica se mantienen debajo del límite según la norma COGUANOR para agua potable (Gráfica No. 02). Se observa que el valor más alto ocurrió en el día 5, pero disminuye al final de la prueba.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–

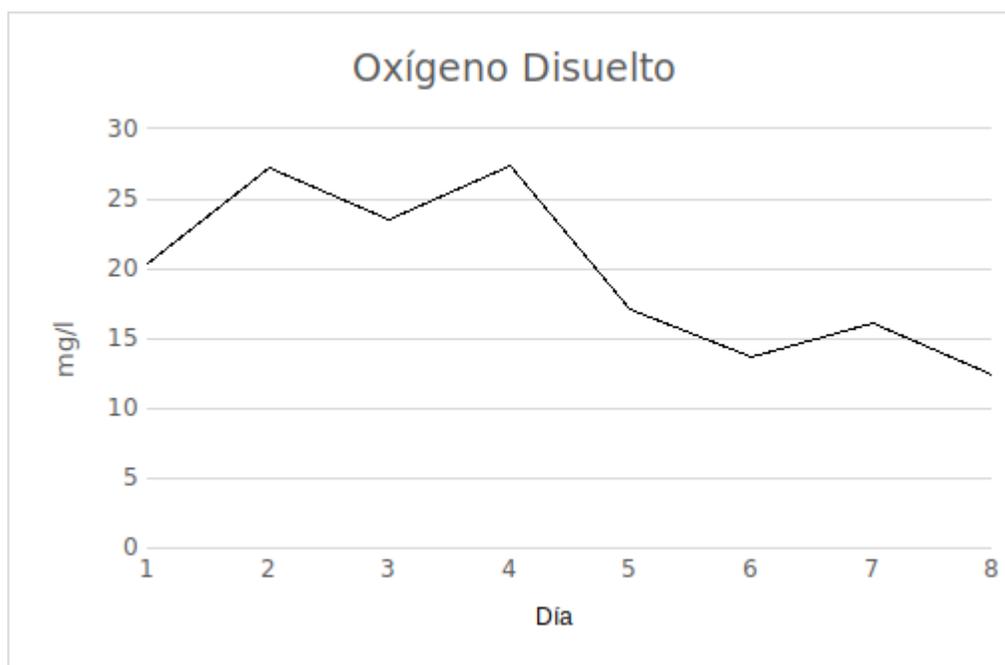


*Gráfica 3. Cambio de los sólidos totales disueltos (TDS) de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

Los sólidos disueltos totales, al igual que la conductividad eléctrica, se mantienen debajo del límite según la norma COGUANOR para agua potable. Se observa que el valor más alto ocurrió en el día 5, pero disminuye al final de la prueba (Gráfica No.3)

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Gráfica 4. Cambio del oxígeno disuelto (mg/l) de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

Durante la prueba de calibración se midió la concentración de oxígeno disuelto para asegurar que siempre hubiera una cantidad considerable de oxígeno en el agua (Gráfica No. 04).

*Tabla 2. Cambio de los parámetros fisicoquímicos de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

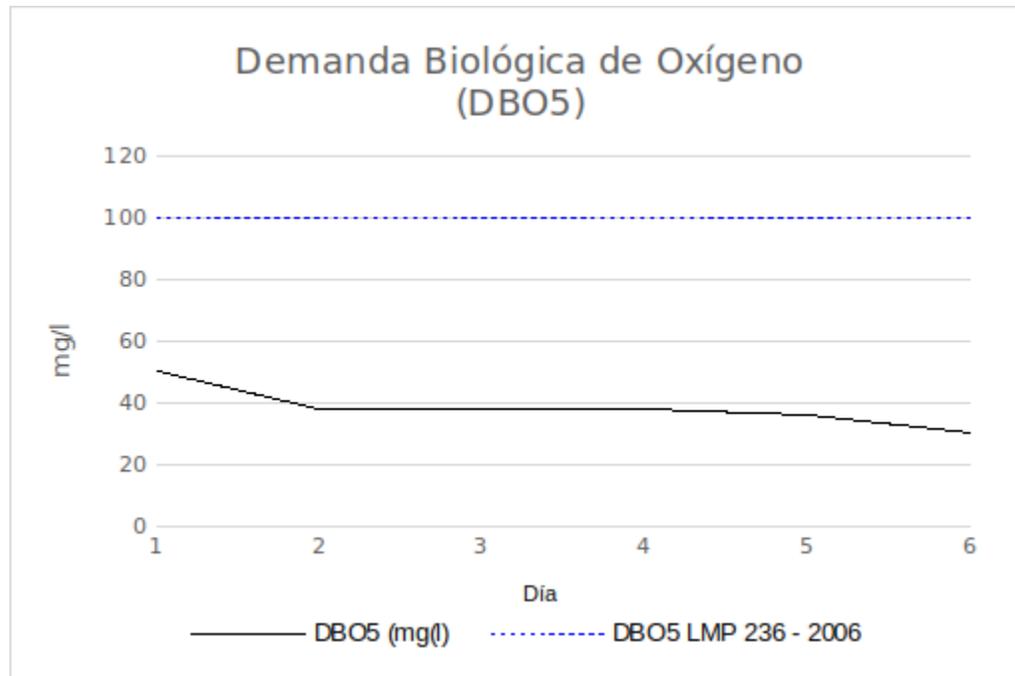
Día	Fecha	Hora	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Nitrógeno de amonio (mg/L)	Nitrógeno de nitrato (mg/L)	Nitrógeno de nitrito (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Silicatos
1	31/05/21	12:50	50	347	2.2797	0.5707	0.039	<0.0010	0.0024	16.5209	9.2723
2	2/06/21	12:28	38	121	1.0391	0.4014	0.057	<0.0010	0.0013	5.7111	5.8367
3	4/06/21	10:58	38	121	0.9961	0.4157	0.0264	<0.0010	0.0017	5.8178	6.0349
4	7/06/21	13:45	38	124	1.1015	0.4138	0.039	<0.0010	0.0031	7.0483	5.7854

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Día	Fecha	Hora	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Nitrógeno de amonio (mg/L)	Nitrógeno de nitrato (mg/L)	Nitrógeno de nitrito (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Silicatos
5	9/06/21	13:45	36	118	1.0858	0.4179	0.0208	<0.0010	0.0018	5.4173	5.6858
6	11/06/21	09:40	30	117	1.0267	0.4306	0.0292	<0.0010	0.0024	5.172	<5

Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y manejo de lagos, 2021.



*Gráfica 5. Cambio de la Demanda Biológica de oxígeno (DBO5) de una muestra del agua del Lago de*

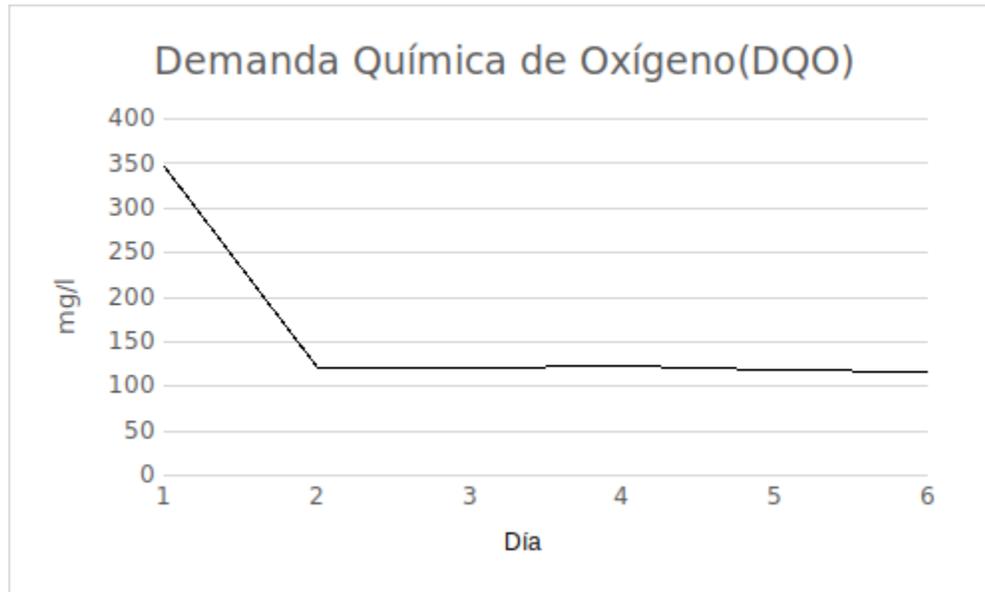
*Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

La demanda biológica de oxígeno (DBO5) se mantiene debajo del límite máximo permisible según la norma 236-2006 (no hay un valor máximo determinado por la norma COGUANOR). Se observa cómo disminuye la demanda del oxígeno conforme pasa el tiempo de la aplicación de la nanoburbuja (Gráfica No. 05).

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

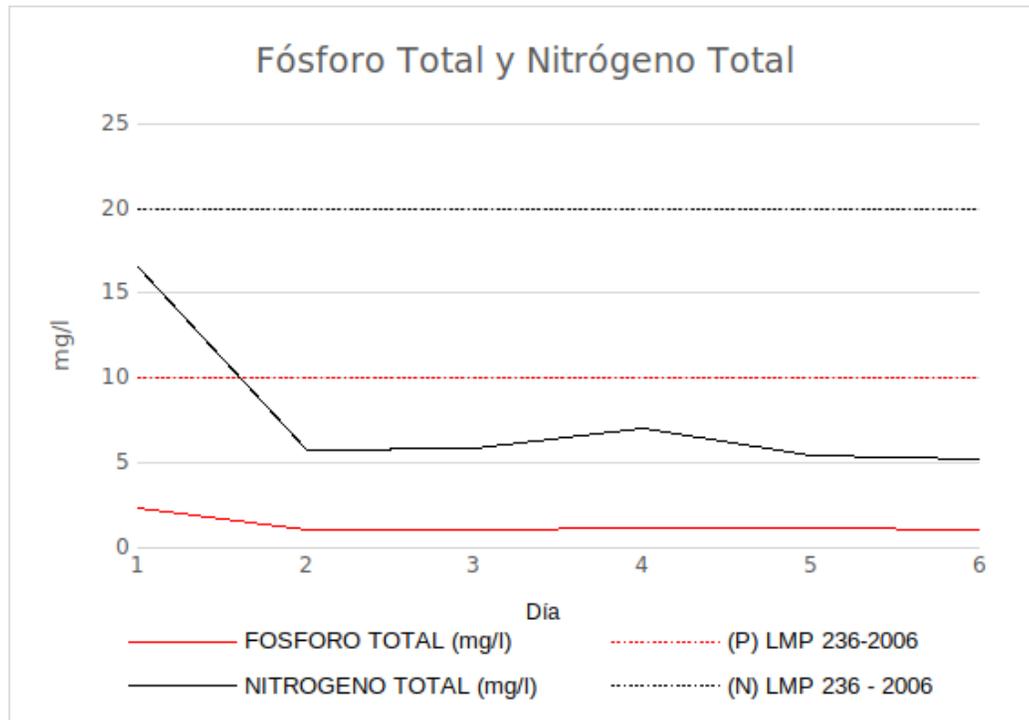
La demanda química de oxígeno muestra una disminución al paso de los días (Gráfica No. 06), sin embargo, se observa el mayor cambio a partir del segundo día de aplicación de la nanoburbuja. El día 4 aumenta en relación al día anterior, sin embargo, comienza a disminuir a partir del día siguiente.



*Gráfica 6. Cambio de la Demanda Química de oxígeno (DQO) de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–



*Gráfica 7. Cambio de la Demanda Química de oxígeno (DQO) de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

El fósforo total y el nitrógeno total se encuentran bajo el límite máximo permisible según la norma 236-2006 (Gráfica No. 07). Se observa la disminución de estos parámetros, principalmente del primer al segundo día de la prueba de calibración. En el día 4 aumenta el fósforo total, pero disminuye los días 5 y 6.

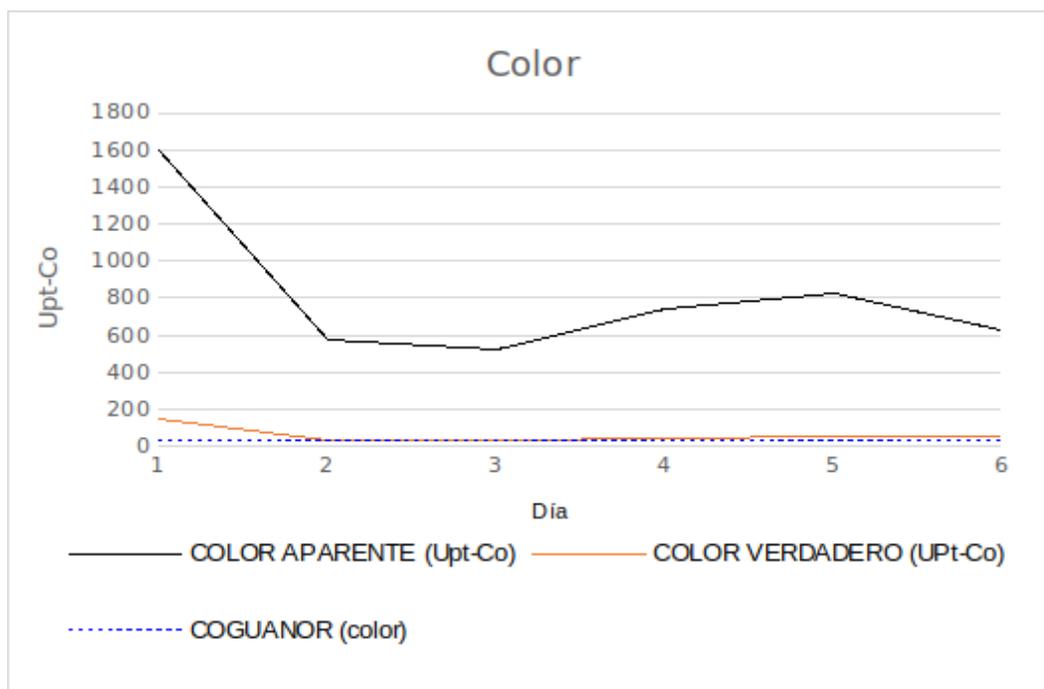
# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

*Tabla 3. Cambio de los parámetros fisicoquímicos y análisis microbiológicos de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

Día	Fecha	Hora	Color aparente (UPt-Co)	Color verdadero (UPt-Co)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Coliformes fecales (UFC/100MI)
1	31/05/21	12:50	1600	147	203	306	3.30E+02
2	2/06/21	12:28	580	37	82	133	7.80E+01
3	4/06/21	10:58	528	34	66	122	1.04E+02
4	7/06/21	13:45	744	44	82	169	6.80E+01
5	9/06/21	13:45	828	59	72	136	1.70E+02
6	11/06/21	09:40	624	52	54	110	7.80E+01

Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y manejo de lagos, 2021.

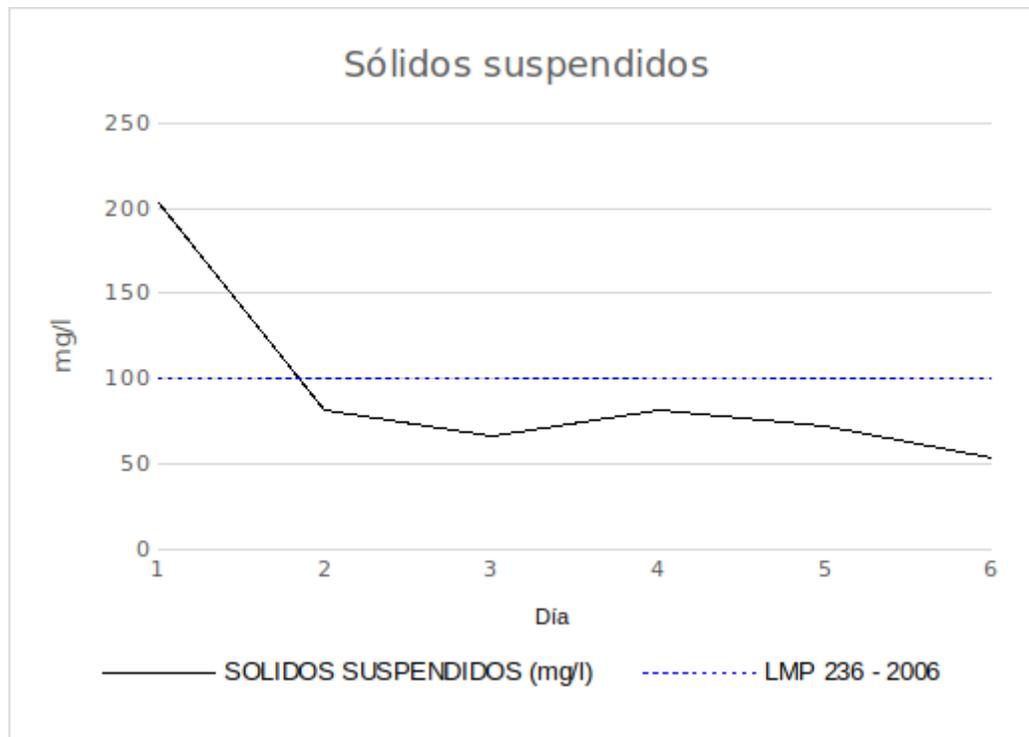


*Gráfica 8. Cambio del color (verdadero y aparente) de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI-

Hay una disminución del color (aparente y verdadero) luego de la aplicación de la nanoburbuja (Gráfica no. 07). Se observa un aumento en el día 4. Solamente el día 2 logra estar por debajo del límite permitido según la norma COGUANOR.

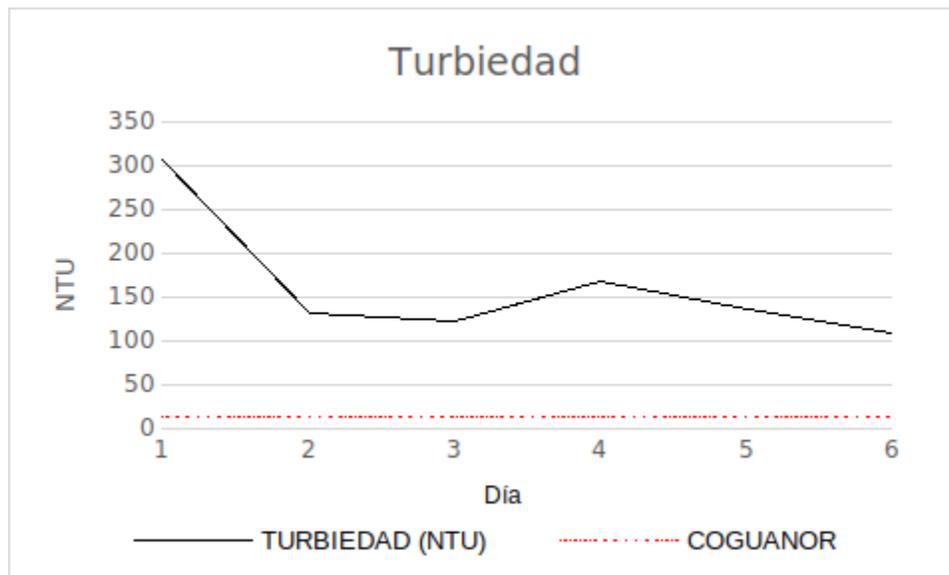


*Gráfica 9. Cambio de los sólidos suspendidos de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

Los valores de los sólidos suspendidos totales disminuyeron hasta estar debajo del límite máximo permisible según la norma 236-2006 a partir del segundo día (gráfica no. 08). El día 4 aumentan ligeramente, pero disminuyen en los días 5 y 6.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–



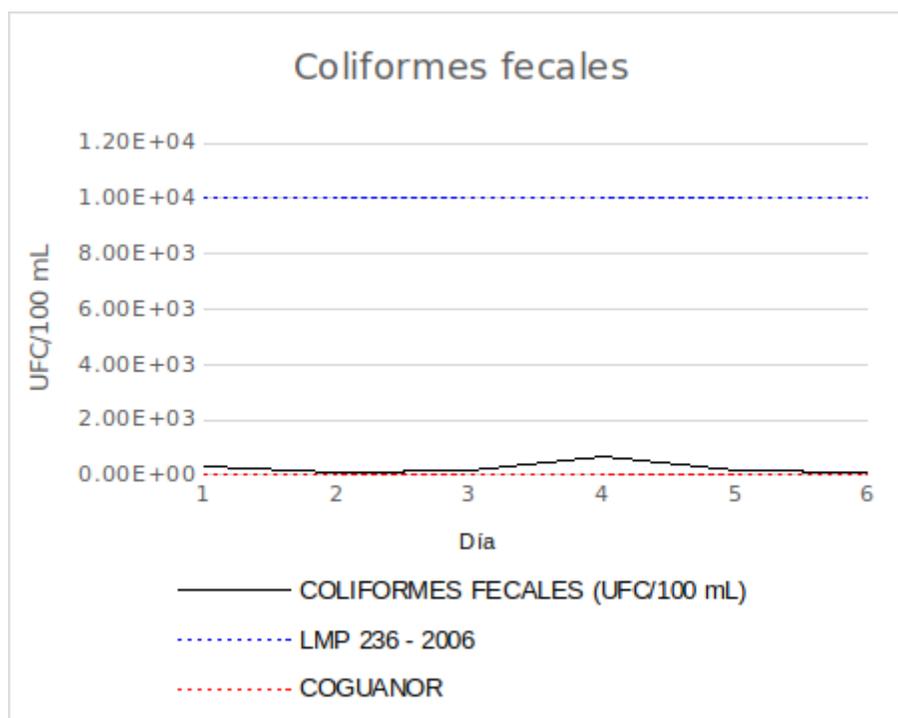
*Gráfica 10. Cambio de los sólidos suspendidos de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

La turbiedad está por sobre el límite según lo establecido en la norma COGUANOR para agua potable (gráfica no. 09), sin embargo se observa la disminución de los valores. El día 4 aumentan en relación al día 3, sin embargo continúan disminuyendo en los días 5 y 6. El comportamiento es muy similar al comportamiento de los sólidos suspendidos totales, observados en la gráfica anterior.

Las coliformes fecales disminuyeron, a excepción del día número 4 (gráfica no. 10). Los valores se encuentran bajo el límite máximo permisible de la norma 236-2006, sin embargo, aún están por sobre el límite de lo permitido por la norma COGUANOR para agua potable.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



Gráfica 11. Cambio de las coliformes fecales de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.

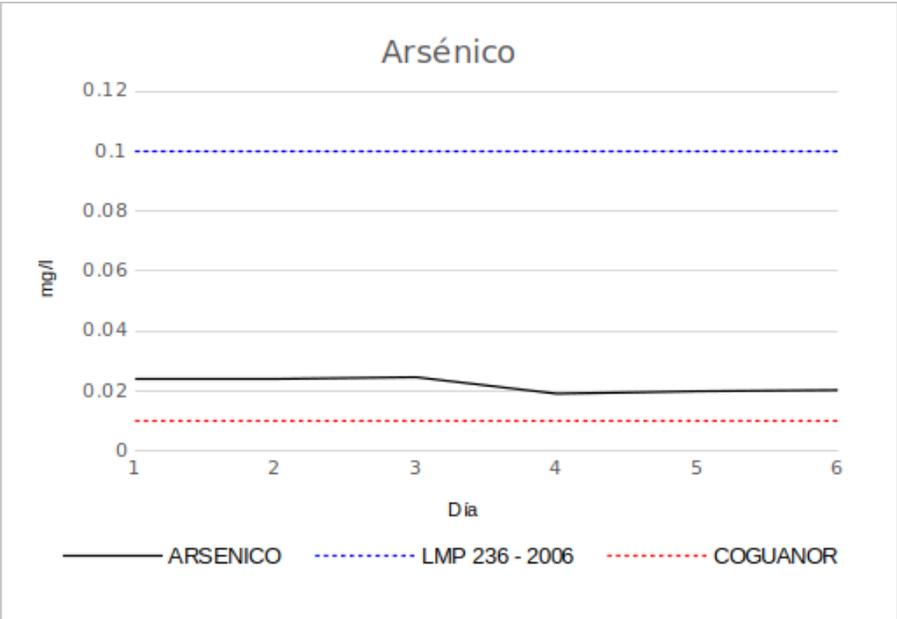
Tabla 4. Cambio de las concentraciones de los metales pesados de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno

Día	Fecha	Hora	Arsénico	Cadmio	Cromo total	Plomo	Mercurio	Cobre	Hierro
1	31/05/21	12:50	0.0238	0.0007	ND	0.0240	<0.0019	ND	<0.3375
2	2/06/21	12:28	0.0241	0.0008	ND	0.0204	ND	<0.0752	ND
3	4/06/21	10:58	0.0246	0.0007	ND	0.0219	ND	<0.0752	ND
4	7/06/21	13:45	0.0191	ND	<0.0034	0.0198	ND	<0.0752	ND
5	9/06/21	13:45	0.0199	0.0007	<0.0034	0.0176	ND	ND	ND
6	11/06/21	09:40	0.0203	0.0007	ND	0.0179	ND	ND	ND

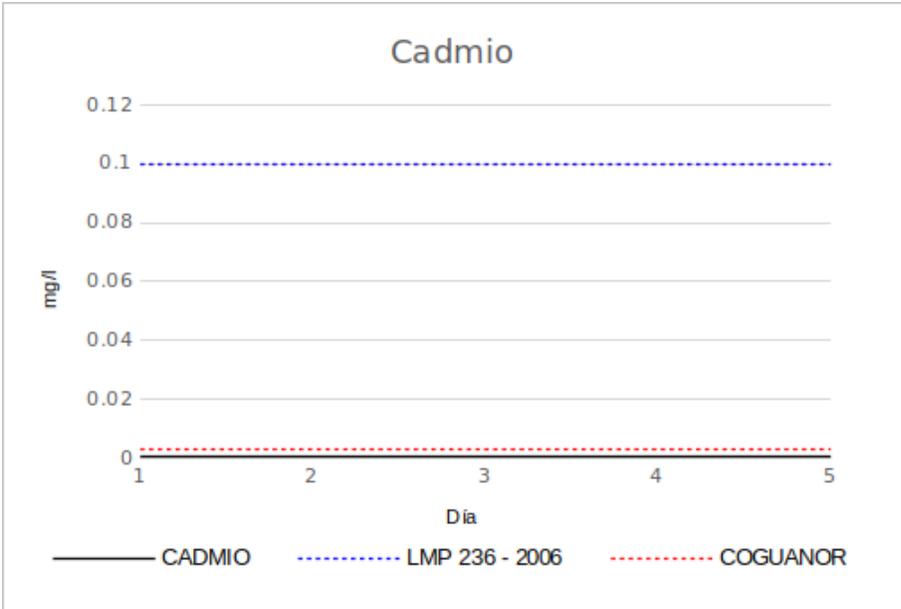
Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y manejo de lagos, 2021.

**Informe final proyecto de investigación 2021**  
 Dirección General de Investigación –DIGI-

El arsénico disminuye con el efecto de la nanoburbuja (Gráfica No. 11). Sin embargo, se mantiene por sobre el límite establecido por la norma COGUANOR para agua potable.



*Gráfica 12. Cambio del arsénico de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

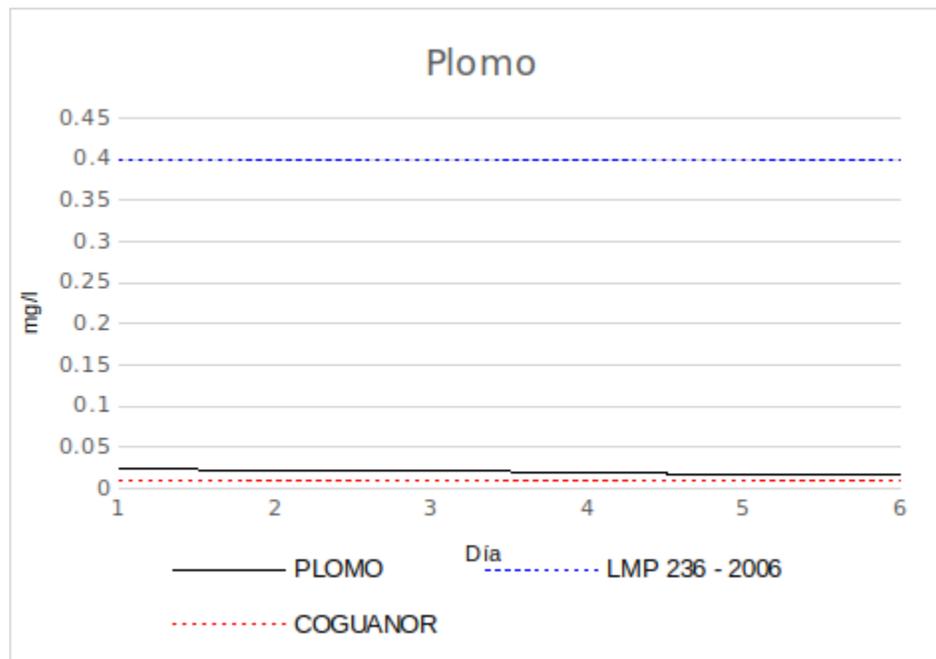


## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

*Gráfica 13. Cambio del cadmio de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

El cadmio no presenta cambio (gráfica no. 12). Sin embargo, los valores se mantienen por sobre el límite establecido por la norma COGUANOR para agua potable.



*Gráfica 14. Cambio del plomo de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno.*

Hay una disminución en la concentración de plomo. Los valores se mantienen por debajo del límite máximo permisible de la norma 236-2006, sin embargo, se encuentran sobre el límite establecido por la norma COGUANOR para agua potable.

En relación a las microcistinas, solamente se evaluaron los últimos dos días. Se observa que hay un aumento en la concentración de microcistinas disueltas del día 5 al día 6.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

*Tabla 5. Cambio de las microcistinas de una muestra del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Microcistinas totales (ppb)</b>	<b>Microcistinas disueltas (ppb)</b>
31/05/21	12:50	NA	NA
1/06/21	14:18	NA	NA
2/06/21	12:28	NA	NA
3/06/21	12:28	NA	NA
4/06/21	10:58	NA	NA
7/06/21	13:45	NA	NA
9/06/21	13:45	<5	1.0914
11/06/21	09:40	<5	1.4347

Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y manejo de lagos, 2021.

\*NA: Las muestras de microcistinas fueron tomadas posteriormente a la solicitud enviada al Licenciado Moisés López, ya que no fueron solicitadas dentro del paquete de análisis propuesto en el Requerimiento para prueba de calibración de equipo generador de nanoburbuja K200.

Se tomaron solamente dos muestras para analizar el cambio del fitoplancton en respuesta a la aplicación de la nanoburbuja. En general, no se observa un cambio significativo en la estructura de la comunidad del fitoplancton (Tabla no. 06). Sin embargo, se observa una mayor riqueza de especies en la segunda muestra colectada.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–

*Tabla 6. Cambio del fitoplancton del agua del Lago de Amatitlán conforme la administración de nanoburbuja de oxígeno*

Fecha	Grupo	Especie	Densidad Unidades Naturales (Org/L)	Abundancia relativa (%)
9/06/21	Cyanobacteria	<i>Microcystis aeruginosa</i>	6113333	76.5
9/06/21	Cyanobacteria	<i>Aphanizomenon sp.</i>	93333	1.2
9/06/21	Cyanobacteria	<i>Oscillatoria sp.</i>	1620000	20.3
9/06/21	Cyanobacteria	<i>Pseudanabaena mucicola</i>	73333	0.9
9/06/21	Cyanobacteria	<i>Pseudanabaena sp.</i>	20000	0.3
9/06/21	Charophyta	<i>Closterium sp.</i>	6667	0.1
9/06/21	Chlorophyta	<i>Selenastrum sp.</i>	13333	0.2
9/06/21	Bacillariophyta	<i>Aulacoseira sp.</i>	26667	0.3
9/06/21	Bacillariophyta	<i>Navicula sp.</i>	20000	0.3
11/06/21	Cyanobacteria	<i>Microcystis aeruginosa</i>	6526667	81.4
11/06/21	Cyanobacteria	<i>Aphanizomenon sp.</i>	13333	0.2
11/06/21	Cyanobacteria	<i>Oscillatoria sp.</i>	1226667	15.3
11/06/21	Cyanobacteria	<i>Pseudanabaena mucicola</i>	6667	0.1
11/06/21	Cyanobacteria	<i>Pseudanabaena sp.</i>	13333	0.2
11/06/21	Cyanobacteria	<i>Merismopedia sp.</i>	33333	0.4
11/06/21	Cyanobacteria	<i>Cf. Arthrospira sp.</i>	6667	0.1
11/06/21	Charophyta	<i>Cosmarium sp.</i>	6667	0.1
11/06/21	Chlorophyta	<i>Selenastrum sp.</i>	20000	0.2
11/06/21	Chlorophyta	<i>Ankistrodesmus sp.</i>	66667	0.8
11/06/21	Bacillariophyta	<i>Aulacoseira sp.</i>	33333	0.4
11/06/21	Bacillariophyta	<i>Nitzschia sp.</i>	26667	0.3

Fuente: División de Control, Calidad Ambiental y manejo de lagos, 2021.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

### 11.2 Discusión de resultados:

Los resultados obtenidos en la prueba de calibración muestran que la aplicación de nanoburbuja de oxígeno puro es capaz de mejorar la calidad del agua al disminuir algunos de los parámetros evaluados en la muestra del lago de Amatitlán. Para poder obtener mejores resultados, se tienen varias observaciones:

El uso del sistema de nanoburbuja en las pruebas preliminares se inyectó con oxígeno puro de tanques o cilindros de oxígeno, mejoró la calidad del agua pero no logró potabilizarla, para llegar a la potabilización se requiere se efectuar pruebas piloto por más tiempo y de una manera continua, ya que en la prueba de calibración no fue constante y el tiempo fue limitado por los horarios de trabajo del personal de AMSA se propone una aplicación de oxígeno puro de 24 horas 7 días de la semana. La aplicación de la nanoburbuja debe ser continua para obtener mejores resultados. Como se observa en los parámetros: conductividad, pH, TDS, fósforo total, nitrógeno total. Los valores aumentaron el día que se dejó de aplicar la nanoburbuja por dos días. Sin embargo, el tratamiento con nanoburbuja disminuyó cuando se volvió a aplicar. Aunado a esto, es muy importante asegurarse de la distribución uniforme de la nanoburbuja en el tanque que contiene el agua, para mejorar su eficacia.

Debido a que las enfermedades gastrointestinales son la segunda causa de enfermedad en Amatitlán, es muy importante la eliminación de los patógenos en el agua. La oxigenación provocada por la nanoburbuja ayuda a la disminución de las coliformes fecales, sin embargo, no las elimina por completo. Se recomienda añadir la de nanoburbuja de ozono contemplada al inicio del proyecto para poder lograr cumplir con los parámetros requeridos por la norma COGUANOR NTG 29001 de agua apta para consumo humano. La capacidad de desinfección del ozono también ayuda a reducir otros patógenos como los virus y en especial los protozoos formadores de esporas como *Giardia* y *Cryptosporidium*, que son típicamente resistentes a la mayoría de desinfectantes (Tekile, Kim y Lee, 2018).

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

En el caso de los metales pesados, es importante utilizar otro método como el que se planteó al inicio del proyecto, un filtro de resinas intercambiadoras, para disminuir la concentración metales en el agua, siempre que las mejoras sugeridas anteriormente no logren este propósito. Se observa en los resultados que la nanoburbuja de oxígeno en la prueba de calibración no logra remover todos los metales disueltos, no se disminuyó el arsénico y el cadmio; sin embargo se considera que fue por la falta de continuidad y tiempo, ya que hay investigadores que han encontrado que el agua tratada con nanoburbujas reduce la emisión acumulativa de metano, hierro, manganeso y arsénico en aguas residuales de cultivos de arroz (Minamikawa, et al, 2015). Es de notar que el plomo sí disminuyó, por lo que se considera que es importante aplicar la nanoburbuja por más tiempo, ya que es capaz de disminuir la concentración del plomo por debajo de lo establecido según la norma COGUANOR.

Estos resultados, aunque se hayan obtenido a partir de una prueba de calibración, muestran que la nanoburbuja es una tecnología relativamente nueva que debe evaluarse como una alternativa para mejorar la calidad del agua, especialmente para la potabilización de la misma como una alternativa para satisfacer la necesidad de algunas comunidades alrededor del lago de Amatitlán que no tienen acceso al agua potable.

Otra posible aplicación de la nanoburbuja es que puede ser utilizada para el tratamiento de aguas residuales, ya que se obtuvo agua con parámetros por debajo del límite máximo permisible según la norma 236-2006 para descarga de aguas residuales. La oxigenación profunda del lago de Amatitlán es también otra posible aplicación, ya que también disminuyó la concentración de los nutrientes que favorecen el florecimiento de las cianobacterias (nitrógeno y fósforo) (Wetzel, 2001 y Roldán & Ramírez, 2008), en este caso de la cianobacteria *Microcystis*. Siempre teniendo en cuenta los posibles cambios que puedan ocurrir en la estructura del ensamble de especies acuáticas que habitan el lago, para evitar un desequilibrio ecológico.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

### 12. Referencias

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A. & Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257-275. doi: 10.1016/j.sjbs.2012.04.005
- Ahmadi, M., Nabi, G., Torabian, Al, Mehrdadi, N. (2018). Effects of nanobubble aeration in oxygen transfer efficiency and sludge production in wastewater biological treatment. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 6, 225-233. doi: 10.22102/JAEHR.2018.135459.1086
- Argawal, A., Jem, W. y Liu, Y. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*, 84, 1175-1980.
- Azevedo, A., Etchepare, R., Calgaroto, S. y Rubio, J. (2016). Aqueous dispersions of nanobubbles: Generation, properties and features. *Minerals Engineering*, 94, 29-37. doi: 10.1016/j.mineng.2016.05.001
- Cruz, R., Valverde, J. (2017). Reduction of Coliforms presents in domestic residual waters by Air-Ozone Micro-Nanobubbles in Carhuaz city, Peru. *Journal of Nanotechnology*, 1(1), 9-17. ISSN 2522-6908.
- División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos. (2015). *Calidad de agua de la cuenca y Lago de Amatitlán*. Guatemala: Autor.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E., & Franson, M. A. H. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, American Waterworks Association, Water Environmental Federation. *Port City, Baltimore*, 21.
- Ebina, K., Shi, K., Hirao, M., Hashimoto, J., Kawato, Y., Kaneshiro, S., Morimoto, T., Koizumi, K. y Yoshikawa, H. (2013). *PlosOne*, 8(6), e65339.
- Ge, S. & Champagne, P. (2016). Nutrient removal, microalgal biomass growth, harvesting and lipid yield in response to centrate wastewater loadings. *Water Research*, 88, 604-612.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

- Hu, L. (2018). Application of ozone micro-nano-bubbles to groundwater remediation. *Journal of Hazardous Materials*, 342, 446-453. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.08.030
- Khuntia, S., Kumar, S., Ghosh, P. (2012). Microbubble-aided water and wastewater purification: a review. *Reviews in Chemical Engineering*, 28(4-6), 191-221. doi: 10.1515/revce-2012-0007
- Li, H., Hu, L., Song, D. y Al-Tabbaa, A. (2014). Subsurface Transport Behavior of Micro-Nano Bubbles and Potential Applications of Groundwater Remediation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 473-486. doi: 10.3390/ijerph110100473
- Liu, S. Kawagoe, Y., Makino, Y. y Oshita, S. (2013). Effects of nanobubbles on the physicochemical properties of water containing nanobubbles. *Chemical Engineering Science*, 93, 250-256. doi: 10.1016/j.ces.2013.02.004
- Minamikawa, K., Takahashi, M., Makino, T., Tago, K. y Hayatsu, M. (2015). Irrigation with oxygen-nanobubble water can reduce methane emission and arsenic dissolution in a flooded rice paddy. *Environmental Research Letters*, 10. doi:10.1088/1748-9326/10/8/084012
- Noguerol-Arias, J., Rodríguez-Abalde, A., Romero-Merino, E., & Flotats, X. (2012). Determination of chemical oxygen demand in heterogeneous solid or semisolid samples using a novel method combining solid dilutions as a preparation step followed by optimized closed reflux and colorimetric measurement. *Analytical chemistry*, 84(13), 5548-5555.
- Pardo Rodríguez, M. T. (2017). Nanotecnología con Ozono para la reducción de Cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima 2017.
- Rameshkumar, C., Senthilkumar, G., Subalakshmi, R. y Gogoi, R. (2019). Generation and characterization of nanobubbles by ionization method for wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 164, 98-101. doi: 10.5004/dwt.2019.24.389
- Roldán, G. & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Antioquia: Universidad de Antioquia.<sup>[1]</sup><sub>[SEP]</sub>

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

- Senthilkumar, G., Rameshkumar, C., Nikhil, M. y Kumar, J. (2018). An investigation of nanobubbles in aqueous solutions in various applications. *Applied Nanoscience*, 8, 1557-1567. doi: 10.1007/s13204-018-0831-8
- Tekile, A., Kim, I., & Lee, J. (2017). Applications of Ozone Micro- and Nanobubble Technologies in Water and Wastewater Treatment: Review. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 31(6), 481-490. doi: 10.11001/jksww.2017.31.6.481
- Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Elsevier.
- Xia, Z. y Hu, L. (2019). Treatment of Organics Contaminated Wastewater by Ozone Micro-Nano-Bubbles. *Water*, 11(55). doi: 10.3390/w11010055

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

### 13. Apéndice

#### Fotografías



*Fotografía 1. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 2. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA en proceso de llenado. Fecha: 27 de febrero de 2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 3. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA llena, pero presentando fuga Fecha: 27 de febrero de 2021.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 4. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA, principiando a colocarle recubrimiento para evitar fuga*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 5. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA, colocándole recubrimiento para evitar fuga*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 6. Pileta ubicada en Estación Acuática de AMSA, con recubrimiento para evitar fuga y empezando a llenarla*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 7. Pileta llena lista para iniciar el tratamiento con nanoburbuja de oxígeno Fecha: 31 de mayo de 2021.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–



*Fotografía 8. Iniciando tratamiento con nanoburbuja de oxígeno. Fecha: 31 de mayo de 2021 Hora: 9:00am*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 9. Pileta con agua del Lago de Amatitlán durante el tratamiento de Nanoburbuja de oxígeno. Fecha : 02 de junio de 2021.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 10. Pileta con agua del Lago de Amatitlán después de 2 horas con el tratamiento de Nanoburbuja de oxígeno*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 11. Pileta con agua del Lago de Amatitlán donde se observa espuma por el tratamiento de Nanoburbuja de oxígeno después de 6 horas de tratamiento.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 12. Pileta con agua del Lago de Amatitlán donde se observa abundante espuma después de 10 horas de tratamiento con Nanoburbuja de oxígeno.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 13. Toma de muestra de parte del personal de Laboratorio de AMSA para análisis de la calidad de agua 2 horas posterior al tratamiento de nanoburbujas Fecha: 31 de mayo de 2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–



*Fotografía 14. Toma de muestra para análisis microscópico Mónica Martínez 8 horas posterior al tratamiento con nanoburbujas de oxígeno.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–



*Fotografía 15. Apariencia de la pileta en la última etapa de tratamiento con nanoburbujas de oxígeno. Fecha: 11 de junio de 2021 con 15 horas de tratamiento con nanoburbujas de oxígeno.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 16. Apariencia de la pileta al finalizar el tratamiento con nanoburbujas de oxígeno  
Fecha: 11 de junio de 2021 después de 15 horas de tratamiento de nanoburbuja, y 2 horas después  
de apagar el sistema.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–



*Fotografía 17. Apariencia del agua de la pileta, proveniente del Lago de Amatitlán después de 6 horas de tratamiento. Fecha: 2 de junio de 2021 Primer día de tratamiento.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–



*Fotografía 18. Apariencia del agua proveniente de la pileta, del Lago de Amatitlán con 8 horas de tratamiento con nanoburbuja de oxígeno.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–



*Fotografía 19. Apariencia del agua proveniente de la pileta, del Lago de Amatitlán con 8 horas de tratamiento con nanoburbuja de oxígeno al dejar reposar por dos horas.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 20. Secuencia de la apariencia del agua provenientes de la pileta con agua del Lago de Amatitlán con 15 horas de tratamiento Fecha: 11 de junio de 2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–



Fotografía 21. Secuencia de la apariencia del agua de la pileta con agua proveniente del Lago de Amatitlán durante el tratamiento con vista de las etiquetas con fecha (Del 31 de mayo al 11 de junio de 2021)

## Informe final proyecto de investigación 2021

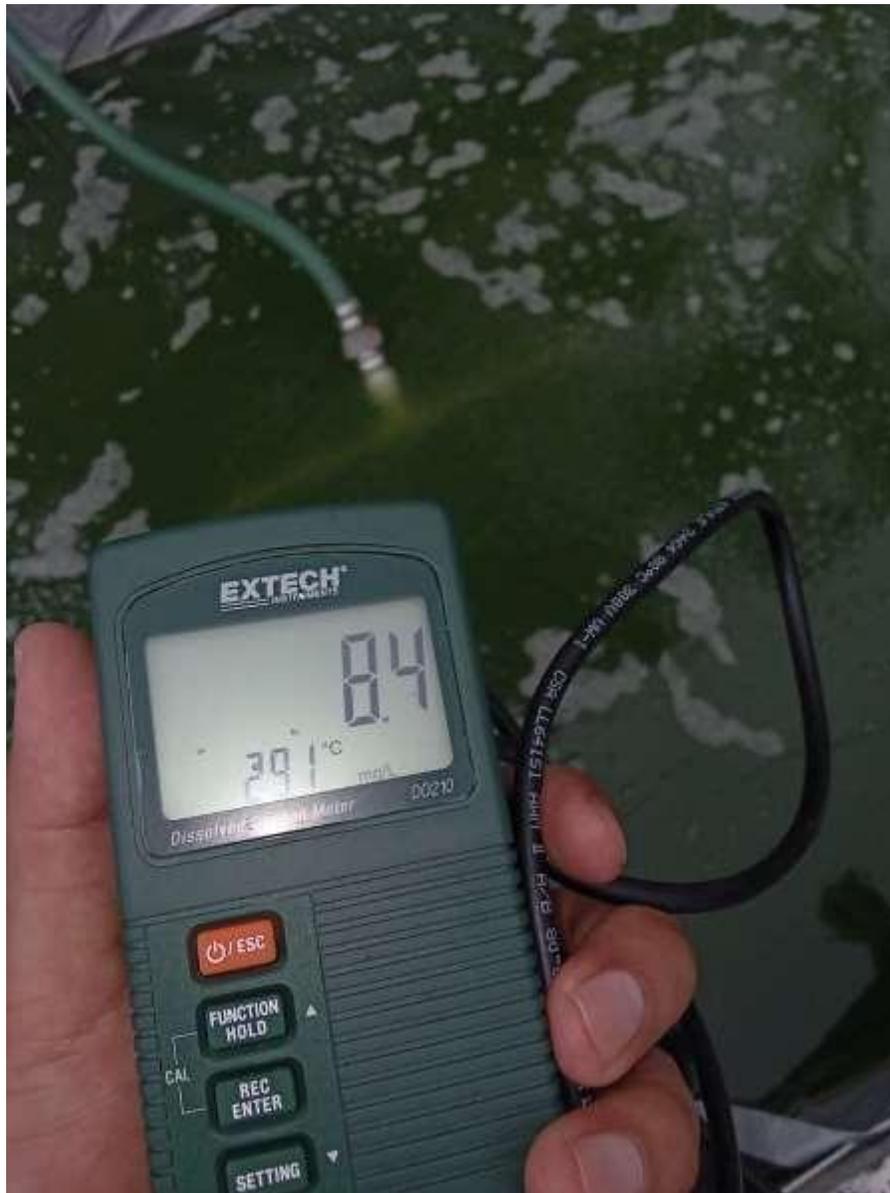
Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 22. Fotos comparativas de agua de la pileta antes y después del tratamiento donde se observa recuperación del espejo de agua.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 23. Toma de pH in situ con sonda de oxígeno prestada por IBAGUA ONG. Fecha: 11 de junio de 2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–



*Fotografía 24. Toma de concentración de oxígeno con sonda prestada por IBAGUA ONG. Fecha: 11 de junio de 2021.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

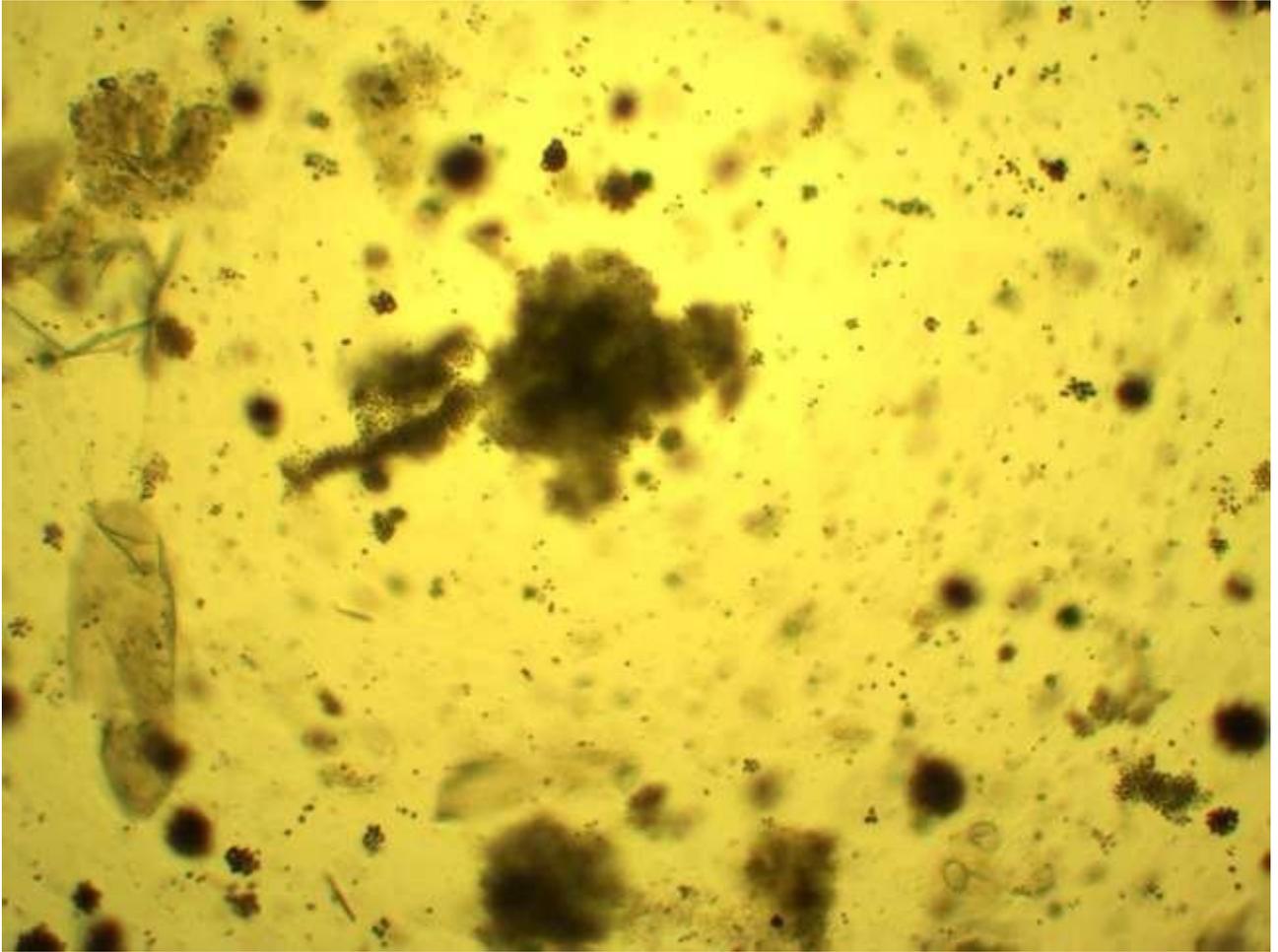
Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 25. Toma de pH con papel pH proporcionado por IBAGUA ONG. Fecha: 11 de junio de 2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

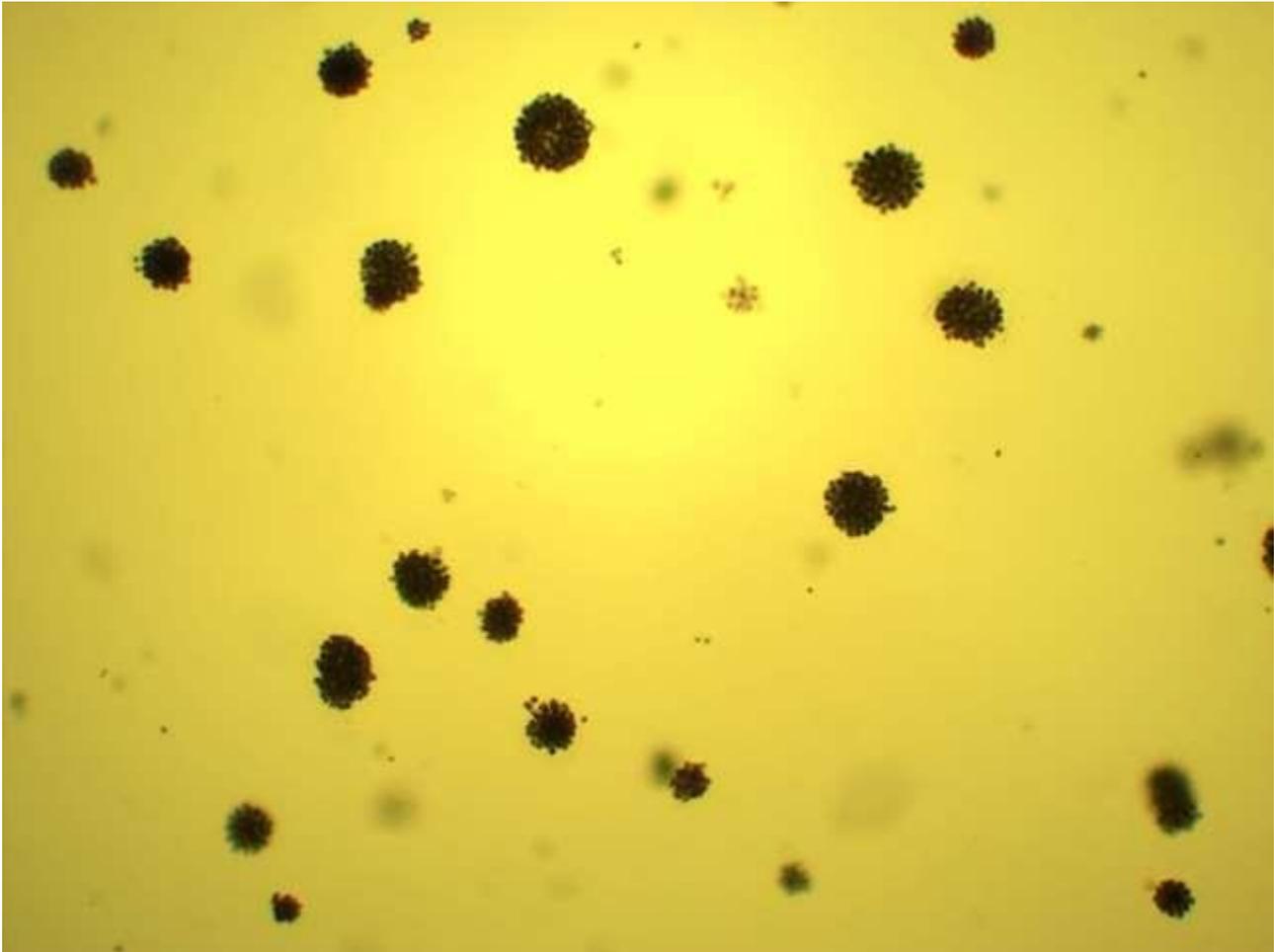
Dirección General de Investigación –DGI–



*Fotografía 26. Vista microscópica del agua de la pileta con 40X como un aporte adicional para el proyecto.. Fecha : 02/06/2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–



*Fotografía 27. Vista microscópica 10X del agua de la pileta. como un aporte adicional para el proyecto.. Fecha : 02/06/2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

### 11. Aspectos éticos y legales (si aplica): NO APLICA

### 14. Vinculación

La Asociación para la Investigación e Innovación Biotecnológica IBAGUA ONG es un equipo multidisciplinario, conformado por profesionales de diferentes universidades nacionales e internacionales en diferentes ramas, voluntarios, aportando sus conocimientos y especialización con el objeto de responder de manera directa a los antecedentes de contaminación de las fuentes hídricas en Guatemala. Para aguas residuales no tratadas y desechos sólidos urbanos. IBAGUA ONG busca crear soluciones acorde a las necesidades sociales de la población. Con el fin de apoyar el presente proyecto se firmó una carta de entendimiento entre la autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA) y la Asociación para la investigación e innovación biotecnológica por el agua (IBAGUA ONG), en el municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala, el 24 de abril de 2021. Teniendo como parte de la carta de entendimiento realizar pruebas demostrativas conjuntas de la tecnología de Nano burbujas, así como evaluar los resultados, validez y aplicación práctica a corto plazo de la tecnología. También colaborar con la capacitación del personal de AMSA vinculado a las pruebas preliminares con el propósito que se logran los objetivos del presente proyecto.

Correo electrónico: [ibaguaong@gmail.com](mailto:ibaguaong@gmail.com). Facebook:

<https://www.facebook.com/Ibagua-ONG-102067505092076/>

## **Informe final proyecto de investigación 2021**

Dirección General de Investigación –DIGI-

### **15. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual**

#### **CURSO DE CAPACITACIÓN**

Se organizó el Curso taller “Experiencias con Nanotecnología y sus aplicaciones en la actualidad” para actualizar los conocimientos del personal de AMSA así como para permitir que se conociera acerca la tecnología de nanoburbujas con la colaboración de IBAGUA ONG. El curso taller trató sobre la base científica de la tecnología de la nanoburbuja y sus diversas aplicaciones, constó de un WEBINAR y de un módulo presencial, fue dictado por profesionales especialistas en Nanotecnología nacionales e internacionales. En la parte del taller se incluyó una visita a la estación Acuática de AMSA, donde estaba instalado el equipo y se encontraban colaboradores de IBAGUA ONG quienes nos sólo impartían la parte teórica, mostraban el funcionamiento del equipo sino resolvían dudas, durante el curso se estaba realizando la prueba de calibración.

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI-



**CURSO TALLER**

**EXPERIENCIAS CON  
NANOTECNOLOGIA Y  
SUS APLICACIONES  
EN LA ACTUALIDAD**

Organizado por:  
**IBAGUA ONG**

Se dará diploma.



**Viernes 04 de junio de 2021  
12:00 a 14:00 horas GTM**

**Exclusivo para personal  
de AMSA:**

**Visita calendarizada para  
demostración de equipo  
en el Lago de Amatitlán**

Inscripción gratuita en:  
[ibagua.org/noticias](http://ibagua.org/noticias)

[ibagua.org](http://ibagua.org)

Fotografía 28. Imagen de publicación de Curso Taller Exclusivo para AMSA

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

## CURSO TALLER EXPERIENCIAS CON NANOTECNOLOGÍA Y SUS APLICACIONES EN LA ACTUALIDAD

### CONFERENCISTAS INVITADAS



**Susana Arrechea**

Ingeniera Química-USAC- Master y Doctora cum laude en Nanotecnología (UCLM), España, (beca Fundación Carolina). En 2017 ganó los premios "Guatemaltecos Ilustres" En 2020 ganó el premio de OWS-Elsevier para mujeres investigadoras. Actualmente trabaja en la empresa New Sun Road como directora de un proyecto de centros comunitarios digitales con energía solar, conectividad y habilidades digitales para mujeres en zonas rurales de Alta Verapaz Guatemala financiado por USAID y Microsoft a través de DAL.



**Daniela Cuadra**

Química- UVG. Tiene experiencia en el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de agua. Ha participado en proyectos para la valorización de residuos biológicos para producir nanopartículas para remover pigmentos y metales pesados de aguas contaminadas. Actualmente culminando la maestría en Gestion Innovadora y Sostenible de Recursos Naturales-Bélgica-. Esta desarrollando nuevas tecnologías de electroorción para la recuperación de metales valiosos como Cobalto de aguas residuales industriales.



**Francisca Olivares**

Ingeniera Civil en Biotecnología, mención Procesos de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actualmente Jefe de Proyectos División Aguas de Kran. Experiencia en investigación, y en la industria papelera y forestal en temas medioambientales (CMPC). Trabajo de título en el desarrollo de un sistema integral de gestión del agua para las plantas de CMPC.

**Organizado por:**  
**IBAGUA ONG**  
**Se dará diploma.**



**Viernes 04 de junio de 2021**  
**12:00 a 14:00 horas GTM**  
**Inscripción gratuita en:**  
[ibagua.org/noticias](http://ibagua.org/noticias)








Fotografía 29.. Imagen de publicación de Curso Taller Exclusivo para AMSA con las conferencistas nacionales e internacionales

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 30. Recorrido al lago de investigadores del proyecto AP-12 DIGI 2021 y equipo de IBAGUA ONG*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 31. Muestra del agua del Lago de Amatitlán*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 32. Investigadora Evelyn Rodas, proyecto DIGI AP-12- 2021 y colaboradores de IBAGUA ONG*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 33. Investigadoras del proyecto DIGI AP-12-2021 Evelyn Rodas Pernillo y Mónica Hernández y grupo de colaboradores de IBAGUA ONG*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–



*Fotografía 34. Investigadora Evelyn Rodas y colaboradores de IBAGUA ONG*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 35. Ingeniero Ambiental Sebastián Escobar y disertante de la parte presencial del Taller Exclusivo para AMSA. FECHA: Del 8 al 11 de junio de 2021.*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 36. Investigadoras Evelyn Rodas Pernillo y Mónica Martínez con el Ingeniero Sebastian Escobar conferencista colaborador de IBAGUA ONG previo al curso taller. Fecha: 02/06/2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 37. Participantes del Curso con el Ingeniero Escobar. Fecha: 8 de junio de 2021*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 38. Participante del Curso con el Ingeniero Escobar*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



*Fotografía 39. Participantes del Curso Taller con el Ingeniero Escobar*

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-



## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

### 16. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

#### Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento

El proyecto propone una etapa inicial que buscará mejorar la calidad del agua para las comunidades a las orillas del Lago de Amatitlán, a través de la utilización de la tecnología de nanoburbujas. Esta puede ser utilizada para la potabilización de agua, así también para el tratamiento de aguas residuales y hasta para oxigenar el lago de Amatitlán para favorecer su recuperación.

### 17. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Mónica María Martínez Fausto	Investigadora	20111194	Si	

### 18. Declaración del coordinador(a) del proyecto de investigación

El coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

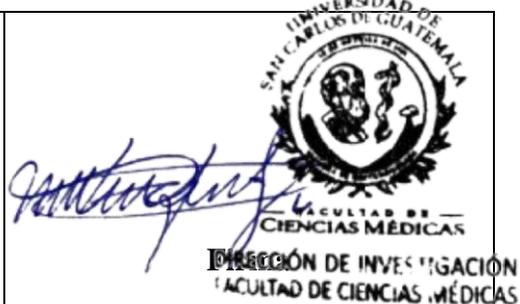
<b>Evelyn Rodas Pernillo de Soto Ph.D.</b>	 <b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	

## Informe final proyecto de investigación 2021

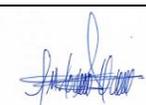
Dirección General de Investigación –DIGI–

### 19. Aval del director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto **AP-12-2021 Uso de nanoburbujas para potabilizar agua para las comunidades a orillas del Lago de Amatitlán** en mi calidad de Directora de Investigación de la Facultad de Ciencias Médicas. mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado+.

<p><b>Vo.Bo.</b> Magda Francisca Velásquez Tohom. MD. MSc Directora de Investigación. Facultad de CCMM. USAC</p>	
<p>Debido a las circunstancias generadas por la pandemia Covid-19, el proyecto DIGI AP-12-2021 tuvo modificaciones que fueron solicitadas por la coordinadora del proyecto y aprobadas por la Unidad Avaladora y por la DIGI.</p> <p style="text-align: right;">Fecha: 28/02/2022</p>	

### 20. Visado de la Dirección General de Investigación

<p><b>Vo.Bo. Inga. Liuba Cabrera</b> <b>Coordinadora del programa</b> <b>Alimentación y Nutrición - PRUNIAN</b></p>	 <b>Firma</b>
<p>Fecha: 28/02/2022</p>	

## Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DGI–

**Vo.Bo. Ing. Rufino Salazar.**

**Coordinador General de Programas Universitarios  
de Investigación**



Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez  
Coordinador General de Programas  
Digi USAC

Fecha: 28/02/2022